电气工程安装及调试技术手册

DIANQI GONGCHENG ANZHUANG JI TIAOSHI JISHU SHOUCE

白玉岷 主编

第3版 上册

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

章　目（主编）

上　　册

第一章　电气工程安装及调试技术概述（白玉岷）
第二章　电工安装调试基本技术技能（白玉岷）
第三章　电气工程常用装置及箱柜制作加工技术（武占斌）
第四章　配合土建工程预埋管路及箱盒的施工（王振山）
第五章　电气设备、元件、材料的测试和试验（白玉岷）
第六章　照明电路及单相电气设备的安装（宋宏江）
第七章　动力电路及低压配电室的安装（赵洪山）
第八章　低压发电设备的安装（白玉岷）
第九章　起重机械电气设备的安装（莫杰）
第十章　架空线路及室外变压器台、箱变的安装（田明）

下　　册

第十一章　电缆的安装敷设（莫杰）
第十二章　变配电装置的安装（白玉岷、谷文旗）
第十三章　特殊环境电气工程的安装（桂垣）
第十四章　防雷与接地系统的安装（桂垣）
第十五章　电梯的安装（李云鹏）
第十六章　自动化仪表及自动装置的安装（张璐）
第十七章　空调系统电气设备的安装（刘晋虹）
第十八章　弱电系统的安装（白玉岷、白永军）
第十九章　电气安装调试工程安全技术（赵颖捷）

电气工程安装及调试技术手册

上　　册

第3版

主　　编　白玉岷

副 主 编　刘　洋　宋宏江　陈　斌　高　英
张艳梅　田　明　桂　垣　董蓓蓓
武占斌　王振山　赵洪山　张　璐
莫　杰　田　朋　谷文旗　李云鹏
刘晋虹　白永军　赵颖捷　王　建

主　　审　悦　英　赵颖捷　桂　垣

土建工程顾　　问　李志强

机 械 工 业 出 版 社

本书以实践经验为主，并辅以理论知识，详细讲述各类电气及自动化工程、电气设备及弱电工程的安装、调试、送电及试运行的技术技能，同时讲述安装调试中的故障处理方法。

全书分为上册、下册出版，共 19 章。本书为上册，主要内容包括：概述，电工安装调试基本技术技能，电气工程常用装置及箱柜制作加工技术，配合土建工程预埋管路及箱盒的施工，电气设备、元件、材料的测试和试验，照明电路及单相电气设备的安装，动力电路及低压配电室的安装，低压发电设备的安装，起重机械电气设备的安装，架空线路及室外变压器台、箱变的安装等 10 章。

本书可供从事电气工程的安装、调试、运行、设计、管理的人员以及电气安装单位的技术人员、电工技师参考，也可作为青年电工、各类从事电工工作的初学者的培训教材，以及工科院校和职业技术院校电气专业师生的教学用书或实践教材。

图书在版编目（CIP）数据

电气工程安装及调试技术手册．上册/白玉岷主编．—3 版．—北京：机械工业出版社，2013.6

ISBN 978-7-111-42886-2

Ⅰ.①电…　Ⅱ.①白…　Ⅲ.①电气设备－设备安装－技术手册　Ⅳ.①TM64－62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 127964 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：牛新国　责任编辑：朱林　等
版式设计：霍永明　责任校对：张媛
封面设计：马精明　责任印制：乔宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2013 年 7 月第 3 版第 1 次印刷
184mm×260mm・71.5 印张・3 插页・2465 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-42886-2
定价：199.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

电气工程安装及调试技术手册第3版编写人员名单

章号	主编	副主编	编写人员	责任编辑
1	白玉岷	刘洋	宋宏江、陈斌、高英、王川、高志平、马千里、志农	朱林
2	白玉岷	朱振华	闫文武、康永太、张丰录、王明月、闫玉琴、江涛、胡义彬	朱林
3	武占斌	韩健北	薛玉明、刘继、吴小环、宋智、石小永、闫莉、于长河	赵任
4	王振山	范学忠	吴大力、李金福、王宇山、赵艳芬、袁小琴、于大广、吴大敏	赵任
5	白玉岷	刘志林	张海亮、李红军、任秉富、张连兵、张文武、耿华、张瑜军	翟天睿
6	宋宏江	姚亮	闫文桓、杨玉明、刘广大、武双有、闫敬敏、马媛、徐金玉	郑彤
7	赵洪山	贺祖贤	刘有义、海纳川、王峰、马小力、武永胜、席跃文、胡加梁	江婧婧
8	白玉岷	董仁辉	冯永志、黄小河、于江、王世东、张小峰、吕英华、刘凯	王欢
9	莫杰	刘玉丰	李晓华、康洪、史有进、王玉斌、杨晓华、姚义、杨爱	王欢
10	田明	梁川	田锋、郑生、安智慧、席成军、刘海龙、李晓龙、胡有志、韩树红	吕潇
11	莫杰	刘玉萍	武雁栋、刘正宏、胡静海、郭小启、邹振勇、廉瑞金、梁玉芳	赵玲丽
12	白玉岷 谷文旗	陈继 田朋	王佳乐、叶鹏飞、王琼、吴大喜、王小兵、武玉香、刘侠、贾连忠	任鑫
13	桂垣	董蓓蓓	范锐、刘伟、赵宏德、张利敏、李君、王建、李树兵	罗莉
14	桂垣	张艳梅	宋宏江、陈斌、高英、田朋	罗莉
15	李云鹏	宋琴	徐阳、王大志、刘小环、王玉洁、胡志朋、郝海东、闫静敏	林桢
16	张璐	芦春	郭志琪、王金银、姚立婷、成儒、建春、达峰、赵玉春	顾谦
17	刘晋虹	倪小君	万川、久安、万柳、王金玉、李方、师北屏、春琴、马玉琴	顾谦
18	白玉岷 白永军	董蓓蓓	高立明、赵英、赵小树、赵必胜、建玉华、闫玉奇、康大力	闾洪庆
19	赵颖捷	罗林	赵北华、赵红军、谢小华、常兴、陈玲、陈世森、王佩燕	闾洪庆

第 3 版前言

《电气工程安装及调试技术手册》1998 年第 1 版、2008 年第 2 版，至今已有十几个年头了，该书的出版和发行受到了广大读者的青睐和推崇，它确确实实给读者解决了很多工程技术方面的实际问题。特别是对一些刚刚踏入电工技术这一行业的青年人来讲更是如鱼得水，从中学到了很多原本需要很长时间才能学到的技术技能。本人曾多次接到读者们的来电，也看到过许多网上的评论，他们最多的一句话就是："读您的书解渴"，真正为他们的实际工作解决了难题。同时他们对本书也提出了很多宝贵的意见和建议，并对本书的再版寄予了厚望，我感到非常欣慰，这里我和本书的全体编写人员向广大读者表示衷心的感谢！

我们编写本书的目的就是使读者特别是电气专业的大学生能在较短的时间内掌握从事电工这个职业应该具备的技术技能，缩短从理论到实践的时间和距离，使其成为一部电工技术的"实用手册"，在遇到难题时查阅本书相关章节内容便可即时找到方法和要点。今天，我们这个目的和愿望得以实现，真正能为读者解决工作中的实际难题，正是我们的初衷。这里祝愿所有读者，在通往电工技术技能职业技术高峰的道路上，乘风破浪、勇往直前、兢兢业业、独占鳌头。

随着时代的进步和科学技术的发展，电工技术、电气工程技术、电气设备元件及材料都在发展，为了适应读者的需求，尽快地全面掌握电工技术，对《电气工程安装及调试技术手册》我们接受了读者的建议，我们从结构、内容、系统上都做了较大的改动，主要体现在以下几个方面：

1. 将原书版面分为两本单独出版，第一本为《电气工程安装及调试技术手册》，第二本为《电气工程项目管理与策划技术手册》。第一本专门讲述电气工程的安装、调试、试运行的技术技能，从电工安装调试基本技术技能、制作加工技术、配合土建管路施工讲起，讲述照明、动力、低压发电、起重机械、架空线路、电缆、变配电所、特殊环境电气工程、防雷接地、电梯、自动化仪表、空调系统电气、弱电系统等安装、调试实际操作技术技能，循序渐进、由易到难、由简单到复杂，便于初学者阅读并指导实践，同时又可查阅不同电气工程的安装调试技术、技能指导工程施工。万丈高楼平地起，必须从最基础开始，点点滴滴积累经验技术，才能完成重大、复杂的工程，急于求成便会一败涂地。

第二本专门讲述电气工程开工前的准备工作及技术技能，主要有审图、常用计算方法、设备元件及材料选择、施工组织设计编制、预算及物资供应、质量环境安全管理体系建立及实施、现场质量安全环境管理、开工前的协调组织及准备工作等工程项目管理方面的内容，以确保工程的质量、安全、进度、投资、环境，创造优质工程。

2. 本书在第 2 版基础上，每章都增加了新内容，特别是国家颁布的电气工程相关的新标准、新规范使内容焕然一新，既保留了传统的技术技能，又有新技术、新工艺、新设备、新材料的涌现，使该书更有指导性，更能答疑解惑。

如，第二章增加了电气故障判断及处理方法，详细列出了照明、管线、电动机、低压电器、变配电装置常见故障的判断处理方法；第三章增加了高压开关柜制作要点及规定；第五章变化较大，增加了新标准规范要求的相应方法；第六章增加了公共场所照明及单相电气装置的

安装；第九章增加了新型电气设备；第十章增加了线路杆塔基础施工要点；第十一章按新标准规范要求敷设及试验，增加了矿用电缆的施工；第十三章增加了新国标（GB3836.15—2000）的内容；第十四章增加了新标准的内容和材料、规格试验及要求；第十六章增加了部分智能数字测控仪表的内容；第十八章增加了信号隔离器及新标准规范的内容；其他章节也有新标准及新内容的增加和变化。

当前，我们的国家正处于改革开放、经济腾飞的伟大转折时代。在这样的大好形势下，我们可以看到电工技术突飞猛进的发展，新技术、新材料、新设备、新工艺层出不穷、日新月异。电子技术、计算机技术以及通信、信息、自动化、控制工程、电力电子、传感器、机器人、机电一体化、遥测遥控等技术及装置已与电力、机械、化工、冶金、交通、航天、建筑、医疗、农业、金融、教育、科研、国防等行业技术及管理融为一体，并成为推动工业发展的核心动力。特别是电气系统，一旦出现故障将会造成不可估量的损失。2003 年 8 月美国、加拿大大面积停电，几乎使整个北美瘫痪。我国 2008 年南方雪灾，引起大面积停电，造成 1110 亿人民币的经济损失，这些都是非常惨痛的教训。

电气系统的先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性是缺一不可的，因此电气工作人员必须稳步提高，具有精湛高超的技术技能，崇高的职业道德以及对专业工作认真负责、兢兢业业、精益求精的执业作风。

本书汇集了众多实践经验极为丰富、理论知识精通扎实、能够将科研成果转化为实践、能够解决工程实践难题的资深高工、教授、技师承担编写工作，他们分别来自设计单位、安装单位、工矿企业、高等院校、通信单位、供电公司、生产现场、监理单位、技术监督部门等。他们将电气工程及自动化工程中设计、安装、调试、运行、维护、检修、保养以及安全技术、读图技能、施工组织、预算编制、质量管理监督、计算机应用等实践技术技能由浅入深、由易至难、由简单到复杂、由强电到弱电以及实践经验、绝活窍门进行了详细的论述，供广大读者，特别是青年工人和电气工程及自动化专业的学生们学习和参考，以期在技术技能上取得更大的成绩和进步。

本书的特点是实用性强，可操作性强，通用性强。但需要说明，本书讲述的技术技能及方法不是唯一的，也可能不是最先进、最科学的，然而按照本书讲述的方法，一定能将各种工程，包括复杂且难度大的工程顺利圆满地完成。读者及青年朋友们在遇到技术难题时，只需翻阅相关章节的内容便可找到解决难题的办法。

电气工作是个特殊的职业，从前述分析可以得知电气工程及自动化工程的特点，主要是：安全性强，这是万万不容忽视的；专业理论性强，涉及自动控制、通信网络、自动检测及复杂的控制系统；从业人员文化层次较高；技术技能难度较大，理论与实践联系紧密；工程现场条件局限性大，环境特殊，如易燃、易爆等；涉及相关专业广，如机、钳、焊、铆、吊装、运输等；节能指标要求严格；系统性、严密性、可靠性、稳定性要求严格，从始至终不得放松；最后一条是法令性强，规程、规范、标准多，有 150 多种。电气工作人员除了技术技能的要求外，最重要的一条则是职业道德和敬业精神。只有高超的技术技能与高尚的职业道德、崇高的敬业精神结合起来，才能保证电力系统及自动化系统的安全运行及其先进性、稳定性、可靠性、灵敏性和安全性。

因此，作为电气工程工作人员，特别是刚刚进入这个行业的年轻人和刚毕业的电气专业的大学生，应该加强电工技术技能的学习和锻炼，深入实践，不怕吃苦、不怕受累；同时应加强或加深电工理论知识的学习，并与实践紧密结合，提高技术水平。在工程实践中加强职业道德

的修养，加强和规范作业执业行为，才能成为电气行业的技术高手。

在国家经济高速发展的过程中，作为一名电气工作者肩负着非常重要的责任。国家宏观调控的重要目标就是要全面贯彻落实科学发展观，加快建设资源节约型、环境友好型社会，把节能减排作为调整经济结构、转变增长方式的突破口。在电气工程、自动化工程及其系统的每个环节和细节里，每个电气工作者只要能够尽心尽责，兢兢业业，确保安装调试的质量，做好运行维护工作，就能够减少工程费用，减少事故频率，降低运行成本，削减维护开支；就能确保电气系统的安全、稳定、可靠运行。电气工作人员便为节能减排、促进低碳经济发展，保增长、保民生、促稳定做出巨大的贡献。

在这中华民族腾飞的时代里，每个人都有发展和取得成功的机遇，倘若本书能为您提供有益的帮助和支持，我们全体编者将会感到万分欣慰和满足。祝本书的所有读者，在通往电工技术技能职业高峰的道路上，乘风破浪、一帆风顺、马到成功。

白玉岷

2013 年 3 月

目　　录

上　　册

第 3 版前言

第一章　电气工程安装及调试技术概述 …… 1

一、电气工程安装调试应具备的技术技能…… 1

二、电气工程安装调试的工艺程序…… 1

三、测试和试验是工程的重中之重…… 1

四、电气工程的标准、规范、规程…… 3

五、崇尚职业道德、确保质量安全…… 4

六、质量和安全是电气工程的灵魂…… 6

第二章　电工安装调试基本技术技能 …… 8

第一节　常用工具的使用…… 8

第二节　导线连接工艺及要求…… 8

一、导线连接的总体要求…… 8

二、导线连接的工艺方法 …… 19

三、导线与设备元件的连接方法 …… 25

第三节　常用电工安全用具及器械的使用 …… 26

一、绝缘拉杆及使用方法 …… 26

二、绝缘钳及使用方法 …… 27

三、辅助安全用具的使用及注意事项 …… 27

四、临时接地线的使用 …… 28

五、临时遮栏的使用 …… 28

六、绝缘隔板的使用 …… 29

七、围栏绳的设置及注意事项 …… 29

八、标志牌的使用 …… 29

九、防止烧伤器具的正确使用 …… 29

十、梯子、高凳及升降车的使用 …… 30

十一、脚扣及安全带的使用 …… 30

十二、电工安全用具的保管 …… 30

第四节　常用电工检修测试仪表 …… 33

一、便携式电工检修测试仪表的种类 …… 33

二、钳形电流表的使用及注意事项 …… 34

三、万用表的使用及注意事项 …… 35

四、绝缘电阻表的使用及注意事项 …… 36

五、接地电阻测试仪的使用及注意事项 …… 37

六、仪表的保管及检定周期 …… 37

第五节　攀登塔架杆技能技巧 …… 38

一、攀登塔架要领及作业方法 …… 38

二、登杆要领及作业方法 …… 38

第六节　相关工种基本操作技术技能 …… 39

一、钳工基本操作技能 …… 39

二、焊接基础及操作 …… 44

三、架空线路路径测量基本技能 …… 45

第七节　吊装运输基本技能 …… 49

一、工具的使用 …… 49

二、绳索及器具 …… 50

三、吊具 …… 56

四、地锚及设置 …… 58

五、滑车、滑轮及滑轮组 …… 58

六、常用吊装机具 …… 60

七、人字架及三角架 …… 61

八、起重机的选择 …… 62

九、运输车辆的选择 …… 62

十、电气设备吊装和运输注意事项 …… 62

第八节　管内穿线工艺及要求 …… 63

第九节　常用电气元件及其安装接线 …… 66

一、熔断器和低压负荷开关 …… 66

二、交流接触器和转换开关 …… 70

三、低压断路器 …… 73

四、漏电保护器 …… 75

五、热继电器 …… 79

六、电流互感器 …… 80

七、时间继电器和中间继电器 …… 80

八、电动机起动器 …… 82

九、照明开关及插座 …… 92

十、灯具及照明装置 …… 93

十一、导线及选择 …… 95

十二、跌落式熔断器 …… 95

十三、避雷器 …… 96

十四、穿墙套管 …… 96

十五、绝缘子 …… 96

十六、高压电器 …… 97

第十节　常用电测量计量仪表与接线 …… 98

一、交流电压表 …… 98

二、交流电流表 …… 98

三、交流电能表 …… 98
四、直流电压表 …… 98
五、直流电流表 …… 98
六、直流电能表 …… 99
七、新型三相电子式多功能电能表 …… 99
第十一节 常用电工调整试验仪器及使用…… 103
一、示波器及使用…… 103
二、晶体管特性图示仪…… 107
三、万用电桥…… 116
四、双臂电桥的使用方法…… 118
五、示波器、图示仪、电桥的保管…… 118
六、吸收比和极化指数的测量…… 118
七、新型电测仪器及使用…… 120
八、场强仪的使用…… 139
九、单臂电桥的使用…… 140
十、电压升压器的使用及耐压试验…… 141
十一、电流升流器的使用及电流试验…… 148
十二、仪表的保管及检定周期…… 148
第十二节 一般设备安装要点…… 149
一、基础的检查及验收…… 149
二、设备安装程序要点…… 149
第十三节 电气故障判断及处理方法…… 151
一、明装线路故障排除方法…… 154
二、暗装电气线路故障排除…… 155
三、电动机故障处理方法技巧…… 156
四、照明装置故障处理方法…… 158
五、低压电器故障处理方法…… 160
六、变配电装置故障处理方法…… 165
第十四节 读图的程序、要点、方法…… 167
一、读图程序…… 167
二、读图要点…… 167
三、读图步骤及方法…… 179
四、读图注意事项…… 180
五、分析复杂电路图的方法及技巧…… 182
六、电气工程读图应具备的知识及技能…… 184
第三章 电气工程常用装置及箱柜制作加工技术 …… 185
第一节 制作加工总则…… 185
第二节 一般金属构件的制作…… 185
一、金属管路的预制加工…… 185
二、金工件的预制加工…… 187
三、架空线路金具的预制加工…… 190
第三节 电气开关/控制柜（箱）的制作 …… 196
一、电气柜（箱）制作应遵循的原则 …… 196
二、电气柜（箱）制作通用技术要求 …… 197
三、电动机起动控制柜的制作…… 201
四、新型电气控制柜的制作要点…… 225
五、低压开关柜的制作…… 247
六、自动化仪表控制柜的制作…… 260
七、高压开关柜制作要点及规定…… 262
第四章 配合土建工程预埋管路及箱盒的施工 …… 274
第一节 预埋管路总体要求…… 274
一、准备工作及注意事项…… 274
二、具体要求…… 274
第二节 单层变配电间的配合土建预埋管路…… 275
一、电缆引入管的敷设…… 277
二、电缆（导线）引出管的敷设 …… 277
三、接地引线的敷设…… 277
四、照明开关箱和维修开关箱电源管的敷设…… 278
五、插座盒及管路的预埋…… 279
六、电话插座盒的预埋…… 283
七、负荷开关操作手柄构架的预埋…… 283
八、照明手动开关盒的预埋…… 283
九、照明开关箱和维修开关箱箱体的预埋…… 284
十、壁灯盒的预埋…… 284
十一、低压母线支架的预埋…… 284
十二、低压侧墙上总开关（断路器）架的预埋…… 284
十三、室内高压负荷开关固定螺栓的预埋…… 284
十四、低压母线穿墙隔板框架的预埋…… 285
十五、10kV 架空线路进户装置金工件的预埋…… 285
十六、屋顶灯具的金工件、接线盒及管路的预埋…… 287
十七、电缆沟内电缆支架的预埋…… 288
十八、开关柜、控制柜等柜体底座地脚螺栓的预埋…… 289
十九、配电室直接控制设备负荷管的埋设…… 289
二十、变压器垫铁或导轨的预埋…… 289
二十一、室内接地体的敷设…… 289
第三节 工业厂房（生产车间）的配合土建…… 290

一、工程概况 …… 290
二、混凝土框架的配合土建施工 …… 290
三、砌筑框架维护墙的配合土建施工 …… 293
四、做地面时的配合土建施工 …… 295
五、多层工业厂房的配合土建 …… 296
第四节　民用建筑的配合土建 …… 298
一、普通民用住宅的配合土建 …… 298
二、高层建筑的配合土建 …… 300
三、宾馆饭店娱乐场所的配合土建 …… 341
四、特殊环境的配合土建 …… 341
第五章　电气设备、元件、材料的测试和试验 …… 357
第一节　电气设备测试和试验总体要求 …… 357
一、基本要求 …… 357
二、测试试验的程序步骤 …… 358
三、测试试验注意事项 …… 358
第二节　电力变压器的测试试验 …… 358
一、电力变压器的标准规范要求 …… 358
二、具体测试试验方法 …… 363
三、电抗器及消弧线圈 …… 371
四、互感器 …… 372
第三节　高压电器的测试和试验 …… 375
一、标准规范要求 …… 376
二、测量和试验方法 …… 384
三、避雷器的试验 …… 394
第四节　绝缘油和 SF_6 气体的试验 …… 397
第五节　交流异步电动机的测试和试验 …… 399
第六节　低压电器的测试和试验 …… 409
第七节　电缆和绝缘导线的测试 …… 414
一、电缆 …… 414
二、绝缘导线 …… 418
第八节　自备电源的测试和试验 …… 418
第九节　火灾自动报警设备的测试 …… 419
第十节　电缆电视设备的测试 …… 421
第十一节　网络及监控设备的检测试验 …… 423
一、网络系统 …… 423
二、监控系统 …… 424
第十二节　常用电工仪表的校验和检定 …… 424
第十三节　自动化仪表的测试和试验 …… 427
一、标准规范要求 …… 427
二、测试试验总体要求 …… 430
三、测试试验方法 …… 430
第十四节　空气调节自动控制系统电气元件的测试和试验 …… 490
第十五节　一般电器的测试和试验 …… 490
第十六节　特殊电器的测试和试验 …… 490
第十七节　新型电气控制设备的调整试验要点 …… 490
一、电气控制设备调整试验准备工作及要求 …… 490
二、自动化设备调整试验 …… 491
三、直流调速装置调整试验 …… 495
四、交流调速装置的调试 …… 502
五、电源设备的调试 …… 510
六、整理试验报告 …… 513
第六章　照明电路及单相电气设备的安装 …… 514
第一节　总体要求 …… 514
一、总则 …… 514
二、配线工程 …… 514
三、电气照明装置 …… 514
四、单相设备 …… 515
第二节　安装条件及元件的检查、测试和验收 …… 515
一、土建工程及开工应具备的条件 …… 515
二、元件及材料的检查、测试和验收 …… 515
三、施工组织设计的到位情况 …… 516
第三节　照明电路及单相电气设备的安装 …… 516
一、暗装线路及灯具、开关的安装 …… 516
二、明装线路及灯具、开关的安装 …… 542
三、其他相关器件及线路的安装 …… 552
第四节　照明电路的测试及试灯 …… 552
一、照明电路的检查和测试 …… 552
二、送电及试灯 …… 553
第五节　常见公共场所照明及单相电气装置的安装 …… 557
一、一般公共照明装置 …… 557
二、应急诱导灯的安装 …… 564
三、水下照明灯具的安装 …… 564
四、室内综合体育馆照明装置的安装 …… 567
五、人工音乐彩色喷泉的安装及设备选择 …… 575
六、舞台照明装置的安装 …… 582
七、歌舞厅、宴会厅声光控制装置及照明灯具的安装 …… 591
八、医疗 X 光机机房电气设备的安装 …… 593
九、PLZ-3 系列航空闪光障碍灯的安装 …… 599

十、宾馆饭店客房电气设备的安装 …… 602
十一、其他单相电气设备及照明装置的安装 …… 604
第六节 单相电气设备及线路的测试和试验 …… 609
一、总体要求 …… 609
二、设备及线路的检查和试验 …… 609
三、送电及试运行 …… 609
第七章 动力电路及低压配电室的安装 …… 614
第一节 总体要求 …… 614
一、总则 …… 614
二、旋转电机 …… 614
三、低压配电室及盘、柜 …… 614
四、成套配电柜、控制柜（屏、台）和动力、照明配电箱（盘） …… 615
五、低压电器 …… 616
第二节 安装条件及设备验收 …… 616
一、土建工程及设备安装工程应具备的条件 …… 617
二、设备、元件及主要材料的检查、验收和测试 …… 617
三、施工组织设计的到位情况 …… 617
第三节 开关柜、控制柜的安装 …… 617
一、基础型钢的制作安装 …… 617
二、落地式柜体的安装及传动机构的调整 …… 619
三、硬母线的制作安装 …… 621
四、柜内二次回路接线的检查及试验 …… 644
第四节 导线及电缆的敷设 …… 645
一、管内穿线 …… 645
二、电缆桥架的安装及导线敷设 …… 646
三、绝缘导线在电缆沟内的敷设 …… 656
四、工业车间裸母线的安装 …… 657
五、线槽安装及线缆敷设 …… 659
第五节 电气设备的检查和调整 …… 664
一、电动机 …… 664
二、开关柜、控制柜、电气传动控制装置及其元件 …… 685
三、新型软起动器、变频起动器及其元件 …… 723
四、其他电气动力装置 …… 755
第六节 电气接线 …… 755
一、电气接线通则 …… 756
二、开关柜进出回路的接线 …… 756
三、异步电动机控制柜进出回路及被控电动机的接线 …… 757
四、同步电动机控制柜（包括励磁系统）进出回路及同步电动机的接线 …… 762
五、直流电动机控制柜及电动机的接线 …… 762
六、变频起动器、软起动器进出回路的接线 …… 763
七、特殊起动控制装置的接线 …… 772
八、其他三相负载的接线 …… 772
第七节 送电试车及试运行 …… 773
一、送电试车及试运行的条件 …… 773
二、准备工作及要求 …… 773
三、注意事项 …… 774
四、安全要求 …… 775
五、低压动力电路的送电 …… 775
六、单机空载试车 …… 776
七、单机负载试车 …… 776
八、联动试车 …… 777
九、联动试车中电气事故的处理 …… 777
十、送电试车方案的编制 …… 779
第八节 低压动力电路及配电室安装调试质量标准及检验方法 …… 779
第八章 低压发电设备的安装 …… 799
第一节 汽油发电机组的安装 …… 799
一、汽油发电机组的起动 …… 799
二、汽油发电机组的维护和保养 …… 800
三、一般故障的排除 …… 801
第二节 柴油发电机组的安装 …… 801
一、柴油发电机组概述 …… 801
二、柴油发电机组安装的必备条件 …… 803
三、柴油发电机组的安装 …… 804
四、柴油发电机组的起动操作 …… 818
五、柴油发电机组的负载运行 …… 821
六、柴油发电机组运行中故障处理方法 …… 822
七、柴油发电机组的并车运行 …… 832
八、柴油发电机组的维护保养 …… 840
第三节 交流不停电电源装置的安装 …… 841
一、UPS 的工作原理 …… 841
二、UPS 的结构 …… 842
三、UPS 的供电类型 …… 842
四、UPS 的工作条件 …… 844
五、UPS 的安装 …… 844
六、蓄电池组（柜）的安装 …… 846
七、UPS 装置的试验及试运行 …… 854

第四节　余热发电机组的安装 …… 856
一、余热发电机组的安装 …… 856
二、余热发电机组起动试发电的条件 …… 859
三、余热发电机组的起动及试发电 …… 859
四、余热发电机组试运行的监护 …… 864
五、余热发电机组试运行中故障的处理 …… 865
六、并网操作 …… 868
第五节　风力发电机组的安装调试 …… 872
一、风力发电机组及其控制系统简介 …… 872
二、基础的施工 …… 873
三、设备的运输 …… 874
四、塔筒的吊装和安装 …… 875
五、机头的吊装和安装 …… 876
六、风叶的吊装 …… 878
七、电气系统的安装 …… 880
八、试发电运行 …… 883
九、常见故障处理 …… 887
第九章　起重机械电气设备的安装 …… 890
第一节　总体要求及主要设备 …… 890
一、一般要求 …… 890
二、滑接线和滑接器要求 …… 890
三、配线要求 …… 897
四、电气设备及保护装置要求 …… 897
五、电动起重机械的主要设备 …… 898
第二节　安装条件及设施的验收 …… 909
一、土建工程及开工应具备的条件 …… 909
二、机械设备设施安装应具备的条件 …… 909
三、土建工程的验收 …… 909
四、机械设备的检查及验收 …… 909
五、施工组织设计的到位情况 …… 909
第三节　电气设备材料的检查、验收及试验 …… 910
一、电气设备及器材的检查、验收 …… 910
二、电气设备的试验 …… 910
第四节　管路的敷设及穿线 …… 919
一、管路的种类 …… 919
二、管路的敷设及穿线 …… 922
第五节　滑触线网的安装 …… 924
一、滑触线网的种类及安装总体要求 …… 924
二、室内滑线的安装 …… 924
三、室外滑线的安装 …… 929
四、其他种类滑线的安装 …… 932
五、滑车电缆的安装 …… 940
六、钢索悬挂电缆的安装 …… 940
七、卷筒电缆的安装 …… 945
第六节　电气设备的安装与接线 …… 947
一、电气设备的安装 …… 947
二、电气设备的接线 …… 950
第七节　整机调试及试车 …… 955
一、设备及元件电气参数的测试调整 …… 955
二、整机检查 …… 956
三、空载电气试验 …… 957
四、空载试运转试验 …… 959
五、负载试运转试验 …… 959
第十章　架空线路及室外变压器台、箱变的安装 …… 1001
第一节　概述及总体要求、开工条件 …… 1001
一、架空线路的构成部件 …… 1001
二、杆型类别及其结构 …… 1013
三、术语及名词 …… 1020
四、总体要求 …… 1025
五、开工条件、准备工作及施工组织设计 …… 1030
第二节　架空线路路径的复测（测量） …… 1030
一、架空线路路径复测要求 …… 1031
二、测量仪器及其使用 …… 1031
三、线路测量及杆塔定位补桩 …… 1031
第三节　基础工程 …… 1033
一、土方工程 …… 1033
二、铁塔及钢管杆基础的施工及验收 …… 1039
三、基础质量控制及验收 …… 1042
第四节　运送器材 …… 1044
一、器材的检查、验收及组织管理 …… 1044
二、水泥杆、钢管杆的运输 …… 1049
三、线材的运输 …… 1050
四、塔材的运输 …… 1051
五、金具及绝缘子的运输 …… 1051
第五节　杆塔组装 …… 1051
一、杆的组装 …… 1051
二、水泥杆的焊接 …… 1061
三、铁塔的组装 …… 1063
第六节　立杆、立塔及拉线组装 …… 1070
一、立杆 …… 1070
二、立塔 …… 1080
三、立杆、立塔的施工组织 …… 1082
四、立杆、立塔安全注意事项 …… 1083
五、特殊场所立杆的处理方法 …… 1084
六、拉线的制作安装 …… 1085
第七节　架线 …… 1088

一、准备工作及施工组织 …… 1089
二、放线、检查及挂线 …… 1089
三、导线的连接与补修 …… 1091
四、紧线 …… 1099
五、导线在绝缘子上的固定 …… 1105
六、附件的安装及全线检查 …… 1106
七、导线过引和下引的连接 …… 1106
八、低压接户线的安装 …… 1107
九、低压进户线的安装 …… 1108
第八节　防雷接地装置的安装 …… 1110
一、接地引线的安装 …… 1110
二、接地体及接地线的安装 …… 1110
三、接地极接地电阻的要求 …… 1110
四、低压架空线路的重复接地 …… 1110
五、防雷接地装置的安装要求 …… 1110
第九节　测试及试运行 …… 1111
一、巡线检查 …… 1111
二、绝缘电阻的测试 …… 1111
三、升压试验 …… 1113
四、合闸冲击试验 …… 1113
五、试运行 …… 1113
第十节　室外变压器台的安装 …… 1113
一、杆上变压器台 …… 1115
二、落地变压器台 …… 1121
第十一节　箱式变电所的安装 …… 1123
一、基础施工及验收 …… 1123
二、接地装置的施工 …… 1123
三、电气设备的检查和验收 …… 1123
四、设备安装和试验 …… 1123
五、进出回路的接引及试验、测量 …… 1125
六、箱体的组装 …… 1125
七、送电及试运行 …… 1125
八、注意事项 …… 1125

第一章　电气工程安装及调试技术概述

在近200年的历史上，人类的进步和文明的发展都围绕着一个核心，那就是电及电工技术的进步和发展。由于电能具有效率高、传输快、污染小、控制方便等优点，除了空气、阳光、水及大自然以外，电已是人类生产和生活当中不可缺少的伙伴了。电气化的程度已成为衡量一个国家或地区是否发达的标志之一，随着电子技术的发展和计算机的普及，电已深入到国民经济和人们生活的各个领域当中，并发挥着越来越大的作用。其中，电气安装调试工程是实现电工技术进步和发展的重要手段。

由此看出，电气工程安装及调试技术在电及电工技术这个庞大的领域里占据相当重要的位置，是每个从事电气工作的人员时时刻刻不容忽视的，同时也是激励电气工作人员技术技能不断提高、不断进步的动力。为此，我们在编著该书的过程中，特别强调以下几个方面，请读者共勉。

一、电气工程安装调试应具备的技术技能

1. 电气工程常用工具的使用
2. 管路敷设及管内穿线缆技术
3. 导线、电缆连接工艺及要求
4. 电工常用安全器具的使用及安全技术
5. 电工常用检测仪表的使用
6. 攀登杆、塔技能技巧
7. 钳工、焊接、吊装、运输、测量等相关技术技能
8. 常用电气设备、元件及电测计量仪表的安装与接线
9. 电工常用装置、大型二次母线及开关控制柜制作加工技术
10. 电工常用调整试验仪器仪表的使用
11. 电气设备、元件、材料的测试和试验
12. 电工读图技术技能
13. 电气故障的判断及处理
14. 电工常用标准、规范、规程的掌握及使用
15. 电气工程调试、送电及试运行技术
16. 掌握电工新技术、新设备、新工艺、新材料
17. 与电气工程相关专业的技术技能
18. 常用电气设备、元件、材料的选择

上述技术技能的掌握应从简到难逐步掌握，循序渐进，并应具有自己的强项，在实践中不断提高自己的能力。

二、电气工程安装调试的工艺程序

1. 熟悉和掌握电气工程的图样，掌握工程主要、关键、重要、贵重设备、材料和元件
2. 管路敷设、配合土建、设备器材基础施工
3. 设备、元件、材料的测试和试验
4. 敷设线缆
5. 设备、元件安装就位和接线
6. 系统测试、调整及试验

（1）核对设备元件是否与图样相符

（2）检查核对安装接线是否正确

（3）单体测试设备元件并与安装时测试试验数据核对，同时确定跳闸数据并整定试验

（4）核对每个支路的设备、元件并测试试验数据，同时确定跳闸数据并整定试验

（5）单体设备空投试验应正确无误

（6）每个支路空投试验应正确无误

（7）系统空投试验应正确无误

（8）整理记录、核对数据

7. 通电试验

（1）核对系统测试、调整试验及数据和记录

（2）单体设备通电试验

（3）支路通电试验

（4）系统通电试验

（5）投入试运行

8. 试车或试运行

（1）记录各种数值

（2）处理异常状况

9. 检查测试试运行状态、处理不正常状态
10. 清理现场、整理记录、交工验收见图1-1。

三、测试和试验是工程的重中之重

电气工程中设备、元件和材料的测试和试验是保证电气工程安全、稳定、准确运行的最重要的技术手段，任何单位、个人均不得进行简化和省略。

测试和试验一是可杜绝假冒伪劣的设备、元件和材料混入电气工程，可从源头上把住质量关，使工程的安全性、可靠性有了可靠的保证。

二是增强安装调试人员质量第一的责任心，用数据来保证工程的质量。

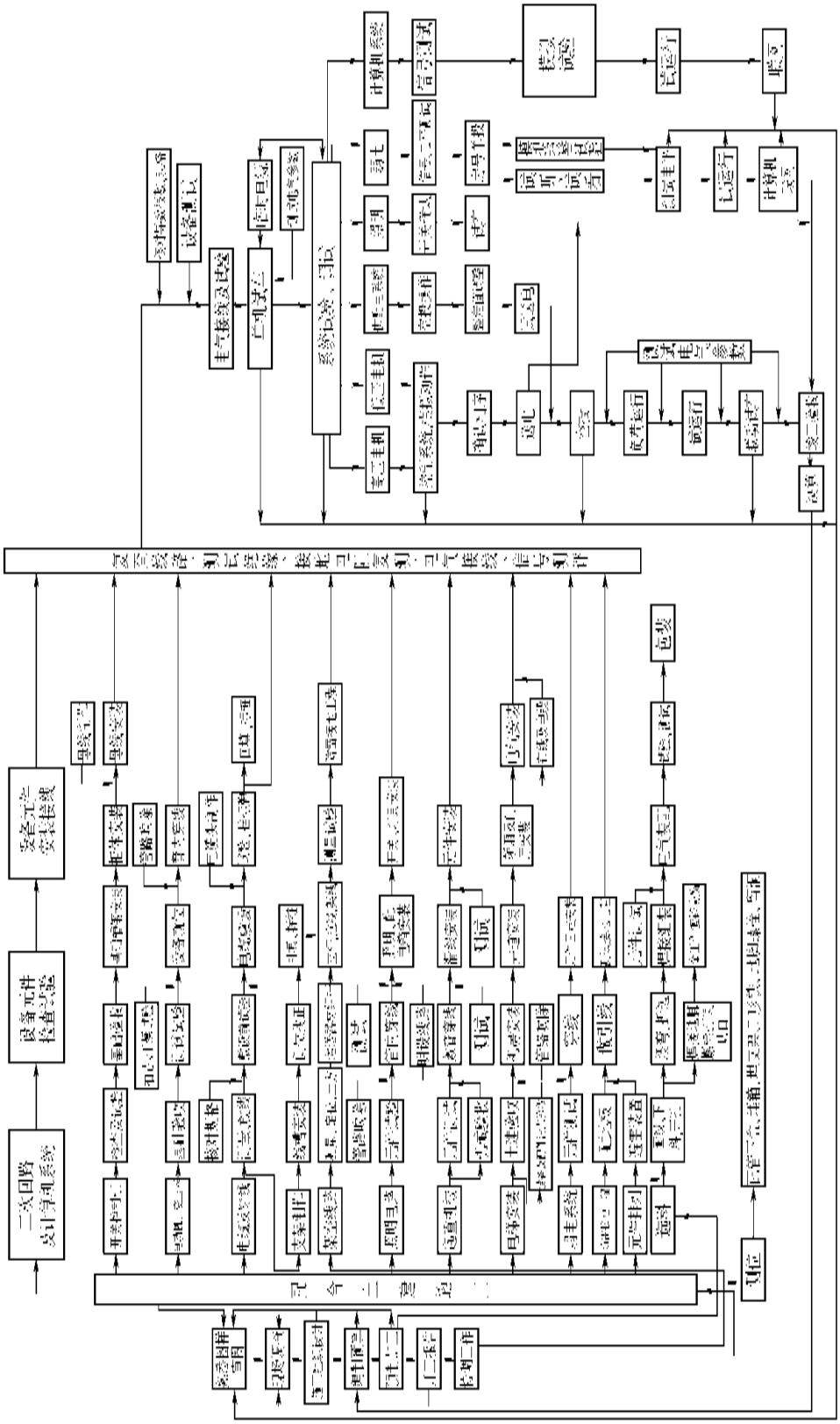


图 1-1 电气工程安装程序框图

三是用数据来验证设计和供货商的信誉度为后续工程奠定基础。

四是提高电气工作人员的技术技能。

近年来，在利益的驱动下，发生了多起工程质量重大事故，这是每个电气工作人员必须引起高度重视的，这里再次强调测试和试验是电气安装工程中每个环节保证质量的重要手段，永远是必不可少的。

四、电气工程的标准、规范、规程

电气安装调试工程的标准、规范、规程是保证工程质量和安全的最重要的指导性法律文件，任何人或单位在任何条件下均不得放宽或随意改动，否则造成的损失要负法律责任。随着国家经济发展、科学技术进步，标准、规范、规程不断更新，贯彻执行新标准、规程、规范是电气工作人员的首要职责。国家、省部委颁布的电气工程标准、规范、规程很多，涉及方面很广。此外，还有企业标准、地方标准、行业标准，这些标准一般均比国标更为严格，有时候国家还颁布一些国际标准。这些标准从理论和法律上保证了国家、地方、行业的电气工程及自动工程的质量，进而保证了电气工程的安全性、可靠性、灵敏性、稳定性、准确性，但是决不能作为摆设，这也是会出现质量问题的基点。电气工作人员除了认真学习和贯彻执行外，还要随时掌握各种标准、规范、规程的变更，要掌握最新颁布的条文。这里将电气工程及相关工程常用的标准、规范、规程的名称和标准号列出，供读者在工程中查询。

1）GB 50147—2010　电气装置安装工程　高压电器施工及验收规范

2）GB 50148—2010　电气装置安装工程　电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范

3）GB 50149—2010　电气装置安装工程　母线装置施工及验收规范

4）GB 50168—2006　电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范

5）GB 50169—2006　电气装置安装工程接地装置施工及验收规范

6）GB 50170—2006　电气装置安装工程旋转电机施工及验收规范

7）GB 50171—2012　电气装置安装工程盘、柜及二次回路结线施工及验收规范

8）GB 50172—2012　电气装置安装工程　蓄电池施工及验收规范

9）GB 50173—1993　电气装置安装工程　35kV及以下架空电力线路施工及验收规范

10）GB 50254—1996　电气装置安装工程低压电器施工及验收规范

11）GB 50255—1996　电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范

12）GB 50256—1996　电气装置安装工程起重机电气装置施工及验收规范

13）GB 50257—1996　电气装置安装工程爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范

14）GB 50303—2002　建筑电气工程施工质量验收规范

15）GB 50150—2006　电气装置安装工程　电气设备交接试验标准

16）GB 50310—2002　电梯工程施工质量验收规范

17）GB 50093—2013　自动化仪表工程施工及质量验收规范

18）GB 50312—2007　综合布线系统工程验收规范

19）GB 50198—2011　民用闭路监视电视系统工程技术规范

20）GB 50339—2003　智能建筑工程质量验收规范

21）JGJ 46—2005　施工现场临时用电安全技术规范

22）GB 50233—2005　110～500kV 架空电力线路施工及验收规范

23）GB 50194—1993　建设工程施工现场供用电安全规范

24）GB 50252—2010　工业安装工程质量检验评定统一标准

25）GB 50300—2001　建筑工程施工质量验收统一标准

26）GB 7588—2003　电梯制造与安装安全规范

27）GB/T 10059—2009　电梯试验方法

28）GB 50200—1994　有线电视系统工程技术规范

29）GB/T 50326—2006　建设工程项目管理规范

30）GB 50231—2009　机械设备安装工程施工及验收通用规范

31）GB/T 50328—2001　建设工程文件归档整理规范

32）GB/T 4728—2005～2008　电气简图用图形符号

33）GB 50166—2007　火灾自动报警系统施工及验收规范

34）全国通用电气装置标准图集

35）建筑电气安装工程图集（水利电力出版社出版，吕光大主编）

36）各部、委有关电气工程（包括弱电工程）的施工验收规范、设计规定及标准等

37）DL/T 5161.1～DL/T 5161.17—2002 电气装置安装工程质量检验及评定规程

38）自控系统成套设备选型样本

39）JGJ 33—2012 建筑机械使用安全技术规程

40）常用高低电器手册、产品样本、安装使用说明书等

41）DL 5009—1997～2004 电力建设安全工作规程

42）《全国统一安装工程综合基价》GYD—202—2000 或省市综合基价

43）《全国统一安装工程预算工程量计算规则》

44）《全国统一安装工程预算定额河北省单位估价表》

45）《全国统一建筑安装劳动定额》

46）GY/T 106—1999 有线电视广播系统技术规范

47）GY/T 121—1995 有线电视系统测量方法

48）GB 50131—2007　自动化仪表工程施工质量验收规范

49）GB 50500—2008 建设工程工程量清单计价规范

50）GB 50278—2010 起重设备安装工程施工及验收规范

51）GB 50601—2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范

五、崇尚职业道德、确保质量安全

在实际工程中，有很多人对职业道德的认识较为模糊，更不知职业道德的内涵；有些人则认为职业道德无所谓。有些人不具备相应职业道德的底线等，从而导致了工程不同程度的受损，轻的是工期延误、费用增加；重的则是质量不合格、存在安全隐患以致出现房倒桥塌、火灾爆炸、人员伤亡严重等事故，造成重大经济损失及恶劣影响。近年来，从各种媒体上看到的这方面的报道已不计其数，其根本原因主要是偷工减料、以次充好、假冒伪劣、简化工艺、技术技能低劣、不学无术；学历学位证是假的、工程师证是假的、技工证是假的、资格证是假的、资质证是假的、执业证是假的、生产（制造）许可证也是假的。用这些“假”来搞工程、来搞建设、来搞经济，能不出事故吗？归根结底这是职业道德或者社会公德出现了问题，也可以说是出现了危机，这是每一个电气工程从业人员必须立即引起重视的问题，否则，重蹈覆辙、故技重演，还会频频发生事故，导致更大的损失和影响。

当今，我们的国家正处在一个千载难逢的大好时代。在这个时代里，国家经济在腾飞、在变革，各项事业蒸蒸日上，日新月异，人民生活有了极大的提高和改善。嫦娥一号、北京奥运、广州亚运、上海世博、跨海大桥、载人飞船、青藏铁路、高速铁路、战胜非典、抗震救灾、维和部队、打击海盗、应对金融危机、国际金融论坛、建设小康社会、建设社会主义新农村等已向全世界展示了中华民族的实力，我们有能力、有信心在 21 世纪末进入发达国家行列。在这雄伟宏大的事业中，正是每个人、特别是年轻一代展现才华、施展能力、开动智慧、取得成功的大好时机。正所谓天高任鸟飞、海阔凭鱼跃、道路由人选、事业由人创。我们一定要珍惜这个时代，这个赋予每个人机遇的时代，一定要为这个时代做出贡献。因为这个时代是由几代先辈们用鲜血和生命、拼搏奋斗、自强不息、英勇斗争换来的。我们赶上了这样一个大好时代，不要贪图享乐，最重要的是要接过先辈们未完成的大业，使中华民族立足于世界先进民族之林，去创造更大的成就，创造更佳的业绩。我们应该去从事与国、与民、与单位、与每个人有益无害的事情，这是每个人职业道德的底线。

然而，一些人在这样千载难逢的大好时代里，利欲熏心、得意忘形，总想一夜暴富、急功近利，总是往钱眼儿里钻，忘记了加强技术技能的提升、忘记了做人的基本道德、淡漠了职业道德的修养，更忘记了先辈们的丰功伟绩，而导致在工作上、在执业行为上偷奸取巧、心怀叵测，最后导致发生重大事故，造成不可弥补的经济损失，以及不作为、贪污腐败，最后导致身败名裂、遗臭万年。

（一）职业道德的概念

什么是职业道德，它的定义是什么，恐怕到目前还没有一个准确的定义，不妨我们在这里给出一个定义，无论准确、完整与否，重要的是让人们更为深刻地知道职业道德的内涵。

职业道德就是从业人员保证工作（工程）的质量及其过程中的先进性、稳定性、灵敏性、可靠性、安全性、可观性以及环保、低碳方面应尽的责任及其作业行为的规范总则。

人们也许会说，你对职业道德的理解太完美或者是太求全责备了。然而确确实实是这样，因为职业道德是每个生活在这个社会里的人的最基本的道德底线。往大里说，每个从业人员都肩负着国家经济发展

以及科研、国防、教育、环境保护等重大命脉中的装备和设施的设计、建设、运行、维护、保养、检修的责任，都肩负着众多科研成果转化到工程实践中去并转化为生产力的责任，都肩负着生产（工作）正常安全运行并去解决技术/管理难题的责任，都肩负着产品（工作）质量及其检验、改进质量的责任，都肩负着系统安全和环境保护的责任。往小里说，社会上的每个人都肩负着孝敬父母、教育培养儿女的责任，都肩负着家庭和单位正常平稳运转的责任，都肩负着邻里和睦相处、小区平平安安的责任，都肩负着道路交通安全、市场繁荣公平、社会和谐的责任。

这些责任的保证条件之一便是道德的底线和职业道德的底线。作为电气从业人员，职业道德的内涵是什么呢？

1. 保证系统的先进性　所谓先进性就是采用先进技术、先进设备、先进材料，并使其在5～10年内不至于落后并能在今后的检修、维护、运行中不断改进而达到技术领先的境地。

2. 保证系统的稳定性　所谓稳定性就是在设定的数值、参数、定值及环境、条件、状态下，系统长期无故障、缺陷而精准运行，特别是控制系统复杂、重要负荷、特殊环境要求更为严格。

3. 保证系统的可靠性　所谓可靠性就是系统在非正常运行的状态下，其保护装置、报警系统、自动调节、自动控制、自动检测及安全保护自动装置、智能识别及其控制系统能够及时、可靠地动作或将系统牵引到正常状态，确保系统长久可靠运行。

4. 保证系统的灵敏性　所谓灵敏性就是系统的保护、报警、调节、控制、检测、安全、识别装置在设定的数值、时间、环境、条件、智能转换之内迅速、精确动作，确保系统可靠安全运行。

5. 保证系统的安全性　所谓安全性就是系统在正常条件下或在非正常条件下都能稳定、可靠地运行，并能及时、可靠、准确地排除故障，使系统安全运行。

6. 保证系统的可观性　可观性又称观瞻性，其内涵就是工程（工作）的造型壮观、优美、大气，给人们带来美感、愉悦及艺术的享受，鸟巢、国家大剧院、跨海大桥等工程已经做出了非凡的典范。

7. 保证系统环保方面　环保方面是指工程（工作）从策划、设计、建设到运行以及维护、检修、改造的全过程中，对环境不造成任何的污染、损害、破坏，并能促进环境的美化、清洁、绿色。环保方面是职业道德的瓶颈，有时是很难做到的。

8. 保证系统低碳方面　低碳方面是指工程（工作）的设计、建设、运行、检修、改造的全过程中，能够节约能源，节约原材料，能够循环利用，变废为宝，能够利用风能、光能等自然能源，并与环保结合，创造绿色工程。低碳方面同样是职业道德的瓶颈，它比环保方面更难做到。

电气工作人员应更多地去了解、认识、修养、磨炼职业道德，为把工程（工作）做得具有先进性、稳定性、灵敏性、可靠性、安全性、可观性以及环保、低碳尽到自己的责任。

职业道德是促进经济建设发展、社会和谐公正、环境保护和低碳经济的一个砝码，是当今社会必须提倡和推崇的重要内容。

（二）电气工作人员职业道德行为规范常识一览

（1）热爱电气工作这个职业，有事业心，有责任心，为电气工程及自动化专业始终不渝。

（2）对技术精益求精，一丝不苟，在实践中不断学习进取，积累丰富的实践经验，提高技术技能，同时从理论上要不断提高自己，具备扎实的理论基础和分析问题的能力。

（3）关注电气工程技术发展动态，积极参与科技成果转化及应用工作，推广新技术、新工艺、新材料、新设备。

（4）解决工程项目中的技术难题是义不容辞的职责，掌握一身过硬的技术技能，成为一把金钥匙，打开每一把技术难题之锁。

（5）甘当设计师、施工人员、制造人员之间的桥梁，传递信息，破译信息，确保工程项目的质量、安全、工期、投资，成为工程项目的中流砥柱。

（6）对电气工作认真负责，兢兢业业，对自己从事的电气工作必须做到准确无误，在工程的关键时刻能挺身而出，充当抢险队的一员。

（7）长期深入实践，虚心向工人师傅学习、向书本学习、向实践学习，做到不耻下问，探索研究新工艺、新方法。

（8）在职业生涯中，要善于发现人才、重用人才、厚爱人才、推举人才、培养人才。特别是工人队伍中的技术能手，要把他们作为工人工程师委以重任，加以重用。

（9）工作要身先士卒，一马当先。要做到干净利落、美观整洁。工作完毕后要清理现场，及时将遗留杂物清理干净，避免环境污染，杜绝妨碍他人或运行的事发生。

（10）任何时候、任何地点、任何情况，工作必须遵守安全操作规程，设置安全措施，确保设备、线路、人员的安全，时刻做到质量在手中，安全在心

中。

（11）工程项目的安装、研制、修理、保养的过程要做到“严”，要严格要求，严格执行操作规程、试验标准、作业标准、质量标准、管理制度及各种规程、规范、标准，严禁粗制滥造。做到自检、自验，不要等到质检人员检查出来才去改正，才去修复。

（12）工程项目的运行维护必须做到“勤”，要防微杜渐，对电气设备、线路、元件的每一部分、每一参数要勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤修，把事故、故障消灭在萌芽状态。科学合理制订巡检周期，确保系统安全运行。

（13）工程项目中用到的所有电气设备、元件、材料及其他辅件，使用前应认真核实其使用说明书、合格证、生产制造许可证、试验报告或型式试验报告，对其质量有怀疑的及贵重、关键、重要部件，要全部进行测试和检验试验，杜绝假冒伪劣产品混入电气系统。

（14）凡是自己参与的工程项目，应建立相应的技术档案，记录相关数据和关键部位的内容，记录相应的具体责任人，做到心中有数，并按周期进行回访，掌握工程项目的动态，及时修正调整相关参数，为后续工程项目奠定良好的基础。

（15）对用户诚信为本、终身负责，通过回访或用户反馈意见，改进工作，提高技术水平。

（16）积极宣传指导节约用电技术和安全用电技术，制止用电当中的不当行为和错误做法。

（17）电气工程项目中，要节约每一米导线、每一颗螺钉、每一个垫片、每一团胶布，严禁大手大脚，杜绝铺张浪费。不得以任何形式将电气设备及其附件、材料、元件、工具、电工配件赠予他人或归为己有。

（18）编制技术文件要切合实际，使其具有可操作性、实用性和指导性，杜绝空话、假话、套话。

（19）认真学习研究电气工程安全技术，并将其贯彻于设计、安装、研制、调试、运行、维修中去，对用户、设备、线路、系统的安全运行负责。

（20）养成良好的工作习惯和学习习惯（包括实践的学习），勤于总结，善于分析。将工作中、生活中与专业有关的事物详细地记录下来，进行分析总结，去其糟粕，取其精华，进一步提高和充实自己的技术技能和实践经验，为电气工程事业做出更大贡献。

（21）在工程现场或在从事与工程相关的工作时，所有的行为或操作要围绕一个核心，这个核心就是对工程有利、有益，杜绝一切对工程有害无益的行为和操作，并能够及时纠正他人的违规操作、损害工程行为及一切人为的、自然的对工程有害无益的事物。

（22）在工作过程中、不怕困难、不怕难题、不怕自然原因带来的障碍，专心致志、细心精致、细处着手、坚持不懈，直到解决完成。

（23）在工作过程中，永远把质量、安全、进度、投资、环保、低碳放在首位，把个人得失放在第二位。做到质量在我心中，安全在我心中。

（24）在工作过程中，做到互相学习、互相帮助、精诚团结、目标一致，人人都是质检员，做到相互尊重、爱护、体谅、平等。

（25）在实践中学习，提高技术技能水平，磨炼职业道德修养，做一名“德艺双馨”的电气工作人员。

电气工作人员职业道德行为常识只是一个衡量电气工作人员职业道德和行为的准则，大家可以在实践中体会。同时一个良好的职业道德和行为也不是、也不可能在一时一事上体现出来，而是在长期的工作实践中，通过各种事态和反复思考、锤炼而渐渐形成的。

本书中，我们将详细地讲述电气工程、自动化工程中的实用技术技能，这是电气工作人员必须具备的，也是在电气工程领域取得成绩的基本保证。同时，作为一名优秀的电气工作人员必须具备相应的职业道德，这是保障在电气工程领域取得成就的最重要的基本条件。只有这两个条件同时具备后，才能取得更大的成功，确保工程质量、安全运行。有关职业道德详尽内容，敬请读者参阅《电气工作人员职业道德修养概论》一书。

六、质量和安全是电气工程的灵魂

质量和安全是一个永恒的主题，是电气工程的灵魂，前述五个内容都是围绕着这个主题，同时在后续章节中要详细讲述保证工程质量和安全的技术技能。其中，安全有两方面的内容，一是电气工程本身的安全性，再就是工程实施过程的安全性。同样质量也有两方面的内容，工程质量保证了，也就保证了工程在今后运行中的安全性。可以看出是一对孪生兄弟，缺一不可的。

我们每项工程都应具备前述六大条件，施工人员具有相当的技术技能并有崇高的职业道德；严格遵守安装工艺程序施工，把测试和试验列为工程的重中之重；严格执行工程的标准、规范、规程，做到滴水不漏；把工程质量和安全作为永恒的主题，每个施工人员都能做到质量在我手中，安全在我心中，电气工程

就一定会具有先进性、稳定性、可靠性、灵敏性、安全性，就会安全可靠运行。我想，每个电气工作人员都会这样做的，让电气工程在国民经济、人民生活中发挥更大的作用，确保国家经济腾飞，立足世界民族之林。

最后，我们还要特别强调一点，随着国家经济的发展、技术的进步，新型的电气设备、自动化仪表及各种自动化装置将不断拥入市场，这样就需要我们电气工作人员要不断地学习，不断地洞察市场动态，及时地去掌握这些新技术、新设备、新工艺。只有这样才能跟上时代的步伐而立足于电气工程及自动化工程的领域。在学习的过程中，传统的设备、元件、材料及工艺技术是学习的基础，这里随便举一下例子，我们常见的手动胶盖刀开（俗称胶盖闸）在20世纪50年代乃至40年代就有了，而在今天一些工程中仍在运用，并且今后也不会被很快淘汰，这就是说，传统的技术是永远不能丢失的，也不要刻意地追求新的时髦的东西，一定要扎扎实实地去学习，掌握新的，又要把传统的、优异的保留下来。在学习的过程中，不要急于求成，要正确掌握任何复杂的新颖的设备技术都是由简单的设备技术及单元组成的这个千真万确的道理，要掌握它的最基础的单元和接口，难点就会不攻自破，由难变易，由复杂变简单。我们在自动化仪表一章和机工版《怎样阅读电气工程图》中都做了详尽的讲述，敬请参阅。

最后，要特别强调一点，每个电气工作人员一定要知道技术技能是从实践中点点滴滴积累起来的，没有基本技能和基本功是干不好电工这一行的。作为一名电气工作人员一定要养成良好的工作习惯，循序渐进，防微杜渐，做到天衣无缝、滴水不漏，疏忽大意、不负责任带来的是质量、安全上的隐患，也会给你的职业生涯带来负面的影响，也是电气工程中不允许的。

第二章　电工安装调试基本技术技能

第一节　常用工具的使用

电工手头常用的工具有钳子、旋具、各种扳手、电工刀、锤子、錾子、手动折弯器、钢锯、透墙管、水平尺、卷尺、脚扣、钢锉、手电钻或手摇钻、电烙铁、压钳、喷灯、射钉枪、电锤、丝锥及丝锥铰杠、管螺纹板牙和圆板牙扳手、电线管螺纹铰板及扳手、水煤气管螺纹铰板及板牙、螺栓取出器等，其使用方法及注意事项见表 2-1。

常用工具使用时要特别注意正确选用工具的规格，其规格的选用是由被操作件的规格决定的。当工具与被操作件的规格不匹配或不对应时，往往会给被操作件带来机械损伤。有时这些机械损伤是内伤，当时不会被发现，直至投入运行使用后，才会造成故障。因此，在选用工具时，其规格一般不得大于被操作件规格一个等级。

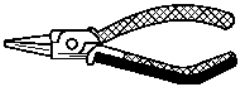
第二节　导线连接工艺及要求

导线的连接分导线与导线、导线与设备元件、导线与电缆、电缆与电缆、电缆与设备元件的连接。导线的连接与导线的材质、截面大小、敷设方式、电压等级、连接部位、结构形式、导线型号等条件有关。

一、导线连接的总体要求

(1)导线的连接必须符合电气装置安装工程施

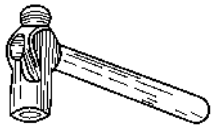
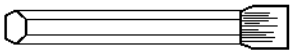
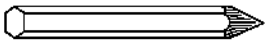
表 2-1　电工手头常用的工具正确使用方法及注意事项

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
 绝缘柄(带旁刃口)	钢丝钳 (电工钳)	160mm、200mm 两种，其中 200mm 用于剪断 16mm^2 及以下的导线，160mm 用于剪断 6mm^2 及以下的导线。另外其侧口可剪断钢丝，钳嘴可弯曲导线，齿口可固定元件	1. 拇指与四指握住钳柄，其中小指与另三指卡住另一钳柄，可使钳嘴自由张开、闭合。拇指与四指共同用力时，可使刀口紧闭剪断导线或固定元件 2. 用拇指与四指握住钳柄，可用于连接导线时敲打连接部位，使之整形 3. 钳嘴叼住导线可使导线弯成一定形状或固定螺母 4. 制作多股镀锌铁丝拉线时，可用刀口轻咬铁丝缠绕	1. 电工钳必须有绝缘手柄，且不得破损 2. 转轴处应涂点少许机油，使之活动自如 3. 齿口处不得用于紧固螺母，以免螺母镀层受损而生锈、起刺 4. 除连接导线外，不得当做锤子使用 5. 剪断已运行中的线路时，不得同时剪断相线和零线或相线与相线两根线 6. 带电作业时钳子只适用于低压线路 7. 使用剥线钳时，应量好剥切尺寸，插入的剥线口应与导线的直径相应 8. 钢丝钳及其他电工工具一般不得借给他人使用，以免损坏后再使用时触电或发生意外
圆嘴钳 	圆嘴钳	160mm，有 2 个长圆锥形钳口，主要用于单股导线煨成圆圈以便与元件、设备连接	1. 握柄方法与克丝钳相同 2. 将导线外层绝缘剥去，长度略大于煨圆的圆周即可。将钳圆锥形钳嘴张开并绞住导线，一手握线，一手转动钳柄，即可煨成圆形接线端子环	

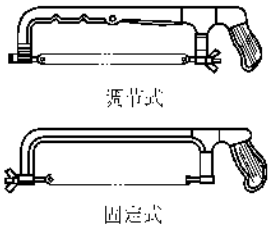
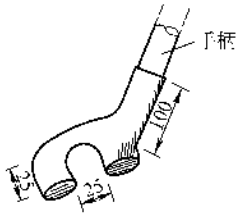
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	自动剥线钳	170mm，主要用于 $4mm^2$ 及以下单股或多股导线端头绝缘层的剥切	1. 握柄方法与钢丝钳相同 2. 一手握住钳柄，另一手将带绝缘层的导线插入相应的剥线口中，卡好尺寸后用力一握手柄，即可把插入部分的绝缘层割断自动去掉，并不损伤导线	同上
十字槽螺钉旋具 一字槽螺钉旋具	螺钉旋具（改锥）	分十字槽和一字槽两种，主要用于螺钉的拧紧或松开，规格有多种	1. 选择与螺钉顶槽相同且大小规格相应的螺钉旋具 2. 用手握紧螺钉旋具手柄，插入螺钉顶槽并与螺钉成一垂线，用力顶住螺钉，顺时针转动手柄即拧紧，逆时针转动即松开	1. 电工必须使用带绝缘手柄的螺钉旋具 2. 紧握手柄和用力顶住螺钉、转动手柄三者同时用力，否则会损坏螺钉 3. 握手柄时不得触及螺钉旋具的金属部分，以养成良好的握柄习惯，避免带电作业时触电 4. 在木制品上固定元件时，应先用锥子在木品上扎眼，再用螺钉旋具拧紧螺钉，不得将螺钉打入木制品后再用螺钉旋具拧紧 5. 除拧动螺钉外不得作他用
活扳手 双头呆扳手 梅花扳手 乙字型 扁梗型 矮颈型	扳手	分活扳手、梅花扳手、套筒（管）扳手、呆扳手、扭力扳手，规格多种 主要用于六角螺母的拧紧或松开	1. 选择与螺母规格相同类别的扳手或调节活扳手的蜗轮，使扳口适合螺母规格 2. 顺时针转动手柄即拧紧，逆时针转动即松开 3. 使用套筒（管）扳手时，同时应选择相应的手柄 4. 对反扣的螺母要按 2 中相反方向使用 5. 小螺母手柄握点向前，大螺母手柄握点向后	1. 使用扳手时，严禁带电操作 2. 任何时候不得将扳手当做锤子使用 3. 使用活扳手时应随时调节扳口，以免螺母脱角打滑，不得用力太猛 4. 活扳手不得反用，也不得用套管方式加长手柄施力使用
	电工刀	分大号、小号两种 主要用来剥切导线绝缘层，剥切电缆麻护层，切割塑料、木制品线槽	1. 剥切导线绝缘层时，不得顺圆周切割、应使刀片与导线成一角度，斜向剥切，不得伤及导线，刀口向外 2. 剥切麻护层时刀口应向外 3. 切割塑料、木制品线槽时应使用刀尖	1. 电工刀第一次使用前应开刃 2. 电工刀用完后应折回刀鞘 3. 电工刀禁止带电使用 4. 电工刀不得用于敲打

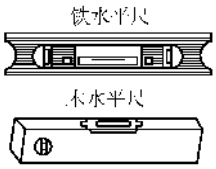
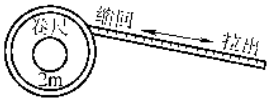
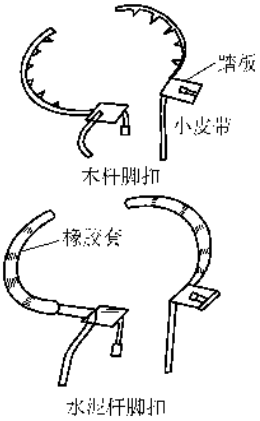
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	锤子	分大、中、小号三种 主要用来敲打构件或器件，使之变形	1. 使用锤子时应用手握住手柄的末端 2. 敲打时应使锤头的平面整体与构件接触 3. 用锤子敲击錾子使构件、建筑物变形或凿洞	1. 使用前应检查锤头是否松动 2. 敲打时应眼看构件或建筑物的受力点
 扁錾  尖錾	錾子 （扁铲）	分钢錾和混凝土錾两种 按形态有尖錾、扁錾、长錾、短錾等 主要用于金属件切削或在混凝土、砖结构上开孔、开槽，其中钢錾子及金属构件切削属钳工操作	1. 錾子一般应与锤子配合使用，一手握錾，一手握锤 2. 在墙体上开錾时，如被錾位置较高，应站凳子将被錾位置调整到与头的中部对齐，如较低应坐下或蹲下且被錾位置应与头的中部对齐，如太低时（如 300mm 的插座孔），则应背对墙体弯腰后腚部紧贴墙体，使被錾位置位于持锤侧，然后低头操作，另手从膝盖前握錾置于被錾处 3. 开錾时錾子应与墙面垂直，锤子打击錾子端部且应整个锤头面与之撞击。初学者打击速度应慢一点，眼应看与墙接触部位，移动錾子的位置时其距离应小一点，一般打击 1 ~ 5 次可移动一下。打击次数按坚硬程度决定，较松软时 1 ~ 2 次，较坚硬时 4 ~ 5 次，凭感觉调整 4. 在地面上开錾时，一般应蹲下操作，并按上述要点进行 5. 使用前应先在开錾部位准确画出被錾位置	1. 用錾子仅是一种补救方法 2. 使用錾子时应戴护目镜，握錾子的手应戴手套，且不得握得太紧，顶部应露出 20 ~ 30mm 3. 錾子的顶部起飞刺较多时应及时修整，一般可将顶部锯掉 5 ~ 10mm 4. 详见《新标准电工安全技术 365 问》一书 5. 随时用錾子本身将洞或槽内击落物扫出

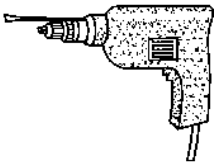
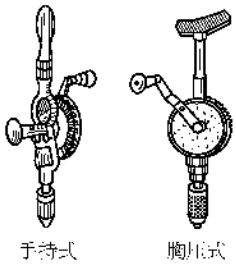
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	钢锯	对电工来讲，钢锯主要用来锯削 25mm^2 及以上的导线、电缆、管子、角钢、槽钢、钢板等，也可锯削木制品	1. 握锯应一手握锯柄，另一手轻扶锯弓前端 2. 先将被锯物紧固在台钳或压力钳上，并画线 3. 先轻轻在线上前后拉动锯弓，使锯痕渐深 4. 锯柄前推后拉、另手稍加压力，要有节奏，直到锯完	1. 握柄扶锯要轻，并检查有无不妥 2. 锯条的齿的方向应向前，锯条不宜太紧 3. 用力不宜过猛，速度不宜太快、压力不宜太大 4. 锯条的行程越长越好 5. 当锯条被卡住时，不得用力拉动手柄，应轻缓动作，以免锯条拉断伤人，两人操作时要配合默契
	手动 折弯器 （管鼻子）	分大小号两种，大号适用于 ϕ25mm 的管，小号适用于 ϕ20mm 及以下的管，主要用于管子的煨弯，便于现场操作	1. 丈量管子尺寸，一般弯曲半径按管子外径的 6 倍计算 2. 在管子的一端长为 6 倍外径加管口高度处划一线，此点为管子开始弯曲处 3. 用折弯器卡住管子，折弯器前端位于画线处 4. 用脚踩住管子，用力向后扳动折弯器手柄，另一人在前面将管子抬起，并与折弯器动作同步 5. 每弯曲一次，将折弯器的前端向前移动一个管子外径，再重复上述动作，直到成 90° 6. 丈量并修试	1. 正确选用折弯器并检查有无不妥 2. 前后人的用力中心线与管子前后及折弯器中心轴线应成一垂面 3. 每次弯曲不宜太大，过弯后不易调整，第一次成形后不宜成为 90°，应大于 90°，这样便于调整，随弯随测量角度 4. 用力不得太猛以免过弯 5. 作业地点应较平整、较宽阔 6. 弯成后应使管的两直角边位于同一垂面上
	透墙管	用优质钢管自制，前端为锯齿状，不宜为斜口形 主要用于砖墙上打孔	与錾子使用方法基本相同 每打击 1 或 2 次应转动透墙管一次，并随时将击落物带出	与錾子基本相同 透墙管不好用或出现裂纹、毛刺时应随时更换，锯齿口应用钢锯锯削而成

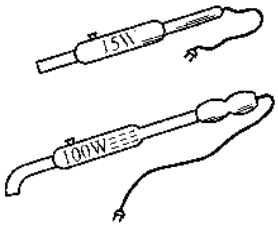
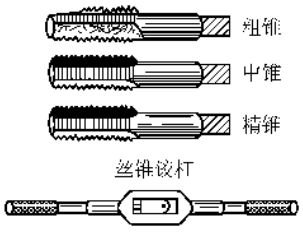
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	水平尺	按其长度分有很多规格，如300mm、600mm、1000mm 等，主要用来测量装置的水平度	1. 清理被测物的表面，应洁净平整 2. 将水平尺纵向置于被测物上，观察气泡是否居中 3. 将水平尺横向置于被测物上，观察气泡是否居中 4. 气泡偏斜方为高处，另一侧为低处	1. 检查水平尺有无破损、玻璃泡有无不妥，底面是否平整无毛刺 2. 选择与被测物几何尺寸相应的水平尺
	卷尺	按长度分有1000mm、2000mm、3000mm、5000mm、10000mm 等多种 主要用来测量设备、材料、空间及现场的几何尺寸	1. 清理被测物表面，应洁净 2. 将尺子放开置于被测物上，端头对齐卡住，即可在另一端读数	1. 检查尺子有无破损、断裂、刻度模糊 2. 两人操作要配合默契 3. 读数时要精力集中并随时记录
	脚扣	分大、中、小三种规格 主要用于登杆和杆上作业支点	1. 选择与杆径相应规格的脚扣，并检查有无不妥 2. 系好安全带，安全带应系于腚部略上一点，不宜系于腰部 3. 将左脚扣套于杆根部，另脚套入右脚扣，当左脚插入左脚扣时并用力一蹬，且双手抱杆即登上一步 4. 左腿蹬直，右腿弯曲向上并用脚套入杆体用力一蹬，同时左腿带动左脚扣离开杆体随同向上弯曲且双手抱杆上移又登上一步，左脚再次套入杆体，重复上述动作即可登到作业处，且两脚扣同时卡住杆体 5. 右手松开杆体，左手紧抱杆体，右手持安全带腰绳抱杆并从杆后交于左手，右手松开杆体从左侧挂于安全带左侧环内 6. 两脚扣调整于同一杆体位置，两腿伸直，腚部后移，伸直腰绳，双手松开杆体即可作业	1. 脚扣必须与安全带配合使用 2. 任何时候不得抛掷脚扣，以免变形 3. 登杆时腚部应尽力离开杆体，一腿蹬直，另一腿弯曲向上套入杆体，要协调一致，双手分别随脚扣上移而上移，左手与右脚扣、右手与左脚扣上移 4. 要调整好腰绳的长度，应与操作者身高、体重相应，腰绳在杆体上的位置必须略高于腚部安全带位置 5. 详见《新标准电工安全技术 365 问》一书

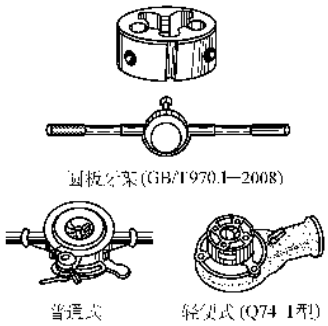
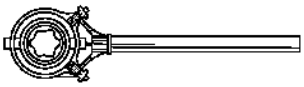
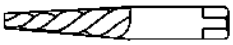
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	钢锉	钢锉有平板、半圆、圆形、三角、方形之分，又有长短锉齿粗细之分，规格多样 主要用于金属件的打磨、找平、光滑修整等	1. 选择与工件相应的钢锉，直线选平板锉，弧线选半圆锉 2. 握锉应一手握柄，另手轻扶锉头，锉削时应稍加压力 3. 先将被锉物紧固在台钳上，较大工件可不必紧固 4. 将锉置于被锉削面，身体前倾，两脚分开一前一后，用力均匀推动手柄，另手稍加压力，直到将棱角锉平	1. 电工作业中被锉削的工件主要有：被锯削管口内外的棱角、被锯削的角钢或做成支架的棱角、硬母线的棱角、需镀锡处的平面、箱柜的棱角等 2. 锉削一般以不尖锐锋利、光滑平整为止
	手电钻	主要用在设备或元件上开孔，也可在混凝土上、砖墙上、木制品上开孔，在混凝土、砖墙上开孔必须配合金钻头且规格不大于 ϕ12mm	1. 根据工件选择相应的钻头 2. 划出开孔位置，先用冲子在金属板上冲一小坑 3. 上好钻头插上电源，先空试一下，然后正式开钻 4. 将枪身和钻头垂直于工件面且置于小坑上方 2～3mm 处，手握枪柄缓慢触击小坑，并用力顶住小坑，开动电源，渐渐加力直到钻透 5. 钻透后不要关掉电源，应慢慢退回，当钻头走出工件外再关掉电源	1. 使用手电钻必须遵守安全用电规程，详见《新标准电工安全技术 365 问》一书 2. 使用手电钻必须与钻头配合使用 3. 根据工件的厚度施加压力 4. 不得提拉电源线移动电钻 5. 当钻不动时应检查钻头，不得勉强用力 6. 电工应学会磨钻头
	手摇钻	同上，主要用于木制品上开孔	基本与手电钻相同，因转速较慢，因此使用时要加大压力	同上 2、3、5、6 主要用于无电或电源使用不方便的地方

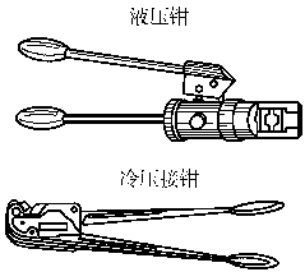
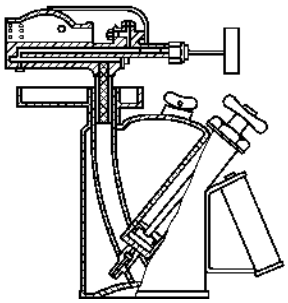
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	电烙铁	有15W、25W、50W、75W、100W、300W、500W 不同规格 主要用于镀锡、锡钎焊等	1. 根据工件的大小选择不同规格的烙铁 2. 先用砂纸、钢锉将被焊（镀）工件的位置打磨干净，除掉污物、油污并露出金属光泽，然后涂上钎焊剂 3. 插上电源使烙铁预热5～10min后，先用烙铁头在松香盒内擦拭，并用焊丝在头上涂抹，使其叼住锡钎料，上述操作不得关掉电源 4. 将烙铁头移在被焊工件待焊处，先稍停止30～60s预热工件，然后来回移头烙铁并添加焊丝，即可焊接或镀锡，最后关掉电源	1. 镀锡和锡钎焊仅适用于铜、铁件 2. 焊接过程中停顿时应将烙铁放在不便传热的支架上 3. 烙铁应轻拿轻放，不得敲击 4. 烙铁头应经常擦拭，必要时应用锉刀或砂布清除污物，否则影响使用 5. 操作时不要乱甩，避免锡珠飞溅
	射钉枪	主要用于建筑物上固定元件	1. 根据被固定件的质量、建筑物结构选择子弹、射钉 2. 射钉枪装弹、装钉要按产品说明书进行 3. 射钉枪应垂直于工作面后才能扣动扳机 4. 射钉前必须按实物确定钉的位置	1. 射钉枪仅用于补救措施上 2. 操作者应戴线手套、耳塞和防护镜 3. 不得在凸凹不平的物体上射钉 4. 详见《新标准电工安全技术365问》一书
	丝锥及丝锥铰杠	规格多种 主要用于螺母或机件上孔的内螺纹加工 电工一般用于修整螺母或机件上孔的内螺纹加工	1. 丝锥应与丝锥铰杠配合使用、修整螺纹时也可用扳手代替丝锥铰杠，但必须规格对应 2. 选择与加工螺纹孔径相应或与被修整螺母、内螺纹相同的丝锥，同时选择铰杠 3. 将丝锥垂直置入孔内或内螺纹里，并用铰杠套好 4. 顺时针转动铰杠并施加压力，使丝锥攻入且转动一周时应退回半周，转动时可加少许机油 5. 套完后，逆时针转动将丝锥退出，并用相应螺栓试拧	1. 转动铰杠时不宜太快太猛，匀速为宜 2. 加工内螺纹时，对较小的工件必须固定在台钳上 3. 攻螺纹前应确定工件的底孔直径，然后用手电钻先打孔，孔径可用下式确定 $D = d - t$ 式中，D 为孔径，d 为丝锥螺纹大径，t 为螺距

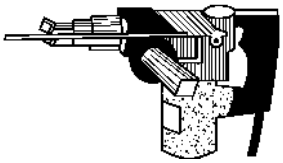
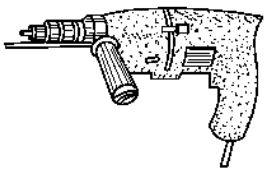
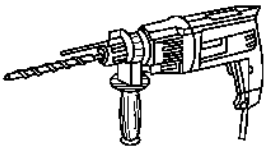
（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	管螺纹板牙及圆板牙架	规格多种 主要用于铰制管子及附件的外管螺纹，以便连接管子	1. 板牙应与圆板牙架配合使用 2. 选择与管子外径相应的板牙并置于圆板牙架上卡好 3. 将管子用压力钳子固定好，并将管头毛刺去掉 4. 将板牙套入管头，管子中心与板牙中心面垂直 5. 顺时针转动扳手并加压力调整板牙进量，使板牙扣套入管子且转动一周时应退回半周，并加少许机油 6. 套完后，逆时针转动将板牙退出，并用管箍试拧，否则应修整	1. 转动扳手不宜太快太猛，应匀速 2. 外螺纹加工时工件必须固定在压力钳子上 3. 加工前应正确选用板牙，工件外径可用下式确定 $D = d - 0.13t$ 式中，D 为管外径，d 为螺纹大径，t 为螺距
	电线管螺纹铰板及板牙（带丝）	SHD—25 SHD—50 手工铰制电线管上的外螺纹，以便连接管子	与管螺纹板牙及圆板牙架操作基本相同，要及时调整板牙进量 水煤气管螺纹铰板及板牙与之基本相同	同上
	螺栓取出器（断丝取出器）	1#～6# 主要用于取出断在设备内的六角头螺栓、双头螺柱、内六角螺钉	1. 选用一适当规格的麻花钻头，见右表 2. 在断的螺栓断面中心钻一小孔 3. 将取出器插入小孔之中 4. 用活扳手夹住取出器方杆头逆时针转动，直到取出为止	选用参考表（单位：mm） 规格 1# 2# 螺栓 M4～M6 M6～M8 钻头 2 3 规格 3# 4# 螺栓 M8～M10 M10～M14 钻头 4 6.5 规格 5# 6# 螺栓 M14～M18 M18～M24 钻头 7 10

（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	压钳	压钳的品种很多，主要有机械压钳及液压钳两种 主要用于导线或电缆的连接上	1. 清除导线连接部位的污垢，用汽油洗净，再抹上中性凡士林油，线端应用 $\phi1\sim\phi2$mm 镀锌铁线绑扎 10mm 2. 选用与导线规格相应的连接管，并检查其有无不妥；然后用汽油洗净，并划好压点位置 3. 将导线和衬垫插入连接管内，衬垫应于两线之间，导线各露出管口 20mm 4. 按导线规格选择合适的压模装在钳口上，并将插入导线的连接管放在压模口内起动压钳，按规定的顺序和标定位置压挤导线，压后应停留 30s，直到压完 5. 清除飞边、毛刺，然后在连接管处抹防锈漆	1. 压模分铝绞线、铜绞线和钢芯铝绞线三种，规格与导线对应，要选择正确 2. 压好第一模后应检查凹深，合格后再压 3. 不合格时要锯断重新开始 4. 管口部位的导线不得有半点机械损伤；连接管压好后不得有半点机械损伤 5. 执行标准号：GB50173—1992
	喷灯	分大小号两种，又分汽油、煤油两种 主要用于现场加热、搪锡，电缆包层焊地线时加热电缆包层	1. 检查外观有无不妥，并加油到 2/3 后拧紧加油孔螺栓 2. 在预热盘中倒少量油并用棉丝蘸油后置于盘中点火预热 3min 3. 打气 5 次左右，松开放油调节阀喷油雾即点火，再次打气，目测火焰到正常 4. 加热操作，如使用中火焰渐弱则再次打气 5. 用完后先关紧放油调节阀，火熄后再缓慢松开加油孔螺栓放气 6. 将外部油污擦净，以备再次使用	1. 任何时候喷灯均不得漏油 2. 必须按原说明加原来的油，不得混装 3. 使用中油位不得低于 1/4，使用中加油时必须先熄灭后再松开加油孔螺栓放气，排空后加油 4. 打气时不可使压力太高，有小压力表的指针不得越过红线，小压力表应定期校验 5. 加油时不得有明火，油料保管要严禁明火，并有灭火装置

（续）

外形图	工具名称	规格及用途	使用方法	要求及注意事项
	电锤	$\phi16\sim\phi50$mm 与硬质合金钻头配合在建筑物上钻孔，开槽	1. 检查外观有无破损和不妥，认定电源电压 2. 上好选定的钻头，并空试正常 3. 双手持锤使钻头垂直于建筑物并接通电源，用力适中推进电锤打孔直到深度达到要求 4. 拉出电锤后再关掉电源	基本同手电钻
冲击电钻  电动锤钻 	冲击电钻	$\phi10\sim\phi38$mm 1. 配普通麻花钻头，在旋转状态则与电钻相同 2. 配硬质合金钻头，并调至旋转冲击状态与电锤相同	1. 见手电钻一栏 2. 见电锤一栏	基本同手电钻

工及验收规范的要求，标准号 GB 50303—2002、GB 50173—1992。当无特殊要求或规定时，导线的芯线应采用焊接、压板压接或套管连接；低压系统、电流较小时，可采用绞接、缠绕连接。

（2）熔焊连接的焊缝不应有凹陷、夹渣、断股、裂纹及根部未焊合的缺陷。焊缝的外形尺寸应符合焊接工艺要求，焊接后应清除残余焊剂和焊渣。

（3）锡钎焊连接的焊缝应饱满，表面光滑；焊剂应无腐蚀性，焊后应清除残余焊剂。

（4）压板或其他专用夹具，应与导线线芯规格相匹配；紧固件应拧紧到位，防松装置齐全。

（5）套管连接器件和压模等应与导线线芯相匹配；压接深度、压口数量、压接长度应符合表 2-2（对应于图 2-1）的要求。

表 2-2　钳压压口数及压后尺寸

导线型号		压口数	压后尺寸 D/mm	钳压部位尺寸/mm		
				a_1	a_2	a_3
铝绞线	LJ—16	6	10.5	28	20	34
	LJ—25	6	12.5	32	20	36
	LJ—35	6	14.0	36	25	43
	LJ—50	8	16.5	40	25	45
	LJ—70	8	19.5	44	28	50
	LJ—95	10	23.0	48	32	56
	LJ—120	10	26.0	52	33	59
	LJ—150	10	30.0	56	34	62
	LJ—185	10	33.5	60	35	65

（续）

导线型号			压口数	压后尺寸 D/mm	钳压部位尺寸/mm		
					a_1	a_2	a_3
钢芯铝绞线	LGJ-16/3		12	12.5	28	14	28
	LGJ-25/4		14	14.5	32	15	31
	LGJ-35/6		14	17.5	34	42.5	93.5
	LGJ-50/8		16	20.5	38	48.5	105.5
	LGJ-70/10		16	25.0	46	54.5	123.5
	JT① -95/15	LGJ-95/15	20	29.0	54	61.5	142.5
	JT-95/20	LGJ-95/20	20	29.0	54	61.5	142.5
	JT-120/20	LGJ-120/20	24	33.0	62	67.5	160.5
	JT-150/20	LGJ-150/20	24	33.6	64	70.0	166.0
	JT-150/25	LGJ-150/25	24	36.0	64	70.0	166.0
	JT-185/25	LGJ-185/25	26	39.0	66	74.5	173.5
	JT-185/30	LGJ-185/30	26	39.0	66	74.5	173.5
	JT-240/30	LGJ-240/30	14×2	43.0	62	68.5	161.5
	JT-240/40	LGJ-240/40	14×2	43.0	62	68.5	161.5

① 注 JT-□/□为与导线配套的套管型号。

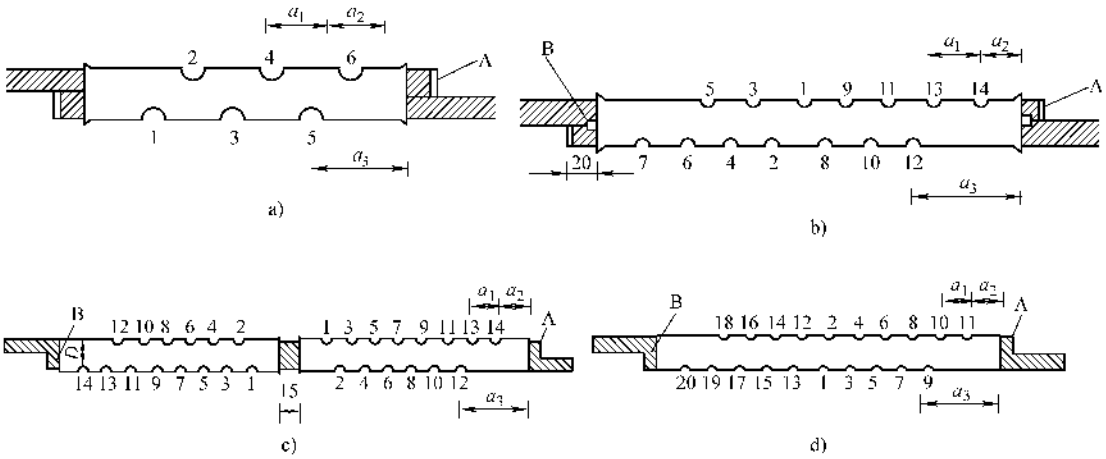


图 2-1 钳压管连接图

a）LJ-35 铝绞线 b）LGJ-35 钢芯铝绞线

c）LGJ-240/40 钢芯铝绞线 d）LGJ-95/20 钢芯铝绞线

1、2、3……表示压接操作顺序

A—绑线 B—垫片

（6）剖切导线绝缘层时，不得损伤线芯；线芯连接后，绝缘带应包缠均匀紧密，其绝缘强度不应低于导线原绝缘强度。在接线端子的根部与导线绝缘层间的空隙处，应用绝缘带包缠严密。

凡包扎绝缘带的接头，相与相、相与零线间应错开一定距离，以免发生相与相、相与零线间的短路。

（7）在配线的分支线连接处和架空线的分支线连接处，干线不应受到支线的横向拉力。

（8）架空线路中，不同材质、不同规格、不同绞制方向的导线严禁在档内连接。其他部位及低压配电线路中不同材质的导线不得直接连接，必须由过渡元件完成。

（9）10kV 及以下架空线路的导线当采用缠绕法连接时，连接部位的线股应缠绕良好、紧密，不应有断股、松股等缺陷。

（10）采用接续管连接的导线，连接后的握着力与原导线的保持计算拉断力比，接续管不小于95%，螺栓式耐张线夹不小于 90%，缠绕法不小于80%。

（11）任何形式的连接方法，导线连接后的电阻不得大于与所接线长度相同长度导线的电阻。

（12）导线与设备、元件、器具的连接应符合下列要求：

1）截面积为 $10mm^2$ 及以下的单股铜芯线、单股铝芯线可直接与设备、元件、器具的端子连接，其中铜芯线应先搪锡再连接。

2）截面积为 $2.5mm^2$ 及以下的多股铜芯线的线芯应先拧紧且搪锡或压接端子后再与设备、元件、器具的端子连接。

3）多股铝芯线和截面积大于 $2.5mm^2$ 的多股铜芯线的终端，除设备自带插接式端子外，应焊接或压接端子后，再与设备、元件、器具的端子连接。

（13）铜质导线采用绞接或缠绕接法时，必须先经搪锡或镀锡处理后再连接，连接后再进行蘸锡处理。其中单股与单股、单股与软铜线的连接可先进行除去氧化膜的处理，连接后再蘸锡。

（14）以任何形式连接后，都应把毛刺或不妥处修理合适并符合要求。

二、导线连接的工艺方法

1. 铜质导线的锡处理

（1）打磨氧化膜　单股可用砂纸直接去除氧化膜；多股可先散开并用钳子叼住端头拉直后再用砂纸除去氧化膜；软导线可先将导线拧紧，拧紧时应戴干净手套或用钳子以免污染线芯，然后再用砂纸除去氧化膜。打磨的长度应与接头或终端的长度相应，一般应稍长一点。

（2）打磨后应立即用干净白布擦去铜屑并在打磨处涂上锡钎焊的钎焊剂，钎焊剂应选用中性无腐蚀性的钎焊剂。

（3）搪锡或镀锡、蘸锡

1）用电烙铁蘸上锡在涂钎焊剂处来回摩擦即可上锡，上锡后用干净棉丝将污物、油迹擦掉。

2）将锡置于锡锅内并加热熔化，然后将打磨好且有钎焊剂的线芯插入锡锅，稍后即可拔出并用干净棉丝除去污物、油迹，并放出光泽。

（4）连接好后，稍用砂纸打磨，涂钎焊剂后再次插入锡锅蘸锡，并除去污物、油迹。

（5）作业时应注意锡溅、防烫和防火。

2. 导线的绞接和缠绕连接

（1）单芯导线一字形接头

1）将被连接的两导线的绝缘皮削掉，其长度一般为 100～150mm，截面小的取 100mm，截面大的取150mm。

2）将两导线线芯 2/3 长度处按顺时针方向绞在一起并用钳子紧紧叼住，绞合圈数为 2～3 圈。

3）一手握钳，另一手将一线芯按顺时方向紧密缠绕在另一线芯上，缠绕的方向应与另一线芯垂直，圈数为 6～10 圈，截面小的取 6 圈，大的取 10 圈，然后把多余部分剪掉，并用钳子将其端头与另一线芯掐住挤紧，不得留有毛刺。

4）用同样方法把另一线芯缠绕好，圈数相同，将接头修整平直，然后用绝缘带将其按后圈压前圈半个带宽、正反各包扎一次，包扎的始末应压住原绝缘皮一个带宽，如图 2-2 所示。

（2）单股导线 T 形接头

1）将总线分支点的绝缘皮削掉 50mm，露出线芯，将支线端部的绝缘皮削掉 100～150mm，选取同上。

2）将支线线芯在总线上线芯的一端打一个结，并用钳子叼住结处，再将支线线芯按顺时针方向紧紧缠在总线线芯处，一般为 6～10 圈，选取同上，然后把多余部分剪掉，把端头用钳子掐紧，修整后不得留有毛刺。

3）包扎同上，如图 2-3 所示。单芯导线的十字连接及较大截面的缠绕连接也可参见图 2-3。

（3）单股导线倒人字接头（跪头）

1）将被连接的几根导线的绝缘皮削掉，其中一根为 150mm，其他同上。

2）将剥削后的几根导线从线芯处对齐，然后用最长的一根线芯将其余几根紧紧缠在一起，圈数为 6～10 圈，选取同上，多余部分剪断掐紧。

3）被缠绕的几根从距最后一圈 5mm 处剪断，也可翻起几根并与缠绕圈掐紧。

4）包扎同上，如图2-4所示。

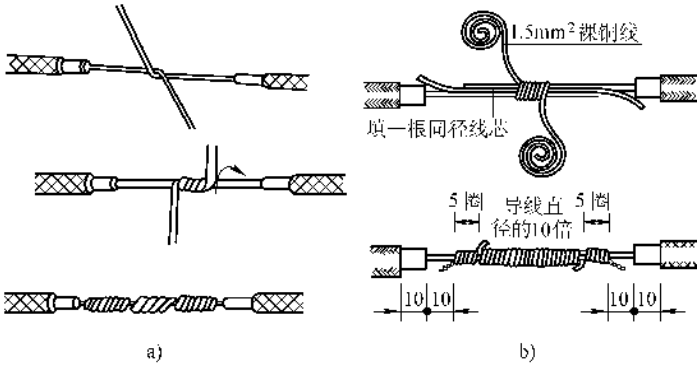


图 2-2 单芯导线的一字形连接

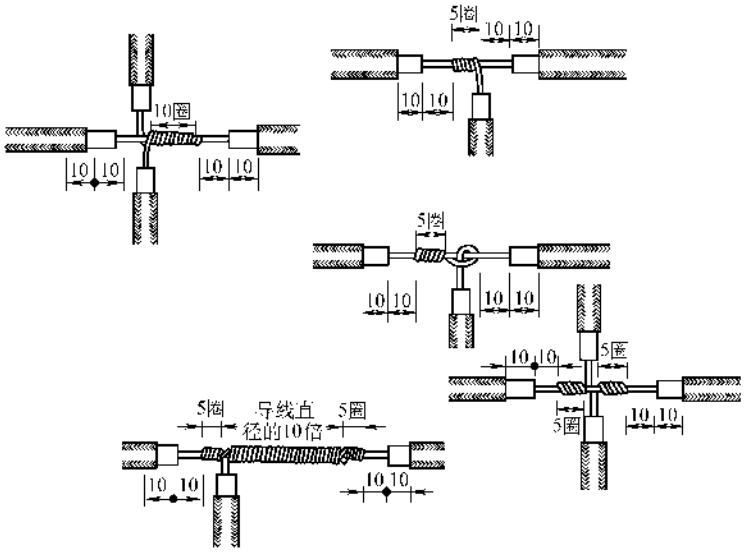


图 2-3 单芯导线的 T 形、十字形连接

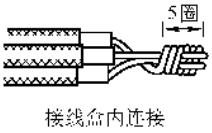


图 2-4 单芯导线的倒人字连接

3. 导线的缠绕连接

（1）多股导线的一字形接头

1）绝缘导线应先将绝缘层削掉，然后把两根导线的端头散开成伞状，散开长度按截面定，一般为 200～400mm。同时用钳子叼住撑直每股导线。

2）两端头交叉在一起后两边合拢并用钳子敲打，使其紧紧结合在一起且根根理顺，不得交叉。

3）在交叉中点用同质独股裸线紧密缠绕 50mm，其头部和尾部分别与两边合拢的线芯紧密结合，并从结合处挑起合拢线芯的一根或两根线芯将其压住，然后用这根挑起的线芯紧密地缠绕合拢的线芯，缠绕圈与合拢线芯的中心轴线垂直，当这根挑起的线芯即将缠完时，其尾部与合拢线芯紧密结合，并从结合处再挑起一根或两根线芯将其压住，然后用其去缠绕，重复上述动作以达到连接长度。

4）最后用一根线芯缠绕线芯的尾部约 50mm，然后与合拢的线芯中的一根紧紧地绞在一起约 30～40mm，即小辫收尾，并将多余部分剪掉，然后用钳子将其敲打与导线并在一起。

5）修整接头，将其理直包扎绝缘带。

6）上述方法叫做自缠法，如图 2-5 所示，也可从交叉中心另用同质单股线芯缠绕，最后用小辫收尾。

（2）多股导线的T形接头

1）绝缘导线应先将绝缘层削掉200～400mm并撑直，再将分支点的绝缘层削掉约200～250mm，选取同上。

2）将导线线芯分成两部分，并从原导线有绝缘部位分成T形，然后将其与分支点挨在一起。

3）从中点开始向两边分别用上述自缠法，将其与总线缠绕。小辫收尾。或者用同质单股线芯（线径应大于或等于多股线中每股的线径）绑线缠绕，先把绑线团成圈状，将端头伸直与挨在一起的线芯一端对齐，并将其合拢到中点部位或另一端，这时从这里拐一直角与合拢线芯垂直后紧紧缠绕，并将自身也一同缠绕在里面，线圈与之垂直，一直绕到末端，最后与自身的端头小辫收尾，这种方法叫做绑线法，如图2-6所示。

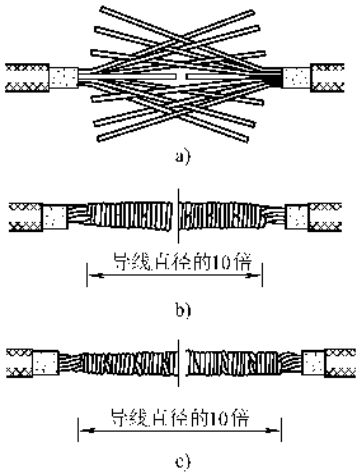


图2-5　多股导线的一字形缠绕连接

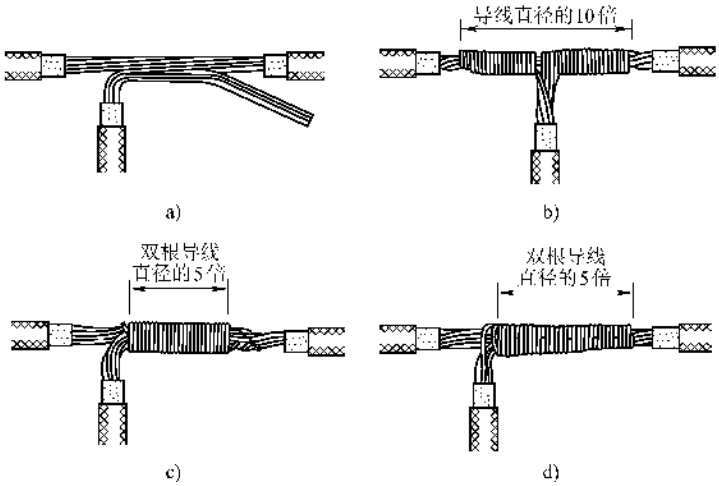


图2-6　多股导线的T形缠绕连接

4）修整接头，并理直后包绝缘带。

5）多股导线也可像单股线一样先打一个结，然后用自缠法或绑线法连接。

（3）多股导线的倒人字接头连接

1）绝缘导线的削剥同前，并将其散开撑直。

2）将每根撑直后的线芯并在一起理顺不得交叉，然后将几根导线撑直且并在一起的线芯合拢在一起，并将其用一手掐紧。

3）用自缠法将其缠绕、最后小辫收尾；或用绑线法缠绕绑扎，最后小辫收尾。

4）修整并包绝缘带，如图2-7所示。

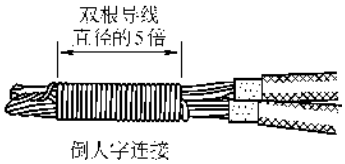


图2-7　多芯导线的倒人字缠绕连接

4. 导线的压板连接（并沟线夹连接）

（1）多股导线的一字形压板连接

1）选择与导线截面、材质相同的线夹，同时检查其外观有无裂纹、砂眼和不妥，检查其螺栓、平垫圈、弹簧垫圈、螺母，并试拧一次。

2）用钢丝刷除去线芯和线夹沟槽内的氧化物和污垢，并用汽油擦干净，然后涂上中性凡士林膏，同时用ϕ1～ϕ2mm镀锌铁线将线芯端头绑扎10mm，并清除毛刺。

3）将线端正反方向分别放入线夹的沟槽内，上下夹板夹好后用螺栓先稍紧一点，然后调整端头露出夹板的长度，一般为20～30mm，并按截面选择。

4）用扳手将螺母拧紧，以弹性垫圈拧平为准，

拧紧时几条螺栓应分别逐步拧紧，先拧两端的，后拧中间的，最后再分别拧半圈，如图 2-8 所示。

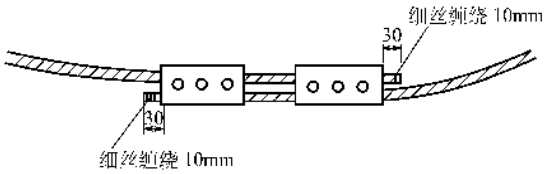


图 2-8　多芯导线的一字形压板连接

（2）多股导线的 T 形压板连接

1）选择、检查、除污、擦净、绑扎端头同前。

2）将导线直接置入线夹沟槽或在总线上打一个结后再置入沟槽，露出夹板长度同上。

3）拧紧螺母方法同上，如图 2-9 所示。

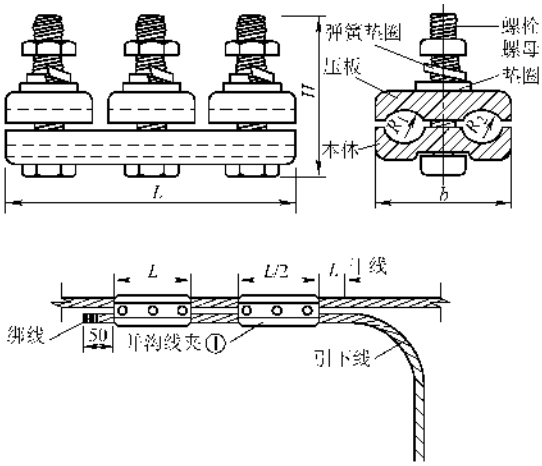


图 2-9　多芯导线的 T 形压板连接

（3）多股导线的倒人字压板连接

1）选择、检查、除污、擦净、绑扎同前。

2）将导线同相朝下置入线夹沟槽内，露出夹板长度同前。

3）拧紧螺母同前，如图 2-10 所示。

5. 导线的套管压接

（1）多股导线的一字形套管压接

1）详见表 2-1 压钳一栏。

2）压接后的形状如图 2-1 所示，有关数据见表 2-2。

（2）多股导线的倒人字套管压接

1）详见表 2-1 压钳一栏，所不同的是线端同向穿入套管。

2）压接的形状基本同图 2-10，数据见表 2-2。

6. 铜线和铝线的连接

（1）单股铜线和单股铝线连接时，铜线应先镀锡，然后用铝线在铜线上或在线径较大的导线上缠绕，一般为 6 ~ 10 圈，最后将铜线翻起与铝线缠绕圈

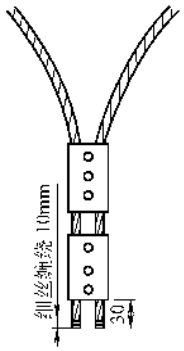


图 2-10　多股导线的倒人字压板连接

掐紧。这种方向只能用在 T 形和倒人字的接法中。

（2）多股铜线和多股铝线连接时，铜线应先镀锡，然后按其截面大小选择铜铝并沟线夹，按上述方法连接。同样，只能用在 T 形和倒人字的接法中。

7. 铜软线与硬单股导线的连接（铜软线指截面积为 2.5mm^2 及以下的铜线，硬单股导线指截面积为 6mm^2 及以下的单股导线）

（1）将铜软线的绝缘层削掉，削切长度一般按器具的电流选择，可选用 50 ~ 100mm，然后将其镀锡，如果与铜质硬单股导线连接，也应一同镀锡，其镀锡长度为 20 ~ 30mm。

（2）将铜软线紧紧地缠绕在硬单股导线上，缠绕前准备一节与软铜线截面相近的铜质单股导线且先镀锡，并将其与硬单股导线并在一起被铜软线缠绕，当缠到 20 ~ 30mm 时将铜软线与这节铜质单导线小辫绞紧收尾。

（3）如果是倒人字接头，还应把硬单股导线的末端翻起并与软铜线缠绕圈掐紧。

此种方法仅适用于 T 形或倒人字的、且电流小于 10A 以下的接头上。

双芯绝缘导线的连接应使接头错开并包扎绝缘布，如图 2-11 所示。

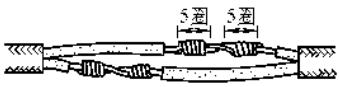


图 2-11　双芯绝缘导线的连接

8. 导线与硬母线的连接（见图 2-12）

（1）截面积为 10mm^2 及以下的单股导线（铜线应先镀锡）可按导线的截面选择螺钉（平垫圈、弹簧垫圈、螺母、螺杆全镀锌或铜），并按螺杆的直径将端头弯成顺时针的小圆圈，同时按螺杆的直径在母

线上打孔，然后用选定的螺钉固定。打孔时应避免铝/铜屑落到电气元件或设备上，导线与螺钉的对应关系是 $2.5mm^2/4mm$、$4mm^2/6mm$、$6mm^2/10mm$、$10mm^2/12mm$，分子指导线截面积，分母指螺钉直径。

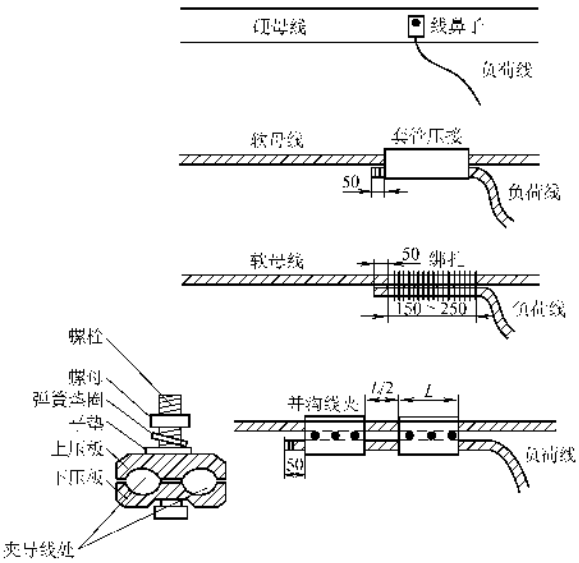


图 2-12　负荷线与母线的连接

（2）截面积为 $2.5mm^2$ 及以下的多股软铜线镀锡后可按（1）的方法与母线连接。上述若为铜母线开孔处也应镀锡。

（3）截面积大于 $10mm^2$ 以上的多股导线（铜线应先镀锡）可按截面积大小、母线材质选择线鼻子与母线或设备连接。线鼻子分铜质、铝质和铜铝过渡三种，分别适用于铜与铜质、铝与铝质、铜与铝或铝与铜质导线与母线或设备连接，使用时将处理好的线芯插入鼻子的连接管内再用压钳去压，方法与套管压接相同，一般压两个坑即可。

（4）导线与硬母线的连接不应使导线受到拉力。

9. 压线帽的使用方法

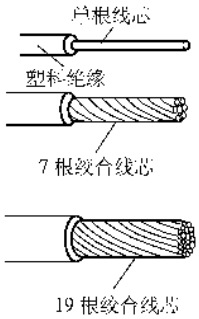
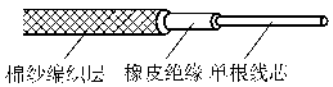
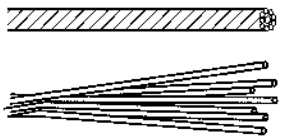
对于 $4mm^2$ 及以下的单股导线、$2.5mm^2$ 及以下的铜软线进倒人字形接头（跪头）时，可使用压线帽。铜导线使用压线帽时也应镀锡后进行。使用时先将导线剥去绝缘层，长度不超过压线帽的深度，根数与截面按表 6-1 选择，如连接根数不够则填充同径同质线芯，然后用专用的压线钳挤压线帽即可完成，可不必包扎绝缘带，如图 6-10 所示。

10. U 形卡的使用

如图 2-13 所示，紧固时不得使导线严重变形。

常用绝缘导线的结构和应用范围见表 2-3。

表 2-3　常用绝缘导线的结构和应用范围

结　构	型　号	名　称	用　途
	BV-70 BLV-70	聚氯乙烯绝缘铜芯线 聚氯乙烯绝缘铝芯线	用来作为交直流额定电压为 500V 以下的户内照明和动力线路的敷设导线，以及户外沿墙支架线路的架设导线
	BX BLX	铜芯橡皮线 铝芯橡皮线 （俗称皮线）	
	LJ LGJ	裸铝绞线 钢芯铝绞线	用来作为户外高低压架空线路的架设导线，其中 LGJ 应用于气象条件恶劣，或电杆档距大，或跨越重要区域，或电压较高等线路场合

（续）

结　构	型　号	名　称	用　途
塑料绝缘多根束绞线芯	BVR BLVR	聚氯乙烯绝缘铜芯软线 聚氯乙烯绝缘铝芯软线	适用于不作频繁活动的场合的电源连接线；但不能作为不固定的或处于活动场合的敷设导线
绞合线 平行线	RVB-70 （或 RFB） RVS-70 （或 RFS）	聚氯乙烯绝缘双根平行软线（丁腈聚氯乙烯复合绝缘） 聚氯乙烯绝缘双根绞合软线（丁腈聚氯乙烯复合绝缘）	用来作为交直流额定电压为250V 及以下的移动电具、吊灯的电源连接导线
棉纱编织层　橡皮绝缘　多根束绞线芯 棉纱层	BXS	棉纱编织橡皮绝缘双根绞合软线（俗称花线）	用来作为交直流额定电压为250V 及以下的电热移动电具（如小型电炉、电熨斗和电烙铁）的电源连接线导线
塑料绝缘 塑料护套　2根线芯	BVV-70 BLVV-70	聚氯乙烯绝缘和护套2根或3根铜芯护套线 聚氯乙烯绝缘和护套2根或3根铝芯护套线	用来作为交直流额定电压为500V 及以下的户内外照明和小容量动力线路的敷设导线
橡皮或塑料护套　橡胶或塑料绝缘 麻绳填芯　4芯 线芯 3芯	RHF RH	氯丁橡套软线橡套软线	用于移动电器的电源连接导线，或用于插座板电源连接导线，或短期临时送电的电源馈线

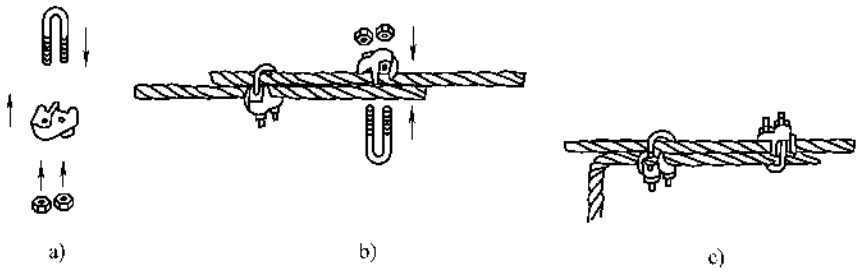


图 2-13　U 形卡连接方法

a）U 形卡　b）直接连接　c）T 字分支连接

表 2-4　各种导线连接方法适用范围及用途一览表

连接方法 / 范围及用途	单股硬导线绞接			多股硬导线缠绕			压板（并沟线夹）			套管压接		铜线与铝线		软铜线与单股导线	螺钉压接	线鼻子压接	压线帽压接
	一字形	T 形	人字形	一字形	T 形	人字形	一字形	T 形	人字形	一字形	人字形	单股	多股				
高压架空				✓（≤10kV）						✓							
高压分支					✓（≤10kV）	✓	✓										
高压过引				✓（≤10kV）		✓				✓							
高压接引					✓（≤10kV）	✓	✓										
避雷线接引						✓	✓										
低压架空	×									✓		×	×				
低压分支		✓			✓		✓	✓	✓				✓				
低压过引	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓					
低压进户			✓			✓	✓		✓		✓						
低压接引		✓			✓		✓	✓					✓				
低压接线盒			✓			✓											✓
导线与母线															✓	✓	
照明支路	✓			✓								✓		✓（<10A）			
重复接地接引					✓			✓					✓				
与设备/元件															✓	✓	
与设备/元件引出线			✓			✓								✓（<10A）			
低压盘后分支		✓	✓		✓	✓								✓（<10A）			✓
低压盘后接引		✓	✓		✓	✓								✓（<10A）			✓

注：适用划“✓”，禁止划“×”，无标注严禁使用。

现将上述导线的连接方法适用范围列于表 2-4 中，供读者使用时参考。

三、导线与设备元件的连接方法

1. 单股导线

单股导线可与设备、元件的端子直接连接，但铜线必须镀锡。端子为螺钉时，导线应弯成顺时针方向的直径与螺钉相应的圆环，直接用螺钉加垫片、弹簧垫圈压紧拧紧。端子为针孔接线柱时，可将导线直接插入针孔并拧紧螺钉，端子针孔较大且单股线不能充填满时，可插入同样多节裸线，以便拧紧。端子为瓦形垫片螺钉端子时，可将导线直接插入瓦形垫下，同时瓦形垫另侧插入同样一节裸线并拧紧螺钉，接两根导线时，可一侧一根。瓦形垫片螺钉端子不得将导线弯成 U 形卡入。上述螺钉拧紧时要适度，一般使弹簧垫圈压平即可，以防螺钉溢扣。上述接法如图2-14 所示。

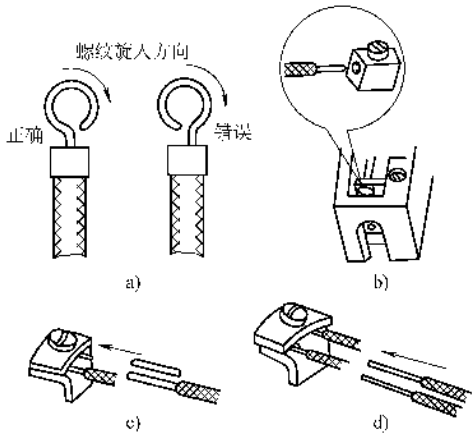


图 2-14　单股导线与设备的连接

a）单股芯线端部的弯环方法　b）单股芯线与针孔接线压接法

c）瓦形垫片一个线头连接方法　d）瓦形垫片两个线头连接方法

2. 多股导线

多股导线与设备端子连接时，必须压接相应规格的线鼻子，铝导线使用的铜-铝过渡线鼻子、铜导线使用的铜线鼻子以及设备的铜端子接触面应镀锡处理。固定线鼻子的螺栓应平垫圈、弹簧垫圈齐全且为镀锌件，螺母拧至弹簧垫圈压平即可，以防溢扣。

维修作业时，如一时找不到合适的线鼻子，可按下述方法手工制作一个线鼻子，待找到成品线鼻子后再更换，如图 2-15 所示。

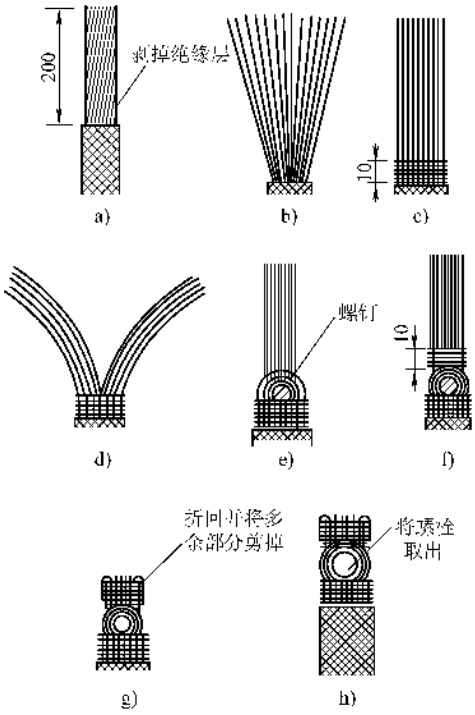


图 2-15　50mm² 以下手工线鼻子的制作

（1）剥掉绝缘层，一般为 200mm。

（2）将导线撑直，铜线用砂纸打出金属光泽。

（3）用其中一根导线在其根部绝缘层剥切处紧紧缠绕 10mm。

（4）将导线从缠绕处均匀分为两部分。

（5）用一比设备端子直径稍大一个规格的螺杆置于分开的根部，并把两部分弯成螺杆直径的半圆，把上部开口紧紧闭合。

（6）用其一根导线将闭合口处紧紧缠绕 10mm。

（7）把和缠绕处相邻的导线一一折回并与缠绕圈掐紧，将多余部分剪掉。

（8）套上相应的平垫圈和螺母将其压紧，或在台虎钳上将其压紧，铜线上焊剂蘸锡。

做好后试套入端子螺栓，用较大的垫片（将做成的线鼻子全压住即可）螺母将其拧紧即可。

3. 多股软铜线与设备元件的连接

必须焊接线鼻子，一般锡钎焊即可。2.5mm² 及以下的软铜线可镀锡后按图 2-14 直接与设备元件的端子连接。

导线的连接、导线与设备元件的连接最根本的一条就是必须紧密可靠并能承受一定的拉力，在一个检修周期内，不得因载流或在允许过电流的条件下发热、松动、断裂、生锈腐蚀或发生其他不妥，这是每个初学者必须做到的。

第三节　常用电工安全用具及器械的使用

便携式电工安全用具主要有基本安全用具、辅助安全用具和检修安全用具三种。基本安全用具包括绝缘拉杆或绝缘钳，它直接与带电体接触，具有绝缘和操作的作用；辅助安全用具包括绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘台等，它不直接与带电体接触，只加强基本安全用具的保安作用，或用来防止跨步电压触电或电弧烧伤，或用来加强操作人员的操作安全；检修安全用具包括临时接地线、临时遮栏、临时隔板、临时围栏、标志牌、防烧伤用具及登高安全用具等。

检修安全用具的地线、遮栏、隔板、围栏、标志牌，主要用来制造一个安全的检修空间，保证人体不与带电体接触，保证检修的安全；防烧伤用具主要是保护操作人员的眼、手不被电弧烧伤；登高安全用具主要是保护操作人员高空作业的安全，包括梯子、高凳、脚扣、安全带等。

便携式安全用具一般仅限于检修或操作人员操作时使用，每种用具都有一定的使用方法、操作规程及使用范围，其承受的电压也具有一定的最高允许值，使用者必须按照要求进行。本节详细讲述常用电工安全用具及器械的正确使用方法和注意事项。

一、绝缘拉杆及使用方法

绝缘拉杆，简称拉杆，又叫绝缘杆、操作杆或拉闸杆。一般用浸过漆的优良木材、电木、胶木、塑料、环氧玻璃布棒、环氧玻璃管制成。从构造上可分工作部分、绝缘部分和握手部分，如图 2-16 所示。其中工作部分为金属钩，长度和形状便于操作，并且能保证作业时不致造成相间或对地短路，长度一般为 50～80mm，形状为上字形或 T 字形。绝缘杆的绝缘部分应光滑无裂纹、无机械损伤，长度不小于表 2-5 的规定，为了携带方便，都制成分段式，段与段之间用螺纹连接，有的连接处镶有金属螺纹，有的则做成套筒式，使用时接上或拉出使用。绝缘杆的握手部分与绝缘部分构造相同，连接部分有明显的界限，有的则装有隔离环。

图 2-16　绝缘拉杆结构示意图

1—工作部分　2—绝缘部分　3—隔离环　4—握手部分

表 2-5　绝缘杆和绝缘夹钳的最小长度

（单位：m）

电压/kV		户内设备用		户外设备及架空线用	
		绝缘部分	握手部分	绝缘部分	握手部分
10 及以下	绝缘杆	0.70	0.30	1.10	0.40
	绝缘夹钳	0.45	0.15	0.75	0.20
35 及以下	绝缘杆	1.10	0.40	1.40	0.60
	绝缘夹钳	0.75	0.20	1.20	0.20

绝缘杆主要用于操作高压隔离开关和跌落式熔断器的分合、安装和拆除临时接地线、放电操作、处理带电体上的异物，以及进行高压测量、试验、直接与带电体接触的操作等各项作业。

使用绝缘杆前应进行外观检查，表面应无裂纹、划痕、毛刺、孔洞、断裂及机械损伤，表面应清洁干燥，并直接从保管室取出。使用绝缘杆时，必须戴上相应电压等级的绝缘手套，穿上相应电压等级的绝缘靴，必要时还应站在绝缘垫上进行操作，有时要戴上护目镜。雨雪天气操作室外高压电器时，绝缘杆上应装有防雨雪的伞形罩。电压等级低的绝缘杆不得操作高一级电压的电器，但可操作低一级的。使用绝缘杆时，应准确、迅速、有力，尽量减少与高压接触的时间。使用时应有专人监护。

二、绝缘钳及使用方法

绝缘钳的形状如图 2-17 所示，包括工作部分、绝缘部分和握手部分，并且均由绝缘材料制成，如电木、胶木或经亚麻仁油浸煮过的优质木材制成。工作部分是一个强力的夹钳，并有两个圆形钳口，用来夹持高压熔断器以便安装或取下；绝缘部分和握手部分与拉杆要求一样。

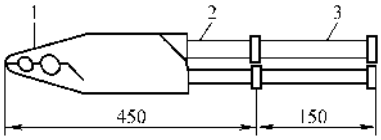


图 2-17　10kV 绝缘钳示意图

1—工作部分　2—绝缘部分　3—握手部分

绝缘钳一般不重，适用于一人操作使用，长度不小于表 2-5 的规定。使用时，不得装接地线，在潮湿雨雪天时，应用专用的防雨绝缘钳。

使用前，应先进行外观检查，无损且清洁，并直接从保管室取出。使用绝缘钳时，必须戴上相应电压等级的绝缘手套，穿上相应电压等级的绝缘靴，必要时要站在绝缘垫上并戴上护目镜进行操作。电压等级低的绝缘钳不得操作电压等级高的电器，但电压等级高的绝缘钳可操作电压等级低的电器。同样，使用时应准确、迅速、有力，尽量减少与高压带电体接触的时间，使用时应有专人监护。

三、辅助安全用具的使用及注意事项

辅助安全用具只是作为辅助操作人员和基本安全用具工作的用具，不能直接接触带电体，只能加强基本安全用具的保安作用。使用前必须进行外观检查，应无破损断裂，并保证是合格品。

（1）绝缘手套　绝缘手套是按其绝缘等级划分的，12kV 的绝缘手套在 1kV 以上使用时，只能作为辅助安全用具，不得触及带电体；在 1kV 以下使用时，可以作为基本安全用具使用。5kV 绝缘手套只适用于低压作业时戴用，并作为辅助安全用具，不得触及带电体；在 250V 以下可作为基本安全用具使用；在 1kV 以上严禁使用。

绝缘手套一般为橡胶制品或乳胶制品，质地柔软、耐曲挠，有足够的长度，至少超过手腕 100mm，使用时应穿束口衣服，并将袖口伸到手套内。使用时手应保持干燥及干净，应避免与锋利尖刃物及污物接触，以免损伤其绝缘能力。

（2）绝缘靴　绝缘靴一般有三种，并按其绝缘等级划分。

20kV 绝缘短靴是一种胶面胶靴，一般为黑色，在 1～220kV 高压范围内作为辅助安全用具，不得触及高压带电体；对 1kV 以下可作为基本安全用具，同时穿靴后人体各个部位不得触及带电体。

6kV 矿用长筒绝缘靴是一种胶面胶靴，黑色，是适用于矿山井下操作 660V 及以下电气的辅助安全用具，同时应防止矿工脚下触电。

5kV 电工绝缘鞋是一种布面胶鞋，一般为军绿色，适用于电工穿用，作为 1kV 以下作业的辅助安全用具，在室外也可防跨步电压，1kV 以上严禁使用。

使用绝缘靴时应穿束口裤，将裤口伸到靴腰里，并保证脚或袜子的干燥和清洁，靴底一般磨损了 1/3 厚度时即不可再当绝缘靴使用，使用时应避免与锋利尖刃物接触。

（3）绝缘垫　即绝缘胶板、绝缘板，一般由橡胶做成，厚度不小于 5mm，表面有防滑条纹，铺设在配电装置的周围，以加强操作人员对地的绝缘，防止接触电压及跨步电压。在 1～220kV 之间的电气作业时，可作为辅助安全用具，但不能触及带电体；在 1000V 以下的电气作业时，可作为基本安全用具，可接触有电设备。使用前应检查其破损程度，破损较大

时，则不能用作辅助安全用具。

（4）绝缘台　用干燥且木纹直而无节疤的优质木条做成，相邻木条间隔不大于25mm，台面用绝缘子支持，高度不小于100mm，台面尺寸不小于800mm×800mm，且便于携带。

使用时应放在坚硬平整的地面上，以免支持绝缘子陷入地面或斜翻，台面不能与地面上的其他物（包括草、石块等）接触。绝缘台只能作为辅助安全用具。

四、临时接地线的使用

临时接地线由截面积不小于25mm^{2}的多股软铜线和接线卡组成。对单相接地线，上端的接线卡应便于与架空导线或配电装置的母线连接，下端的接线卡应便于与接地装置连接；对三相接地线，上端的接线卡应便于与架空导线挂接，下端三相均与接地极棒可靠连接。接线卡应有足够的夹持力，能与架空导线或配电装置的母线接触良好，一般均按电气设备导电体的形状设计制造，具有良好的适用性。

临时接地线的作用有三点：一是当高压线路或设备停电检修时，为了防止突然送电，应将电源侧的三相架空线或母线用接地线临时接地；二是防止相邻高压线路或设备对停电线路或设备产生感应电压对人身造成危害，或者停电检修设备或线路可能产生感应电压而造成危害，应将停电的线路或设备的有关部位用接地线临时接地；三是在停电后的设备上作业时，应用临时接地线将设备上的剩余电荷对地放掉，也就是放电。

使用临时接地线前，应检查接地线的完好性及卡子接触的可靠性，同时应准备绝缘杆。

在架空线路或设备上挂临时接地线时，应先确认是否已停电（电话联系或用验电器试验），只有核实确是停电后，方可挂临时接地线。先将临时接地线的接地端接好，然后用高压拉杆将另一端挂接在高压线或设备上。设备的放电同样是先确认停电，然后将接地线接地端与接地装置连接，最后用绝缘拉杆将另一端与停电后的设备接线端碰触，将剩余电荷放掉。临时接地线的使用如图2-18和图2-19所示。临时接地线用完后必须拆除，并经验证后，方可送电运行。

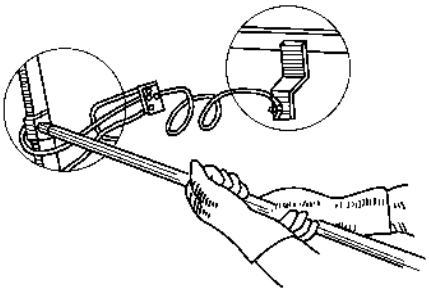


图2-18　临时接地线的使用

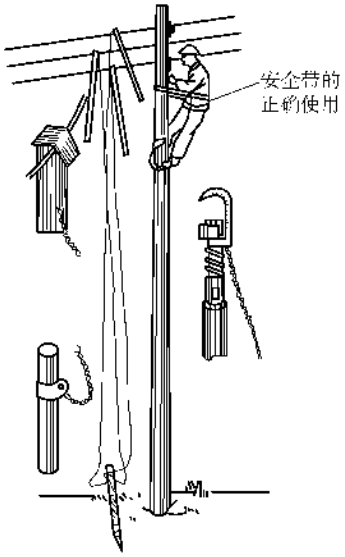


图2-19　临时接地线在架空线路上的使用

五、临时遮栏的使用

临时遮栏应用干燥的优质木材或其他绝缘材料制成，高度不小于1.70m，下边缘离地面应不大于100mm，遮栏的设置必须牢固稳定、不易斜倒，所在的位置不应影响正常的作业。临时遮栏与带电体的距离不得小于表2-6的规定。对于35kV及以下设备的临时遮栏，如因工作特殊条件的需要，可用绝缘挡板与带电部位直接接触，这种挡板必须具有良好的绝缘性能。

临时遮栏的设置是根据检修工作的需要而设置的。在室内部分停电的高压设备或母线上作业时，应在工作地点的四周及上下，凡带电间隔固定遮栏不能防护的部位设置临时遮栏；在室外部分停电的高压设备或母线及线路上作业时，对于小于表2-6规定的安全距离内的未停电设备应设置临时遮栏。临时遮栏上应挂有“止步，高压危险！”的标志牌，以提示人们注意。

表2-6　遮栏和绝缘隔板与带电导体间的最小安全距离

电压等级/kV	安全距离/m		
	无遮栏	有遮栏	有绝缘隔板
1及以下	0.10	—	可接触导体
10	0.70	0.35	可接触导体
35	1.00	0.60	
110	1.50	1.50	
220	3.00	3.00	

临时遮栏的设置主要是人为地制造一个绝缘安全的空间，限制作业人员的活动范围，以保证作业人员的正常操作及安全。因此，临时遮栏安装好后，应用验电器在遮栏内验电，只有确保安全后方可进入作业。

临时遮栏的安装及拆除必须有人监护，安装后或拆除后，必须有专人验收合格，方可作业或送电。

遮栏的结构示意图如图 2-20 所示。

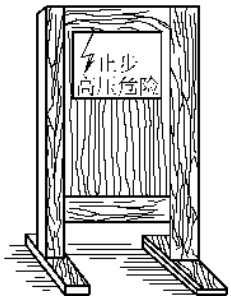


图 2-20　遮栏的结构示意图

六、绝缘隔板的使用

绝缘隔板又称绝缘挡板，就是绝缘板，用绝缘材料制成，其必须有良好的绝缘性能，形状及大小由适用而定，制成后的绝缘板必须经耐压试验合格后方可使用。

绝缘隔板可以与高压带电体直接接触，35kV 及以下可以起临时遮栏的作用。绝缘隔板可以放在拉开的隔离开关的触头之间，作为防止刀开关自行落下或误合闸导致误送电的措施。绝缘隔板应安装牢固，装拆隔板时，操作人员与带电体必须保持一定的安全距离，10kV 及以下应为 0.35m，35kV 及以下应为 0.60m。如果因现场条件所限达不到最小距离，应按带电等级论，必须使用绝缘工具进行。

使用安全隔板时，应先检查其完好性，使用后应妥善保管，并永久保证其清洁完好。

七、围栏绳的设置及注意事项

围栏绳一般采用绝缘性能和力学性能良好的尼龙绳或植物纤维绳，设置在检修作业地点的周围，上面悬挂一定数量的“三角小红旗”和“止步、高压危险!”的标志牌，作为临时遮栏的辅助措施，主要是防止非电气操作人员进入检修现场，并提醒人们的注意。

检修室外线路或设备时，在作业地点的四周先设立特殊的专用支架，支架应用绝缘材料做成，然后在支架上面用围栏绳围栏，围栏对地距离一般为 1m，与作业点的距离视现场条件而定，一般在 3～5m 之间，并设专人看管维护。

检修室内设备时，除在设备周围设置临时围栏和检修通道外，其他部位应设置围栏绳将作业地点围起来，以防误入。

临时围栏绳和遮栏一般是同时设置的，拆除时应先拆除遮栏，送电无误后，才将围栏绳拆除。围栏绳与绝缘隔板或遮栏应在同一条件下保存，不得作为它用。使用前，应仔细检查绳子的质量，以免设置后出现贻误。

八、标志牌的使用

（1）停电检修设备时，应在配电室内控制该设备的电源控制柜的开关和隔离开关操作手柄上挂上“禁止合闸，有人工作!”的标志牌。开关或隔离开关的操作手柄设在室外时，应将标志牌挂在室外。

（2）停电检修线路时，应在配电室内控制该线路的电源控制柜的开关或隔离开关操作手柄上挂上“禁止合闸，线路有人工作!”的标志牌。

（3）室外或室内检修作业地点或被检修的设备上应悬挂“在此工作”的标志牌。

（4）检修作业地点临近带电设备的遮栏上、室外检修作业的围栏上、禁止通行的过道上（该过道有碍于检修作业）、高压试验地点、作业地点临近带电设备的横梁上等部位均应悬挂“止步，高压危险”的标志牌。

（5）作业人员上、下的铁架或梯子上，应悬挂“从此上下”的标志牌。

（6）作业人员上下铁架临近可能误登的其他铁架上和运行中变压器的梯子上应悬挂“禁止攀登，高压危险!”的标志牌。

（7）已接地的线路或设备的隔离开关操作手柄上应悬挂“已接地!”的标志牌。

（8）其他防止作业人员误上带电设备和误将停电设备线路送电的操作地点均应悬挂标志牌。

标志牌悬挂后应有专人复核，并根据作业票或指令一一核对，特别是对“禁止合闸”的标志牌必须保证准确无误，万无一失。标志牌的字迹必须工整清晰，否则应更换标志牌并有充足的备用件。

九、防止烧伤器具的正确使用

防止烧伤的器具主要有护目镜、帆布手套、帆布鞋盖等。在电气作业或检修时，如更换熔断器、电缆接头的焊接、浇灌电缆终端、调制或补充蓄电池电解液等，都可能受到电弧、高温的绝缘胶液、有腐蚀性的酸液的侵害，使作业人员的眼睛或其他部位受到伤害。因此，进行这些作业时，需要采取必要的防护措施。

护目镜是封闭型的，采用耐热、耐机械力且透明无瑕疵的光学玻璃做成，遇热不熔、受力不破、防护性能好。因此，在进行更换熔断器、操作室外开关设备、浇灌电缆绝缘胶、更换蓄电池电解液等作业时应戴护目眼镜。戴护目眼镜时，应用具有弹性的带将其

与眼部裹紧。

帆布手套及鞋盖一般用亚麻帆布做成，不易着火，手套很长一直到肘部，使用时应将袖口伸到其内部。当操作可熔金属的熔炼、焊接、浇灌电缆绝缘胶等可能有烧伤事故的作业时，应戴帆布手套及鞋盖，必要时应穿帆布衣服，防止熔化了的金属或绝缘胶溅到衣服及缝隙中去。

十、梯子、高凳及升降车的使用

梯子和高凳是常用的登高用具，一般用木材、竹竿、钢管、铝型材做成，要求坚固、可靠、耐用。其中木制、竹制的可用于电气检修作业，而钢制、铝制的只能用于电气安装作业，即没有送电前的作业。

梯子按结构分一字梯和人字梯两种，一字梯也叫靠梯，使用时梯脚与墙或与支持点铅垂线的距离应大于梯长的 1/4 而小于 1/3。为了防止滑落，在光滑坚硬的地面上使用时，梯脚应装设橡胶套，在土地上使用，金属梯脚应做成尖状，木梯应装设铁尖。梯子的上部应便于与支持点绑扎，金属梯的上部一般做成钩形，以便与管、线、架钩住。

高凳和人字梯的开脚不宜太长，一般为高度的 1/5 ~ 1/6，且两侧之间用绞链或绳索互相拉住，其梯脚与一字梯处理相同。

在梯子上作业时，梯顶一般应在作业人员的腰部，不得站于梯顶作业；在高凳上作业与梯子相同，凳面应在腰部，如必须在顶部作业时，应坐在顶部，不得站于顶部。两人同时作业时，必须用人字梯或高凳，且应分别站于梯子或高凳的两侧，并遵守前述的规定。

梯子的高度一般有 3m 和 5m 两种，当高度不够时应采用脚手架或升降车，任何时候、任何人不得将两个梯子接起来使用。

升降车一般有机动和手动升降两种，手动升降车适用于室内，条件允许时也可用在室外，使用前应检查其钢丝绳及制动装置，使用时必须置于平地且四角应水平。机动升降车适用于室外，使用前应在司机的配合下检查液压系统和传动系统及制动装置，使用时车身应支平稳，地面的坡度应小于 5°，且应置于坚硬地面上。使用升降车时，其载荷不得超过车的允许值。升降车均为金属结构，检修作业时，作业人员必须穿戴绝缘用品，雨天禁止在车上作业。升降车的产品质量应符合行业标准。生产厂必须是取得制造资质的厂家。升降车升降时，必须观察上下有无障碍物或带电体。

梯子和高凳在使用前应做外观检查，不得有破损、开裂现象，底脚护套应良好。电工专用梯子和高凳不得外借他人使用或作他用。使用梯子、高凳、升降车作业时，其下方不得站人，下面辅助作业人员必须戴安全帽。

十一、脚扣及安全带的使用

脚扣及安全带是登杆作业必备的安全用具，其中脚扣和安全带的质量应符合有关标准。

脚扣分木杆脚扣和水泥杆脚扣两种，均系优质钢材或铝合金钢材制成，木杆脚扣半圆形环及其根部均有向环内侧凸出的小齿，以刺入木材起防滑作用。水泥杆脚扣半圆环形上及其根部均装有橡胶外套或橡胶垫块，借其与水泥杆的摩擦起防滑作用。脚扣分大、中、小号，以适用杆的粗细。用脚扣登杆前，先检查其质量好坏及有无破损，并按杆径的大小分别选用大、中、小号。登杆时应穿系带胶鞋，插入脚扣的登板后其小皮带不宜系得太紧。当左脚扣套入杆后，应用右手抱杆且左腿用力向上即登高一步，然后右脚扣套入杆后，改换左手抱杆，且右腿用力向上即又登高一步，步幅不宜太大，同时腚部应向后用力，即可用脚扣将杆卡死不致滑下，周而复始即登到作业点，然后用腰中的安全带将杆套住。只有系好安全带后，才可将手松开杆，以便作业。

脚扣的使用必须与安全带配合使用。安全带用皮革或尼龙材料并配以金属钩做成，一般分为两部分，一部分是腰带，扎在腰间以下腚部处，另一部分是与腰带连接的保险带，作业时与杆套好后，另一端再与腰带连接。与杆的套接如图 2-19 所示。

登杆时，先检查安全带有无不妥，包括金属挂钩的保险装置是否可靠，然后将腰带扎在腰下腚部以上，保险带自由垂下，当上到作业位置时，左手抱杆，双脚蹬紧脚扣，腚部向后，右手握住保险带端部的挂钩绕到杆后交于左手，同时右手抱杆，左手将挂钩挂在腰带的另一侧，并将保险装置锁住，这时将杆后的保险绳移到比腰带偏高的位置，腚部向后将保险带撑紧，双脚蹬紧脚扣，双手松开杆即可作业。作业示意图如图 2-19 所示。安全带除登杆外，还可用在铁塔上作业、脚手架上作业或其他高空作业，无论哪种作业，保险带必须与高空中牢固可靠的物体系牢系紧，并不得碰击锋利尖刃物，以免伤及安全带。

登高作业时，杆下不得有人，辅助作业人员必须戴安全帽。安全带、脚扣严禁抛掷，以免摔坏或变形。

十二、电工安全用具的保管

（1）总则

1）电工安全用具应放在通风良好的室内保管，且周围不得有污物；使用及保管都不能使其受到损伤；使用人员及保管人员应爱护电工安全用具。电工安全用具应分类保管且地点固定。

2）电工安全用具应专人保管，并有管理制度，主要包括《入库检查制度》、《借用制度》、《维护保养制度》、《定期试验制度》、《报废制度》等，各种制度应严格执行。电工安全用具不得借外人使用，也不得作为他用，以免损坏以致再用时出现事故。严禁用其他工具代替安全用具。

3）电工安全用具使用后交还时，应由保管人员检查验收，以免损坏不报告而下次再用时出现事故；使用人应及时报告使用中发现的问题，以便及时修理或更换。

4）安全用具应定期维修保养，及时发现用具的隐患，以便修理或报废。

5）安全用具应定期校验，主要包括耐压试验、泄漏电流试验、拉力试验、载荷试验等，常用电气绝缘工具和安全用具试验标准分别见表 2-7 和表 2-8。

表 2-7　常用电气绝缘工具试验标准

序号	名　称	电压等级/kV	周期	交流耐压/kV	试验时间/min	泄漏电流/mA	附　注
1	绝缘杆	6～10	每年一次	44	5		
		35～110		三倍线电压			
		220		三倍相电压			
2	绝缘挡板	6～10	每年一次	30	5		
		35		80			
3	绝缘罩	35	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35 及以下	每年一次	三倍线电压	5		
		110		260			
		220		400			
5	验电笔	6～10	每六个月一次	40	5		发光电压不高于额定电压的25%
		35		105			
6	绝缘手套	高压	每六个月一次	8	1	≤9	新品按12kV
		低压		2.5		≤2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每六个月一次	15	1	≤7.7	新品按20kV，2min
8	核相器电阻管	6	每六个月一次	6	1	1.7～2.4	
		10		10		1.4～1.7	
9	绝缘绳	高压	每六个月一次	105/0.5m	5		

表 2-8 登高和起重工具试验标准

分类	名称	试验静拉力/N	试验静重（允许工作倍数）	试验周期	外观检查周期	试验时间/min	附注
登高工具	安全带 大带 小带	2250 1500		半年一次	每月一次	5	
	安全腰绳	2250		半年一次	每月一次	5	
	升降板	2250		半年一次	每月一次	5	
	脚扣	1000		半年一次	每月一次	5	
	竹（木）梯			半年一次	每月一次	5	试验载荷1800N
	升降车			半年一次	每月一次		按机械要求
起重工具	白棕绳		2	每年一次	每月一次	10	
	钢丝绳		2	每年一次	每月一次	10	
	铁链		2	每年一次	每月一次	10	
	葫芦及滑车		1.25	每年一次	每月一次	10	
	扒杆		2	每年一次	每月一次	10	
	夹头及卡环		2	每年一次	每月一次	10	
	吊钩		1.25	每年一次	每月一次	10	
	绞磨		1.25	每年一次	每月一次	10	

（2）绝缘工具的保管

1）绝缘工具使用后应用不掉纤屑的棉布将其表面擦干净，不得用水或其他清洗剂清洗。

2）绝缘杆应放在专用支架上，不得靠近墙角或地面放置。绝缘钳有条件的可放在立框内平置保管，也可与绝缘杆采用相同方法保管。

3）绝缘手套、绝缘靴（鞋）应放在箱框内，绝缘垫、绝缘台、绝缘隔板应放在专用的支架上。

4）所有绝缘工具不得放在过冷、过热、阳光曝晒和有酸、碱、油等腐蚀性物质的地方，同时与硬、刺、脏、废物严格分开放置，并严禁重压。

（3）检修安全用具　临时接地线应挂在木架或墙上，临时遮栏和标志牌应放在固定有篷的场所，防烧伤用具和围栏绳应放在柜、架上。

（4）登高用具　脚扣安全带应挂在室内木架上，梯子放在固定有篷的场所，机动升降车收回伸臂停于

库内，手动升降车收回塔架停于室内或有篷场所，升降车应定期检修。

第四节　常用电工检修测试仪表

常用电工检修测试仪表主要指检修测试用的便携式仪表，如绝缘电阻表、万用表、钳形电流表、接地电阻测试仪、点式温度计及验电器等，同时也包括一些新型检修测试便携式仪表。

电工检修测试仪表可以帮助维修人员正确准确判断电气系统的故障部位及故障原因，是处理电气故障、修理电气设备、判断设备好坏的得力助手。

由于种种的原因，一些电气工作人员不能正确或不能很好地使用这些检修仪表，而导致了故障的扩大、电气设备修理不良或误判电气设备的良好状态，而对生产或生活产生了损失性的不良影响。

因此，作为维修电工必须能够熟练正确地使用这些仪表，并按其示值来判断电气设备的故障。但是，检修测试仪表仅限于电气工作人员作业时使用，而每种仪表都有规定的使用方法、操作规程及使用范围，使用者必须按规定正确使用。本节详细介绍常用电工检修测试仪表的正确使用方法和注意事项。

一、便携式电工检修测试仪表的种类

便捷式电工检修仪表主要有绝缘电阻表、万用表、钳形电流表、接地电阻测试仪、点式温度计及验电器等。

（1）绝缘电阻表　目前使用的绝缘电阻表有两类，一类是传统的手摇发电机式，另一类是半导体电子式。它的主要功能是用来测量线路或导线电缆、电器或电气设备、绝缘材料的绝缘电阻的，因为绝缘电阻的单位是 MΩ，因此通常称之兆欧表或兆欧计。

（2）万用表　目前使用的万用表主要有指针式和数字式两种，其主要功能是测量交直流的电压、电流、直流电阻，有的万用表还可用来测量电容、电感、晶体管放大倍数、电平、温度、频率等参数，因为测量功能较多，所以俗称万用表。

（3）钳形电流表　目前使用的钳形电流表有指针式和数字式两种，主要功能是在不断开回路的条件下测量交流回路的电流，有的还能测量交流电压。它是由可开口的电流互感器和表头组成的，如图 2-21 所示。

（4）接地电阻测试仪　俗称接地摇表，目前使用较多的有手摇发电机式和半导体电子式。它的主要功能是用来测量接地装置的接地电阻或者测量土壤电阻率以及数值较小的电阻的阻值。

（5）半导体点式温度计　它是一种常用的便携式测温仪表，主要由半导体热敏电阻、测量电路及数字显示机构组成，主要用来测量开关触头、接线点、电气设备外壳、导线以及有关电器的工作温度，一般测量范围为 0 ~ 150℃。使用方法简单，只需将探测头置于被测点并用保温物包裹好，打开电源开关，表头即显示温度的数值。使用时，被测物有电时应先将电源断开，然后立即测量，热惯性一般不会影响数值的准确。

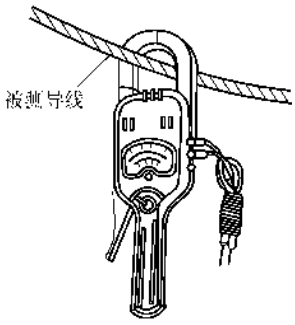


图 2-21　钳形电流表外形

（6）高压验电器　高压验电器的结构示意如图 2-22 所示，其中指示装置是用绝缘材料制成的空心管，管的一端为金属制成的触头，管内装有氖灯和一组电容器，末端是一金属接头，以便和支持装置连接。支持装置用绝缘材料制成，并分为绝缘部分和手握部分，中间有隔离环。

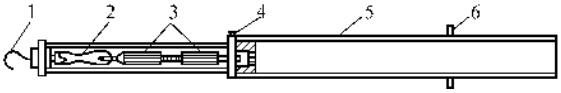


图 2-22　高压验电器结构示意图

1—工作触头　2—氖泡　3—电容器　4—接地螺钉　5—支持器　6—隔离环

使用时，应使触头逐渐靠近带电体，直至灯亮或发出声响信号为止，任何时候、任何情况不得使工作触头与带电体接触，以免触电。使用时，接地螺钉一般不接地，如必须接地时，应注意防止由接地引线引起的短路故障。使用时要用绝缘杆。

目前有一种新型高压验电器，它是由传感器、屏蔽导线、数显装置组成。使用时，用高压拉杆将传感器挂好去接近高压带电体，如果有电，数显装置将显示电压的数值，否则无电。

高压验电器在使用前，应在配电间的高压母线上进行试验，以保证其可靠性。高压验电器有 10kV 和 35kV 之分。

（7）低压验电器　即试电笔，由触头、碳精电

阻、氖泡、弹簧及绝缘笔形外套组成，如图 2-23 所示。低压验电器使用时必须使触头与带电体接触，同时手握住握柄并触及其金属部分，这样即形成对地的回路，氖泡发红光，否则不发光。试电笔只能用在低压范围，并且使用前应在配电间低压母线间上进行试验，以免发生错误。试电笔严禁在高压上使用。

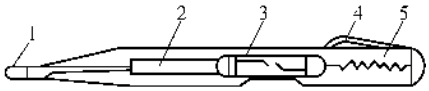


图 2-23 低压验电器结构示意图

1—工作触头 2—碳精电阻 3—氖泡
4—握柄 5—弹簧

除了上述七种常用仪表外，近几年来一些新型的测试仪表和检测装置纷纷上市，大都为进口产品，也有国内研制的新产品，这里作一简单介绍，供读者参考。

1）新型绝缘检测装置见表 2-9。

2）简易式绝缘检测仪实质是高压直流发生器，除测定绝缘电阻外，还可测量局部放电。它的体积较小，重量不大于 15kg，便于携带。

3）钳形漏电流表实际是一高灵敏度的零序电流互感器，既可带电测出低压漏电流的大小，又可测出漏电流中的有功分量 I_R 以及绝缘电阻 R 的值，形似钳形电流表，便于携带。

4）电缆带电 tanδ 检测仪运用小型高阻计的测试原理测量电缆 tanδ 值，便于携带。

5）绝缘子劣化带电检测仪由高输入电阻、放大器和微安表组成，可直接带电测量绝缘子绝缘状况，小巧可携带。

表 2-9 新型绝缘检测装置

检测器名称	测试方法与原理
介质损耗分析仪	根据回路扫描的放电能量和图像显示的波形作判断
自动绝缘检测器（AIA）	采用新的交流电试验法，从电压随电流增加的斜率特性，求其微分部分，即放电率（γ），推断绝缘中气隙含有率，判断是否老化。新产品 AIA 还同时能测定最大放电电荷 Q_{max}
故障检测器（EI）	用宽频带高效检测装置测出接地电流，用在半周期内局部放电产生的脉冲波幅进行测试
PI-6000 绝缘电阻表	采取直流高压试验法。利用吸收比、弱点比、有无突跳现象和相间不平衡率等进行判断
局部放电测定器（EIC）	检测局部放电的起始电压、发生次数、放电的波幅
绝缘检测仪（MCE-010 型）	用于 3kV、6kV、10kV 高压交流电动机的绝缘检测。用非接触式探测器测出运行中电动机接地线上流过的局部放电电流，检查在正常的对地电压下有无局部放电
自动绝缘检测装置（MTE-030 型）	用于 3kV、6kV、10kV 高压交流电动机的绝缘检测。将工频交流高压加在停止工作的电动机绕组上，测出此时流过接地线上的电流，并将其分解为直流成分、低频成分、高频成分，再进行各种运算。用此装置可检测局部放电、tanδ、漏电流急剧增加的部位，漏电流中的直流成分等
电动机绕组检测装置	使试验电流流过电动机的绕组，由此测定绕组的振动，以检测绕组中的浸渍剂是否干枯，固体绝缘有无磨损

6）绝缘油试验器可现场进行绝缘油试验。

7）便携式保护继电器试验仪可对电流继电器、接地方向继电器、电压继电器进行试验，并可进行耐压试验。

8）保护继电器自动试验仪利用微处理器实现对电磁式继电器的自动测试。

9）带电测温计测温探头受热而使回路中的阻值发生变化，经桥式回路放大后使指示仪表指针动作，仅适用于低压。

10）红外线热敏测温计是一种用高灵敏度热敏感应辐射元件检测出由被测物发射出来的红外线而进行测量温度的仪表，便于携带，适用于高压。

11）6kV 绝缘电阻表的试验电压 6000V，可检测绝缘老化情况。

12）波阻抗计通过波阻抗的测量来衡量接地电阻。

13）漏电流表基本与 3）相同。

14）漏电检测器可测漏电流、绝缘电阻，测试漏电保护断路器的性能，便于携带。

15）回路电阻测试仪。

16）介质损耗测试仪等。

上述各类仪表的使用方法应阅读产品说明书，并遵照执行，由于篇幅的关系，在本章十一节讲述了部分内容，其他不详细讲述。

二、钳形电流表的使用及注意事项

（1）根据被测量及其大小的范围选择测量档位，如果测量电压，则应将选择开关打在“V”上；如果测量电流，则应先估算线路上的电流大小，然后将选

择开关的指示指在相应的档位上。如果不可估算，则应从最大值开始，然后再渐渐减小，直到示值正确。

（2）用手握住手柄，并按动手钳，将电流互感器的钳口张开。

（3）将被测导线（指绝缘导线，如果是裸导线则应先在被测段包扎绝缘）放入钳口内，然后松开手钳，将钳口闭合，导线则正好穿入钳口。

（4）从表盘上读出数值，一般表盘上有两个刻度：一条为红色，即电压刻度标尺；一条为黑色，即电流刻度标尺。读数时要结合转换开关所指的范围，并根据指针的指示读数。假如电流刻度的标尺是 0 ~ 300A，而转换开关所指范围是 30A，指针指 250A，则实际值为 25A；转换开关所指范围是 300A，指针指 250A，则实际值为 250A；转换开关所指范围是 3000A，指针指 250A，则实际值为 2500A。

（5）将钳口松开，把导线撤出。

（6）如果用来测量电压，则应先将选择开关打在“V”上，然后估算被测值，这时应将表笔插在相应的插孔上，最后用两只表笔分别同时触及被测点，表盘指针读数即为所测值。

（7）有时为了测量 1A 及以下的交流电流，而没有合适的电流表，也可用钳形电流表测量，先选择钳形电流表的最小一级电流档，再把被测导线在钳口的铁心上绕 10 圈（钳口内有 10 根导线线圈穿过），然后先按原指针数读数，将读数除以 10 即为实际电流值。

（8）钳形电流表还有一个用途，就是用来测量零序电流，用以判断三相线路是否平衡，或判断有无断相，以保证系统的正常。一般做法是将三相动力电路或三芯三相电缆同时送入钳口，并将选择开关打在适当的范围上，如果指针指向零或接近于零，说明系统三相平衡或者没有断相；否则，有读数且较大，说明三相不平衡或是有断相现象。这在动力电路运行中有很大用处。

（9）使用钳形电流表时，如果选档不当，应先将导线取出钳口再调整转换开关，不得带负荷调整，以免将表针打弯。

（10）从理论上讲，钳形电流表是可以测量高压电流的，但在工程中并不这样做。因为钳口的绝缘或手柄的绝缘对低压可以做到，对高压就难以做到了。另外高压导线均为裸导线，带电包扎绝缘是比较难的，一旦导线碰击钳口铁心，将会造成大事故，即使操作时，带上相应等级的绝缘手套及操作杆进行操作，也是无用的。因此，一般情况下，应禁止使用钳形电流表测量高压电流。

（11）使用钳形电流表时，应在配电室有电流的回路上进行试验，确认其处于良好状态才能使用。在雷雨天时，在室外应禁止使用钳形表进行测量，否则应有防雷雨措施，确保雨滴不落在表上。

（12）钳形电流表使用时应先检查指针是否在零位，否则应用调整螺钉进行调整；钳形电流表应保持钳口处的光洁，不得有污垢油迹；发现全部量程不通时，应检查内部的熔断管是否烧断；使用后应把量程开关打到最大位置上。

三、万用表的使用及注意事项

（1）使用前先检查指针是否在零位，否则应用调整螺钉调整；先把档位打在电阻欧姆（Ω）档上，将表笔相碰，观察表针是否指向零位，否则说明表已坏或电池已没电；如果测量电阻，则应由电阻调零钮调零，并且每换一个档位均应调零一次。这里要注意机械零位和电阻的零位是在相反的方向上。检查表笔与插孔接触是否紧密，否则影响测量的准确，特别是测量高电压或大电流时更要注意，否则将发生事故；检查表笔的导线绝缘性能是否良好，否则将有触电的可能。

（2）根据测量参数及其估计的大小范围，将万用表的功能转换开关打到相应的位置上，对于有两个转换开关的万用表，一是要打到被测参数相应的档位上，如电阻档 Ω、电压档 V、电流档 A；二是要打到相应的范围上，如交流电流 $\underset{\sim}{A}$、交流电压 $\underset{\sim}{V}$、直流电流　或

量电流时，红表笔插入 mA 孔，大电流时插入 10A 或 20A 孔，两点通断的测量与测量电阻的接线相同。

（4）读数时要注意以下几点：

1）读取液晶标度盘上的读数时，因为是以数字显示的，比较直观，只要读时仔细读对即可。

2）读取指针标度盘上的读数时，应先按转换开关测量范围的指示，正确选择表盘上的刻度，然后再看指针指示的位置，最后读出读数。

一般的万用表指针标度盘上有三条弧形刻度线：一条为欧姆（Ω）线；一条为交直流电压或电流线，标有　符号；另一条为交流电压线，即标有 10

2）根据被测对象的额定电压，选择不同电压的绝缘电阻表，见表 2-10。

表 2-10　绝缘电阻表的选择

（单位：V）

电气设备或回路的电压等级	绝缘电阻表的电压等级
$U<100$	250
$100\leqslant U<500$	500
$500\leqslant U<3000$	1000
$3000\leqslant U<10000$	2500
$10000\leqslant U$	2500 或 5000

3）测量时使用的绝缘导线应为单根多股软导线，测量线不得扭结或搭接，且应悬空放置，与端钮的连接应紧密可靠，与设备或线路的连接一般应使用鱼嘴夹，以免引起测量误差。

4）测量前应使设备或线路断开电源，有仪表回路的要将仪表断开，然后进行放电。对于大型变压器、大型电动机等大型电感、电容性设备及线路，在其测量完毕后也应放电。放电时间一般为 2～3min，对于高压设备及线路，放电时间应加长。

5）使用绝缘电阻表前应对绝缘电阻表进行校验，当接线端为开路时，摇转绝缘电阻表，指针应在“∞”位，将 E 和 L 短接起来，缓慢摇动绝缘电阻表，指针应在“0”位。校验时，当指针指在“∞”或“0”位时，指针不应晃动。

6）测量过程中，指针指向“0”位时则说明被测绝缘体已破坏，应停止摇动绝缘电阻表，以免由于短路而烧坏绝缘电阻表。测量过程中，当指针稳定在某一值时，即可在不大于 30s 的时间内读数，最长不得超过 1min。

7）正在使用的设备通常应在刚停止运转时进行测量，以便使测量结果符合运行温度时的绝缘电阻。禁止在雷电时或在邻近有带高压导体的设备时进行测量。只有在设备不带电又不可能受其他电源感应而带电时才能进行测量。

8）绝缘电阻表量程的选用，一般低压电气设备可选用 0～200MΩ 量程的表，高压电气设备或电缆、线路可选用 0～2000MΩ 量程的表。刻度从 1MΩ 或 2MΩ 起始的绝缘电阻表不宜测量低压电气设备的绝缘电阻。

（2）用数字式绝缘电阻测试仪测量电气设备的绝缘电阻　数字式绝缘电阻测试仪由直流电池、晶体管振荡器、倍压整流、测量机构模数转换和数显系统组成。数字式绝缘电阻测试仪使用时的接线同绝缘电阻表，输出直流电压用电键选择，一般有 500V、1000V、2500V、5000V、10000V 等，可根据表 2-10 选择不同的档位，使用很方便。使用时的注意事项同（1）中绝缘电阻表使用时的注意事项中的 3）～8）。数字式绝缘电阻测试仪的使用应经常更换电池，不用时可将电池取出，安装电池前应测量电池的电压和电流，必须保证电池电压和电流处于完好额定状态。

五、接地电阻测试仪的使用及注意事项

接地电阻测试仪俗称接地摇表，其电流极与电压极是随仪表配套的专门装置，俗称探针；其导线也是随仪表配套的，使用时应展开，直线排列时，两探针相距 20m 即可，也可呈三角形排列，夹角为 30°左右，探针应打入土壤之中。用接地电阻测试仪测量接地电阻的接线如图 2-27 所示。

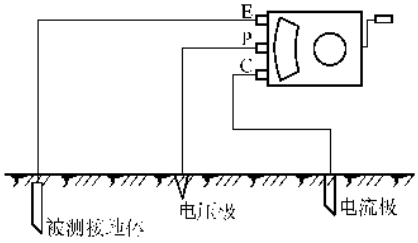


图 2-27　接地电阻测试仪测量接地电阻的接线

使用接地电阻测试仪的操作方法及注意事项：

1）按不同的布置将仪表连接以后，检查无误，即将仪表水平放置，检查指针是否在零位中心线上，否则用调零钮调整使其位于中心线上。

2）将“倍率标度”置于最大倍数，慢慢转动手柄，同时旋动“测量标度盘”，使指针趋向于中心线。否则，应逐级减小倍率，直至位于中心线。

3）当指针接近于平衡时，加快手柄转速至 120r/min 以上，并调整测量标度盘，使指针指示中心线。

4）如“测量标度盘”的读数小于 1，应将“倍率标度”置于较小的倍数，再重新调整“测量标度盘”，以得到正确读数。

5）用测量标度盘的读数乘以“倍率标度”的倍数，即得到所测量的值。

测量接地电阻时，必须将接地体与被保护设备的连接引线拆开，将测量端接在接地体端，因此安装时要求接地引线与接地体间应有可拆卸的连接点，一般用螺栓连接，连接点应用镀锌扁钢做成，分别与接地引线和接地体焊接，连接螺栓不少于两条，并有防松装置，如图 2-28 所示。另外，测量接地电阻应仔细，接线要正确，测得结果与以往测量值相差较大时，应仔细分析，并请有经验的人进行检查或复测。任何时候、任何情况下，接地电阻值以实测值为准，所有计算公式的计算值只能作为参考值。

六、仪表的保管及检定周期

（1）仪表应放在通风良好的室内货架或柜内保管，且周围的空气中应不含有腐蚀和有害杂质；使用及保管时都不能使其受到敲击或剧烈振动。长期不用

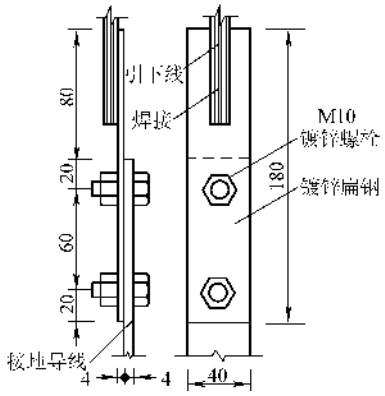


图 2-28 接地引线与接地体之间的可拆卸的连接点

的仪表应妥善保管，内部装有电池的应将电池取出，并在内部放置防潮剂。

（2）仪表应设专人保管，并有管理制度，主要包括《入库检查制度》、《借用制度》、《保养及校验制度》、《检定制度》、《报废制度》等。电工检修仪表不得借给外人使用，以免损坏以致再用时出现错误，导致事故。便携式仪表一般应装在用牛皮做成的盒子内，以便于携带并保护仪表。

（3）仪表使用后交还时应由保管人员检查验收，以免损坏不报告而下次再用时出现故障或事故。使用人员应及时报告使用情况及发现的问题，以便及时修理或校验。

（4）仪表应定期保养及校验，以便及时发现问题及隐患，保证正常使用。保养时，应用柔软的棉布先将浮尘擦掉，然后蘸少许酒精再仔细擦洗，保养时只将电池盒打开检查或擦洗，一般不得将表内打开。校验时，一般是用同类的仪表测量同一被测物，其结果应一致，否则说明误差较大的表已失灵或损坏，应进行检定或修理。保养和校验的周期一般为三个月或者集中使用仪表频率很大后均应保养或校验。

（5）便携式电工仪表应定期送至国家技术监督部门核准的具有检定资格的单位进行检定，检定和前述的校验是不同的概念，校验不等于检定，检定有法律效力，检定周期见表 2-11。

表 2-11 常用便携式电工仪表的检定周期

仪表名称	检定周期/年
绝缘电阻表	0.5
接地电阻测试仪	0.5
钳形电流表	1
万用表	1
点式温度计	1
仪器设备上的电流表、电压表	0.5

第五节 攀登塔架杆技能技巧

一、攀登塔架要领及作业方法

（1）攀登前先观察塔架有无不妥，并选择攀登路线，并戴手套、安全帽，系好安全带。

（2）攀登路线应首选有脚踏的一角，风大时应选迎风侧或角，同时选用无障碍一角。

（3）攀登时应手脚并用，任何时候应至少保持一手（右）抓架，一脚（左）登架，或左手抓架，右脚登架。

（4）攀登时不要向下看，应向上看。

（5）到达作业地点后应两脚站在塔架的同一水平架上，并将安全带系在塔架便于作业的地方。

（6）将提拉小型物件的绳索系在塔架上，从塔架内侧送到地面上。

（7）其他与登杆作业相同，见“二、登杆要领及作业方法”。

二、登杆要领及作业方法

（1）登杆前，杆必须立稳夯实，埋深要符合要求。检查安全带和脚扣，不得有任何损伤、裂纹。

（2）应根据杆径选择合适的大、中、小号脚扣，鞋穿得不要太单薄，脚扣皮带系得不要太紧也不要太松，应事先试好。系好安全带，安全带的腰带不要系在腰上，要系在腚部的上部，并且松紧要适中。

（3）将工具袋装好工具，如锤子、扳手、板牙（和线路用的螺栓对应）、螺母、平垫圈、弹簧垫圈、盒尺等，跨在肩上；把绳子（ϕ8～ϕ10mm，长度大于杆长）系在安全带右侧的金属钩上（以右手有力为准），另端撒开；戴好线手套。

（4）在受电侧将左脚脚扣扣在杆上，距地面 300～500mm，将右脚脚扣扣在杆上，距地面 700～900mm，然后抬起左脚套入扣靴内，右手抱杆，腚部后倾，左腿和右手同时用力即可上一步。这时将右脚套入扣靴内，左手抱杆，腚部后倾，松开右手并沿杆上移，右腿和左手同时用力，同时左脚带动脚扣离开杆体向上移动，即可又上一步。左脚上抬后即可扣住杆体，松开左手上移，右手抱杆，腚部后倾，同时用力，即可又上一步，轮番上述动作即可到达安装位置。也可在地面上将脚套入扣靴内，按上述的动作要求进行登杆。

登杆时必须做到：脚扣要与杆体蹬紧，腚部始终保持后倾，双手抱紧杆体，如图 2-29 所示。

（5）到达安装位置后，两脚蹬紧脚扣，左手抱杆，腚部后倾，松开右手，右手解开右侧安全带的金属挂钩并手持挂钩抱住杆从杆后交于左手，这时右手紧抱杆身，左手松开杆体并持挂钩即可挂在左侧的环上；这时两腿受力蹬住脚扣，腚部向后用力并使安全

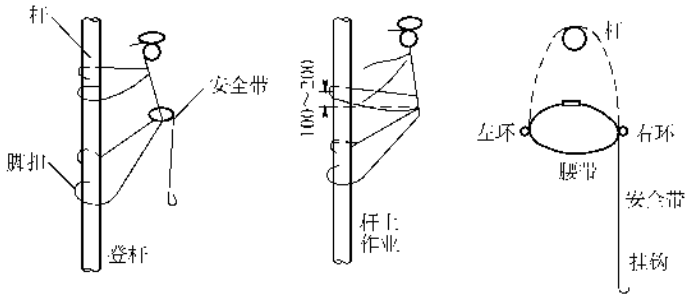


图 2-29　登杆作业示意图

带撑紧，安全带与杆体的接触部分要高于腚部的腰带，双手即可松开作业，如图 2-29 所示。

调整在杆上的位置，面向来电方向。

（6）在杆上做好准备后，杆下人即可将最下层的横担系好在绳子上（杆下人应将 U 形抱箍装好，套上螺母及垫圈），然后离开杆 3m 以外，杆上人即可用绳子将横担拉到作业位置。先把横担放在与杆撑紧的安全带上，解开绳扣并把绳子放下。

（7）双手将横担举起超过杆顶，把 U 形抱箍套在杆上并将其落至安装要求的位置（事先已用尺子量好），先将螺母稍紧，杆下人即可在顺线路方向（离开杆 8m 以外）观测大面横担是否水平，并指挥杆上人调整。然后杆下人再到与线路垂直方向观测小面横担是否歪斜，并指挥杆上人调整。最后杆下人还应在大小面各复查一次，无误后，杆上人即可用扳手将 U 形抱箍的螺母紧死。调整时可用锤子轻击横担。

（8）杆上人可将安全带调整到横担的上面，即右手抱杆（在横担下面），左手解开挂钩并从杆后交至右手，右手持挂钩后从横担上面交至左手，左手再把挂钩与左环挂好，这样做的目的是为了安全。同时可将工具袋挂在横担上。

（9）杆上人即可用上述方法与杆下人配合几次将中层横担、上层横担、杆顶铁头、拉线抱箍（带心形环）、直瓶、悬垂或绝缘子串等组装件安装好。

（10）在杆上检查无误并无存放的工具、小件后，先将工具袋用绳子送下，然后即可将安全带解开，按登杆的要领和相反的动作从杆上爬下，到杆底（地面）后即可把脚从扣靴中抽出。

（11）杆上作业项目较多或金具横担较重时，可两人或三人同时在杆上作业。双脚可倒换上下位置暂缓休息。横担装好后也可将脚扣暂时取下，站在横担上作业，但必须系好安全带，脚扣可用绳子送至地面也可挂在横担上。双杆也可杆上作业，但必须在排杆时将安装尺寸及位置标出，保证两排中心线平行及其他技术要求，立杆后将两杆找正等。每杆一人或两人，两杆要配合默契。要求登杆者应事先反复练习登杆，并空手作业，演示安装项目。然后再用轻横担进行拉上、安装、拆下、安装反复练习。最后再用重横杆练习，直到熟练掌握。

第六节　相关工种基本操作技术技能

一、钳工基本操作技能

钳工的操作技术就是利用切削工具和冷加工的方法把零件或材料加工成所要求的形状，并将其装配到设备中去或者将设备安装到基础之上。因此，钳工的基本操作是所有技术工人必须具备的技能。电工在安装修理时都要用到钳工的基本操作。钳工的基本操作技能主要包括量具的使用、划线、錾削、锉削、锯削、钻孔、攻螺纹和套螺纹、刮削、矫正、弯曲等。

1. 量具的使用

钳工使用的量具主要有钢直尺、卡钳、游标卡尺、千分尺和百分表。电工常用游标卡尺、千分尺来测量导线的直径、铜板和钢板的厚度等。其中钢直尺卡钳使用方法较简单，我们仅介绍游标卡尺和千分尺。

（1）游标卡尺　外形及使用如图 2-30 所示，其准确度为 0.1mm。其中，外卡是测量工件外形尺寸的，而内卡是测量孔内径的。测量时移动卡脚将工件卡死，卡脚与工件表面必须平行，移动卡脚必须轻而稳，且卡脚不得碰撞和磨损。用完后应将尺子放在盒内，且放平放稳，避免主尺弯曲。

游标卡尺的读数方法：工件卡好后，先看副尺 0 标线所对的主尺前面是多少毫米，主尺每格 1mm；然后再看副尺 0 标线后面第几根标线与主尺的标线相对齐，副尺的标线是每格 0.1mm；最后主尺刻度与副尺刻度相加则是所测得的尺寸。图 2-30b 中的实例分别是 48.7mm 和 124.6mm。

（2）千分尺　外形如图 2-31 所示，其准确度为 0.01mm。千分尺的测量是由固定套管内的测轴螺杆旋转，使测量面的距离变小而夹住工件进行的。测量时左手握住弓形、右手旋转棘轮，当棘轮发生响声时立即停止旋转，旋紧定位环后即可读数。使用时要避

免用活动套管旋转，活动套管拧紧时无响声，易拧得太紧，不仅影响测量结果，还易损坏尺子。测量面不应接触粗糙工件，其他同游标卡尺。

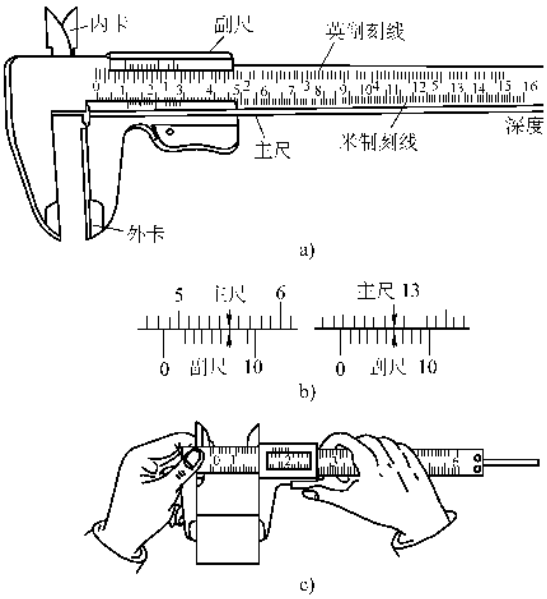


图 2-30 游标卡尺外形及使用读数

a）1/10mm 游标卡尺 b）读数实例

c）用游标卡尺测量工件尺寸的方法

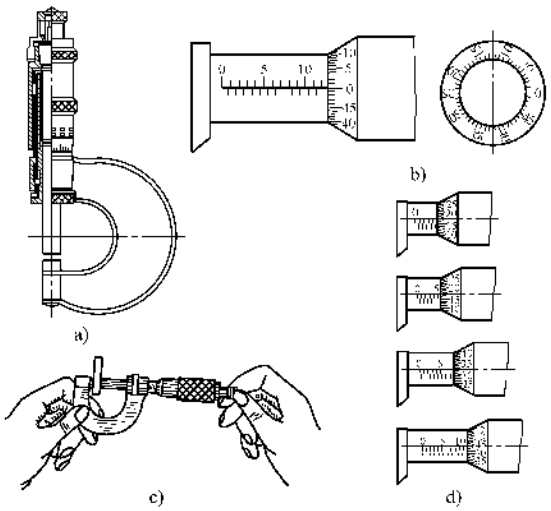


图 2-31 千分尺外形及使用读数

a）千分尺构造 b）固定套管与活动套管的刻线

c）用千分尺测量方法 d）千分尺读数实例

千分尺的读数方法：工件卡好后，先看固定套管所露出的 mm 值，然后再看活动套管的刻线，活动套管每格为 0.01mm，最后两数相加即为所测值。图 2-31d所示实例分别为 5.17mm、5.67mm、8.34mm、10.95mm。可以看出固定套管露出的 mm 值超过半格时（下部刻线）应加 0.5mm。

2. 划线的操作

划线的工具主要有划针、钢直尺、角尺、圆规、样冲等。一般情况下，划线应在平台上进行。在平面工件上划直线时，应使用钢直尺、角尺和划针，如图 3-37 所示。在平面工件上划圆时，应使用钢直尺、角尺和圆规，如开孔则应在圆心用样冲冲出小坑，然后以小坑为中心划出十字线，再用圆规画出圆，其半径应用钢直尺测定。在圆柱形工件（如钢管）上划线，则用条形直边薄片可卷物（如油毡）卷在圆柱工作上，直边对齐，即可沿直边划线，如图 3-1 所示。

在平面工件或钢板上划平行线时，则应先用钢直尺测定平行线间距，然后用角尺划出平行线，如图 2-32所示。

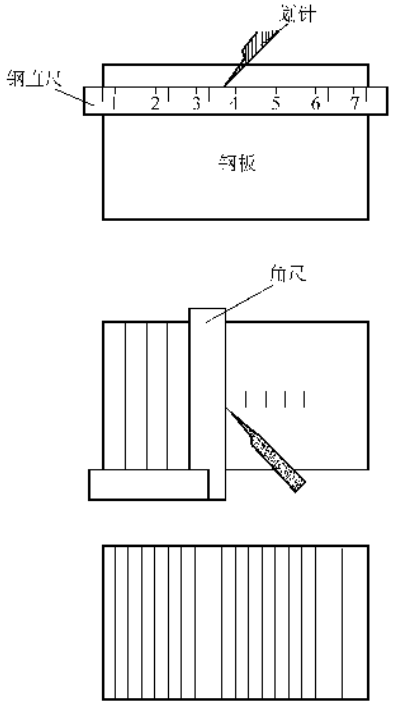


图 2-32 在钢板上划平行线

3. 錾削的操作

錾削就是用锤子敲击錾子，将工件上多余的部分金属削去并满足划线的要求。除锤子外，錾子是錾削的主要工具。錾子主要有扁錾、尖錾和油沟錾子等三种，其中扁錾是用来削切平面的；尖錾是用来錾槽用的，如电动机錾槽；油沟錾是用来錾油槽的，如轴瓦的油线。

錾削的要点是握錾、握锤和挥锤，如图 2-33 所示，有时将工件卡在台虎钳上进行，其中挥锤的速度以 50～60 次/min 为宜，且触錾子应快，而离开錾时应慢。錾子的刃部应经常磨锐，其角度可参考表2-12

的规定，锤把必须牢固，操作时要戴护目镜。錾子的尾端毛头要磨掉。

表 2-12　工件材料和錾子尖角大小

工件材料	錾子尖角 α/（°）
硬钢、硬铸铁等	65～70
钢、软铁等	60
铜合金	45～60
铝、锌	35

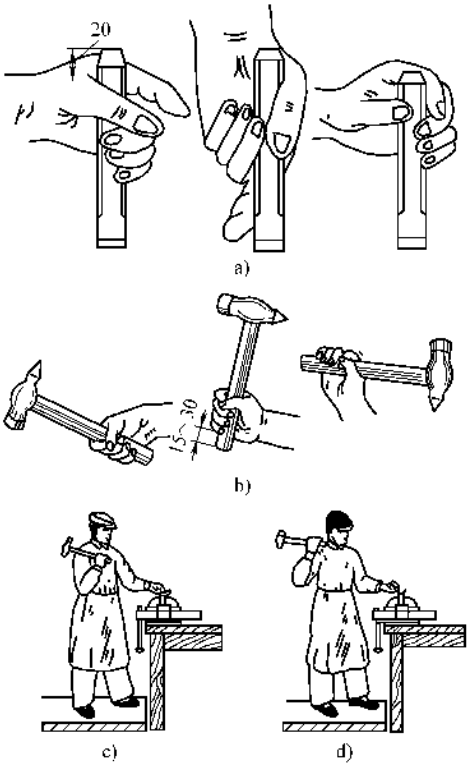


图 2-33　錾子的使用方法

a）錾子握法　b）锤握法　c）肘挥　d）臂挥

4. 锉削的操作

锉刀的种类很多，如平板锉、三角锉、圆锉、半圆锉、方锉及整形锉（什锦锉）等。一般条件下，单纹锉刀用来锉铜、巴氏合金、铝等金属，双纹锉刀用来锉钢、铁、铸铁件等，木锉刀用来锉木材、皮革及铅、锌等软金属。锉削时先使用粗锉刀，后使用细锉刀或油光锉来锉削。锉刀的加工精度见表 2-13。

表 2-13　各种锉刀的加工精度和加工余量

锉　　刀	加工精度/mm	加工余量/mm	一次锉削量/mm
粗　　锉	0.2～0.5	0.5～1.0	0.08～0.15
细　　锉	0.02～0.15	0.1～0.3	0.02～0.08
油 光 锉	0.005～0.01	0.025～0.05	0.025～0.05

锉削时应将工件卡在台虎钳上，并使其高出钳口 5～10mm，然后按照图 2-34 所示的方法进行锉削。图中箭头线的长短表示用力的大小，箭头的方向表示用力的方向，加工平面时见图 2-35。

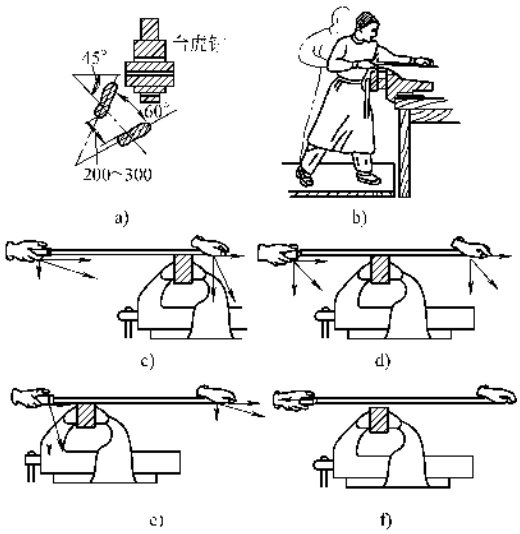


图 2-34　锉刀的使用方法

a）两足位置　b）锉削姿势　c）推锉开始　d）推锉中间　e）推锉末了　f）锉刀回来时

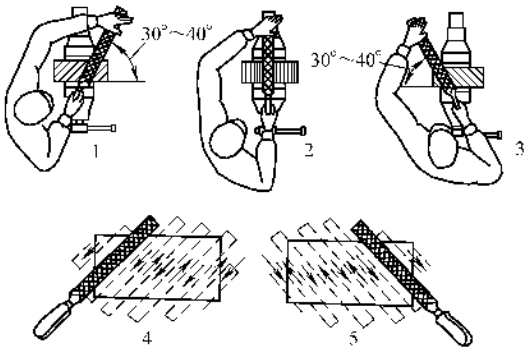


图 2-35　锉平面方法

1、2、3—锉削先后位置　4、5—锉削时锉刀的运动

一般条件下，可用钢直尺放在被加工的平面上观察透光来检查锉削的质量，不透光说明这部分隆起，应用锉削；透光说明这部分下凹，不得再锉。透光不均匀时说明加工面粗糙，这时可只对隆起部分进行交叉锉削。

锉刀应有木手柄且应紧固，可用钢丝刷沿锉齿平行清除锉屑，锉刀的放置切记不可堆放，应单独放置，使用锉刀时要选用适当。

5. 锯削的操作

锯削时要正确选用锯条，工件愈薄，锯条的锯齿应该愈小，必须保证有三个齿以上同时与工件接触而进行锯削。材料愈硬，锯齿也该愈小。锯条的选择可参照表 2-14。

表 2-14　根据锯齿来选择锯条

每 25mm 长度内齿数	用　　途
14	锯削硬橡胶、纯铜、铝等
16	锯削黄铜、青铜、软钢等
18	锯削铸铁、工具钢等
24	锯削管子（铜管或钢管）
32	锯削薄管子（不论什么材料）

锯削时要应使锯保持水平。推锯前进时发生锯削作用，而拉锯后退时不发生锯削作用，这时不加压力且稍抬起，避免磨伤锯条。锯削时要使锯条长度的 2/3 参与锯削，而不是只用其中间来锯削，要尽量用到全长。

锯削硬性金属时速度应低且压力应大，而软性金属则应速度较快，压刀较小。每当快锯完时，应轻轻锯削，并用手扶住被锯掉部分，以免发生意外。但无论怎样上锯条时必须使锯齿的方向向前。锯削时应将工件卡在台虎钳上，如图 2-36 所示。无论锯何工件时，更换锯条后必须翻转工件从反方向锯削。锯削时为了减小摩擦可在锯缝处点以少许全损耗系统用油（机油）。断条原因和安全规则见表 2-15。

表 2-15　断条原因和安全规则

断条原因	锯条松动、工件抖动、压力太大、锯条不成直线运动、锯条咬住、速度太快、更换锯条后从原缝锯入、锯跑偏后继续锯削、起锯方向不对
完全规则	锯条的松紧度要适中，以免断条而崩出锯弓；不得使用没有手柄的锯弓；锯削重件时，当即将锯断时必须将被锯掉部分扶好，以免落下砸伤腿脚

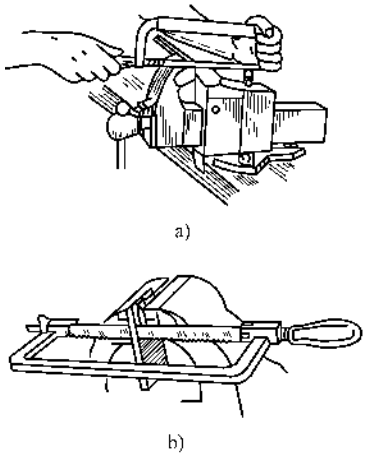


图 2-36　钢锯的使用方法

a）锯削方法　b）深缝锯削方法

6. 钻孔的操作

钻孔首先是要正确选择钻头，同时要根据工件的材质磨好麻花钻头的前角 γ、后角 α、顶角 2ϕ 及横刃角

表 2-16　麻花钻头的角度

角名称	材　　质	度　　数/（°）
顶角 2ϕ	钢、铁、中等硬度	116～118
	纯铜	125
	铝	140
	大理石、电木	80
前角 γ	不影响刃口强度的条件下愈大愈好	
后角 α		<12
横刃角		

刮掉工件上很薄的一层金属并使之装配合适，如削刮轴瓦、检验平板等。为了查明需要刮削的部位，一般是采用涂油色法，也可用红铅粉膏。平面刮削时，先在检验平板上涂上油色，然后把工件平面轻轻地放上去并施加很小的压力，这样工件隆起部分就染上了色斑，用刮刀削掉这些多余部分，擦净后并用同法进行检验。曲面可用检验油或转轴上涂油色，然后把其装在轴瓦上并盖好轴承盖，缓慢转动2～3圈后拆开，隆起部分就涂上了色。刮削后应将油脂用汽油抹布擦干净。

9. 矫正和弯曲的操作

（1）矫正　矫正就是消除条形、棒形、板形金属材料的弯曲或翘起等缺陷的工作。矫正一般应在平台上进行，使用手铁锤（与被矫正料的触面应为圆形），薄料或有色金属则使用铜锤或木接（均为圆形面，木棰则用硬木制成）。矫正时应边敲边用眼校正，先重击后轻击，要随时翻转材料且轻击。而导线的撑直一般采用施力拉直的方法。

（2）弯曲　弯曲就是将板材、条形材（如母线）和金属管加工成一定的形状。

板材的弯曲通常应使用折边机，特别是箱、柜的制作，为了保证外形的美观都采用折边机。只有板很薄且器件很小的时候才采用手工方法，但都是利用锤子在台虎钳上进行，且材料的两端应垫以硬木。折边机的操作必须遵守严格的操作规程，以免发生事故。操作前应选择好模具并在板上将线划好。

条形材的弯曲一般使用手工煨制，如硬母线的加工，将材料划线后置于台虎钳口内且两侧垫以硬木，夹紧后用木棰敲打根部并加外力即可弯曲成一定角度，煨制前最后用单股铜线做一个弯曲角度的样板，且随时比对以免过煨。

金属管的弯曲是一项电工常用技术。一般条件下，ϕ25mm以下的弯，可手工煨制，也可使用煨弯器或半机械煨弯器；ϕ32mm以上的弯均采用机械煨弯机煨制或采用灌砂加热煨制，详见第三章第二节相关内容和图3-14～图3-17。

二、焊接基础及操作

这里讲述的焊接只限于电工作业中铁支架的制作、接地螺栓及接地线的焊接；以及作业中不受压力及强度限制的小型构件的焊接和点焊。

1. 交流弧焊机

交流弧焊机是最常用的焊机，使用前应检查接线是否正确，外壳是否可靠接地，有无漏电保护装置，接线端子是否松动，内部是否清洁。焊接过程中，铁心不应有剧烈振动，器身温度不得超过规定值。使用时应配备合适的导线和熔断器，有故障应及时排除，不得带病操作，焊接完后应关掉电源，露天放置应有防雨措施。交流弧焊机的选择和常见故障排除方法见表2-18和表2-19。

表2-18　交流弧焊机一次接线和熔丝容量的选择

电压/V	220			380		
电焊机容量/kVA	铜线/mm²	铝线/mm²	熔丝/A	铜线/mm²	铝线/mm²	熔丝/A
10	10	16	45	6	10	25
15	16	25	60	10	16	35
20	16	25	60	10	16	60
25	25	35	100	16	25	60

表2-19　交流弧焊机的常见故障及排除方法

故障特征	产生原因	消除方法
变压器发热	1. 焊机过载 2. 绕组匝间短路 3. 铁心螺杆绝缘损坏	1. 减少使用的焊接电流 2. 用绝缘电阻表检查，消除短路 3. 恢复绝缘
变压器响声太大	1. 电抗线圈紊乱 2. 可动铁心的制动螺钉或弹簧过松 3. 铁心活动部分的移动机构损坏	1. 整理固定线圈 2. 旋紧螺钉，调整弹簧的拉力 3. 检查修理移动机构
焊接过程中电流忽大忽小	1. 二次线与焊把、焊把与焊条接触不良 2. 可动铁心随焊机的振动而移动 3. 焊机内部接线松动	1. 二次线与焊把、焊把与焊条接触良好 2. 设法抵制可动铁心的移动 3. 修复内部接线
变压器外壳带电	1. 一次绕组或二次绕组碰壳 2. 电源线误碰罩壳	1. 检查并消除碰壳处 2. 消除碰罩壳现象 3. 接妥地线

2. 手工电弧焊的基本操作

（1）引弧、运条和收弧　手工电弧焊的引弧有擦划法和碰击法两种，其中，擦划法引弧类似划火柴，是最易掌握的。碰击法引弧是将焊条迅速与焊件碰触后又迅速离开并保持较小的距离（mm级）。待正常后移至焊缝处进行焊接，如一次擦划或碰击不能引弧，则应进行第二次。引弧后应在起弧处停留一会儿进行预热，然后再移向焊缝并作横向微微摆动，以

保证熔深焊透。

手工焊运条的方法都是由直线运动、横向摆动和送进焊条三个动作合成的，其中横向摆动是关键动作，必须多次练习而熟练掌握，横向摆动的图形如图2-40所示。

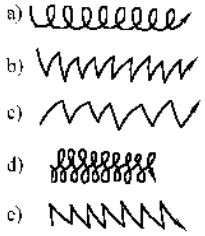


图 2-40　焊条的横向摆动

a）各种位置第一层焊缝

b）、c）平、立仰焊表面焊缝

d）平面表面焊缝

e）横缝焊缝

收弧时应在停点稍停片刻将熔池填满，然后迅速拉大焊条与焊点的距离，同时注意，拉灭电弧时不要在工件表面造成电焊擦伤。

更换焊条要快并清除接头处的熔渣，先在接头前15～20mm处引弧，然后将电弧退回，等弧坑全部熔透并填满后再继续向前焊接。

（2）操作要点　保证正确的焊条角度和掌握好运条动作、控制焊接熔池形状和尺寸是手工电弧焊的基本操作要点。

平焊，焊条对焊件的角度，左右两侧应各为90°。焊条与焊接前进方向的夹角一般为70°～85°。同时，焊接时要注意熔渣和铁液混合不清的现象，要防止熔渣流到铁液前面，熔池应形成椭圆形，其表面要略为下凹。

立焊，焊条对焊件的角度，左右方向应各为90°，与焊接前进方向的夹角为100°～120°，使电弧略向上吹向熔池中池。焊第一道时，应压住电弧向上运条，同时做较小的横向摆动。其余各层用半圆形横向摆动加挑弧向上焊接。碱性低氢焊条的挑弧动作不可太大，电弧不宜拉得过长，熔池表面应始终处于电弧气氛的保护下，以免产生气孔。

点焊，只是在焊缝上焊一个点，因此要求动作迅速并将该点刚焊透还未焊透为止。焊条直径、电流大小应按焊缝宽度、板厚以及动作的熟练程度选择。

（3）电流大小、焊条直径的选择　一般条件下，板厚越厚、焊缝越宽、电流越大、焊条越粗，反之，板厚越小、焊缝越窄、电流越小、焊条越细。

按焊缝宽度选择应使焊条直径不小于焊缝宽度，最好相等。按焊件厚度选择及电流的选择见表2-20和表2-21。其中，电流强度不应以焊机上的标尺为准，只有用钳形电流表将其标尺进行标定和校验后才能以其为准。表中的数值为经验值，实际中还应考虑其他因素，读者可在实践中自行调整。

表 2-20　按焊件厚度选择焊条直径

焊件厚度/mm	焊条直径/mm
0.5～1.0	1.0～1.5
1.0～2.0	1.5～2.5
2.0～5.0	2.5～4.0
5.0～10	4～5
10以上	6以上

表 2-21　焊接电流与焊条直径的关系

焊条直径/mm	2	3.2	4	5
电流强度/A	50～60	80～130	140～200	190～280

（4）焊条的烘干及保管　由于焊条药皮的成分及性能、空气湿度、保存方式、贮存时间等因素，焊条易吸湿吸潮而造成电弧不稳、飞溅增大并易产生气孔、裂纹等。因此，焊条在使用前应烘干。一般酸性焊条的烘干温度为150～250℃，烘干时间1h；碱性焊条必须在300～400℃的范围内烘干1～2h。烘干后的焊条最好放在100～150℃的保温筒内。焊条不宜多次反复烘干。因此要随用随烘，用多少烘多少。

焊条的保管应注意几点：搬运存放时不得将包装损坏，以防药皮脱落；焊条应保存在干燥、通风的仓库内，室温10～25℃为宜，相对湿度一般不大于50%。焊条应放在货架上，其距地、距墙应大于300mm，上下左右均应有适当的空间。焊条的说明书、合格证要妥善保存。焊条弯曲到120°时若有药皮脱落或药皮无裂纹则为受潮，若焊芯两端有锈则为受潮，焊接中焊条有水蒸气出现则为受潮。

三、架空线路路径测量基本技能

1. 架空线路路径选择要点

1）线路的起点与终点之间的距离要尽量短，转角要少且角度要小。

2）尽量避免在交通困难的山区和沼泽、泥塘、沙丘地段安装，在能满足与通信线路交叉或平行的条件下，最好靠近公路或其他能行车的道路。

3）尽量避开居民区（低压配电线路除外）。

4）尽量避开果园、森林等经济作物区。

5）尽量避免与其他设施交叉，如必须交叉时应垂直交叉。

6）避免与道路、河流多次交叉，河道应选在最狭窄处交叉跨越，道路应选在不繁华地段交叉跨越。

7）杆塔定位要避免定在河道边、公路边或土墩上；要了解当地的规划和治理情况。

8）不允许线路通过易燃、易爆或危险品堆放区，应该避开军事要塞、通信广播中心天线的区域。

9）熟悉当地的地理、气候、环境及自然保护的状况，反复深入现场和实际当中去，长途跋涉，不辞

劳苦，专心搞好测量勘察。

2. 测量仪器、器具及使用

（1）仪器及器具

1）经纬仪：经纬仪是最主要的测量仪器，它可测量水平角、竖直角、距离和高程，有的还可以测量方向。

2）水准仪：水准仪是精密测量高程的仪器，用它主要来测量铁塔基础的水平度。

3）标杆或塔尺：标杆是配合经纬仪、水准仪进行测量的主要用具，它可以代替被测目标，也可表示目标的高低。

4）钢卷尺或米绳：用于测量距离。

5）双筒望远镜：用于搜寻被测目标，或观测远处或高处微小的部件。

6）木桩：用方木（40mm × 40mm × 600mm）前端砍成尖状做成，用以表示被测准的目标，砸于地下，表示杆塔位置，有主桩、副桩、拉线桩之分。

7）铁锤：钉木桩用。

8）圆钉：钉于木桩中心，表示杆塔位置中心或供测量用的中心。

9）指挥旗：用以联络。

10）细铁丝。

11）红漆及毛笔：用以在木桩上标注木桩的类别和作用。

12）设计资料：杆塔明细一览表、杆塔定位图、线路定向图、线路平面、断面图等。

（2）经纬仪的使用方法

1）对中：所谓对中就是使经纬仪的中心与第一个木桩（表示杆塔位置）的中心处在同一铅垂线上。一般用经纬仪的中心线坠对中。

先将三脚架安插在木桩周围，使架顶面成水平，架顶面中心大约对准木桩中心的小钉，支稳后将经纬仪安在架顶上并用连接螺钉拧紧固定牢固。然后在架顶下面系好线坠，调整架腿使线坠基本对准木桩小钉，同时使经纬仪的水平度盘略成水平且要注意仪器的操作高度与测量者身高相符。最后将三脚架的各脚依次插入地面，调整连接螺旋，移动仪器使线坠对准木桩小钉，再旋紧连接螺旋，如图 2-41 所示。

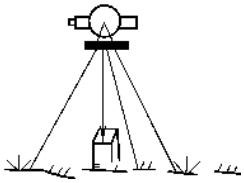


图 2-41　经纬仪的对中示意图

2）整平：利用整平螺旋和游标上的水准管整平，使竖轴竖直，使水平度盘处于水平位置即为整平。

转动游标盘使水准管平行于任意一对整平螺旋的连线，如图 2-42 所示。视气泡偏移方向，用双手同时向内或向外旋转，使气泡居中。再转动另一整平螺旋，使另一个水准管的气泡也居中。

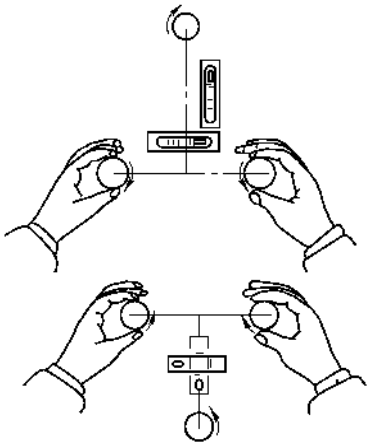


图 2-42　经纬仪的整平示意图

如果游标盘上只装一只水准管，应先使水准管平行于任意两只整平螺旋的连线，且调整这两只螺旋使气泡居中。然后将游标盘旋转 90°，使水准管垂直于前两个螺旋的连线，再调整第三只螺旋，使气泡居中。

整平要仔细调节，直至度盘转至任意位置，水准管的气泡都居中，则说明竖轴竖直、度盘水平。一般气泡的误差不大于一小格。

3）瞄准：瞄准就是用仪器上的望远镜镜头上的十字线交点瞄准测量目标（标尺）。

先调节目镜，使十字线特别清晰，然后放松水平度盘及望远镜的制动螺旋，使望远镜能上下左右旋转，用镜筒上的照准器大致对准目标（标尺），再调节物镜使物像清晰，通过望远镜寻找目标，并使其处于十字线交点附近，旋紧水平度盘和制动螺旋，再旋转水平度盘和望远镜的微动螺旋，使十字线交点准确的瞄准目标（这里要注意，看到的是倒影）。

将标杆直立于被测木桩上作为瞄准目标，当十字线交点对准标杆下部铁尖或使十字线的竖线平分标杆即为瞄准，如图 2-43 所示。

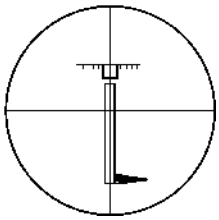


图 2-43　瞄准示意图

4）直线的测量及定线：直线的测量在架空线路中用得最多，并且要多点成线，通常采用两点间定线来进行直线的测量。如图 2-44 所示，在 A、B 两点间定线，先在 A 点放置经纬仪，在 B 点立标杆，用望远镜瞄准 B 点标杆，观察者指

挥另外一人持杆立于视线方向的 C 点上，即 C 点的标杆应和 B 点的标杆在镜头内重合，这时可在 C 杆垂直下方钉桩即可。同样方法可测出 D、E 点，且 A、B、C、D、E 点在同一条直线上。

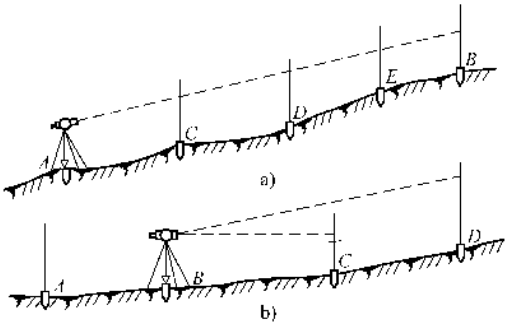


图 2-44　直线杆的测量定位

此法可用于单杆定位测量以及双杆、铁塔的立桩定位测量上。

5）方位及水平角的测量：直线测量的同时应测量方位，同时把线路的走向及方位标注在平面图上，方位的测量应用带有罗盘的经纬仪，否则应用罗盘仪并将其置于木桩的中心上。由图 2-45 可知，物镜—目镜所成直线即为线路的直线，其与南北连线的夹角即为线路的方位。如将罗盘置于转角木桩，即可测出转角的角度，如使用象限罗盘更给测量带来方便，如图 2-46 所示。

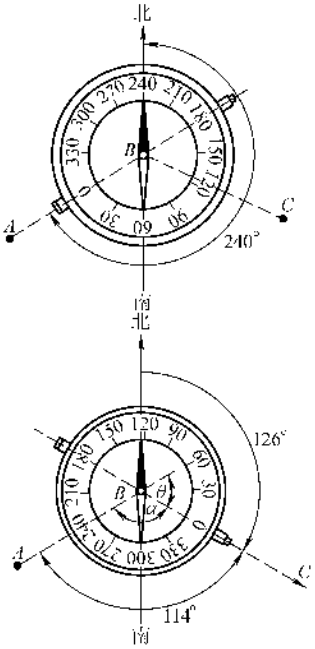


图 2-45　方位的测量

通过方位的测量，很容易知道两条直线垂直的测量，这就是测量好第一条直线后，在原地将经纬仪旋转 90°，即可测出第二条直线，第一条直线与第二条直线是互相垂直的。

水平角的测量是通过水平度盘和游标盘上的刻度来测量的。为了保证测量准确，一般采用复测法，如图 2-47a 所示。将仪器置于 B 点，取正镜位置，使游标Ⅰ的 0°对准度盘的 0°，固定游标盘，松开度盘，瞄准 A 点，再固定度盘，读出Ⅰ、Ⅱ游标读数，并计算其平均值 α，作为 O 点参考值。

松开游标盘，按顺时针方向瞄准 C 点，固定游标盘，读出游标Ⅰ的读数 β，读出游标Ⅱ的读数（只读分和秒）β'，并计算其平均 $\overline{\beta}$。

然后重新以 A 点为始点，并按上述方法重复测量两次，最后取三次的平均值即为所测角的角度。

6）距离的测量：距离一般用钢卷尺或米绳测量，但有时被测点间有障碍物，这时可用仪器并经过计算测量，带电脑的仪器也可直接读数，如图 2-47b。

C 可为一自然目标（树等）也可为一人为目标（标杆），AB 可用钢卷尺测量，α、β 可用经纬仪测出，则根据三角学中的正弦定理，即有

$$AC = AB\frac{\sin\alpha}{\sin\ (180° - \alpha - \beta)}$$

7）高差的测量：高差的测量就是测量几个点的标高是否一致，通常叫做找平。单杆线路不必测量高差，双杆线路可用经纬仪测量两桩的高差，也可用水准仪测量，铁塔基础高差的测量一般用水准仪。

用经纬仪测量高差的方法较简单，但精度较低。先将仪器安置在主桩上，用望远镜瞄准前后的杆塔木桩，也可钉上辅助桩；然后将仪器沿水平方向转动 90°，即可在线路中心线的垂直方向上钉 B、D 辅助桩。这时要注意 B 到主桩和 D 到主桩的距离应为根开/2。然后把仪器移至线路方向距主桩大于 10m 的位置 E 点，这时将望远镜瞄准 B 点及其上面的标杆，并记录瞄准高度且在标杆上刻上标记 b；再将仪器水平移动到并瞄准 D 点并把 B 点的标杆也移到 D 点上，测出标记 d，瞄准后即可测出 B、D 点的高差，见示意图 2-48。

8）经纬仪使用注意事项：

①　使用前必须仔细阅读使用说明书并了解仪器的构造，特别是新型产品与旧型号有很多不同。

②　按照使用说明书进行支架、仪器的安装和拆卸，避免误操作，因为有的仪器组装结构是互不相同的。

③　仪器出箱前，要记清仪器的放置方法及位置，出箱时应用手托住底座，用完后应按原放置位置装进去。

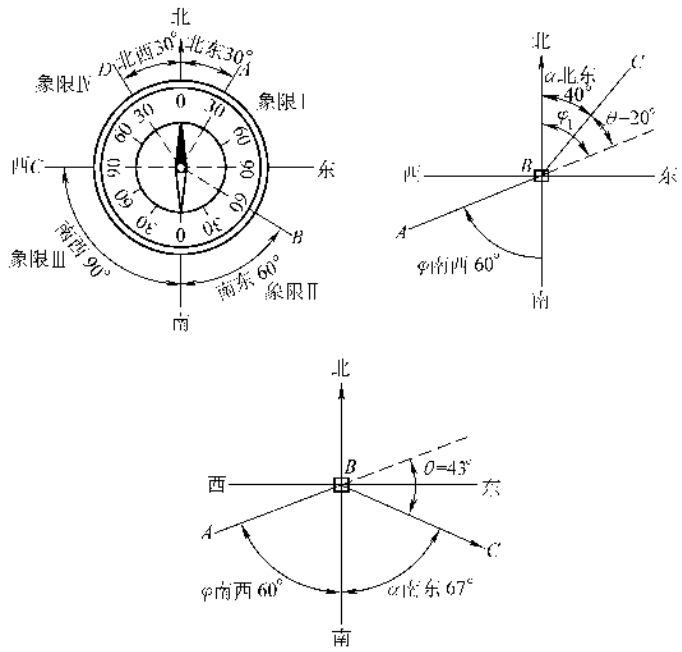


图 2-46 象限罗盘及其使用

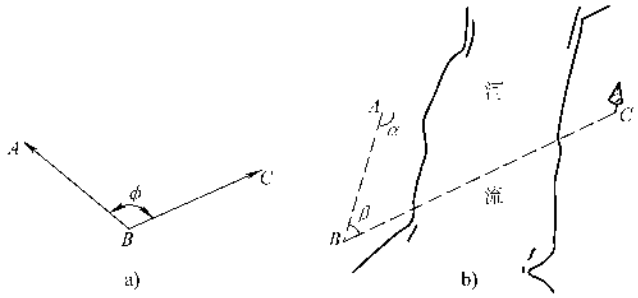


图 2-47 水平角和距离的测量

a）水平角的测量 b）距离的测量

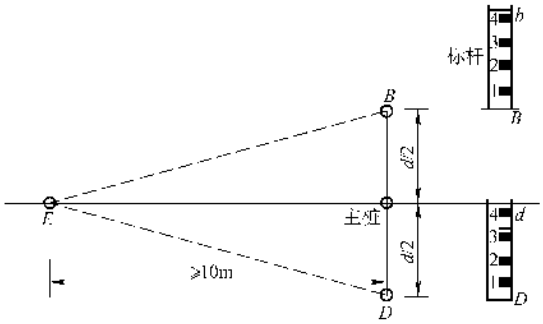


图 2-48 高差测量示意图（经纬仪）

④ 三脚架必须支稳经检查无误后才能安放仪器，同时即时拧紧连接螺旋。各部螺旋的松紧要适中，任何时候不得强行拧动。

⑤ 转动仪器时，要用手扶住支架或度盘，要平稳缓慢转动，不得转动望远镜使仪器去转动。

⑥ 目镜和物镜不得用手、布、硬纸去擦拭，一般应用镜头纸或软毛刷掸去灰尘，以免划伤。

⑦ 避免在强烈日光下使用，以防水准管破裂或气泡偏移。

⑧ 装卸搬运时要轻拿轻放，一般情况下应人工背着装运。仪器要专人使用，专人保管。

⑨ 使用完后要除去灰尘，被雨淋雪打应用软布擦去水珠，风干后再装箱，装箱时要将制动螺旋稍拧紧即可。

⑩ 仪器要定期检修保养，检验校正。检验校正要由专业人员进行。

（3）水准仪的使用 水准仪的安置方法与经纬

仪基本相同，安稳后用圆水准器大概整平仪器，通常是先调整靠近操作者的两只整平螺旋使跑偏的气泡退至中线上（另一只螺旋与圆水准器成的直线），然后再调整另一只螺旋，使气泡进入小圆圈中心，仪器即整平。

整平仪器后，用望远镜瞄准水准尺（塔尺），转动微倾螺旋 A 使水准管的气泡居中，气泡的影像即可在望远镜旁的小窗内反映出来，如图 2-49 所示，只有气泡居中时，视线才处于水平位置，这时才能读数，读数后仍要检查一下气泡是否居中，否则要重新调整居中后才能读数。

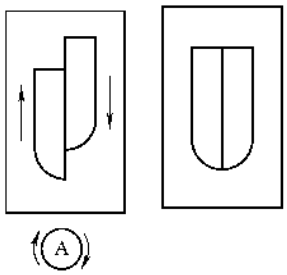


图 2-49　气泡的调整

把仪器放置在两点的中点上，即可观测该两点的标高是否一致，并测出高差；把仪器放置在两点连线的中垂线上也可进行观测。把仪器放在四点的中心点上或中心点与任意两点连线中点的连线或其延长线上，即可观测四点标高是否一致，并测出高差，如图 2-50 所示。

水准仪的使用必须与水准尺（塔尺）配合使用，如图 2-51 所示。要注意塔尺上的读数，有的尺子刻度数字由下向上增加，数字倒写，而在望远镜中看到的则是正写，便于读数。另外扶尺员一定要把塔尺扶直，才能读数准确。

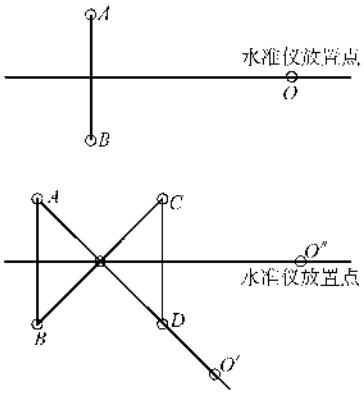


图 2-50　高差的测量示意图（水准仪）

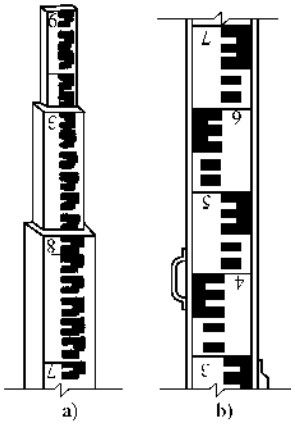


图 2-51　塔尺的使用示意图

第七节　吊装运输基本技能

吊装运输在电气安装工程中占很大比例，如柜的安装、变压器安装、杆塔组立、电动机安装、防雷系统安装、风电安装等都要用到吊装及运输方面的技能。

一、工具的使用

1. 撬杠

也称撬棍，常用于重物与地面接触部位，是用杠杆的原理使重物离开地面垫以支撑物或使重物移动。使用时支点应垫硬木块；不得随意增加撬杠的长度；撬杠端部与重物接触时应选择重物有足够强度的部位，必要时应垫以木板，以防损坏重物；使用时应用双手握杠，双脚要立地站稳，缓慢均匀地用力。撬杠一般有大#（长 1500mm）、中#（长 1000mm）、小#（长 600～800mm）三种，端部角度一般为 45°，使用时要按重物的吨位选用。

2. 滚杠

常垫于重物之下并使重物能够移动。滚杠一般用厚壁无缝钢管制成，其规格可按表 2-22 和表 2-23 选用，其长度应伸出被运物体底座边缘或底排的边缘。弯曲、裂纹、截面呈椭圆的滚杠禁止使用。

表 2-22　滚杠规格

物体重量/t	无缝钢管规格/mm
<10	$\phi76\times6$
10～30	$\phi89\times4.5$～$\phi89\times6$
30～50	$\phi89\times10$～$\phi114\times10$
50～100	$\phi114\times10$～$\phi114\times14$
100～200	$\phi114\times14$～$\phi133\times14$
200 以上	$\phi136\times16$～$\phi159\times16$

表 2-23　单根滚杠的承重能力

滚杠规格/mm	材质	每根滚杠承重能力/t
$\phi89\times4.5$	10 钢	2
$\phi108\times6$	10 钢	4

（续）

滚杠规格/mm	材质	每根滚杠承重能力/t
ϕ114×8	10 钢	6.5
ϕ114×10	20 钢	10.9
ϕ114×12	35 钢	16
ϕ114×14	35 钢	25

3. 底排

也称排子，是与滚杠配套使用的工具，用钢、木或钢木混合制成，前后着地两端制成 20°～30°坡面，以便于滚杠出入，如图 2-52 所示。木制排子应选用优质枕木制成，并根据吨位选用，见表 2-24。底排对道路要求较严格，除了道路坚实平坦及对坑洼、松软地段填平夯实外，还应在道路上铺设滚道，见图 2-52，并参见第 18 章变压器运输相关内容。滚道必须用枕木铺设，一般设两条滚道，每条至少用两根枕木并排设置，枕木的接头处并排枕木应错开。滚杠和滚道在运输过程中要进行调整角度，向前移动时两者应垂直，拐弯时除了滚道铺设一定角度外，滚杠也要有一定角度。整个过程中都要监视滚杠的角度并用大锤进行调整。

表 2-24　底排用枕木规格

物体重量/t	枕木规格/mm	枕木长度/m	枕木根数
<15	160×230	2.5～3	2
15～30	220×300	3～4	2
30～50	280×350 300×400	3～4	2
50～100	320×400	5～6	4
100～200	400×500	5～6	4
200～300	400×500	5～6	4
300～400	400×500	5～6	6

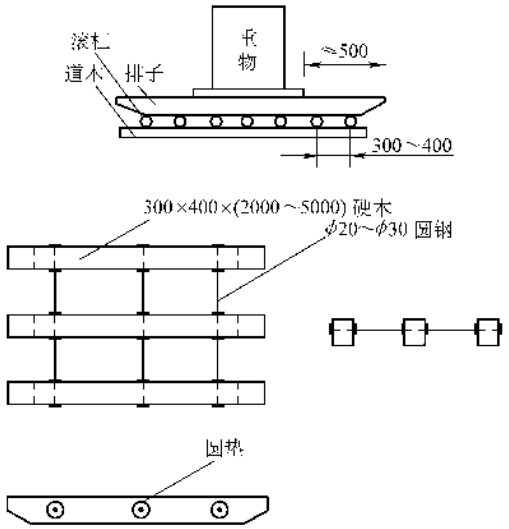


图 2-52　排子及其应用

4. 滚动运输

可用绞磨、卷扬机、机动车作为牵引动力，距离较近时也可用撬杠。但牵引速度应缓慢均匀，在坡道上必须设置溜绳作为保护。重心较高或稳定性差的设备不宜采用滚杠运输。运输过程中，搬运滚杠和枕木时，操作人员应相互照顾、互相配合，防止碰伤、扭伤或压伤。作业时应设一名有经验者统一指挥。

二、绳索及器具

1. 白棕绳

即麻绳，只能用于受力不大的溜绳和缆风（也称晃绳），也可用于轻便工作的手动吊装和运输作业上。严禁用于机械传动和摩擦阻力大、速度快或有腐蚀性的吊装作业中。白棕绳的最小破断拉力 f 和安全系数 K 见表 2-25 和表 2-26。f/K 就是白棕绳实际的破断拉力。使用白棕绳时应先仔细检查，若磨损达直径的 30% 时应予以报废。使用时不得打结，不得碰击尖锐锋利之物，避免在粗糙物上拖拉，捆绑物体时应在尖角处垫以软质物，白棕绳应与木滑轮配合使用，白棕绳的保管应防潮、防蛀、防化学物品、防高温等。

表 2-25　常用白棕绳的最小破断拉力 f

直径/mm	重量/(kg/100m)	最小破断拉力/kN 白棕绳等级 Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
6	3	4.05	2.68	1.76
8	5	6.66	4.40	2.90
10	7	9.20	6.10	4.00
12	10	11.66	7.55	5.09
14	14	16.30	10.90	7.22
16	18	19.60	13.40	8.71
18	23	24.60	16.60	11.00
20	28	31.20	21.10	13.90
22	34	37.60	24.50	16.80
24	40	43.80	29.60	19.60

表 2-26　白棕绳的安全系数 K

使用情况	安全系数
地面水平运输；做溜绳	5
缆风绳	6
绑扎绳	10
一般吊装作业；高空系挂	6
载人升降	14

2. 钢丝绳

牵引用钢丝绳一般选用 6 股 37 丝加一个有机芯的即 6×37+1；缆风绳或吨位很小时，则选用 6 股 19 丝加一个有机芯的即 6×19+1。主要数据见表 2-27和表 2-28。

表 2-27　6×19 钢丝绳的主要数据

钢丝绳直径/mm	参考重量/（kg/100m）	钢丝绳公称抗拉强度/（N/mm²）				
		1400	1550	1700	1850	2000
		钢丝破断拉力总和不小于/kN				
6.2	13.53	20.0	22.1	24.3	26.4	28.6
7.7	21.14	31.3	34.6	38.0	41.3	44.7
9.3	30.45	45.1	49.9	54.7	59.6	64.4
11.0	41.44	61.3	67.9	74.5	81.1	87.7
12.5	54.12	80.1	88.7	97.3	105.5	114.5
14.0	68.50	101.0	112.0	123.0	134.0	144.5
15.5	84.57	125.0	138.5	152.0	165.5	178.5
17.0	102.30	151.5	167.5	184.0	200.0	216.5
18.5	121.80	180.0	199.5	219.0	238.0	257.5
20.0	142.90	211.5	234.0	257.0	279.5	302.0
21.5	165.80	245.5	271.5	298.0	324.0	350.5
23.0	190.30	281.5	312.0	342.0	372.0	402.5
24.5	216.50	320.5	355.0	389.0	423.5	458.0
26.0	244.40	362.0	400.5	439.5	478.0	517.0
28.0	274.00	405.5	449.0	492.5	536.0	579.5
31.0	338.30	501.0	554.5	608.5	662.0	715.5
34.0	409.30	606.0	671.0	736.0	801.0	
37.0	487.10	721.5	798.5	876.0	953.5	
40.0	571.70	846.5	937.5	1025.0	1115.0	
43.0	663.00	982.0	108.5	1190.0	1295.0	
46.0	761.10	1125.0	1245.0	1365.0	1490.0	

注：表中，粗线左侧，可供应光面或镀锌钢丝绳，右侧只供应光面钢丝绳。

表 2-28　6×37 钢丝绳的主要数据

钢丝绳直径/mm	参考质量/（kg/100m）	钢丝绳公称抗拉强度/（N/mm²）				
		1400	1550	1700	1850	2000
		钢丝破断拉力总和不小于/kN				
8.7	26.21	39.0	43.2	47.3	51.5	55.7
11.0	40.96	60.9	67.5	74.0	80.6	87.1
13.0	58.98	87.8	97.2	106.5	116.0	125.0
15.0	80.57	119.5	132.0	145.0	157.5	170.5
17.5	104.80	156.0	172.5	189.5	206.0	223.0
19.5	132.70	197.5	213.5	239.5	261.0	232.0
21.5	163.30	243.5	270.0	296.0	322.0	348.5
24.0	198.20	295.0	326.5	358.0	300.0	421.5
26.0	235.90	351.0	388.5	426.5	464.0	501.5
28.0	276.80	412.0	456.5	500.5	544.5	589.0
30.0	321.10	478.0	529.0	580.5	631.5	683.0
32.5	368.60	548.5	607.5	666.5	725.0	784.0
34.5	419.40	624.5	691.5	758.0	825.0	892.0
36.5	473.40	705.0	780.5	856.0	931.5	1005.0
39.0	530.80	790.0	875.0	959.5	1040.0	1125.0
43.0	655.30	975.5	1080.0	1185.0	1285.0	1390.0
47.5	792.90	1180.0	1305.0	1430.0	1560.0	
52.0	943.60	1405.0	1555.0	1705.0	1855.0	
56.0	1107.40	1645.0	1825.0	2000.0	2175.0	
60.5	1234.30	1910.0	2115.0	2320.0	2525.0	
65.0	1474.30	2195.0	2430.0	2665.0	2900.0	

注：表中，粗线左侧，可供应光面或镀锌钢丝绳，右侧只供应光面钢丝绳。

选用钢丝绳时应用下式进行估算：

$$F \geqslant Kf \qquad (2\text{-}1)$$

式中 F——所选钢丝绳的破断拉力，单位为 kN；

K——安全系数，见表 2-29；

f——钢丝绳工作时的最大拉力，单位为 kN，由重物的吨位和运输方式决定。

按计算结果去表 2-27 和表 2-28 中查找相适应的规格钢丝绳，一般应选择略大于计算结果的钢丝绳。

表 2-29 钢丝绳的使用安全系数

使用情况	安全系数	使用情况	安全系数
用于缆风绳	3.5	用于机动起重设备	5～6
用于支承动臂	4		
起重机自身安装用	2.5	用于吊索	6～7
		用于捆绑	8
用于手动起重设备	4～5	用于载人升降机	12

使用钢丝绳前应对其进行检查，当断丝数达到表 2-30 和表 2-31 时应予以报废，其中节距是指每股钢丝缠绕一周的轴向距离。钢丝绳使用时必须处理好端部的固定和连接，如绳卡法、插接法、楔块与楔套法、锥形套浇铸法、铝合套压缩法等，连接强度不得小于破断拉力的 75%。

表 2-30 圆股钢丝绳报废标准

安全系数 K	交互捻钢丝绳	
	6×19+1	6×37+1
	一个截距内断丝根数	
<6	12	22
6～7	14	26
>7	16	30

表 2-31 钢丝绳报废标准

长度范围	断丝数		
	6×19+1	6×24+1	6×37+1
$6d$	10	13	19
$30d$	19	26	38

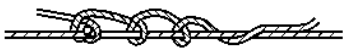
注：d——钢丝绳直径。

钢丝绳的存放应保证干燥、通风、避免雨淋及接触腐蚀性物质。应保持其清洁并定期涂抹无水防锈油，并由有经验的起重工协助进行。

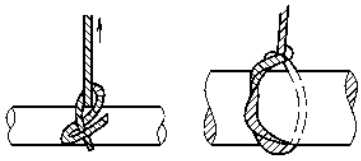
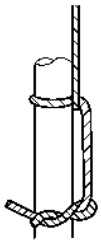
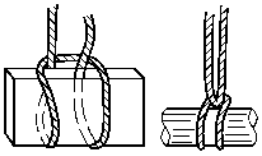
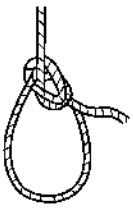
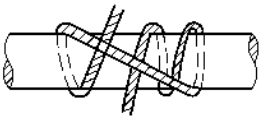
3. 绳结或绳扣

白棕绳和钢丝绳在结扣时必须遵守一定的规则，其目的是保证其的结构强度，避免死弯，必要时应在结扣中间放置一短硬木块，常用结扣见表 2-32。

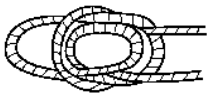
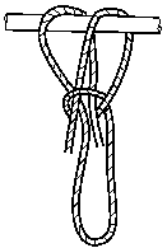
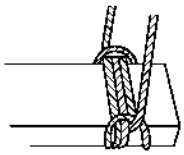
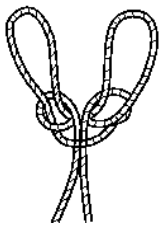
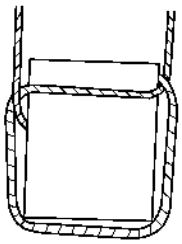
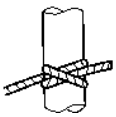
表 2-32 常用结绳结法

结绳法	绳的名称	用途和说明
	平结	用于连接两根粗细相同的麻绳
	活结	用于连接两根需迅速解开的、粗细相同的麻绳
	对结（搭索结）	用于连接麻绳或钢丝绳的两端，如系钢丝绳时应垫以圆木，并用钢丝绳夹
	单帆索结	用于连接麻绳或钢丝绳的两端，如系钢丝绳时应垫以圆木，并用钢丝绳夹
	双帆索结	用于连接麻绳或钢丝绳的两端，如系钢丝绳时应垫以圆木，并用钢丝绳夹

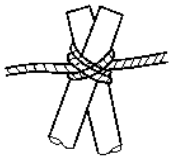
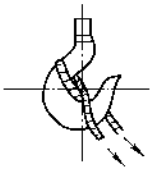
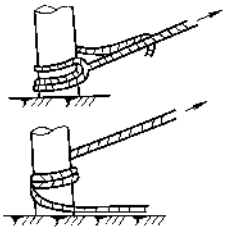
（续）

结 绳 法	绳的名称	用途和说明
	系木结 （背扣）	用于麻绳横向系吊圆木、管子等物件
	叠结 （拔桩结）	用于麻绳纵向系吊圆木、管子等物件
	死绳结	用于麻绳或钢丝绳横向系吊物件
	水手结 （单绕索结）	用于设备拖拉和穿挂涡车等
	双绕索结	用于麻绳或钢丝绳中段固接
	鲁班结	用于麻绳或钢丝绳拔、扎桅杆等，绳结紧而不易松

（续）

结 绳 法	绳的名称	用途和说明
	瓶口结	用于拴绑及起吊圆柱形物体，特点是绳结越拉结越紧
	杠棒结法	用于抬运物件，具有结绳、解绳展迅速的特点
	跳板扣	用于捆绑跳板，用此结时跳板不易翻转
	蝴蝶结 （板凳扣）	用于吊人升空作业
	抬缸结	用于抬缸或系吊圆桶形物件
	“8”字结 （梯形结、猪蹄结）	用于捆绑物件或桅杆绑扎

（续）

结 绳 法	绳的名称	用途和说明
	双“8”字结（双梯形结）	用于捆绑物件或桅杆绑扎
	挂钩结	用于绳索与吊钩间的连接
	拴柱结	用于缆风绳的固定，绳索的溜放

4. 吊索

也称千斤绳、带子绳，一般用 6×19 或 6×37 的钢丝绳制成。吊索是用来绑扎重物并为吊物提供吊点的索具，其外形及允许最大吊重如图 2-53 和表 2-33 所示。

吊索尺寸及展开钢丝绳长度图中尺寸

钢丝绳直径 /mm	绳扣长度 l_1 /cm	编接长度 l_2 /cm	破头长度 l_3 /cm
12.5～14.0	25	30	50
15.5～17.5	30	35	55
18.5～20.0	35	40	60
21.5～23.0	40	45	80
24.5～26.0	45	50	90
28.0～32.5	65	75	100
34.0～37.0	65	85	110

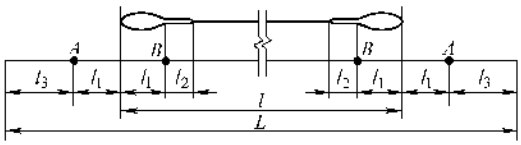


图 2-53　吊索及其展开长度

表 2-33　Sb＝1400MPa 钢丝绳吊索的允许吊重

（单位：t）

钢丝绳直径 /mm		吊索与水平线的夹角					
		90°		60°		45°	
钢丝绳规格		吊　索　根　数					
6×19	6×37	1	2	2	4	2	4
12.5	—	1.21	2.03	1.75	3.51	1.43	2.86
—	13.0	1.33	2.22	1.92	3.85	1.57	3.14
14.0	—	1.53	2.34	2.03	4.05	1.65	3.31
—	15.0	1.81	3.02	2.62	5.23	2.14	4.27
15.5	—	1.89	3.57	3.09	6.18	2.52	5.05
17.0	—	2.30	3.83	3.32	6.63	2.71	5.42
—	17.5	2.36	3.94	3.41	6.82	2.79	5.57
18.5	—	2.73	4.55	3.94	7.88	3.22	6.43
—	19.5	2.79	4.98	4.31	8.63	3.52	7.04
20.0	—	3.21	5.35	5.29	10.58	3.78	7.56
21.5	21.5	3.70	6.17	6.11	12.23	4.36	8.72
23.0	23.0	4.36	7.27	6.30	12.59	5.14	10.28
24.5	—	4.85	8.08	7.00	13.99	5.71	11.43
26.0	26.0	5.32	8.87	7.68	15.36	6.27	12.54
28.0	28.0	6.19	10.32	8.94	17.87	7.30	14.59
—	30.0	7.25	12.08	10.46	20.92	8.54	17.08
31.0	—	7.59	12.65	10.95	21.91	8.94	17.89
—	32.5	8.31	13.85	11.99	23.99	9.79	19.58
34.0	—	9.18	15.30	13.25	26.50	10.75	21.49

5. 绳卡

绳卡与索具、套环配合，做夹紧钢丝绳末端用，外形、使用及有关数据如图 2-54 和表 2-34 所示。拧紧绳卡的螺母时应均匀顺序拧紧，一般以压扁钢丝绳直径的 1/4 ~ 1/3 为止。不得松弛，防止滑脱；不得过紧，防止损伤绳子。使用时因受力会拉紧变形，检查后应进行第二次拧紧。

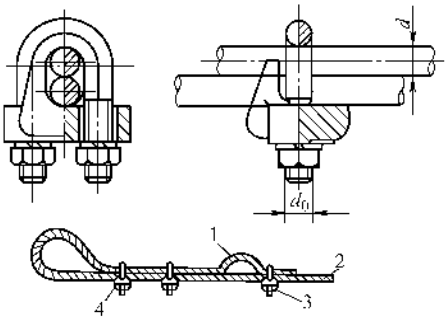


图 2-54　绳卡及使用

1—绳头　2—钢丝绳　3—绳卡（保险）　4—绳卡

表 2-34　绳卡有关数据表

型号		适用绳径 d /mm	卡杆直径 d_0 /mm	绳卡使用	
代号	公称绳径 /mm			间距	数量 /个
Y1-6		6.3	M6	不	3
Y2-8		7.7 ~ 8.7	M8	小	3
Y3-10		9.3 ~ 11.0	M10	于	4
Y4-12		12.5 ~ 13.0	M12	钢	4
Y5-15		14.0 ~ 17.5	M14	丝	4
Y6-20		18.5 ~ 20.0	M16	绳	4
Y7-22		21.5 ~ 23.0	M18	直	5
Y8-25		24.0 ~ 26.0	M20	径	5
Y9-28		28.0 ~ 30.0	M22	的	6
Y2-32		31.0 ~ 34.5	M24	6	6
Y11-40		36.5 ~ 40.0	M24	倍	7

三、吊具

1. 卸扣

也称卡环，常与吊索配合使用，外形如图 2-55 所示，有关数据见表 2-35。使用时绳索的拉力只能作用在弯曲部分和横销上；螺纹销子拧紧时应留有1 ~ 2 扣；光直销必须插上开口销子才能使用；使用时不得抛掷卸扣。

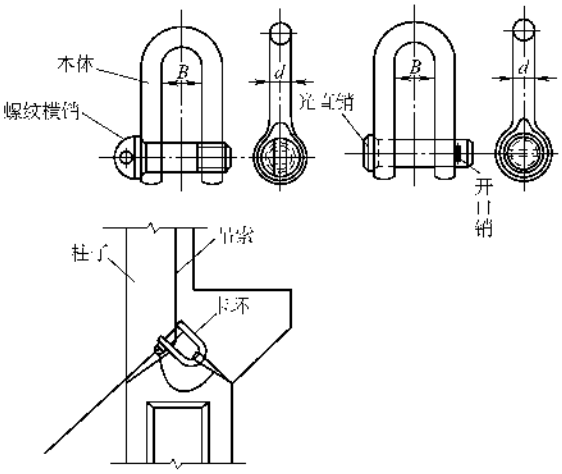


图 2-55　卸扣及使用方法

表 2-35　GD、GE 型钢丝绳卸扣

规格	允许负荷 /kN	主要尺寸/mm				
		绳径≤	本体直径 d	本体开口 B	横销直径	横销螺纹
0.2	2.5	4.8	6	12	8	M8
0.4	4.0	6.6	8	16	10	M10
0.6	6.0	8.5	10	20	12	M12
0.9	9.0	9.5	12	24	16	M16
1.2	12.5	11.0	14	28	18	M18
1.7	17.5	13.0	16	32	20	M20
2.1	21.0	15.5	20	36	24	M22
2.7	27.5	17.5	22	40	28	M27
3.5	35.0	19.5	24	45	32	M30
4.5	45.0	22.5	28	50	36	M33
6.0	60.0	26.0	32	58	40	M39
7.5	75.0	28.5	36	64	45	M42
9.5	95.0	31.0	40	70	50	M48
11.0	110	35.0	45	80	55	M52
14.0	140	39.0	48	90	58	M56
17.5	175	43.5	50	100	65	M64
21.0	210	48.5	60	110	70	M68

2. 吊钩

吊钩是起重机具与绳索或器具挂钩的着点，使用前必须进行检查，有任何不妥均应停止使用或进行检查或试验。吊钩的检验负荷见表 2-36。卸去检验负荷时，吊钩不得有任何明显的变形和缺陷，试验时间一般为 10min 以上。

表 2-36　吊钩的检验负荷

额定起重量/t	检验负荷/kN	额定起重量/t	检验负荷/kN
32	600	100	1430
40	700	112	1580
50	850	125	1725
63	1000	140	1890
80	1200	≥160	超载 33%

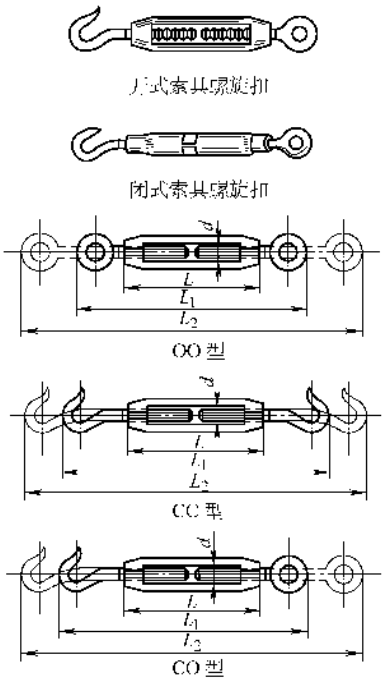


图 2-56　螺旋扣外形

3. 螺旋扣

也称花篮螺钉，常用于拉紧钢丝绳并有调节松紧作用，外形如图 2-56 所示，有关数据见表 2-37。使用时要注意其允许负荷必须大于被调整钢丝绳的最大拉力，同时应将两螺杆调整到对称位置并应留有不小于 10 扣的余量，调整好后应用铅丝捆绑扎实，以免他人误动。

4. 横吊梁

也称铁扁担，铁扁担的使用方式如图 2-57 所示，其目的是减少设备因吊索的水平分力受压变形，避免吊索挤压设备，有利于被吊物件在空中旋转到位，有利于分配吊点的负荷并缩短吊索高度而发挥吊装的能力。铁扁担一般自制，自制好后需进行检验，检验负荷不小于最大吊装负荷的 1.5 倍。吊索与铁扁担的夹角应不小于 45°，并有防止滑伤钢丝绳的措施，使用前应进行外观检查，如有不妥严禁使用。

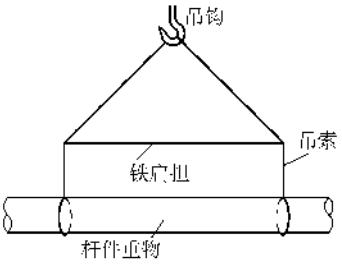


图 2-57　铁扁担的使用方法

表 2-37　螺旋扣数据

型式	螺旋扣号码	许用负荷/kg	适用钢丝绳最大直径/mm	主要尺寸/mm					
				左右螺纹直径 d	螺旋扣本体长 L	开式全长		闭式全长	
						最小 L_1	最大 L_2	最小 L_1	最大 L_2
OO 型	0.1	100	6.5	M6	100	164	242	—	—
	0.2	200	8	M8	125	199	291	199	291
	0.3	300	9.5	M10	150	246	358	246	354
	0.4	430	11.5	M12	200	314	456	314	456
	0.8	800	15	M16	250	386	582	386	572
	1.3	1300	19	M20	300	470	690	470	680
	1.7	1700	21.5	M22	350	540	806	540	806
	1.9	1900	22.5	M24	400	610	922	610	914
	2.4	2400	28	M27	450	680	1030	—	—
	3.0	3000	31	M30	450	700	1050	—	—
	3.8	3800	34	M33	500	770	1158	—	—
	4.5	4500	37	M36	550	840	1270	—	—

（续）

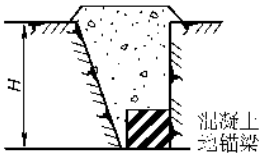
型式	螺旋扣号码	许用负荷/kg	适用钢丝绳最大直径/mm	主要尺寸/mm					
				左右螺纹直径 d	螺旋扣本体长 L	开式全长		闭式全长	
						最小 L_1	最大 L_2	最小 L_1	最大 L_2
CC 型	0.07	70	2.2	M6	100	180	258	—	—
	0.1	100	3.3	M8	125	225	317	225	317
	0.2	230	4.5	M10	150	266	378	266	374
	0.3	320	5.5	M12	200	334	476	334	476
	0.6	630	8.5	M16	250	442	638	442	628
	0.9	980	9.5	M20	300	520	740	520	730
CO 型	0.07	70	2.2	M6	100	172	250	—	—
	0.1	100	3.3	M8	125	212	304	212	304
	0.2	230	4.5	M10	150	256	368	256	366
	0.3	320	5.5	M12	200	324	466	324	466
	0.6	630	8.5	M16	250	414	610	414	605
	0.9	980	9.5	M20	300	495	715	495	710

另外，一般设备上均装有吊环螺钉、起重螺栓、吊耳等吊点装置，使用时应查阅设备说明书并进行外观检查，如有不妥应进行核实，不得随意使用，以防意外。

四、地锚及设置

地锚的形式很多，常用的有桩式地锚、坑式地锚等，其中桩式承载能力不大于100kN，坑式可达数千kN，有关数据见表2-38和表2-39。地锚的设置必须满足吊装需要的承载能力，形式可按受力大小、环境条件、使用方式选用。地锚的设置应选在地面平整、土质坚硬、不积水、不潮湿的地方，周围5m范围之内不得有洞穴、地沟、地下管线缆等，并有排水措施。使用前和使用中要经常检查地锚及周围，防止遭受损坏，不妥之处要及时修复。重要的地锚要进行试拉，使用中要有专人看护，以防不测。不得随意使用建筑物、构筑物、脚手架、电杆、树木及旧地锚或底细不清的地锚作为地锚，必要时要进行核算并征得所属人或部门的允许。临时地锚使用后必须及时拆除，以防止发生意外。

表 2-38　混凝土梁坑式地锚



（续）

地锚允许受力/kN	100	200	300	400	500
地锚坑 H/m	1.5	2	3	3	4
混凝土梁尺寸（长×宽×厚）/m	3×1×1	3×1×1	3×1×1	4×1×1	4×1×1

五、滑车、滑轮及滑轮组

外形如图2-58所示，有关数据见表2-40和表2-41，可按滑轮受力大小选用。滑轮组由定滑轮、动滑轮和钢丝绳组成。

使用前应进行外观检查，必要时应加注润滑剂，青铜轴套加钙基润滑脂，粉末冶金轴套的加20～40#机械油。铭牌不清的应按1.25倍额定起重量的载荷作静载试验。有裂纹、磨损严重、破损的一律不得使用。多轮滑车当做1或2轮使用时，应使用中间的且应保持对称，载荷不得超过1或2轮子的起重量，每个轮子的容许起重量为滑车整组额定起重量除以滑车个数。开口滑车的保险钩必须向上并扣紧扣牢。使用中不得抛掷。滑车应经常清洗上油保养。

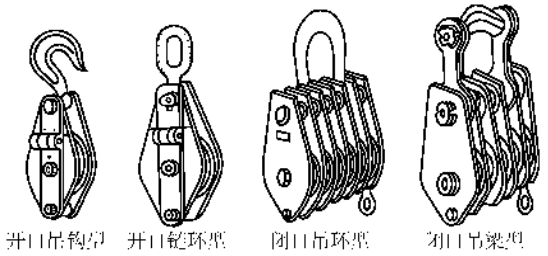


图 2-58　滑轮及滑轮组

表 2-39　桩式地锚

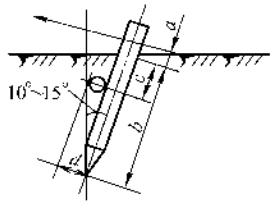
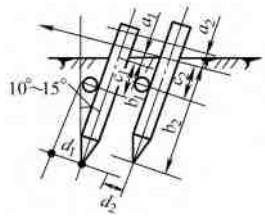
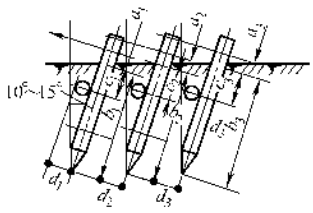
型　式		单　桩				双　桩			三　桩		
简　图											
安全承载力/kN		10	15	20	30	30	40	50	60	80	100
桩尖施于土壤的压力/MPa		0.15	0.2	0.28	0.31	0.15	0.20	0.28	0.15	0.20	0.28
尺寸/cm	a，$a_1 \sim a_3$	30				30			32		
	b，$b_1 \sim b_3$	120				120			120		
	c，$c_1 \sim c_3$	40				40			40		
	d，d_1	18	20	22	26	22	25	26	28	30	33
	d_2	—				20	22	24	22	25	26
	d_3	—				—			20	22	24

表 2-40　起重滑车规格表

滑轮数	结构型式			代号	起重量/t
单轮	开口	桃式	吊钩	KBG	0.5，1，2，3，5，8，10，16，20
			链环	KBL	
	闭口	吊钩		G	0.5，1，2，3，5，8，10，16，20
		链环		L	
双轮	闭口	吊钩		G	1，2，3，5，8，10，16，20
		链环		L	
		吊环		D	1，2，3，5，8，10，16，20，32
三轮	闭口	吊钩		G	3，5，8，10，16，20
		链环		L	
		吊环		D	3，5，8，10，16，20，32，50
四轮		吊环		D	8，10，16，20，32，50
五轮		吊梁		W	32，50，80
		吊环		D	20，32，50，80
六轮		吊环		D	32，50，80，100
七轮		吊环		D	80
八轮		吊梁		W	100，140
		吊环		D	100，140

表 2-41 起重滑车起重量与滑轮数、轮槽底径、钢丝绳直径对照表

轮槽底径/mm	起重量/t														使用钢丝绳直径/mm	
	0.5	1	2	3	5	8	10	16	20	32	50	80	100	140		
	滑轮数														适用	最大
70	1	2													5.7	7.7
85		1	2	3											7.7	11
115			1	2	3	4									11	14
135				1	2	3	4								12.5	15.5
165					1	2	3	4	5						15.5	18.5
185							2	3	4	6					17	20
210						1			3	5					20	23.5
245							1	2		4	6				23.5	25
280									2	3	5	7			26.5	28
320								1			4	6	8		30.5	32.5
360									1	2	3	5	6	8	32.5	35

与钢丝绳组成滑轮组时，两者均应按实际最大载荷不大于额定起重量或允许载荷的原则选取。其钢丝绳的载荷是用最大载荷或额定起重量除以两滑车之间所有钢丝绳根数而算得的，同时乘以 1.25 倍作为考虑钢丝绳与轮子的阻力，最后按表 2-27、表 2-28 选定钢丝的规格。钢丝绳选定后即可选用牵引机械。选用钢丝绳时必须使其直径与轮子匹配，可在上述表中核查落实，严禁使用直径超过滑车最大使用直径的钢丝绳，特别是采用插编结接头的钢丝绳更要注意。

钢丝绳与滑轮组的穿绕必须保证：钢丝绳既不得与轮槽外缘形成死弯，也不得与夹板相摩擦；引向牵引动力的一端应由定滑轮引出，固定端可视情况固定在动滑轮或定滑轮上；钢丝绳不得打扭成结。穿好后可缓慢收紧钢丝绳进行检查，发现卡绳、磨绳、转动阻卡等不妥应调整正常。使用中有异常响动及不妥应立即停下检修至正常。

六、常用吊装机具

1. 手拉葫芦

也称倒链，常与三木搭配合使用于装卸及设备安装上，是最常用且又简单的起重机具，可按表 2-42 选择，额定起重量应大于吊装作业中出现的最大载荷，外形如图 2-59 所示。

使用前应全面检查外观及传动部位有无不妥、制动部分动作是否可靠。拉动手链时应缓慢均匀，不得太快过猛，两条拉链的操作应同步。倒链的起重链严禁放尽，至少必须保留 5 个以上的链环。被吊件到达

表 2-42 手拉葫芦主要技术数据

起重量/t	起重高度/m				两钩间最小距离/mm			满载时手链拉力/kN		
	HS 型		WA 型	SBL 型	HS 型	WA 型	SBL 型	HS 型	WA 型	SBL 型
0.5	2.5	3	2.5	2.5	280	235	195	170	195	180
1	2.5	3	2.5	2.5	300	270	500	320	310	220
1.5	2.5	3	2.5	—	360	335	—	370	350	—
2	2.5	3	2.5	3	380	380	500	330	320	260
2.5	2.5	3	2.5	—	430	370	—	410	380	—
3	3	5	3	3	470	470	500	380	350	260
5	3	5	3	3	600	600	590	420	380	330
7.5			3	—	—	650	—	—	390	—
10	3	5	3	3	730	700	700	450	390	430
15			3	—	—	830	—	—	415	—
20	3	5	3	—	1000	1000	—	450	390	—
30			3	—	—	1150	—	—	415	—

注：表 2-42 列有三种型号，WA 是在 HS 基础上改进的，SBL 型采用新的传动机构，机械效率较高，但自重比 HS 增大。

就位高度应及时就位卸钩，未卸钩前必须有人拉紧拉链。倒链应保持清洁，严禁泥沙、污物进入传动部分。

2. 千斤顶

常用于将重物顶起，以便垫以排子、滚杠或维修，可按表 2-43 和表 2-44 选择。千斤顶严禁超载使用，不得任意加长手柄；顶升时不得超过规定高度或标线。使用时，底部必须支在坚实平稳的基座上，一般应垫以枕木；支点应与重物重心配合不至于倾斜，多个千斤顶顶升一重物时支点必须分配均匀，提升高度应同步；重物与千斤顶接触部位应有足够的强度，受力后不得变形，一般应垫以木块。使用前检查外观并进行空载顶升试验，存放时应保持清洁，避免泥沙污物进入体内。

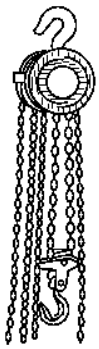


图 2-59　手拉葫芦外形

表 2-43　螺旋千斤顶及有关数据

起重量/t	5	10	15	30	50
最低高度/mm	250	280	320	395	700
起升高度/mm	130	150	180	200	400

表 2-44　液压千斤顶及有关数据

起重量/t	3	5	8	12.5	16	20	32	50	100	200	320
最低高度/mm	200	235	240	245	250	285	290	305	360	400	450
起升高度/mm	130	160	160	160	160	180	180	180	200	200	200
螺旋调整高度/mm	80	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—

（1）螺旋千斤顶的操作

1）上升时，先将棘爪推至上升方向，用手直接转动棘轮，使升降套筒上升，直至顶盘与被顶重物接触，然后插入手柄往返扳动即可顶升。

2）下降时，先将手柄拔出，推动棘爪至下降方向，再插入手柄往返扳动即可下降。

（2）油压千斤顶的操作

1）上升时先拧松回油门，将活塞全部压下，然后拧紧回油门，将手柄插入后平稳压动手柄即可将重物顶升。

2）下降时，缓慢松开油门将重物落在垫木上。然后取出千斤顶开大回油门，活塞全部压回后将回油门拧紧。

3. 绞磨

绞磨是最远古的起重设施，能沿用到现代说明它有着其他起重机具不能比拟的优点。绞磨一般是自制的，但必须保证足够的强度和刚度，并有制动装置。使用前应检查外观有无破损裂纹及明显的变形，制动是否可靠，检查地锚是否符合要求。绞磨应设置于较平坦的地方，磨心与导向轮应基本在一条水平线上。使用中，钢丝绳从磨心的下部顺时针（从上往下看）方向上缠绕，一般为 5～6 圈且不得重叠，下部引自重物方向，上部则由有经验的人撑紧，并随收紧、停止、松弛而拉紧钢丝绳。如缠绕部分出现卡涩现象应立即停止，只有将绳理顺后才能重新起动。推动绞磨的速度应中速且均匀，随时听从指挥者的口令，如发生钢丝绳卷绕不动且正常用力难以推动时，则应立即停止推动绞磨，消除故障后才能重新起动。当需要停止时应用制动装置制动，同时必须推住磨杆不得松手；需要下降时应缓慢推住磨杆后退而不得松手。当需要较长时间停止时，绳末端应用绳卡（不少于两个）与地锚或前端绳子卡在一起封住。

4. 卷扬机

卷扬机一般由电动机、减速机、卷筒组成，常用卷扬机的数据见表 2-45。卷扬机的设置及使用有很多方面与绞磨相似，但钢丝绳应从卷筒的下方卷到卷筒上，钢丝绳展放到最末时留在卷筒上的绳子不得小于 3 圈，机械部分的润滑应良好正常，电气制动和机械制动均为良好，电气部分的绝缘、控制、保护应按电气标准进行检查和试验，采用绕线转子异步电动机和凸轮控制器控制的卷扬机应有零位保护，机身必须接地且接地良好，操作人员必须经考试合格且持证上岗。

表 2-45　常用卷扬机技术性能

型　号	额定牵引力/kN	卷筒直径/mm	卷筒长度/mm	平均速度/（m/min）	容绳量/m	绳径/mm	电动机功率/kW
JJM-3	30	340	500	8	100	ϕ15.5	7.5
JJM-5	50	400	840	8	190	ϕ23.5	11
JJM-8	80	550	1000	9.9	300	ϕ28	22
JJM-10	100	550	968	8.1	350	ϕ34	22
JJM-12	120	650	1200	9.5	600	ϕ37	30
JJM-20	200	850	1324	9.6	1000	ϕ40.5	55
JJK-3	30	350	500	27.5	300	ϕ16	28
JJM-5	50	220	600	32	500	ϕ22	40

七、人字架及三角架

人字架也称两木搭，是最常用的起重装置，可与倒链、绞磨、滑轮组及卷扬机配合，进行吊装或装卸作业，经济实用。圆木人字架的选择见表 2-46。钢管

人字架的允许轴心受力见表 2-47。

表 2-46 圆木人字架规格及性能

木杆长度/m	木杆梢径/mm	木杆与地面的夹角		
		75°	65°	55°
		起吊重量/t		
6	200	5	3.75	3.0
8	210			
11	230			
13	240			
15	250			
6	260	9.0	7.0	5.0
8	270			
11	280			
13	290			
15	300			
6	310	15.0	12.5	10.0
8	320			
11	330			
13	340			

注：1. 两木杆底端中心距为人字架高度的 1/2。

2. 缆风绳倾角为 30°。

表 2-47 钢管抱杆的允许轴心受力

容许轴心受力/kN	抱杆长度/m			
	8	10	15	20
29.4	159/6	159/6	273/8	325/8
49	219/8	219/8	273/8	325/8
98	219/8	219/8	273/8	325/8
147	273/8	273/8	325/8	377/10
196	273/8	273/10	325/8	426/10

注：表中分子为钢管外径（mm），分母为钢管壁厚（mm）。

人字架应设置于平坦坚硬宽阔的地面上，着地点应位于 100mm 深、直径略大于木杆根直径的小圆坑内。使用前应全面检查杆身及传动系统，不妥之处必须处理满足吊装要求为止。两杆根部一般应有钢丝绳连接且撑紧（扫地绳）。

两杆顶部绑扎时，应保证两杆交叉点至底端的长度一致。绑扎应用钢丝绳进行，将丈量好的两杆交叉放在平地上，底部置于两小圆坑处，把交叉点测量好后在交叉点处垫以木块将端部支起约 500～600mm，先在置于下面杆的交叉处打上一个木结（见表 2-32），另端在交叉处自下而上顺序绕 10 圈，然后继续在上面的杆上绕一圈后将绳头从交叉处的下面在两杆交叉处之间上下绕 3～4 圈（打围脖），这样就把先绕的 10 圈扎住了，最后把绳尾用 3～4 圈的最后一圈压住即可。

缆风绳先在其中间打一个“8”字结（见表 2-32）套在交叉处，然后绳的一端分别在两杆顶部各绕一圈，且绳头从这一圈的下面穿过后再引至地锚处，另一端与之相同绕法。

将倒链或滑子挂好即可将人字架立起，一面用人力或戗杆支起，另一面用缆风绳拉起即可将人字架立起到需要角度，然后把缆风绳与地锚紧固好。立起时要注意滑轮组及钢丝绳不得弄乱。

三角架也称三木搭，与两木搭基本相同，但不系缆风绳，常与倒链相配合使用。

八、起重机的选择

有条件的情况下，起重机是起重装卸作业的首选机械。起重机包括汽车吊、履带吊、轮胎吊等。选择起重机时必须满足起重量和作业高度、半径的要求，同时必须保证作业过程中吊件、臂杆、臂架及配重不得与周围环境他物相碰。

起重机司机必须按安全操作规程进行操作并持证上岗，作业前必须按要求打开支腿并支稳固。

九、运输车辆的选择

有条件的情况下，汽车是运输的首选车辆，当条件不允许或通路不能通过汽车时应选择马车，距离较近可选人力车。当重物超重时，可选用排子滚杠法。运输前必须勘察道路的实际情况，物件超大时应征得交通部门的批准及配合，田间运输必须征得农民的同意并给予经济补偿。运输时，物件必须绑扎牢固，重心稳固。通过桥梁、坡道、沙河、障碍物、架空线路时应有防护措施。当采用人力运输时，必须统一行动，步调一致、前后左右互相照应。运输的速度，当采用人力和滚动时不宜快，以免发生事故。

十、电气设备吊装和运输注意事项

1）电力变压器吊装和运输时，不得发生严重冲击和振动，牵引时的牵引点应在重心以下，卸车时要注意核对高低压侧的方向并与安装方向一致，干式变压器要有防雨措施，千斤顶顶升变压器时要置于油箱下部的专用部位，储油柜（油枕）、瓷绝缘子端子不得触及吊索，起吊钢索应系在专门的吊耳上，吊心检查时铁心及器身不得与箱壁碰击，油浸式变压器应直立搬运。吊心检查应编制工艺手册。

2）电气盘柜吊装和运输时，应采取防振、防潮、防止框架变形和漆面受损受摩擦的措施，必要时应卸下易损器件，吊索装设必须可靠，禁止在作业中发生滑脱、倾翻等故障，产品对吊装运输有要求的应严格按说明书进行。

3）电缆（电线）吊装和运输时，不得使电缆及电缆盘受到损伤，严禁将电缆盘直接由车上滚下，任何时候电缆轴必须立放而不准平放。滚动电缆盘时必须先检查电缆盘的牢固性，其滚动方向应与缠绕的方

向相反，地面上凸起的异物不得触及电缆。吊装时必须由穿入钢管轴与吊索钩挂，钢索不得穿入轴心吊装。电线与电缆注意事项相同。

4）电动机吊装和运输时，吊装的受力点应符合说明书的规定，防止外壳、铁心、线圈受到损伤或承受额外的机械应力，用定子上的吊环吊装时，其螺纹必须全部拧紧。抽心吊装转子时，钢丝绳或吊索应用软性材料包裹，转子的吊点应垫木块，假轴应选用厚壁管，其内径应与电动机轴吻合。大型电动机及其轴心检查应编制施工方案或作业指导书。吊装前应仔细检查定子和转子，确保间隙无异物，保证内部清洁、风道畅通，抽出和穿入时不得碰及定子线圈，铁心下部及线圈端部应先用纸板或橡胶板覆盖，不得将任何异物留在定子内，人进入定子时必须穿软底鞋，不得携带金属物进入定子内。作业人员应阅读电动机说明书并遵照执行。

有关大件、重件的吊装、运输、装卸等内容，请读者参阅第十章架空线路、第十二章变配装置中相关内容。

第八节　管内穿线工艺及要求

1. 准备工作

（1）检查所有预埋管路进柜、进箱、进盒或进电缆一端是否已接地良好或已和箱盒焊接可靠，是否已做成喇叭口状且毛刺已修整；多根管路并列时，是否整齐、垂直，否则应补焊或修复。出地坪的管修整时可用气焊火焰将管烤红，然后用另一根直径稍大的管套入管口扳正即可。

（2）检查管路到设备一端的标高是否适合设备高度、设备接线盒的位置和管路出线口位置是否一致，管口是否已套螺纹，边缘的毛刺是否已锉光滑，管口是否已焊接好接地螺钉等，否则应修复或补焊，管口没套螺纹的应将其烤打成喇叭口状。

（3）用接地电阻表测量管路的接地电阻，应小于或等于 4Ω，否则要找出原因修复，通常要逐一检查焊点和连接点是否可靠或漏焊，即可找出故障点。

（4）将管口的包扎物取掉，用高压空气吹除管内的异物杂土，一般用小型空压机，吹除时要前后呼应，以免发生事故；凡吹不通者多是硬物堵塞，要修复。修复管路堵塞是一项细致耐心的工作，不要急于求成。管径较大者可用管道疏通机，管径较小者可用钢性较大的硬铁丝从管的两端分别穿入，顶部做成尖状，当穿不动时即为堵塞点，然后往复抽动铁丝，逐渐将堵塞物捣碎，最后再吹除干净。明设管路可将堵塞处锯断，取出堵塞物，然后用一接线盒将锯削处填补整齐。

（5）按照图样核对管径、线径、导线型号及根数，根据管路的长度加上两端接线的余量确定导线的长度。接线余量一般不超过 2m，通常是用米绳从管口到接线点实际测量，或者把线放开用线实测，避免浪费。

导线的根数与电动机起动方法和电动机的绕组有关，照明电路与系统线制及控制方法有关，通常应按图样标注计入。一般直接起动和减压起动的电动机是 3 根导线；Y-△ 起动的电动机是 6 根导线；延边（　）起动的电动机是 9 根导线；频敏变阻器起动的绕线电动机是 2 根管，每管 3 根导线；双速电动机是 6 根导线；三速电动机是 10 根导线；直流电动机一般是串励 2 根导线、并励或复励 3 根导线；电磁调速电动机是 3 根管，一根是主回路 3 根导线，另一根是调速回路 2 根导线，第三根是测速回路 3 根导线，其中调速回路和测速回路必须是多股的软铜导线。同步电动机 2 根管，一根是主回路 3 根导线，另一根是励磁回路 2 ~ 3 根导线。

（6）整盘导线的撒开最好使用放线架，放线架也可自制，如图 2-60 所示，如果没有放线架应顺缠绕的反方向转动线盘，另一人拉着首端撒开，如图 2-61 所示，切不可用手一圈一圈地撒开，严禁导线打纽或成麻花状，撒开时要检查导线的质量。

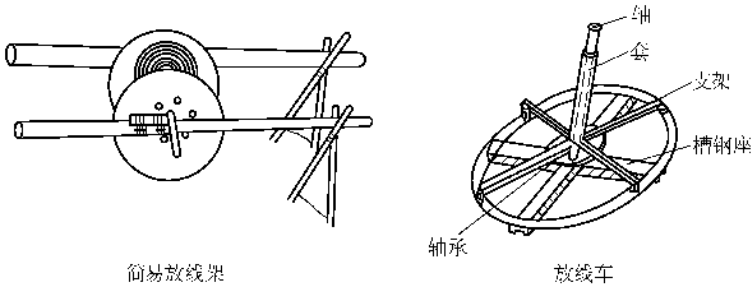


图 2-60　简易放线架示意图

（7）撒开后的导线必须伸直，否则妨碍穿线。伸直的方法很多，通常是两人分别将导线的两端拽住在干净平整的地面上，一起将导线撑起再向地面摔打，边摔边撑，使其伸直。细导线可三根或几根一块伸直，粗导线则应一根一根分别伸直。也可将一端固定在一物体上，一人从另端用上法伸直。

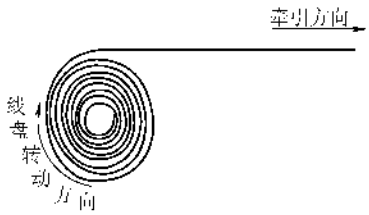


图 2-61 线盘撒开方向

（8）准备好滑石粉和穿带线用的不同规格的铁丝。带线一般用 $\phi2\sim\phi3$mm 的钢性铁丝，粗导线、距离长时，则用 8#或 10#镀锌铁丝。

穿线前，必须将管子需要动火的修复焊接工作做完，穿线后严禁在管子上焊接烘烤，否则要损坏导线的绝缘性能。所用的导线、线鼻子、绝缘材料、辅助材料必须是合格品，导线要有生产厂家的合格证。

2. 穿带线

根据管径、线径大小，选择合适的刚性铁丝作为带线。每根管应有两根带线，一根为主带线，长度应大于整个管路的全长；另一根为辅助带线，长度大于 1/2 管路全长。把主带线的一端撅成半圆环状小钩，直径视带线粗细而定，一般为 10～20mm；辅助带线也撅同样一个小钩，并将其折 90°，钩端为顺时针方向，如图 2-62 所示。先将主带线从管的一端穿入，穿入的长度至少为 1/2 管路全长，穿时应握着管口部分导线的 100mm 左右往里送，特别是越穿越困难的时候。当穿不动时，可将带线稍拉出一些再往里送，直到实在送不动为止，一般情况下能穿入 1/2 管路全长。如果穿不到 1/2 管路全长，则将主带线全部拉出，从管的另一端穿入，直到大于 1/2 管路全长。然后将辅助带线从另一端管口送入，直到大于 1/2 管路全长为止，这时将辅助带线留在管口外的部分按顺时针转动，使其在管内部分也顺时针转动，当转动到手感觉吃力时，即可轻轻向外拉辅助带线，如果这时主带线也慢慢移动，则说明两个小钩已经挂在一起，即可将主带线从管口另一端拉出；如果这时主带线不动，则说明两个小钩没有钩在一起，应重新穿入辅助带线，直至两个小钩挂在一起，拉出主带线为止。一般情况下，按上述方法可顺利穿入主带线，主要是耐心和带线的刚性。

还有一种机械穿线法，就是用穿线枪，使用方法极为简单。先把柔性活塞装入枪膛，系好尼龙绳和活塞，并对着管口，管的另端用管堵堵好，将空压机贮气罐和枪腔进气口用高压输气管接好，检查无误后，开动气泵，达到压力后扣动穿线枪的扳机，即可将尼龙绳穿入管内。细导线可用尼龙绳直接牵引穿入，粗导线可用其将带线引入。柔性活塞可按管径选择，共

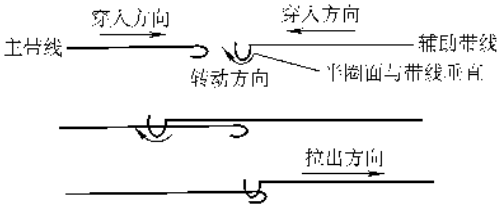


图 2-62 带线的穿入方法

有七个规格，管堵头有三个规格。使用穿线枪时要注意安全，枪体要专人保管。

3. 穿线

（1）将伸直的导线一端的绝缘层剥掉，剥掉长度粗导线约为 300mm，细导线约为 100mm，中截面导线约为 200mm；剥掉方法是用电工刀在预定长度处划一个圆周，再把其他部分削掉，但不得伤及线芯，剥掉后的样式见图 2-63。

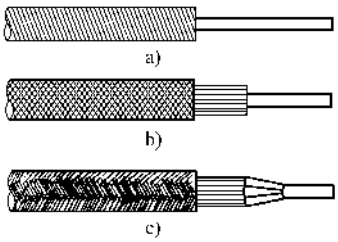


图 2-63 导线的剥切方式

a）单层剥法 b）分段剥法 c）斜剥法

（2）把剥掉绝缘层的三根或几根要穿同一管的导线对齐，细导线（独股导线）可将端部线芯撅回，直接用带线绑扎，见图 2-64a；粗导线（一般是多股导线）可将每根线芯的少部分撅回，其余剪断直接用带线或用绑线绑扎，见图2-64b。绑扎时要紧密有力，但要求体积小易穿过，宜为圆锥形，其最大部分的直径不得超过管径的 2/3，否则将给穿线带来很大困难。

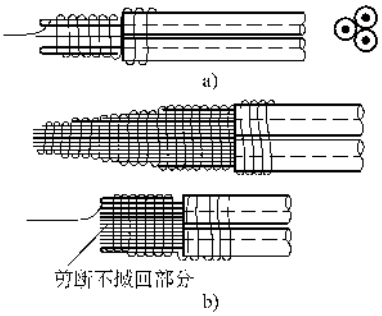


图 2-64 导线的绑扎方法

a）细导线绑扎法 b）粗导线绑扎法

（3）在绑扎好的端头部分涂些滑石粉，粗导线或根数多时还应在导线上或管口内涂些滑石粉，然后一人在管的一端拉带线，另一人在管的另一端轻

轻地将绑扎好的端头送入管口，两人的位置要便于操作，同时应喊号力争步调一致，一送一拉即可顺利地将导线穿过。送线的人要保证三根或几根导线同时穿入时不扭不折，拉线的人用力要均匀，不得过猛。遇到阻力拉不动时，应将穿入的导线退回几十厘米，再配合一拉一送，直至将导线拉出管口。必要时可由第三人帮助将送入的导线理顺，使其不扭不折，粗导线穿线时也可由另一人帮助拉线。当双方都感到十分费力时，不得强行拉送，以免带线拉断，这时应将导线缓慢倒出来，检查导线和端头部分将阻卡或较粗的部分修复，必要时应重新绑扎，然后再送入管内，直至穿过。仔细观察拉出端导线有无损伤绝缘层，伤及导线，有无泥水污物。严重时应将导线抽出，彻底吹除或用金属刷子扫管，排除故障后重新穿线。

（4）将绑扎的端头拆开，两端按接线长度加预留长度与设备接线盒比好，将多余部分的线剪掉（穿线时一般情况下是先穿线，后剪断，这样可节约导线）。然后用绝缘电阻表测量导线的线与线之间和导线与管（地）之间的绝缘电阻，应大于1MΩ，低于0.5MΩ时应查出原因，重新穿线。

（5）管内穿线的技术要求

1）穿入管内绝缘导线的额定电压不应低于500V；管内导线不得有接头和扭结，不得有因导线绝缘性能不好而增加的绝缘层。

2）不同回路、不同电压、交流与直流的导线，不得穿入同一根管子内。但以下几种情况例外：

①　电压为50V及以下的回路；

②　同一台设备的电动机回路和无抗干扰要求的控制回路；

③　同一交流回路的导线必须穿于同一钢管内；

④　照明花灯的所有回路、同类照明的几个回路可穿入同一根管内，但管内导线总数不应多于8根。

3）管内导线的总面积（包括外护层）不应超过管子内截面面积的40%。

4）穿于垂直管路中的导线每超过下列长度时，应在管口处或接线盒中将导线固定，以防下坠：

①　导线截面积50mm^{2}及以下为30m；

②　导线截面积70～95mm^{2}为20m；

③　导线截面积120～240mm^{2}为18m。

5）导线穿入钢管后，在导线的出口处，应装护线套保护导线；在不进入箱、盒内的垂直管口，穿入导线后，应将管口作密封处理。

6）管内穿线导线线芯允许最小截面积应符合表2-48的规定。

表2-48　线芯允许最小截面积

敷设方式及用途	线芯最小截面积/mm^2		
	铜芯软线	铜线	铝线
1. 敷设在室内绝缘支持件上的裸导线		2.5	4
2. 敷设在绝缘支持件上的绝缘导线其支持点间距为：			
1）1m及以下　室内		1.0	2.5
室外		1.5	2.5
2）2m及以下　室内		1.0	2.5
室外		1.5	2.5
3）6m及以下		2.5	4
4）12m及以下		2.5	6
3. 穿管敷设的绝缘导线	1.0	1.0	2.5
4. 槽板内敷设的绝缘导线		1.0	2.5
5. 塑料护套线敷设		1.0	2.5

4. 管口处理

（1）用黄绿红三种塑料带或塑料管将管口的导线包扎或套入，包扎时要紧密整洁，包扎和套入的深度要进入管口150mm左右。因此通常是将导线先拉出150mm，包扎或套入后再拉进去，主要是加强管口部分的绝缘性能。端头应预留50mm，以便和设备连接。包扎的方法是每一圈要压住前一圈宽度的一半，最后收尾时应用同色塑料胶布包好，也可用热粘法粘住，即可用烧红的锯条将尾端烫熔，然后用力压住即可粘接得很好。使用塑料线时可不包扎，直接按（2）进行。

（2）在套有螺纹的管口，先将防水弯头底座穿入导线，在管口拧紧，方向应朝向电动机或设备，再把护线塞套入导线，推在管口的底座处，最后把盖装上，用螺钉固定好，见图2-65a。

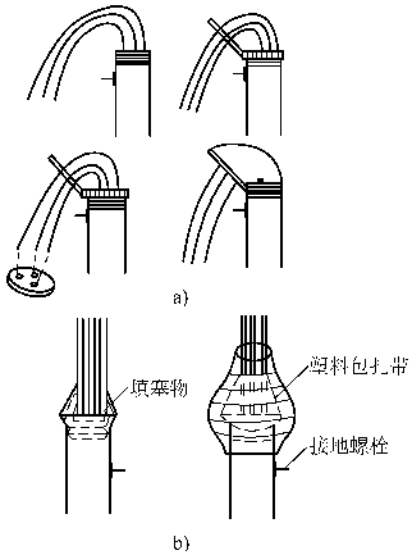


图2-65　防水弯头的安装及喇叭口的包扎方法

a）防水弯头安装示意图　b）喇叭口的包扎方法

在喇叭口的管口，先用棉丝或牛皮纸将管口堵死，将包好绝缘带的导线一并放在管口的正中，然后用塑料带从管口下部 2cm 处开始向上缠绕包扎，使管口形成一个蒜疙瘩形状，一般应至少从下至上、从上至下包扎四次，包扎必须严密，防止水滴滴入，见图 2-65b。照明线路一般直接进入接线盒，不必处理，凡不直接进入接线盒的管口应按（1）和（2）进行处理。

第九节　常用电气元件及其安装接线

一、熔断器和低压负荷开关

熔断器包括熔体（熔丝或熔片）及附件两部分，其中，熔丝的规格与其材质和直径有关，见表 2-49。熔断器的型式很多，常见的型式如图 2-66 所示，有关技术数据见表 2-50 ~ 表 2-53。

熔断器的作用主要是保护电气系统的短路。当系统的冲击负荷很小或为零时以及电气设备的容量较小、对保护要求不高时，宜兼作过载保护。

当被保护的线路或设备发生短路故障时，熔断器的熔体立即熔断，切断短路电流，保护了线路或设备。当被保护的线路或设备发生过载时，熔断器的熔体延时熔断，切断过载电流，但是由于各种型号规格的熔断器延时特性不一致，设备及线路的过载能力也不尽相同，使之延时特性与过载能力难以匹配。因此，一般熔断器只用作短路保护，而不用作过载保护。

熔断器作为一种简单、价廉的保护装置，很早就已应用在电气系统的保护上，但是它有一个致命的缺点，就是使用在三相回路中的熔断器，若有一相熔断后，会造成系统的单相运行。单相运行后会使电动机烧坏、设备功率降低，以致导线着火等，造成电压偏低，相电压升高，特别是三相四线的家用电器回路，易击穿用电设备的绝缘层，造成很大的损失。

因此，使用中应通过信号仪表装置经常监视系统的运行，发现单相运行时应立即处理。再者熔断器的使用应与断相保护结合使用，以避免系统或设备的单相运行。

表 2-49　常用低压熔丝规格

种类	直径/mm	额定电流/A	种类	直径/mm	额定电流/A	熔断电流/A
铅锑合金丝（铅≥98%、锑 0.3 ~ 1.5%）	0.08	0.25	铅锡合金丝（其中铅 95%、锡 5%）	0.508	2	3.0
	0.15	0.5		0.559	2.3	3.5
	0.20	0.75		0.61	2.6	4.0
	0.22	0.8		0.71	3.3	5.0
	0.25	0.9		0.813	4.1	6.0
	0.28	1		0.915	4.8	7.0
	0.29	1.05		1.22	7	10.0
	0.32	1.1		1.63	11	16.0
	0.35	1.25		1.83	13	19.0
	0.40	1.5		2.03	15	22.0
	0.46	1.85		2.34	18	27.0
	0.52	2		2.65	22	32.0
	0.54	2.25		2.95	26	37.0
	0.60	2.5		3.26	30	44.0
	0.71	3	铜线	0.23	4.3	8.6
	0.81	3.75		0.25	4.9	9.8
	0.98	5		0.27	5.5	11.0
	1.02	6		0.32	6.8	13.5
	1.25	7.5		0.37	8.6	17.0
	1.51	10		0.46	11	22.0
	1.67	11		0.56	15	30.0
	1.75	12		0.71	21	41.0
	1.98	15		0.74	22	43.0
	2.4	20		0.91	31	62.0
	2.78	25		1.02	37	73.0
	2.95	27.5		1.22	49	98.0
	3.14	30		1.42	63	125.0
	3.81	40		1.63	78	156.0
	4.12	45		1.83	96	191.0
	4.44	50		2.03	115	229.0
	4.91	60				
	5.24	70				

表 2-50　RC1A 系列瓷插式熔断器主要技术数据

熔断器额定电流/A	熔体额定电流/A	熔体材料	熔体直径或厚度/mm	极限分断能力/A	交流回路功率因数	断开次数①
5	2	软铅丝	ϕ0.52	250	0.8	3
	5		ϕ0.71			
10	2		ϕ0.52	500		
	4		ϕ0.82			
	6		ϕ1.08			
	10		ϕ1.25			
15	15		ϕ1.98			
30	20	铜丝	ϕ0.61	1500	0.7	
	25		ϕ0.71			
	30		ϕ0.80			
60	40		ϕ0.92	3000	0.6	
	50		ϕ1.07			
	60		ϕ1.20			
100	80		ϕ1.55			
	100		ϕ1.80			
200	120	变截面冲制铜片	0.2			
	150		0.4			
	200		0.6			

① 断开次数是指熔断器在此规定次数的动作范围内能保证其技术性能。

表 2-51　RL 系列螺旋式熔断器主要技术数据

型号	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	
		熔管	熔体		
RL1	交流 50Hz 或 60Hz、500V 直流 500V	15	2，4，6，10，15	交流 380V $\cos\varphi=0.35$ 25000	直流 440V $t=15\sim20$ms 5000
		60	20，25，30，35，40，50，60	$\cos\varphi=0.35$ 25000	5000
		100	60，80，100	$\cos\varphi=0.25$ 50000	10000
		200	100，125，150，200	$\cos\varphi=0.25$ 50000	10000

表 2-52 RT0 系列有填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	
		熔管	熔体		
RT0	交流 50Hz 380V、直流 440V	50	5，10，15，20，30，40，50	交流 380V $\cos\varphi=0.1\sim0.2$ 50000	直流 440V $t=15\sim20$ms 25000
		100	30，40，50，60，80，100		
		200	80，100，120，150，200		
		400	150，200，250，300，350，400		
		600	350，400，450，500，550，600		
		1000	500，600，700，800，900，1000		

表 2-53 RM10 系列无填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	名称	电压/V	额定电流/A		极限分断能力/A	备注
			熔管	熔体		
RM10	无填料封闭管式熔断器	交流 50Hz 380V 直流 440V	15	6，10，15	1200	取代老产品 RM1、RM2、RM3、RM7。160A 以上熔体需两片并联使用
			60	15，20，25，35，45，60	3500	
			100	60，80，100	10000	
			200	100，125，160，200	10000	
			350	200，225，260，300，350	10000	
			600	350，430，500，600	10000	
			1000	600，700，850，1000	12000	

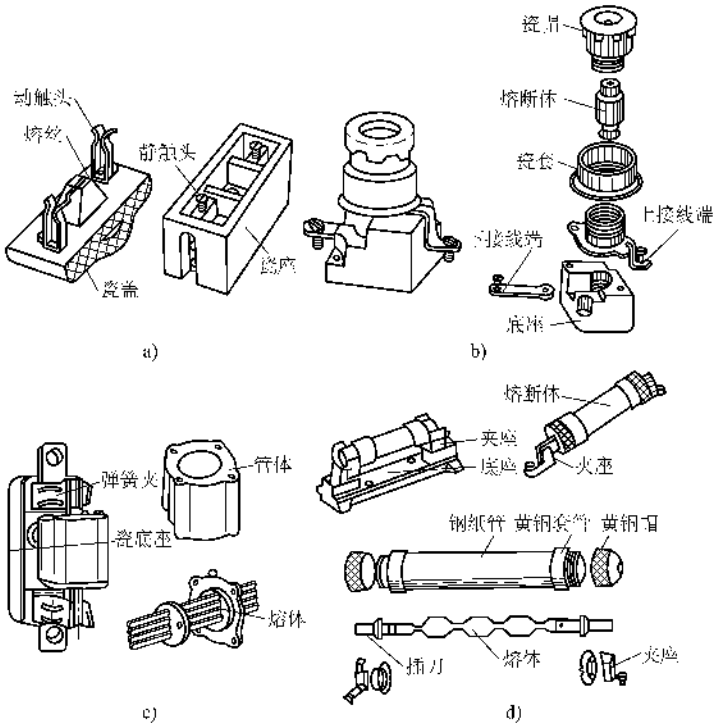


图 2-66 常用熔断器的外形和结构

a）RC1A 瓷插式 b）RL 螺旋式

c）RT0 有填料管式 d）RM10 无填料管式

可以从熔丝的熔断情况来判断是短路还是过载。如果熔室内漆黑一片并有飞溅的金属小颗粒，则说明是短路造成的；如果熔室内只是熔丝的中间或与螺钉固定部位断开并有流滴金属液的痕迹，或只有较轻的黑痕，则说明是过载造成。熔丝的过载能力及延时性能见表 2-54。

1. 测试

由于熔断器的型号很多，测试方法不尽相同。测试时主要是检查熔丝与熔断器（或刀开关）的连接部位是否可靠，三相熔丝的电阻值是否一致，熔断器与设备的闸口或钳口接触是否紧密，熔断器的外观不得破损，三相熔断器及熔丝的型号规格应一致。

2. 选择

熔断器的选择（包括其熔体的选择）应考虑以下几个条件：

1）熔断器的电压等级必须大于或等于被保护线路或设备的电压等级。

2）熔断器的额定电流应大于或等于所安装的熔体的额定电流。

3）熔断器的类型应符合安装条件（室内或室外）及被保护设备和线路的技术要求。

4）熔断器的分断电流必须满足安装地点短路电流计算值的需要。

5）线路前后级的熔断器之间应有选择性的配合。

6）熔体电流的选择根据被保护装置的不同而选择方法不同。不同电气设备选用的熔丝，其额定电流与电气设备的额定电流之比不同。

7）为了保证熔断器在其保护范围内发生短路故障时能可靠熔断，熔体应满足下列条件

$$I_{K\cdot min}/I_N \geqslant 4 \qquad (2\text{-}2)$$

式中　$I_{K\cdot min}$——熔断器保护线路末端在系统最小运行方式下的单相短路电流（对中性点直接接地的系统）或两相短路电流（对中性点不接地系统）；对于保护降压变压器的高压熔断器为低压侧母线两相的短路电流折算到高压侧之值；

I_N——熔体额定电流。

8）熔断器的型号很多，保护特性差别很大，选用时要按照上述条件考虑，其中高压熔断器、变压器低压出口及其分路的总熔断器必须按照上述条件选用，各种低压用电设备及用电器的保护熔断器一般只考虑额定电流、尖峰电流。

9）一般条件下，电动机直接起动时其熔丝的额定电流可按 4～8 倍额定电流选取，间接起动可按 2.5～5 倍选取，起动时间长，熔丝电流应选大一点的。照明电路可按额定电流的 1.1～1.5 倍选取，荧光灯较多的电路应按 1.5 倍选取。熔断器与断路器延时特性比较见表 2-54 和表 2-55。

表 2-54　常用熔丝的延时特性

负载电流	$\leqslant I_N$	$1.1I_N$	$1.3I_N$	$1.75I_N$	$4I_N$	$6I_N$	短路
熔断时间	长时不熔断	>5h	>1h	<1h	<0.2s	<0.02s	0

注：表中 I_N 为熔丝的额定电流。

表 2-55　DZ5－$^{10}_{25}$型断路器脱扣器延时特性

负载电流	$\leqslant I_N$	$1.2I_N$	$1.75I_N$	$3.5I_N$	$5\sim6I_N$	短路
动作时间	长时不动作	>1h	<20min	0.2～40s	<0.2s	0

注：其中 I_N 为脱扣器额定电流。

3. 安装接线

熔断器的安装应固定牢固，单个熔断器的安装间距应大于 50mm，在金属底板上安装应垫软质绝缘衬垫。熔断器的上端应接电源，下端接负载。螺旋式熔断器电源应接在熔芯引出的端子上，其接线较简单，但必须牢固可靠且紧密。

4. 熔断器安装使用的安全要求

1）熔断器必须满足运行要求和安全要求。熔断器的触头或接线须紧固可靠，运行中应定期检查和不定期抽查，并及时紧固触头和接线。

2）熔断器及熔体的选择应符合被保护电器及线路的要求，不得使用未注明额定电流的熔体，严禁用铜丝代替熔体，更换熔体必须按原设计安装的熔体型号规格，不得随意变更（这里说明一点，一般情况下，熔体的更换除电气工作人员遵守这一规定外，其他人员一般都不遵守，这是导致故障的原因）。

3）除高压使用的跌落式熔断器应倾斜 15°安装外，其他熔断器一律垂直安装，且熔室填料齐全，防止电弧飞出。安装位置及间距应便于更换熔体，并符合安全距离的要求。

4）触头为插入式的熔断器，其固定触刀的弹性触座或钳口必须有一定的夹持力并涂有中性凡士林；有熔断指示的熔芯，其指示器的方向应装于便于观察的位置或方向上；瓷质熔断器在金属板面上安装，其底座应垫以软绝缘垫；刀熔开关的三只熔断器的开闭应同步。

5）熔断器熔体熔断后，必须查明原因并排除故障后方可更换。更换熔体时，一般应停电进行。跌落式熔断器可用拉杆操作。低压熔断器更换后，除负荷为容量较小的照明回路外，严禁带负荷合闸。

6）爆炸危险特殊场所，不得装设电弧可能与外界接触的熔断器。高压限流熔丝管熔丝在安装前应测量其直流电阻，其值与同型号产品不应有明显差别。

7）运行中，应巡视检查熔丝是否熔断，触头是否发热，熔管有无破损或放电痕迹。

5. 低压负荷开关

低压负荷开关是熔断器的一种特殊形式，它是把熔断器和刀开关制作在一起，具有开关和熔断器的双重功能，常用在照明电路和负荷不大的动力电路中，其中封闭式还有速断功能，可作为17kW及以下电动机不频繁直接轻载起动的控制开关；开启式没有速断功能，只可作为5.5kW以下电动机的开关。选择时可按电动机额定电流的2～2.5倍考虑，照明电路可按负载计算电流的1.2～1.5倍考虑。开启式负荷开关的外形结构如图2-67a所示，有关数据见表2-56。封闭式负荷开关的外形结构如图2-67b所示，有关数据见表2-57。封闭式负荷开关也俗称做铁壳开关，开启式负荷开关也俗称为胶盖闸。负荷开关应垂直固定安装，接线按说明书中标注。使用接线时应先用绝缘电阻表测试相间的绝缘电阻，应大于2MΩ，并用万用表测量上下闸口的接触电阻应为0。熔丝的额定电流不得大于开关的额定电流。

二、交流接触器和转换开关

交流接触器与熔断器（保护短路）、热继电器（保护过载）配合，可以直接起动电动机或控制各种电气线路，是电气系统最常用的元件。虽然交流接触器的型号很多，但构造基本上是相同的，外形如图2-68所示。

1. 测试

1）外观检查应无破损缺件锈蚀现象，用手将衔铁按下应无卡阻且动作灵活，这时主触头应闭合，其辅助触头应相应动作，常开闭合，常闭打开。可用万用表欧姆档测量。

2）从线圈上的文字标注查出其工作电压值（一般为380V或220V，也有127V或110V的，以及36V、24V不等），这里要特别仔细观察，千万不能弄错。

3）按图2-69所示将其线圈直接接入电源上，熔丝应选用0.5～1A的，检查无误后闭合刀开关，线圈得电，接触器吸合并发出“咯嗒”的声响；然后再把刀开关断开，线圈失电，接触器释放，同时也发出“咯嗒”的声响。

4）再次闭合刀开关，然后用万用表的欧姆档测量三对主触头的接触电阻，都应为零；断开刀开关后，电阻应为无限大。同时测量辅助触头的接触电阻，闭合时常开为零，常闭为无限大；断开电源后，常开为无限大，常闭为零，否则说明触头接触不良。这时可将灭弧罩取掉，在触头接触部位垫上一条牛皮纸，然后再重复上述试验，如果闭合时那副触头的牛皮纸能拉动，说明其接触不良。

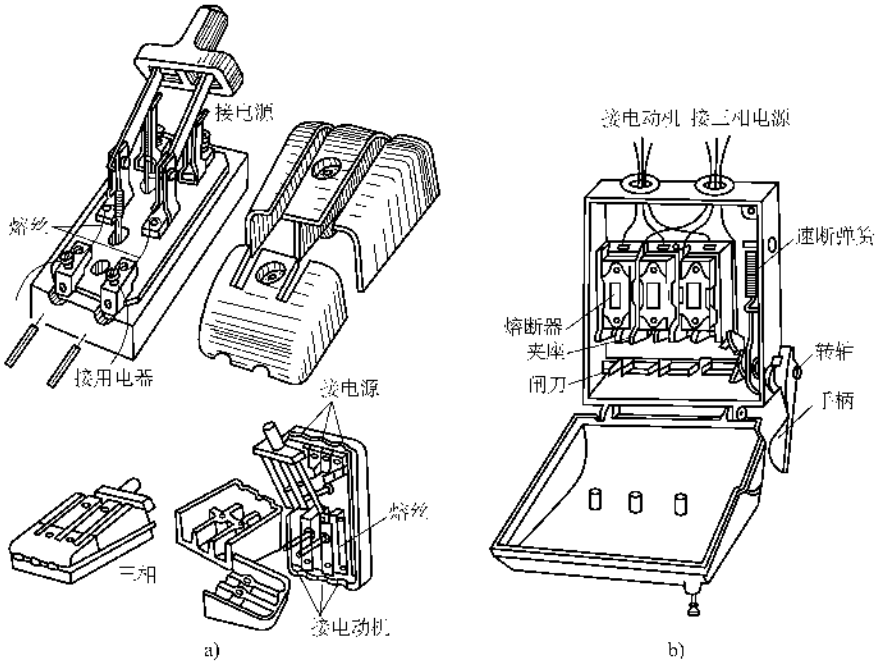


图2-67 负荷开关的外形结构

a）开启式（HK） b）封闭式（HH）

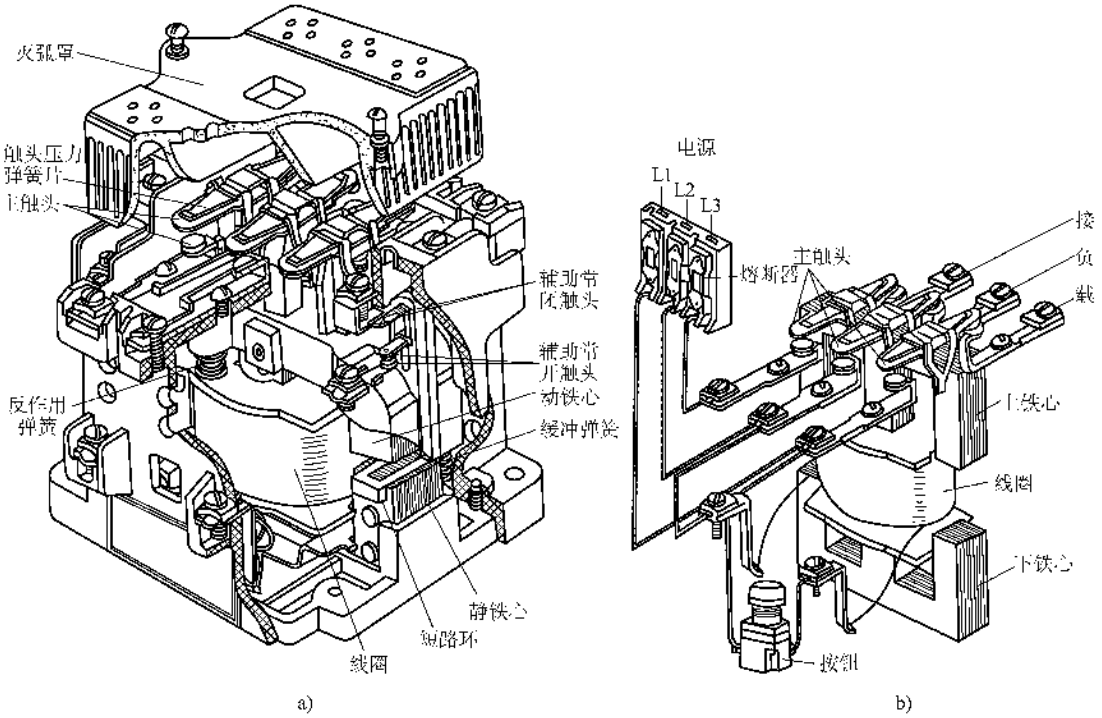


图 2-68　CJ0-20 交流接触器外形结构

表 2-56　HK 系列开启式负荷开关主要技术数据

型　号	额定电压/V	额定电流/A	极数	可控制电动机功率/kW	最大分断电流/A	熔丝线径/mm
HK1-15	220	15	2	1.1	500	1.45～1.59
HK1-30		30		1.5	1000	2.3～2.52
HK1-60		60		3.0	1500	3.36～4
HK1-15	380	15	3	2.2	500	1.45～1.59
HK1-30		30		4.0	1000	2.3～2.52
HK1-60		60		5.5	1500	3.36～4
HK2-10	220	10	2	1.1	500	0.25
HK2-15		15		1.5		0.41
HK2-30		30		3.0	1000	0.56
HK2-60		60		4.5	1500	0.65
HK2-15	380	15	3	2.2	500	0.45
HK2-30		30		4.0	1000	0.71
HK2-60		60		5.5	1500	1.12

注：HK1 型刀开关的熔丝成分为铅 98%、锡 1%、锑 1%；HK2 型刀开关的熔丝含铜量不少于 99.9%。

表 2-57 封闭式负荷开关主要技术数据

型号	额定电压/V	额定电流/A	熔体额定电流/A	极数	接通与分断电流/A		
					交流		直流 500V
					分断电流	cosφ	$L/R=0.006\sim0.0085$
HH3-15	2 极：交流 250 直流 250 3 极：交流 440 直流 500	15	6，10，15	2，3 3+z①	60	0.4	22.5
HH3-30		30	20，25，30		120	0.4	45
HH3-60		60	40，50，60		240	0.4	90
HH3-100		100	80，100		250	0.8	150
HH3-200		200	200		300	0.8	300
HH4-15	交流 500	15	6，10，15	2，3	60	0.5	—
HH4-30		30	20，25，30		120	0.5	
HH4-60		60	40，50，60	2，3	240	0.4	—
HH4-100		100	80，100		250	0.6	
HH2-10	交流 500 直流 440	10		3			
HH2-20		20					
HH2-30		30					
HH2-60		60					
HH2-100		100					
HH11-100	500	100	60，80，100	3+z①	断流容量 50000		
HH11-200		200	100，150，200				
HH11-300		300	200，250，300				
HH11-400		400	300，350，400				

① z 为中性接线柱。

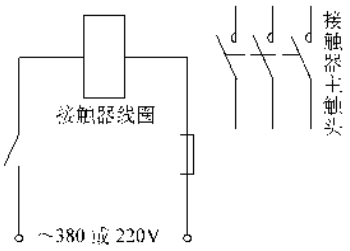


图 2-69 接触器的试验电路

5）用 500V 的绝缘电阻表测量相与相间的绝缘电阻和线圈与铁心的绝缘电阻，新的接触器应大于 2MΩ，旧的至少应大于 0.5MΩ，线圈对铁心的绝缘电阻应大于 0.5MΩ。测量时先测不吸合时上、下闸口的相间绝缘，然后再测吸合后的相间绝缘。

2. 选择

一般的电动机应选用 2～3 倍电动机额定电流相应规格的交流接触器，其中轻载起动及操作频率较低的选 2 倍，重载起动及操作频率较高（如天车、起重机械）的选 3 倍，额定电流一般取功率的 2 倍，即一个千瓦，两安培电流。如一台 13kW 的电动机，取 26A 电流，轻载起动（如水泵）时，取电流 2×26A＝52A，因没有 52A 这个规格的接触器，因此选用 60A 的接触器；如果重载起动（如风机），则取电流 3×26A＝78A，因没有 78A 这个规格，则应选用 100A 的接触器。要选大于或等于计算数值的。接触器的规格一般为 10A、20A、40A、60A（63A）、100A、150A（160A）、250A、400A、600A 等。

照明电路应选用照明电路的 1～1.5 倍额定电流相应规格的接触器，荧光灯较多或容量较大的照明回路可按 1.5 倍选用。

3. 安装接线

（1）安装　接触器必须竖直安装在配电板、电器梁架上，其外廓应横平竖直，安装螺栓不得少于三条且应稳固，与其他元件左右方向相隔不得小于 50mm，上下相隔距离应视接线方便而定，但不得小

于100mm。在铁制板箱内安装时，应衬垫绝缘纸。安装中使用的螺栓应有平垫和弹簧垫。

（2）接线　接触器的接线分主回路接线和控制回路接线两部分，如图2-70所示。

1）主回路的接线：接触器上闸口应与电源连接，一般由熔断器引来，下闸口应与负载连接，如串接热继电器则应与热继电器的上闸口连接。如果使用单芯导线，则应直接与接触器的端子连接；如果使用多芯导线，则应压接线鼻子后再与端子连接，连接必须紧密可靠。

2）控制回路的接线：接触器的控制回路是用按钮（一个常开按钮作为起动按钮SB，一个常闭按钮作为停止按钮SBS）与接触器的线圈连接而进行控制的。

①　按线圈的额定电压确定控制电源，380V时电源直接从上闸口取得，220V时则应将工作零线引入后接在设定的零线端子上，也可接在某一辅助触头上（图2-70中的E点），这一触头一旦作为零线端子使用，则不得再作它用。按钮线一般使用单芯铜质绝缘导线，可直接与接触器的端子连接。

②　从一边相接出一导线，另一端接在某一辅助触头的一端，见图2-70中的A点。A点也可设在这一边相上。

③　从另一边相接出一导线，另一端接在线圈的一端，线圈的一端接至另一常开辅助触头的一端，见图2-70中B点。

④　将按钮SB常开触头的一端与按钮SBS常闭触头的一端用导线连接起来，见图2-70中C′-C′的连接。

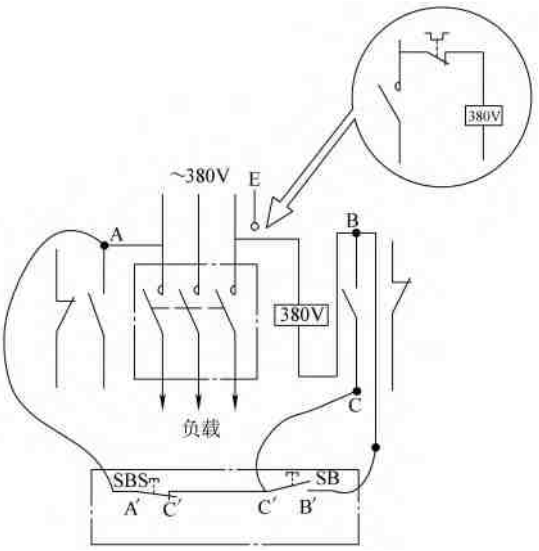


图2-70　接触器的常用接线示意图

⑤　用导线将接触器上的A、B、C三点与按钮上的A′、B′、C′对应连接起来。

这时将电源合上，按动SB即将线圈回路接通，线圈得电吸合使接触器主触头闭合，同时辅助常开触头（BC）同时吸合实现自保，当SB复位后，线圈仍然有电，接触器处于工作状态。如果按动SBS常闭按钮便切断了线圈得电回路，线圈失电使接触器释放，辅助触头复位，接触器处于待工作状态。

⑥　如果采用了热继电器作为过载保护，则应将其常闭触点串联在回路里，这样上述的③便改为以下接线程序：

从另一边相接出一导线，另端接在热继电器常闭触点的一端，其出线端用导线与线圈的一端连接，线圈的出线端与B点连接，其他不变。

⑦　如果采用220V控制电源，线圈的进线端应接在零线端子E上，而不是接在另一边相上，如图2-70所示。

4. 转换开关

转换开关是一种手动开关，而接触器是电磁开关。容量较小且不重要的负荷采用转换开关代替接触器可降低成本。转换开关一般应与熔断器配合使用，熔断器的额定电流不得大于转换开关的额定电流。转换开关可作为20kW及以下电动机不频繁直接轻载起动的控制开关，也可作为7kW及以下电动机频繁直接轻载起动的控制开关。选择时可按电动机额定电流的2～2.5倍考虑，照明电路可按负载计算电流的1.2～1.5倍考虑。转换开关常用的有两种形式：一种为组合转换开关，外形如图2-71b所示；一种为倒顺开关，可正反转控制电动机，外形如图2-71a所示。使用时应测量相间绝缘电阻，并测量上下闸口的接触电阻，可垂直或水平安装，接线开关上有标注，电源进线应接在静触头上，或按说明书接线。

三、低压断路器

低压断路器俗称自动空气开关，具有短路和过载保护功能，可用来直接起动电动机或控制各种电气线路，也是最常用的元件。断路器从构造上可分两大类，即DZ系列和DW系列。其中，DZ系列为装置式，置于一塑料壳内，一般只适用于手动操作；而DW系列为框架开启式，可手动或电动操作，并辅有辅助触头盒，电动操作时与接触器基本相同，在测试、安装、接线上要区分开。试验时应将外壳盖及灭弧罩取下来，以便观测。低压断路器的外形如图2-72所示。

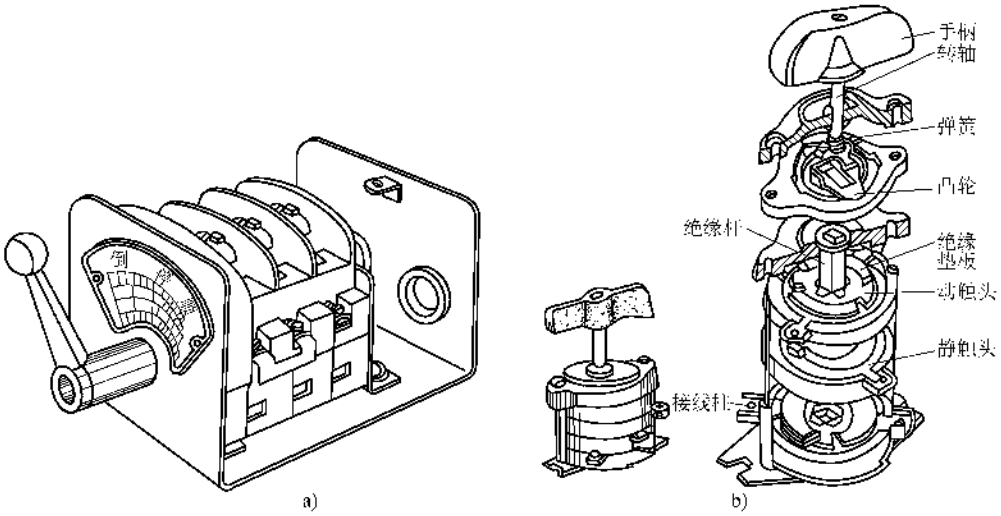


图 2-71 转换开关的外形结构

a）倒顺开关 b）HZ2-10/3 转换开关

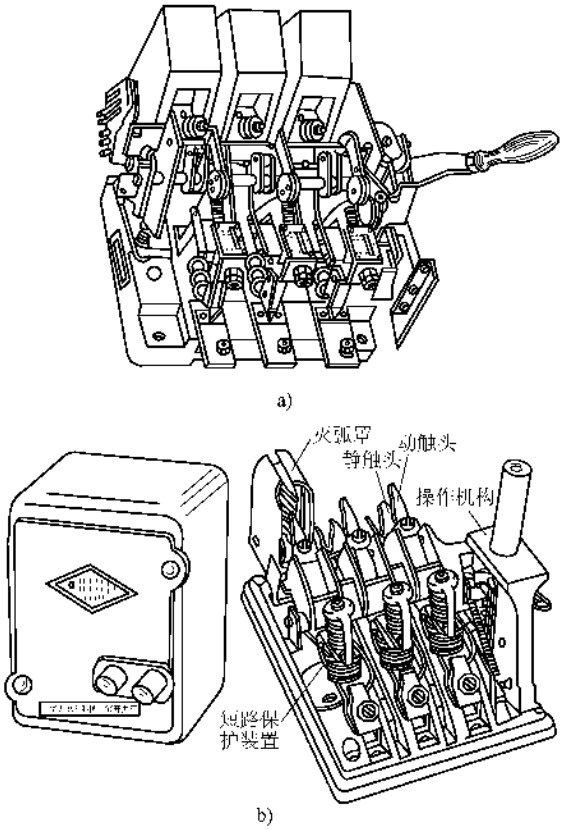


图 2-72 低压断路器的外形结构

a）DW10 系列 b）DZ4 系列

1. 测试

断路器的测试与接触器基本相同，包括外观检查、主触头及辅助触头（DW 系列）和相间绝缘电阻，读者可参照上述操作及要求进行。所不同的是断路器短路（瞬时动作）和过载（长延时动作）也应进行试验。

（1）短路试验 手动或电动合闸后，可用螺钉旋具（改锥）触动过电流线圈的衔铁，模拟衔铁吸合动作应立即跳闸。同样可以调节衔铁（动铁心）与铁心（静铁心）的间距，以便调整动作电流。一般刚出厂的断路器都调在 10 倍额定电流上，当间距增大时，动作电流增大，反之减小。调节时三相的间距应力求一致。必要时应用电流源给开关通以 10 倍额定电流使其跳闸。电流源实际上是升流变压器。

（2）过载试验 同样合闸后可用螺钉旋具触动过载热元件与动作连杆上触头接触，模拟热元件动作，也应立即跳闸。同样可以调节触头与热元件的间距，以调整动作电流，方法同上。也可通以电流进行过载试验。

2. 选择

1）DZ 系列的断路器一般用于电动机，容量较大的也可用于线路；DW 系列的断路器一般用于线路，电动机容量较大时也可选用 DW 系列断路器。

2）电动机用时，断路器的额定电流一般为电动机额定电流的 1.5～2.0 倍，轻载及操作频率较低的选 1.5 倍，重载及操作频率较高的选 2 倍。

3）线路用时，断路器的额定电流一般为线路额定电流的 1.1～1.5 倍，线路中电动机容量较小的回路选 1.1 倍，电动机容量较大的回路选 1.5 倍。

4）有时为了节约资金，常用熔断器与断路器配合使用，这时断路器的额定电流可与被保护装置的额

定电流相等，而熔断器则在 2～3 倍保护装置额定电流中选取。

3. 安装接线

1）与接触器安装接线的第 1）条相同。

2）上闸口静触头接电源，下闸口动触头接负荷。电动操作的断路器，按装置中标注的按钮常开触头接常开按钮，标注常闭触头接常闭按钮。

四、漏电保护器

漏电保护器即漏电开关，是低压断路器的一种特殊形式，它除了具备断路器的功能外（有的只具备其中的一种功能），还能在保护控制系统内有漏电发生时迅速切断电源，以防止人员触电。所谓漏电就是从正常用电回路以外的事故回路流过的电流，如人触电回路。漏电保护器的容量比较小，一般最大的不超过 800A，常用的有 10A、25A、30A、45A、60A（63A）、80A、100A 等，动作电流有 10mA、15mA、30mA，动作时间小于 0.1s。漏电保护器有三极、单极、双极之分，外形与 DZ 系列断路器相似。

1. 测试和检查

漏电保护器的测试基本与断路器相同，由于漏电保护器的特殊性，漏电保护器在安装使用前必须进行下列检查。

（1）确认漏电保护器生产厂家的资质

1）漏电保护器的设计、制造必须符合相应的国家标准，凡执行企业标准或行业标准的，均不得低于国家标准 GB/Z 6829—2008《剩余电流动作保护器的一般要求》的规定。

2）生产企业需具有保证产品质量的技术文件、工艺、设备、生产环境条件、质量检验手段、管理制度及售后服务措施。

3）生产企业经所在地市工商行政管理部门登记注册后，应履行产品认证手续，并应具有国家有关部门授权的检验机构所出具的产品型式试验报告（编者按，如天津电气传动设计研究所的型式试验报告）。

4）生产企业必须设立安全质量管理机构，配备专业检验人员。对出厂的产品，必须逐台进行安全性能检验，并出具产品合格证。

（2）复查产品合格证及认证标志和试验装置，外观检查、机械性能和电气性能良好。

（3）接入额定电压的临时电源，在空载状态下按动试验按钮，逐台检查该装置是否动作正常，或用漏电保护检测仪进行实地检测。

（4）核定漏电保护器的额定电压、额定电流、短路分断能力、额定漏电动作电流、分断时间等参数，均应满足被保护供电线路和电气设备的要求。

（5）带短路保护的漏电保护器，其短路接通分断能力必须大于电路短路可能产生的最大短路电流，否则应当采用一个具有更大短路分断能力的短路保护装置作为后备保护（如增设熔断器或断路器）。不带短路保护的，电路中必须设置熔断器或断路器作为短路保护，漏电保护器的额定限制短路电流必须大于电路的最大短路电流。

（6）对于不熟悉的漏电保护器必须按产品说明书确认识别主回路端子、辅助电源端子、辅助触头、手柄及试验按钮和操作位置。

2. 选择

（1）选用漏电保护器的具体规定

1）漏电保护器的技术条件应符合 GB/Z 6829—2008 的有关规定，并具有国家认证标志，其技术额定值应与被保护线路或设备的技术参数相配合。

2）根据电气设备的供电方式选用漏电保护器：

①　单相 220V 电源供电的电气设备应选用二极二线式或单极二线式漏电保护器。

②　三相三线 380V 电源供电的电气设备，应选用三极式漏电保护器。

③　三相四线 380V 电源供电的电气设备，或单相设备与三相设备共用的电路，应选用三极四线式、四极四线式漏电保护器。

3）根据电气线路的正常泄漏电流，选择漏电保护器的额定漏电动作电流。

①　选择漏电保护器的额定漏电动作电流值时，应充分考虑到被保护线路和设备可能发生的正常泄漏电流值，必要时可通过实际测量取得被保护线路或设备的泄漏电流值。

②　选用的漏电保护器的额定漏电不动作电流，应不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的 2 倍。

4）根据电气设备的环境要求选用漏电保护器：

①　漏电保护器防护等级应与使用环境条件相适应。

②　电源电压偏差较大的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器（编者按，指脱扣器是电磁式的电流型漏电保护器，下同）。

③　在高温或特低温环境中的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器。

④　雷电活动频繁地区的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器。

⑤　安装在易燃、易爆、潮湿或有腐蚀性气体等恶劣环境中的漏电保护器，应根据有关标准选用有特殊防护条件的漏电保护器，否则应采取相应的防护措施。

5）对漏电保护器动作参数的选择：

① 手持电动工具、移动电器、家用电器插座回路的设备应优先选用额定漏电动作电流不大于30mA快速动作的漏电保护器。

② 单台电气设备可选用额定漏电动作电流为30mA及以上、100mA及以下快速动作的漏电保护器。

③ 有多台设备的总保护应选用额定漏电动作电流为100mA及以上快速动作的漏电保护器。

6）对特殊负荷和场所应按其特点选用漏电保护器：

① 医院中的医疗电气设备安装漏电保护器时，应选用额定漏电动作电流为10mA快速动作的漏电保护器。

② 安装在潮湿场所的电气设备应选用额定漏电动作电流为15～30mA快速动作的漏电保护器。

③ 安装于游泳池、喷水池、水上游乐场、浴室的照明线路，应选用额定漏电动作电流为10mA快速动作的漏电保护器。

④ 在金属物体上工作，操作手持式电动工具或行灯时，应选用额定漏电动作电流为10mA快速动作的漏电保护器。

⑤ 连接室外架空线路的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器。

⑥ 带有架空线路的总保护应选择中、低灵敏度及延时动作的漏电保护器。

（2）漏电保护器的选择 漏电保护器的选择同其他低压电器一样，必须考虑安装地点及其电压等级、额定电流及保护的功能要求，同时又必须考虑安装地点的泄漏电流、接地电阻及动作时间和动作电流的要求。就其电压等级、额定电流及保护功能而言，基本方法与低压断路器相同。这里就电流型漏电保护器的选择，进一步讲述。

1）漏电保护器不宜作为防止直接接触的保护，而可作为防止直接接触的其他保护失效后的后备保护，因为漏电保护器动作的可靠性受电源电压、元件质量、环境条件等因素的影响很大。因此，对于防止直接接触的后备保护来说，漏电保护器必须满足下列条件：

① 电动工具、移动式电气设备、临时配电线路及无双重绝缘的手持电动工具，应在供电回路中装设漏电保护器或漏电插座，其动作电流为30mA，动作时间小于0.1s。

② 居民住宅、公共办公场所应在进户线上装设漏电开关，末端插座应为漏电插座，漏电保护器和漏电插座的动作电流为30mA，动作时间小于0.1s。

③ 额定电压为220V以上的Ⅰ类电动工具，当进行保护接地（接零）有困难或发生触电后同时会发生二次性伤害的地方，如高空、河边使用的电气设备，应在供电回路中装设漏电保护器，其动作电流为15mA，动作时间小于0.1s。

2）用于防止间接触电的漏电保护器，其动作电流I可按下式选取

$$I \leqslant \frac{U}{R} \tag{2-3}$$

式中 U——允许接触电压；

R——设备的接触电阻。

通常额定电压为220V或380V的电气设备以及人容易接触的电气设备，当其外壳接触电阻在500Ω及以下时，单机可配用动作电流30mA和动作时间0.1s以内的漏电保护器。对于电流在100A以上的大型设备及带有多台设备的回路，可选用50～100mA动作的漏电保护器。用电设备的接地电阻在100Ω以下时，可选用200～500mA动作的漏电保护器，其动作时间一般为0.1s，重要设备为了减少偶然的停电，可用延时0.2s的延时保护装置。

3）电镀车间、清洗场所、建筑工地、锅炉房、水泵间、化工车间等潮湿场所及可能受到雨水浸入或蒸汽场所，宜装设动作电流为15～30mA、动作时间在0.1s以内的漏电保护器；当人体要在水中使用电气设备时，当电压在36V时也应装设动作电流为15mA以下、动作时间在0.1s以内或动作电流在6～10mA的反时限特性的漏电保护器。露天且潮湿场所，使用双重绝缘或加强绝缘的电气设备一般应装设动作电流为15～30mA、动作时间在0.1s以内的漏电保护器或动作电流为10mA以下反时限的漏电保护器。

4）选择漏电保护器必须考虑线路的正常允许的漏电流，以免引起误动作，造成频繁断电而影响供电的可靠性。

一般装设的漏电保护器的动作电流I可按下式选取：

照明电路及居民生活用电

$$I \geqslant I_m/2000 \tag{2-4}$$

三相三线动力电路、三相四线动力照明混用电路

$$I \geqslant I_m/1000 \tag{2-5}$$

式中 I_m——线路中最大电流。

漏电保护器的选取是一个较为复杂的问题，经验证明：漏电保护器宜装设在线路的末端，如居民区内每户的进户端或末端插座和电气设备的电源进线端以及单独使用的电动工具或移动电气设备的电源端。线路总开关或支路总开关上使用漏电保护器要慎重，以避免不必要的误动而影响全区的供电。为此，要进行分级保护。

5）以导线穿管埋地暗设为主的低压电网中，选用漏电保护器时，应考虑埋地线对地电容的影响。由

于埋地线对地电容远远大于架空导线对地的电容，这样合闸时的电容电流很大，易引起漏电保护器的误动作。因此，应选用延时型或冲击电流不动作型的漏电保护器，以免由于电容电流的冲击而产生误动作，从而影响系统的供电。

因此，在选用时应注意并弄懂漏电保护器型号标注的含义。

经验证明，在选用漏电保护器时应注意产品的自保功能。否则，当元件损坏后，保护器已不再保安，但仍接通电源，这样便进入严重存在隐患的假保安状态运行，对人身安全更危险。如果被保护线路零线断线，保护器不动作，形成断相死区，直接触电的危险更大。而有自保功能的保护器均能在上述情况下，使电路切断或使备用保护投入使用，消除假保安状态运行或零线、相线断线后立即切断电源。因此，在选用时，三相保护器应有断相保护功能，而单相保护器则应有断零保护功能。

漏电保护器的分级保护与熔断器、断路器的分级保护基本相同，就是前级或总开关的动作电流和动作时间应大于后级或分路开关的动作电流和动作时间，并有一定的比例要求且动作协调配合。

3. 安装和接线

（1）漏电保护器的安装要点

1）漏电保护器的安装应符合生产厂家产品说明书的要求。

2）漏电保护器的安装应充分考虑供电线路的供电方式、供电电压及系统接地形式。

3）安装具有短路保护的漏电保护器，必须保证在电弧喷出方向有足够的飞弧距离，其距离大小则按保护器生产厂家而定。

4）组合式漏电保护器外部连接的控制回路，应使用铜导线，截面积不小于 $1.5mm^2$。

5）安装漏电保护器后，不得撤掉低压供电线路及电气设备的接地保护措施，同时保护器负载侧的中性线不得与其他回路共用，以免误动作。

6）漏电保护器安装后，应操作试验按钮，检验保护器的工作特性，确认能正常动作后才允许投入使用。一般应操作试验按钮试验三次，且应都正确动作，带负载分合开关三次，均不应误动。必要时应用漏电保护器检测仪进行检测，检测的周期是每年的 4 月份和 10 月份。特殊场所应每月一或两次。

7）安装时必须严格区分中性线和保护地线。三极四线式或四极式保护器的中性线应投入保护器。经过保护器的中性线不得作为保护线，也不得重复接地或接设备外露可导电部分。而保护地线不得接入漏电保护器。

8）漏电保护器的保护范围应为独立回路，不能与其他线路有电气上的连接。漏电保护器不能并联使用保护同一线路或设备。而一台保护器也不得同时保护两台设备或两条线路。

9）运行中的保护器应每月定期检查一次，并做记录，包括外观、接线、信号指示、动作试验及按钮位置等。其中进行动作试验时，操作按下按钮的时间不能太长，次数不能太多，以免烧坏内部元件。

10）漏电保护器的安装检查应由专职电工进行。他们应进行漏电保护知识技术方面的培训，并搞好保护器的管理工作。

（2）漏电保护器的接线和注意事项　漏电保护器必须按照生产厂家提供的说明书中的接线图接线；标有电源侧和负荷侧的漏电保护器应按规定接线，不得接反；漏电保护器按照其极数可分单极两线、两极两线、两极三线、三极三线、三极四线、四极四线等型式，单极两线、两极三线、三极四线都有一根直接穿过检测元件（零序电流互感器）的而不能断开的中性线，中性线与相线（极）应确认并区分开，然后接在相应的端子上。

接线前应确认系统采用的保安方式（接地或接零），确认被保护设备是单相、两相还是三相，最后按说明书上的接线图接线。

这里列出部分常用漏电保护器的接线图，供读者参考，见表 2-58。

漏电保护器的接线应注意以下几点：

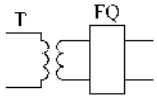
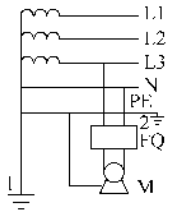
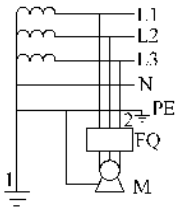
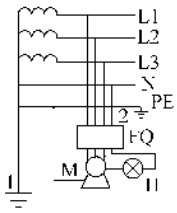
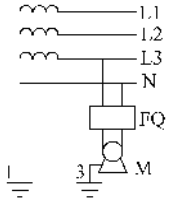
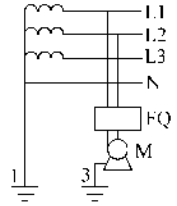
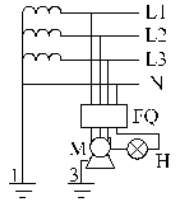
1）漏电保护器与保护接地或保护接零的保护线作用各异，不能互相代替，因此装设漏电保护器后，必须同时设置保护线。

2）保护线不得穿过零序电流互感器，采用三相五线制和单相三线制供电时，保护线必须接在第一级漏电保护器进线端的保护干线上，中途不得断线，也不得穿过零序电流互感器，最终接在设备外壳的接地端子上。

3）工作零线必须穿过零序电流互感器。单相照明电路、三相四线制配电线路及其他使用工作零线的线路或电器，其工作零线必须穿过零序电流互感器或接在两极两线、三极四线漏电保护器相应的工作零线端子上。不得使用三极漏电保护器代替三相四极或四极的漏电保护器。

4）工作零线不得再次重复接地。在变压器中性点直接接地的低压配电系统中，一旦装设了漏电保护器，工作零线（包括工作零线和保护零线的共用线）自穿入零序电流互感器后，只能当做工作零线使用并且绝不允许再次重复接地。

表 2-58 漏电保护器的接线方法

相数＼极数		二极	三极	四极
单相 220V				
三相 380/220V 接零保护	TN-S 系统			
三相 380/220V 接地保护	TT 系统			

注：L1、L2、L3—相线　N—工作零线　PE—保护零线　1—工作接地　2—重复接地　3—保护接地　M—电动机　H—灯　FQ—漏电保护器　T—隔离变压器

5）采用漏电保护器的支路，其工作零线只能作为本回路的零线，而绝对禁止与它路工作零线相连，其他线路或设备绝不能借用已采用漏电保护器后的线路或设备的工作零线。总之一句话，工作零线不得混用。

6）用电设备的接线必须正确，用电设备只能接在漏电保护器的负载侧，无论是单相或三相设备都应正确接线。不允许设备的一端接在负载侧，而另一端或其他接在电源侧，或者相邻回路借用接线，或者进出线间的连接，或者负荷侧一线一地等错误接线。详见图 2-73 ~ 图 2-77。

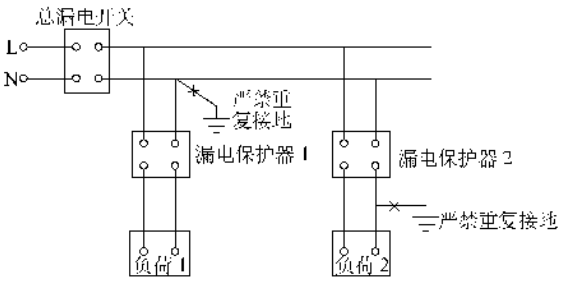


图 2-73 经过漏电保护器后的工作零线不得重复接地

7）安装漏电保护器的与不安装漏电保护器的线路或设备，不得共用同一个接地装置，并要求两个接地体尽量远离，一般应大于 8m，同时两接地体的引线应当绝缘，以免装置漏电保护器的设备漏电时不动作。

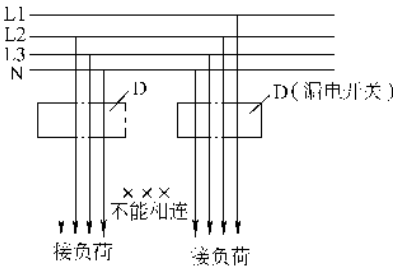


图 2-74 经过漏电保护器后的工作零线不能连接

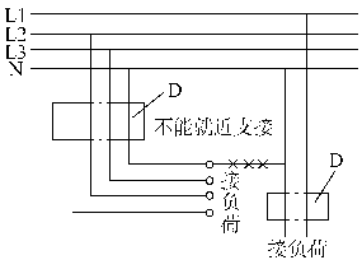


图 2-75 经过漏电保护器后的工作零线不能与相邻分支线路工作零线连接

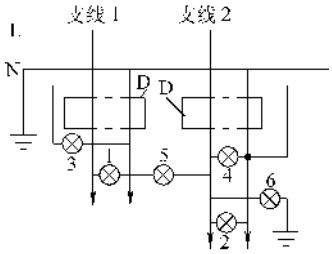


图 2-76　用电设备的正确接线

（1、2 为正确接线，其他为错误接线）

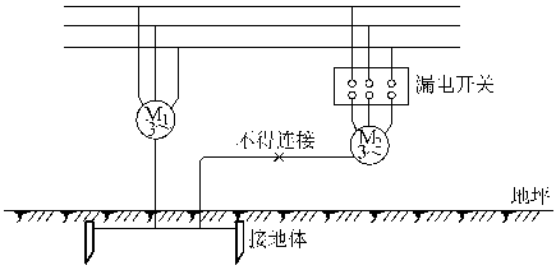


图 2-77　经过漏电保护器的设备不得与未经过漏电保护器的设备共用接地体

8）三相四线或三相五线制下单相与三相负荷混用的配电线路，应尽量使三相的负荷均衡，减小三相的不平衡电流。

9）并列运行的变压器，如采用电压型或中性点接地电流型保护器，必须共用一根接地引线，以免振动或误动。

（3）漏电保护器误动作的原因

1）接线错误引起的误动作。

2）选型不当引起的误动作。

3）由于过电压引起的误动作。应采取触头之间并联电容和电阻抑制过电压，或采用延时型或冲击电压不动作型漏电保护器，或接入过电压吸收装置等。

4）电磁感应引起的误动作。要求零序电流互感器的位置应安装在与外部导电体和磁体相隔较远的地方，与脱扣器的连线应尽量短且绞扭在一起，或穿金属管屏蔽起来，并将金属管可靠接地。

5）循环电流引起的误动作。解决办法是两台变压器设置公共接地极，并把零序电流互感器接在公共接地线上。另外，工程中不采用同一变压器的两个送电回路向同一负荷供电，应将负荷分为两组分别供电，避免漏电保护器的并联运行。

6）汞灯、荧光灯回路引起的误动作。解决办法应控制回路中灯的数量，缩短镇流器与灯管距离；对于荧光灯，采用双线圈的镇流器。

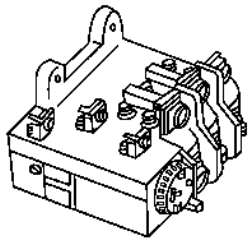
7）工作零线绝缘电阻太低引起的误动作。

8）过负荷和短路引起的误动作，应重新整定并使其匹配。

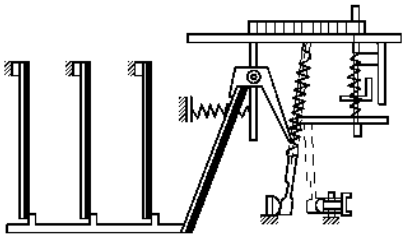
9）产品性能低劣造成的误动作。对选用的产品应严格试验测试；减少进货渠道，尽量从厂家直接进货。

五、热继电器

热继电器的作用主要是保护电气线路或设备的过负荷，有的型号的热继电器还可兼作缺相保护。热继电器最常用于交流电动机的过负荷及缺相保护，但只适用于长期工作或间断长期工作及起动不频繁（起动次数小于 60 次/h）的重复短时工作制的电动机，不宜用于正反转及起动频繁的电动机。其外形如图 2-78 所示。



a)



b)

图 2-78　热继电器的外形与结构

a）外形　b 结构

1. 测试

外观检查同接触器，辅助触头可用万用表测量其常开及常闭触头，同前。

2. 安装接线

安装要求同接触器，但可竖装、可水平装设。其上端与接触器连接，下端与负载连接，安装时应避开热源，以避免误动作。

3. 选择

热继电器的选择，要考虑电动机的型号、容量、使用环境、工作制、起动电流倍数、负荷性质（轻载、重载）等。在条件满足的情况下，通常按电动机的额定电流选取，或者按生产工艺要求及电动机的实际负载，选取热继电器的整定值为 0.95 ~ 1.05 倍电

动机额定电流，然后按此值对照热继电器的技术数据确定热元件的额定电流，最后根据热元件的额定电流确定热继电器的额定电流。

电动机的起动时间过长时，应避免热继电器在电动机起动时的误动作，应增大热元件的额定电流，躲过起动时间。

当电动机起动时间不大于 2s、起动电流倍数小于 6、通电持续率为 60%、且电动机满载工作时，热继电器用于反复短时工作的电动机其每小时允许起动次数为 40～45 次。若每小时操作次数较高时，应选用带速饱和电流互感器的热继电器。

为了避免热继电器通过大电流，控制电路中常将热继电器的热元件接入电流互感器回路中，并在起动时将热继电器的热元件短接，这样热继电器的热元件一律选用 5A 的。

当热继电器兼作断相保护时，对于星形联结的电动机应选用一般的三极热继电器，对于三角形联结的电动机则应选用带断相保护的热继电器。

六、电流互感器

电流互感器实质是一只变压器，是把大电流变为小电流（均为 5A）的变流装置，以便为测量（电流、电能）和保护提供电流信号。电流互感器有穿心式和变压器式两种，如图 2-79 所示。

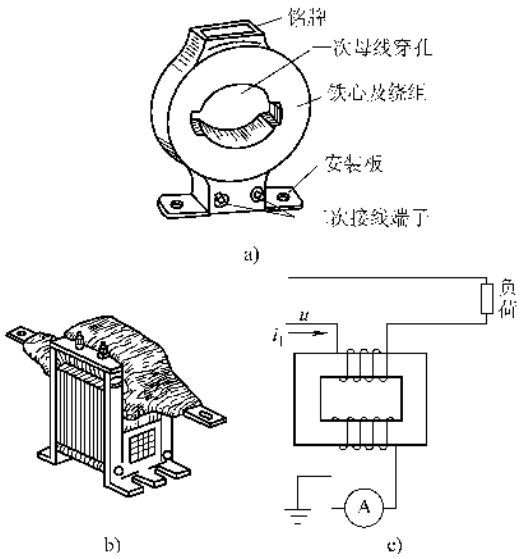


图 2-79 电流互感器的外形结构

a）穿心式 b）变压器式 c）常用接线图

1. 测试

1）穿心式互感器的一次侧没有绕组而是将被测导线穿过互感器中心的圆孔即可，因此只用万用表欧姆档测量二次侧即可。因二次侧导线较细、匝数较多，因而直流电阻较大。因为二次侧为一电感线圈，因此测量时间较长。另要观测铭牌上的电流比，如 50/5、100/5 等。

2）变压器式互感器除了测量二次侧外还应测量一次侧，一次绕组因匝数较少、导线较粗，直流电阻较小。同样要观测电流比。

3）用 500V 绝缘电阻表测量一次、二次绕组的绝缘电阻，新的应大于 2MΩ，旧的应大于 0.5MΩ。

2. 安装接线

安装要求同接触器，但可竖装或水平装设。一次绕组标注 L1 的为进线端，标注 L2 的为出线端，穿心式应从 L1 侧穿入。二次侧 K1 接电流表的进线侧，K2 接出线侧，且 K2 应可靠接地。二次侧用的导线必须是 2.5mm^2 或 1.5mm^2 的铜芯绝线导线。与电流互感器连接的导线必须可靠，其二次侧不得开路，以免产生高压而发生危险，同时不得在二次侧加装熔断器。多台互感器装设在一起时，接线必须按上述要求连接且必须一致。电流互感器的常用接线见图 2-80。

穿心式互感器使用时要注意穿过心的匝数。一般的穿心式互感器都在铭牌上标注了穿心的匝数，如果标注为一匝的 200/5 互感器在实际中穿两匝，则改为 100/5 的互感器，依次类推。如一次匝数越多，则可用较大电流比的互感器测量较小的电流。可用仪表指示值除以匝数即为实际值。

3. 选择

选择电流互感器时必须按电路中经常出现的最大电流来考虑，用于计价测量时还应考虑其准确度，如电能计量时应选 0.5 级，一般测量可选用 2 级或 3 级的。如一台 55kW 电动机，正常运行时的电流一般为 80～100A 左右，因此可选用 150/5 或 200/5 的互感器，但不能选用 100/5 或 300/5 的互感器。选择电流互感器时还应考虑电压等级，低压一般选 500V 的，如 LMZJ1-0.5/800/5，0.5 即为 500V，800/5 为电流比

七、时间继电器和中间继电器

时间继电器和中间继电器是电气控制线路中常用的元件。其中，时间继电器是为延时而设置的，它的触头是在元件得电或失电后延时闭合或打开的；而中间继电器和接触器相同，通电闭合，断电打开，触头全部为 5A，它的设置是为控制系统增加与接触器或继电器同步动作的触头，其触头与接触器辅助触头相同，而有的中间继电器也有延时触头。时间继电器触头的意义见表 2-59。时间继电器和中间继电器的外形如图 2-81 和图 2-82 所示。

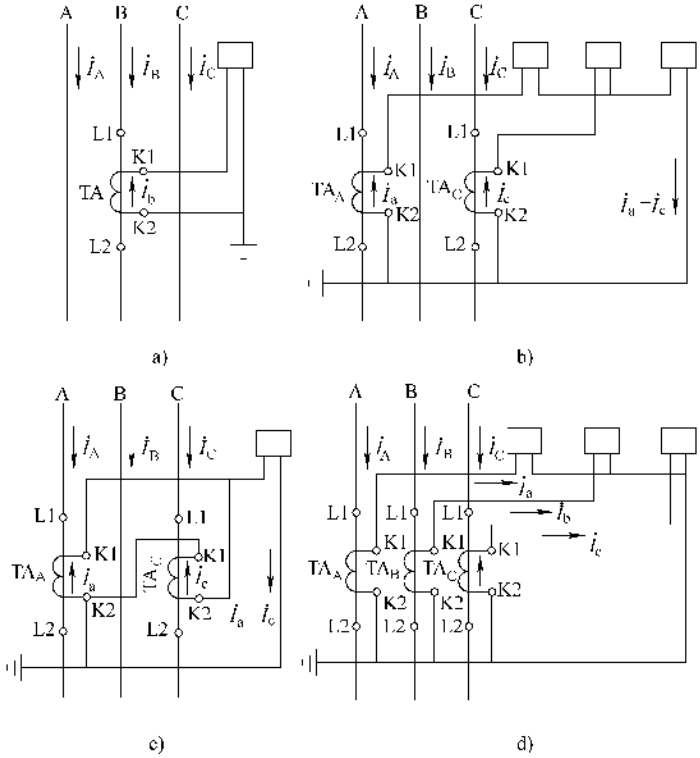


图 2-80　电流互感器的接线方案

a）一相式　b）两相 V 形　c）两相电流差　d）三相(形

表 2-59　时间继电器触头的意义

触头符号	意义及动作方式
	继电器得电延时闭合的常开触头，继电器失电立即打开
	继电器得电立即闭合，继电器失电延时打开的常开触头
	继电器得电延时闭合，继电器失电延时打开的常开触头

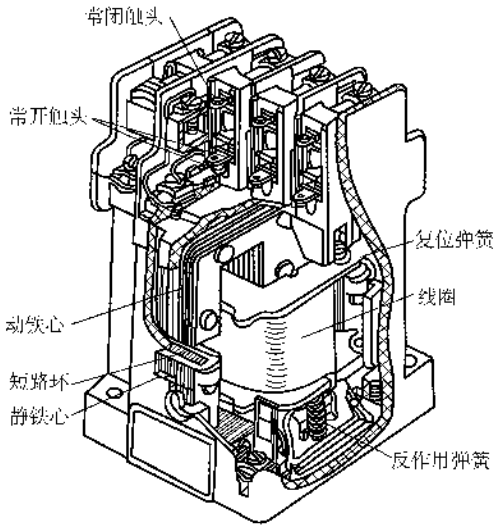


图 2-82 中间继电器的外形结构

1. 检查和测试

检查要求同交流接触器，中间继电器测试同交流接触器。时间继电器的测试基本同交流接触器，所不同的是元件得电后，万用表的指针不是与得电同步动作，而是要滞后一个时间，这个时间可通过旋钮或螺钉进行调节，一般的时间继电器都在其面板上标注了调节方向及调节范围如 、0 ~ 60s 或 0 ~ 360s 等。同样可以用手表或秒表进行校验，也可用手按下衔铁而模拟其得电的动作。

2. 安装和接线

1）中间继电器的接线有两个内容：一是把其线圈经过接触器或继电器的触头接入电源；二是把其触头接入需要与接触器或继电器同步动作的其他回路，见图 3-29。

2）时间继电器的接线与中间继电器的接线相同，只是把上述内容中同步动作改为延时动作而已。

3）安装要求同交流接触器，电子式继电器应尽量远离其他电流较大的导线或元件，以免误动作。

3. 选择

1）中间继电器一般按需要触头的个数选择，也可选择有延时触头的中间继电器。

2）时间继电器一般按设备的动作要求和使用场合选择，可选用电磁气囊式或电子式，要求精度高及时间较长的应选用钟表式。

3）两者控制电压要与控制系统的操作电压相同。

八、电动机起动器

1. 选择

电动机起动器的选择是按电动机的起动方式和被拖负载的性质决定的。一般条件下起动器最大起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级，如 40kW 电动机应选用 55kW 起动器。

（1）容量为 10kW 以下或电源容量足够大的（变压器容量与电动机容量的比值大于 3），可采用接触器、断路器直接起动，但必须有短路、过载的保护装置。

（2）不宜采用直接起动的电动机应采用间接起动的方式，起动器的选择应遵照下面的原则。

1）自耦减压起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可把自耦变压器的抽头调到电压较高的抽头上。时间继电器的切换应在起动电流降至接近额定电流时或者转速达到额定转速的 80% 以上时动作（手动自耦减压起动器是操作者观察电流降至额定电流的时候）。电动机起动时，应保证过负荷保护不动作。电动机起动时间过长或起动引起电动机温度升高很大时，应考虑减轻负荷起动，否则应更换起动转矩较大的电动机。选用自耦减压起动器时，自耦减压器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。手动自耦减压起动器的外形如图 2-83 所示。

2）(-△起动器仅适用于轻负荷起动且为三角形联结的笼型电动机，容量较大或重负荷起动的电动机不适于用(-△起动器起动。时间继电器的切换及过负荷保护要求同自耦减压起动器，外形如图 2-84 所示。

3）电阻或电抗串联起动器适用于中载或重载笼型电动机的起动，当起动困难时，可适当减小电阻或电抗。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。电阻或电抗串联起动器的设置必须考虑电阻或电抗的散热问题。

4）频敏变阻起动器适用于绕线转子电动机的起动，时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。选用频敏变阻起动器时，频敏变阻器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

5）变频式交流电动机起动器或软起动器适合于交流电动机的任何负载起动，选用变频起动器时，变频起动器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

2. 测试和检查

电动机起动设备安装接线前必须进行外观检查和测试。外观检查应无机械损伤、无破损短缺元件、接线正确牢固、无锈蚀污迹，动作灵活无阻无卡，铭牌数据完整，技术文件和图样齐全，设备与电动机起动方式和容量相符。

（1）柜中元件，如接触器、断路器、继电器、互感器、熔断器等的检查和测试同前。连接元件及所有导线的绝缘电阻应大于 1MΩ。

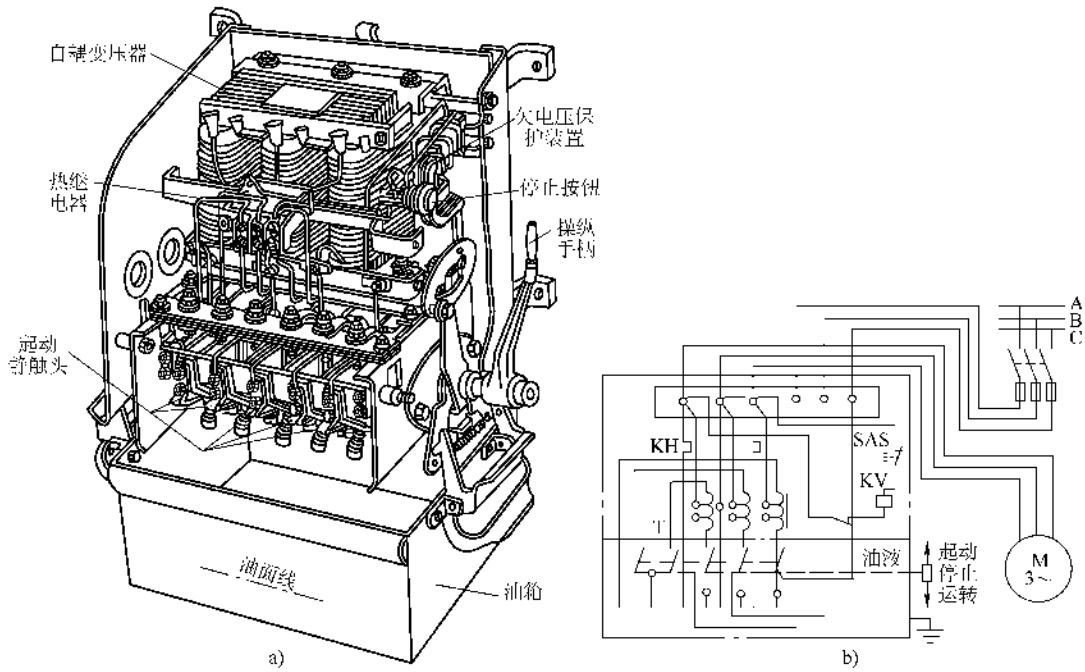


图 2-83　手动自耦减压起动器的外形结构

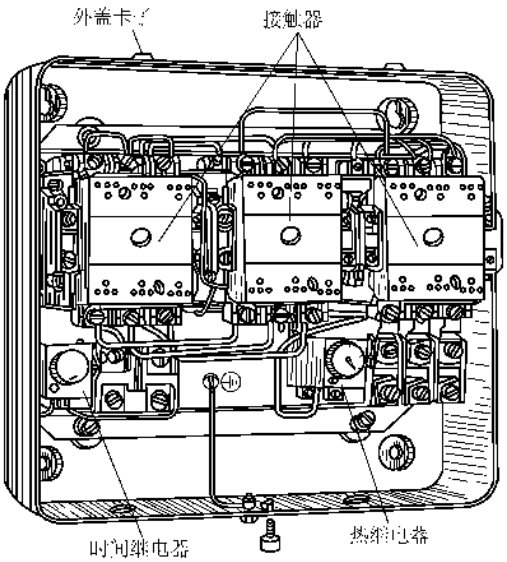


图 2-84　Y-△自动起动器的外形结构（挂式）

（2）按照图样检查接线应正确无误。

（3）通电后，进行不带负载的空投试验。操作起动按钮，起动器的动作应正确无误。

1）自动自耦减压起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接自耦变压器的接触器应吸合。

2）（ -△起动器（ 接触器和中性点的接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），（ 接触器失电，△接触器吸合。

3）电抗串接起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接电抗的接触器应吸合。

4）频敏变阻起动器主接触器应先吸合，过一段时间（电动机起动时间），短接频敏变阻器的接触器吸合。

5）直接起动的磁力起动器应得电吸合。

（4）上述操作正确后，按停止按钮，控制电路应失电，所有元件应恢复无电状态，主接触器和其他接触器应失电。

（5）重新按下起动按钮，起动器进入工作状态。然后手动模拟电路过载，触动保护回路的常闭保护触点断开（按动继电器衔铁），电路中的继电器应失电，线圈释放。

3. 起动器的安装接线

（1）直接起动的磁力起动器、接触器、断路器一般都安装在开关板或配电盘上，安装和接线应按前面讲的进行。

（2）间接起动的自耦减压起动器、（ -△起动器、电抗起动器、频敏变阻起动器应单独或成排装设在用槽钢（10#）做成的底座上，底座截面应与起动器底面相等，底座固定在地面埋设的地脚螺栓上。起动器垂直安装在底座上，垂直度不大于 0.5mm，成排安装间隙为 1mm。电源线及负荷线应引至底座口内穿管埋地。

（3）成品柜内部主回路及控制回路都已由厂家接好线，用户只需将电源线和负荷线接好即可，也可

将操作线引至它处进行两地操作。引至它处进行操作时，其常闭按钮与起动器内常闭按钮串联，常开按钮与起动器内常开按钮并联，见图 2-85。

直接起动器的主接线见图 2-86。可逆直接起动器的主接线见图 2-87。(-△起动器的主接线见图 2-88，手动(-△起动器接线见图 2-89。自耦减压起动器的主接线见图 2-90。电抗起动器主接线见图 2-91。绕线转子电动机起动器的主接线见图 2-92。这些起动器的原理图见图 2-93 ~ 图 2-97。绕线转子电动机起动器原理图见图 3-29。变频起动器，软起动器的安装接线见第七章相关内容。

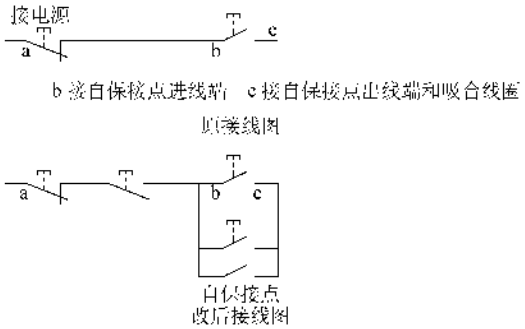


图 2-85 两地操作按钮的连接

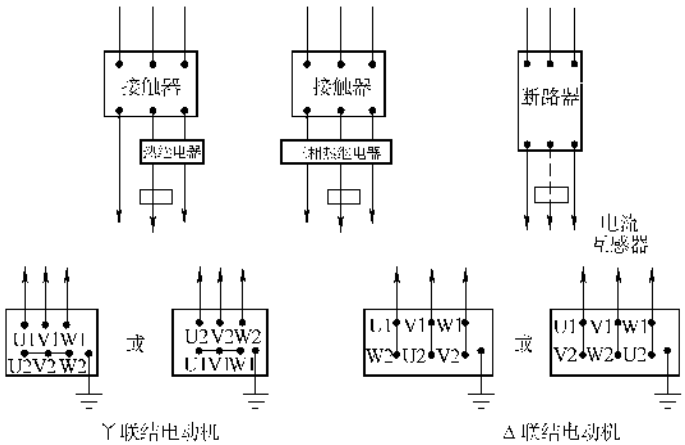


图 2-86 直接起动器的主接线

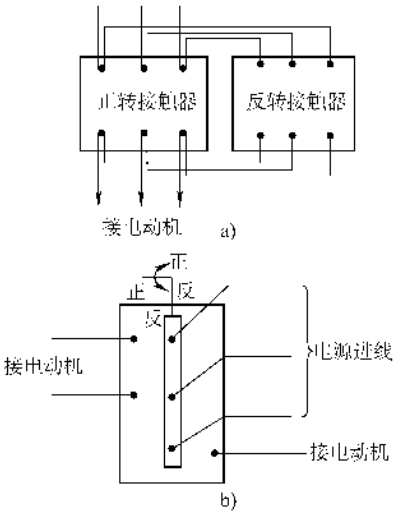


图 2-87 可逆直接起动器的主接线

a）正反接触器 b）倒顺开关

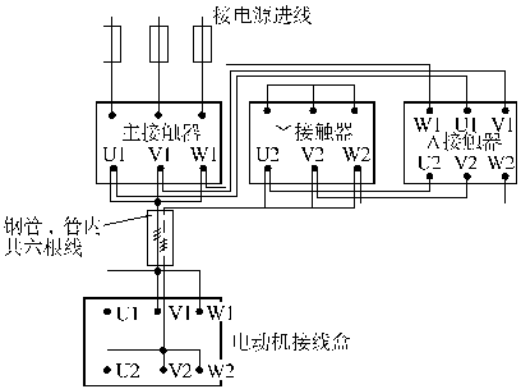


图 2-88 (-△起动器的主接线图

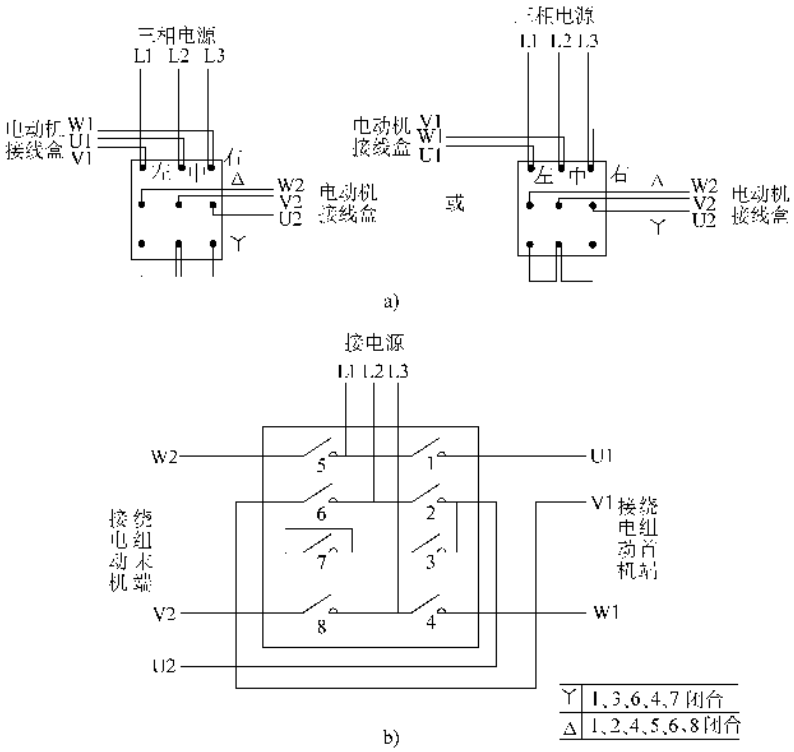


图 2-89　手动(-△起动器的接线图

a）双投开关　b）凸轮开关

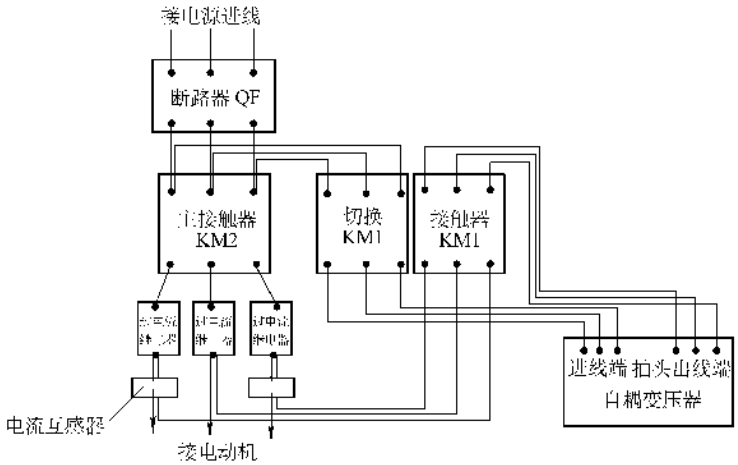


图 2-90　自动自耦减压起动器主接线图

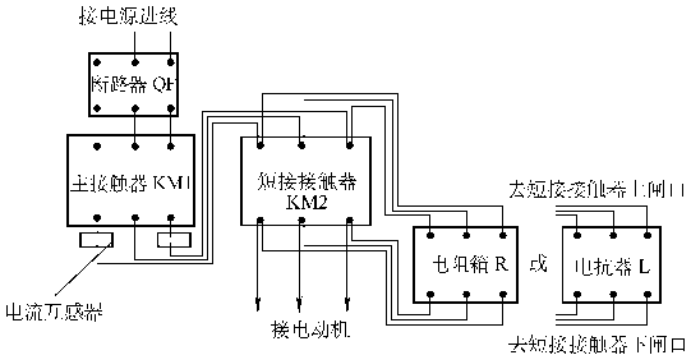


图 2-91　电抗起动器主接线图

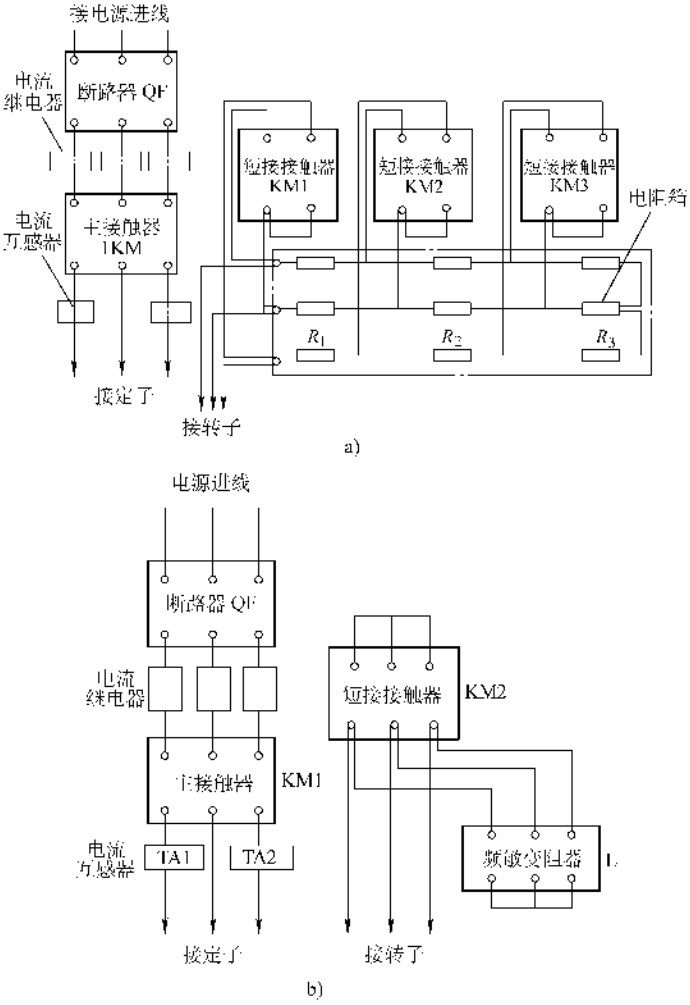


图 2-92　绕线转子电动机起动器主接线图

a）转子串接电阻起动调速　b）转子串接频敏变阻器

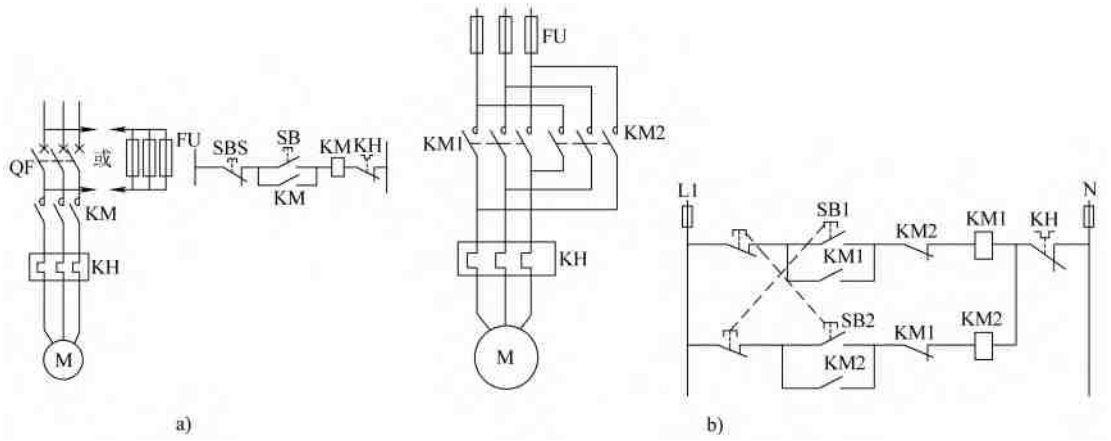


图 2-93　电动机的直接起动电路

a）直接起动　b）可逆直接起动

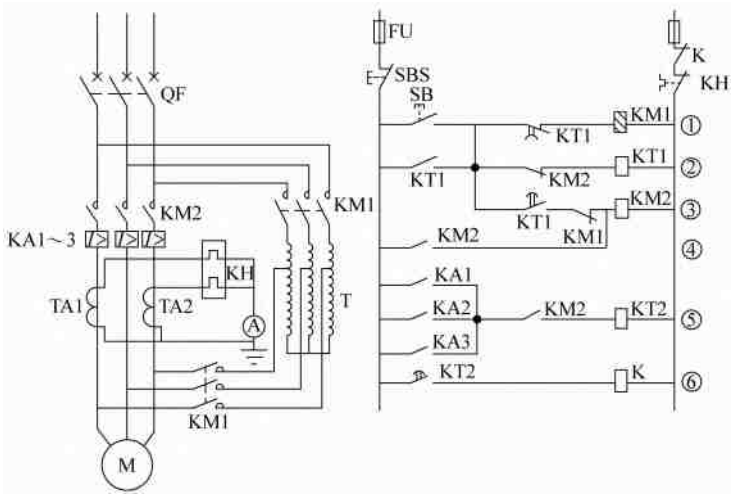


图 2-94　电动机自耦减压器起动控制电路

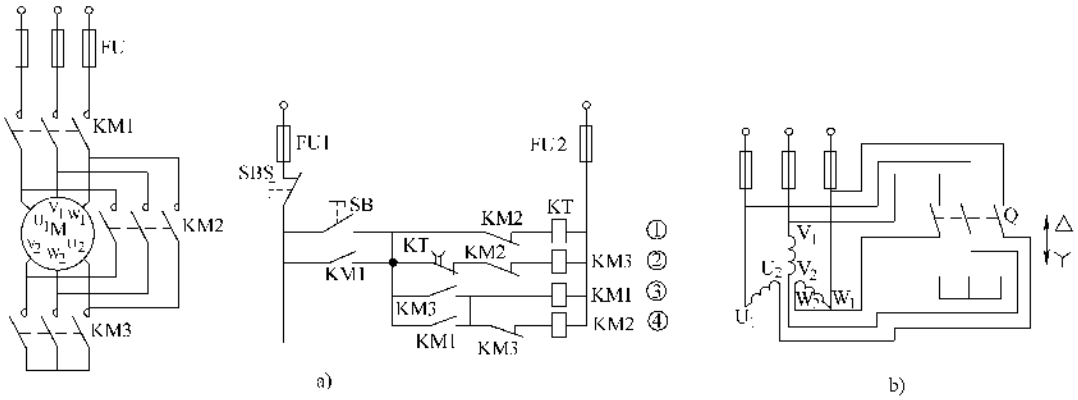


图 2-95　电动机Y/△起动控制电路

a）自动电路　b）手柄操作

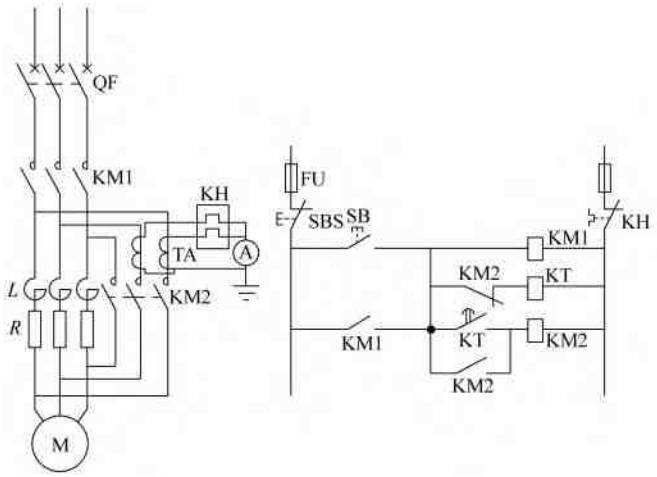


图 2-96 电动机串联阻抗起动控制电路

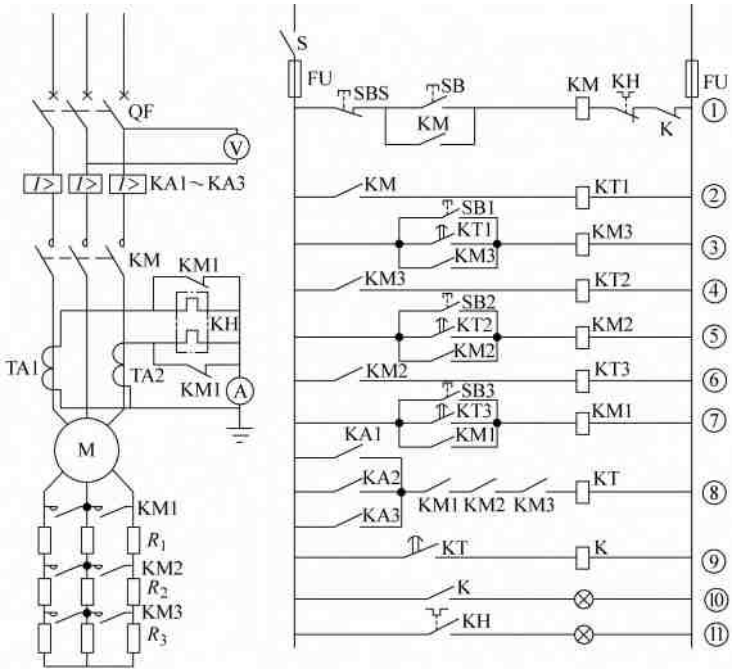


图 2-97 绕线转子电动机电阻起动控制电路（①～⑪为回路标号）

4. 常用电动机起动器控制电路

（1）直接起动　直接起动的电路如图 2-93 所示。

1）由图 2-93a 可知，将断路器 QF 闭合或将熔断器 FU 插入或旋紧，主回路有电。

2）按动常开按钮 SB，接触器 KM 的线圈—□—经常闭按钮 SBS、热继电器 KH 的常闭触点和 SB 接通吸合，使 KM 主触头吸合，电动机 M 得电而转动起来，当松开 SB 时，KM 辅助常开触头　　已闭合而实现自保。

3）当需要停车时，按动常闭按钮 SBS，KM 线圈回路断开，线圈失电使 KM 释放，电动机断电停止。

4）当电路及电动机内部的相间发生短路时，QF 跳闸或 FU 熔断器熔断使电动机失电而停止。当 FU 熔断一相时，KH 动作，因为 KH 是带断相保护功能的，其触头断开，切断控制回路，KM 失电，也能使电动机停止。

5）当电动机过载发热时，KH 动作，其触头断开，切断控制回路，使电动机失电而停止。

再看图 2-93b，主回路中 KM1 和 KM2 将两个边

相在下闸口倒相了，因此 KM1 吸合则为正转，而 KM2 吸合则为反转。控制回路中使用常开和常闭同时动作（常闭先断开，常开后闭合，决定按动速度及是否按到底）的双联按钮 SB1 和 SB2，因此，操作 SB1 时，其常闭触头先断开了 KM2 的得电回路，这样 KM1 得电时 KM2 不能得电，同样操作 SB2 时，KM2 得电而 KM1 不能得电。KM1 得电后其常闭辅助触头打开，它接在了 KM2 的得电回路，保证了 KM1 吸合后 KM2 不会得电吸合，同样 KM2 的常闭辅助触头接在了 KM1 的得电回路，保证了 KM2 吸合时 KM1 不会得电。上述的两种制约叫做联锁，是电气控制线路中常用的接线方法。当电动机需要停止时，正转按动 SB2，反转按动 SB1，其常闭触头先断开得电回路，只要不按到底，电动机就停止。当按到底时，电动机就由正转变为反转或由反转变为正转了。其他同图 2-93a，读者可自行分析。

（2）自耦减压器的间接起动　自耦减压器的起动电路如图 2-94 所示。

1）将 QF 合上，主回路有电，准备起动。

2）按动 SB，①控制回路被接通，六极接触器 KM1 经 SBS、SB、时间继电器 KT1 常闭触头

5）按动 SBS，电动机停止。

（5）绕线转子电动机常用起动电路

1）转子串接电阻的起动电路见图 2-97。

① 闭合 QF 和 S，准备起动。

② 按动 SB，KM1 得电吸合，电动机转子在 380V 电压下慢速起动（因转子串联了电阻），如果因电流超过 KA1 ~ KA3 的整定电流，KA 动作，但⑧回路中由于 KM1 ~ KM3 的常开触头不闭合而 KT 不动作，电动机不会停止。KM 吸合的同时，KT1 吸合并开始延时，到达整定时间后其常开触头闭合，使 KM3 得电吸合，其主触头闭合短接了 R_3，电动机转速增加；KM3 常开触头使 KT2 得电，延时后 KM2 吸合，短接 R_2，电动机又增速；KM2 常开触头使 KT3 得电，延时后 KM1 吸合短接 R_1，电动机完成起动过程，其中 SB1 ~ SB3 的设置是为手动增速而加的。

③ 系统发生短路和过载，QF 和 KH 动作，电动机失电停止。当有一相过电流时，KA 动作，这时 KM1 ~ KM3 的常开触头均已闭合，KT 得电延时，一旦到达整定时间，其常开触头闭合使 K 动作，K 的常闭触头打开切断①回路中 KM 的电源，电动机停止。KM1 常闭触头短接 KH，使起动时 KH 不动作，只有起动完成 KM1 才打开，这时电动机过载，KH 才起保护作用。

④ 需要停车时按动 SBS 或断开 S 均可。

2）绕线转子电动机频敏变阻器起动电路见图 3-29。

① 闭合 QF 和 KFU，电动机准备起动。KFU 闭合后，③回路的 KT1 经 KM3 的常闭触头得电吸合（注意 KT1 是一只失电延时的继电器，可从④回路的常闭触头

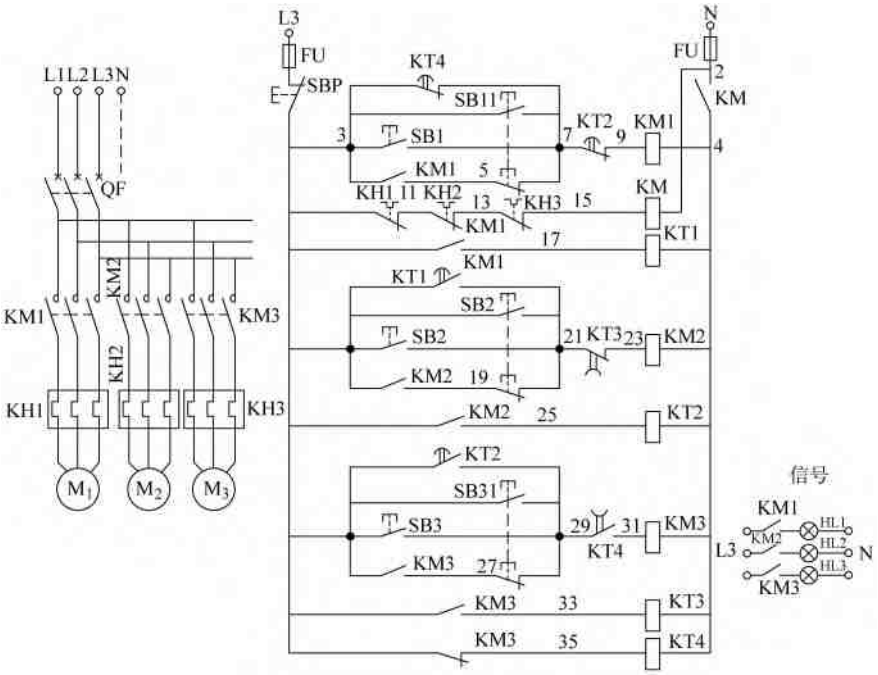


图 2-98　三台小型电动机循环定时工作线路图

6）到达 KT3 整定时间后，其常闭触头 KT3（21-23）打开，KM2 失电，M_2 停转。同时 KT2 失电，其触头复位，为下次动作作准备。

7）到达 KT4 整定时间后，其常开触头 KT4（29-31）打开，KM3 失电，M_3 停转，同时 KT4 常闭触头（3-7）闭合，接通了 KM1 的回路，KM1 重新自动得电，开始第二个循环工作。KM3 失电后，其触头（3-35）、（3-37）复位，使 KT3 失电，KT4 得电，为下一循环作准备。

8）运行中，任一电动机过负荷，KH 动作，将中间继电器 K1 断电，其触头 K1（2-4）将控制回路的电源断开，接触器失电，电动机全都停止。运行中需要停车时，按动停止按钮 SBS，断开控制回路电源，接触器失电，电动机停止。

9）SB2 和 SB3 的设置可使系统从任一电动机开始循环工作，再者是当时间继电器有失灵者可将时间继电器触点短接后手动循环工作，不影响工艺流程。

10）信号灯表示过负荷电动机的过负荷信号，复位后可从该台电动机开始循环工作，即按动该台电动机的起动按钮 SB。

11）点动按钮 SB11、SB21、SB31 的设置是为了调整试车而设置的，按动该按钮时只能点车而不能进入循环工作。

12）时间继电器均为长延时（0～360s）器件，其中 KT1、KT2、KT3 为得电延时器件，KT4 为断电延时器件。每只时间继电器的整定时间均按工艺要求进行。

（7）多台电动机顺序起动控制电路　见图2-99。

1）起动前先将熔断器 FU 装好，控制回路有电。这时中间继电器 K_1 得电吸合，其常开触头 K1（2-4）闭合，将电源接通。

2）时间继电器 KT3 得电吸合，其常开触头 KT3（13-15）、（23-27）吸合，为时间继电器 KT1、KT2 工作作准备。因接触器 KM1、KM2 的辅助触头 KM1（23-25）、KM2（由 K2 实现）（31-33）分别串接在 KM2 和 KM3 的线圈电路里，因此 M_2 和 M_3 不能先行起动，只能先起动 M_1。起动时先闭合 QF，接触器上闸口有电。

3）按动按钮 SB1，KM1 得电吸合，M_1 直接起动。KM1 吸合后，其辅助触头 KM1（11-13）闭合自保，KM1（23-25）闭合，为 KM2 得电作准备，KM1（1-39）打开。同时时间继电器 KT1 得电吸合并开始延时，为 M_2 自动起动作准备。

4）KT1 的整定时间达到后，其常开触头 KT1（21-23）闭合，使 KM2 得电吸合，M_2 直接起动。KM2（21-23）闭合自保，KM2（1-41）闭合，使中间继电器 K2 得电吸合（补充 KM2 辅助触头不足），其常开触头 K2（31-33）闭合，为 KM3 得电作准备，

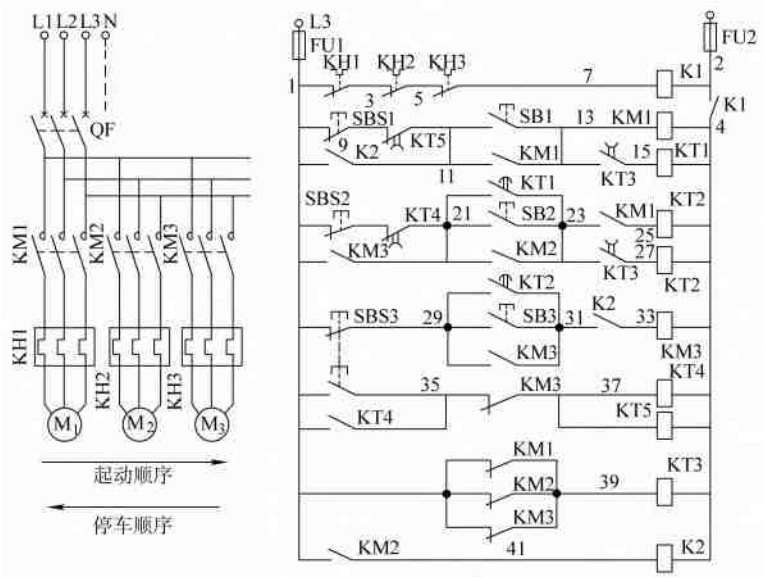


图 2-99 多台电动机顺序控制电路原理图

常开触头 K2（1-11）闭合将 KT1 失电回路封死，使 M_1 不能停车。KM2 的常闭触头 KM2（1-39）打开，为 KT3 失电作准备。同时时间继电器 KT2 得电吸合并开始延时，为 M_3 自动起动作准备。

5）KT2 的整定时间达到后，其常开触头 KT2（29-31）闭合，使 KM3 得电吸合，M_3 直接起动。KM3（29-31）闭合自保，常闭触头 KM3（35-37）打开，使停车时间继电器 KT4、KT5 不能得电。KM3（1-39）打开，这样时间继电器 KT3 失电，并且开始延时。到达 KT3 整定时间后，其常闭触头 KT3（13-15）、（23-27）打开，切断 KT1 和 KT2，其常开触头 KT1（21-23）、KT2（29-31）打开，准备下次工作。

这样，M_1、M_2 和 M_3 按控制程序一一起动，运行过程中，有一电动机过负荷，KH 动作，将 K1 断电，其常开触头 K1（2-4）打开，断开控制回路电源，过负荷电动机停止，所有继电器复位，准备重新起动。

6）运行中，如需要停车，可按动停车按钮 SBS3，KM3 失电，电动机 M_3 停止，因 SBS3 是双联（一常闭、一常开）按钮，常闭打开后常开闭合，这时应注意到 KM3（35-37）由于 KM3 失电而闭合，KM3（1-21）则打开。KT4 和 KT5 同时得电吸合并开始延时，由于 KT5 的整定时间大于 KT4 的整定时间，因此 KT4（19-21）到达整定时间后先打开，切断 KM2 的电源，M_2 停止，同时 K2（1-11）打开为 KM1 停止工作作准备。到达 KT5 整定时间后，KT5（9-11）打开，切断 KM1 的电源，M_3 停止，这样 M_3、M_2、M_1 按顺序一一停车。停车后继电器复位，准备下次起动，且重复以上的动作。

7）时间继电器的整定值是按工艺要求决定的，一般情况下，KT1、KT2、KT3 的整定值基本相等，KT5 整定值大于 KT4 整定值，同时 KT4 和 KT5 的整定值应小于 KT1、KT2、KT3 的整定值。

8）按钮 SBS1、SBS2、SB2、SB3 的设置是为了时间继电器故障时，可将延时触点暂时短接，便可用按钮进行手动操作，保证工艺流程的进行。

9）该电路程序起动的基本要点是 KM1 常开触头（23-25）串联在 KM2 线圈回路里，与 KM2 同步动作的 K2 常开触头（31-33）串联在 KM3 线圈回路里。程序停车的基本要点是 KM3 常开触点（1-21）并联在 KM2 的断电接点上，K2 常开触点（1-11）并联在 KM1 的断电接点上。另外，SBS3 是双联按钮，常开常闭触点同时运作，但常闭先于常开断开。

（8）215kW、10kV 电动机直接起动电路　见第 12 章相关内容。变频器、软起动器相关电路见第七章相关内容。

九、照明开关及插座

照明开关包括三相、单相胶盖刀开关及拉盒、按键及翘板式等开关，其中三相胶盖刀开关有时也可用在负载不大又不太重要的动力电路上，插座常用在临时用电或家用电器且负载不大的电器上。小型单极低压断路器或漏电保护器也常用在照明电路或家庭用电上。

1. 测试和检查

外观检查同接触器，刀开关的刀口应接触紧密，弹力适中，合闸时闸刀应准确进入刀口。拉盒、按键或翘板式单极开关动作时应有清脆的“咯嗒”声。插座的刀口应接触良好，插头插入时应准确无卡阻。接触电阻、绝缘电阻的测量同前。

2. 安装接线

（1）刀开关的安装同接触器，上闸口接电源，下闸口接负载。刀开关必须与熔丝配合使用，熔丝的额定电流不得超过刀开关的额定电流。

（2）拉盒（拉线开关）、按键开关及翘板式单极开关的安装，分明装线路和暗装线路两种。

1）明装线路或槽板安装线路时，拉盒应安装在圆木上，而圆木则应用膨胀螺钉或胀塞安装在墙上，固定用的膨胀螺钉或胀塞要用两颗，以免圆木转动。然后在圆木上刻出两道5mm深的小槽，将导线从拉盒的进线孔引到接线端子。

暗装线路时，拉盒装在预先埋设好的接线盒上。先把盒内清扫干净，将导线从圆木（或盒盖）上的穿线孔引出，然后用螺钉将圆木固定在盒上，螺钉应穿入盒上设定的螺孔内并拧紧，同时圆木应将盒盖严并与墙面贴紧。

拉盒的安装应位于圆木的中心上，其标高应距屋顶200～300mm且应一致。接线时应将进相线（俗称火线）接在静触头上，出相线接在动触头上。任何时候工作零线不得与开关连接，它只是从盒内经过，在这里不得连接或断开。

2）按键开关或翘板开关必须装设在设定的盒上，如果没有预埋，则应在墙上测定好的位上凿一个与接线盒体积相应的洞，当盒放入后应与墙面取平，周边缝隙不得大于1mm，然后用膨胀螺钉或胀塞将盒固定在洞内。选定的接线盒必须与开关配套，最后用随开关配套的螺钉将开关固定好，其面板应与墙面贴紧。其安装接线要求同拉盒，必须保证开关板的水平和竖直。所不同的是标高应在1.2～1.4m，距门口边水平距离应在0.15～0.20m。

（3）插座的安装基本同拉盒及翘板开关，明装用圆木，暗装用盒。如果插座不与盒配套，则应在盒上装设圆木，要求同前。

插座的接线必须做到以下几点。

1）单相两孔插座，面对插座的右孔或上孔与相线连接，左孔或下孔与零线连接。

2）单相三孔插座，除左零右相外，上孔应与保护线（保护地线或保护零线）连接。

3）三相四孔、三相五孔插座的插座应将保护线孔置于上方并与保护线连接。

4）插座的接地端子不得与工作零线端子或工作零线连接。

插座的标高一般为0.3m，儿童场所应为1.8m，且应一致；同一场所的三相插座相序应一致；同一场所不同电压等级的插座不得装在同一位置且标高不得一致，插头不能互换，以免发生危险。

3. 选择

（1）开关的选择　照明用的单极开关，控制单个灯具一般都是额定电流5A的；户用或支路开关一般选10A的并与电能表配合，用电量小的用户或支路可减小熔丝的容量；单元总开关一般按总用电量的0.4倍考虑，而熔丝则选用与总开关同样容量的。支路用的开关应与支路容量相适应，一般选用支路容量的1.5倍，同样可用熔丝调节使用。总路开关一般按各支路总用电量的0.4～0.6倍考虑，熔丝选用与总开关同样容量的。

（2）插座的选择　插座一般应按负载的容量选择并与导线相配。家用插座一般选5A的，电热装置使用时应选10A的，工厂或办公室用一般都选用10A的。三相插座的容量一般不宜超过30A。另外，插座的选择应按配电方式及保护方式选取，三相五线或三相四线半的应选用单相三孔、三相五孔的插座；而三相四线则应选用单相两孔、三相四孔的插座。在学校、幼儿园或一些公共场所也可选用带有漏电功能的插座。

十、灯具及照明装置

1. 安装要求与接线

（1）灯具及其配件应齐全，无机械损伤、变形、油漆脱落和灯罩破裂等缺陷。

（2）灯具不得直接安装在可燃构件上或靠近可燃构件。当灯具表面高温部位必须靠近可燃物时，应采取隔热及散热措施，灯泡容量较大时必须注意这一点。引向每个灯具的导线线芯最小截面积应符合表2-60的规定。

表2-60　灯具导线线芯最小截面积

（单位：mm^2）

安装场所及用途		铜芯软线	铜线	铝线
灯头线	民用建筑室内	0.4	0.5	2.5
	工业建筑室内	0.5	0.8	2.5
	室外	1.0	1.0	2.5
移动用电设备导线	生活用	0.4		
	生产用	1.0		

（3）墙上安装的灯具，其标高室内/室外为2.0m/2.5m，屋顶安装的灯具其吊高至少应为2m，屋顶单个灯具应安装在屋顶的中央，多个灯具应把面积平均后安装在单位面积的中央。

（4）由开关引来的控制相线应接在灯泡螺口顶部中心触点上，零线则应接在螺口的端子上，这样一旦误将手触到螺口上而不致触电，如图2-100所示。同时导线在灯口盖内应打结。

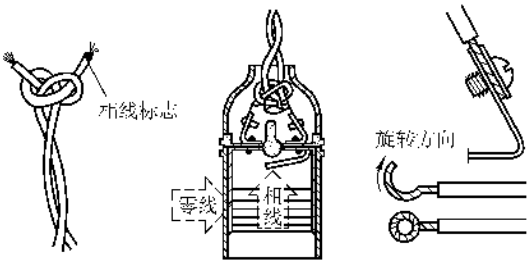


图2-100 灯口及吊盒内导线的打结和接线

（5）屋内墙上安装灯具时与拉盒安装的方法相同，灯具较大时应增加木台（圆木）的面积或长度、宽度。而在室外墙上安装灯具时，必须使用钢板圆木，钢板与墙的固定应使用膨胀螺栓，其中钢板应做好防腐处理，膨胀螺栓和固定灯具的螺栓应使用镀锌产品，如图2-101所示。

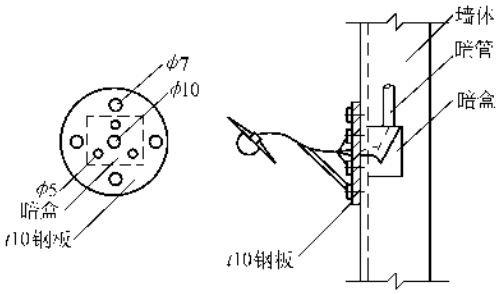


图2-101 室外弯灯及其钢板底座安装示意图

（6）屋顶安装灯具应用圆木将盒盖严，常用的做法是在圆木上钻四个孔，其中两个孔是将导线从盒内引出的出线孔，另外两个是圆木与盒紧固的固定孔。然后，把吊盒或平灯口用木螺钉固定在圆木上。如果灯具重量大于1kg时，应采用预埋吊钩或螺栓固定圆木，并增加圆木的厚度和面积，如图2-102所示。有时也可用镀锌铁丝代替吊钩或螺栓，将圆木再开两孔穿过后拧紧。

2. 灯具的选择

通常办公室宜采用荧光灯，单位面积功率为3～5W/m^2。住宅宜采用混光照明，即荧光灯、白炽灯混用，单位面积功率：荧光灯为3W/m^2，白炽灯为4W/m^2。这里给出建筑物单位面积照明安装功率表，供参考，见表2-61和表2-62。不同场合应选用相应的光源。

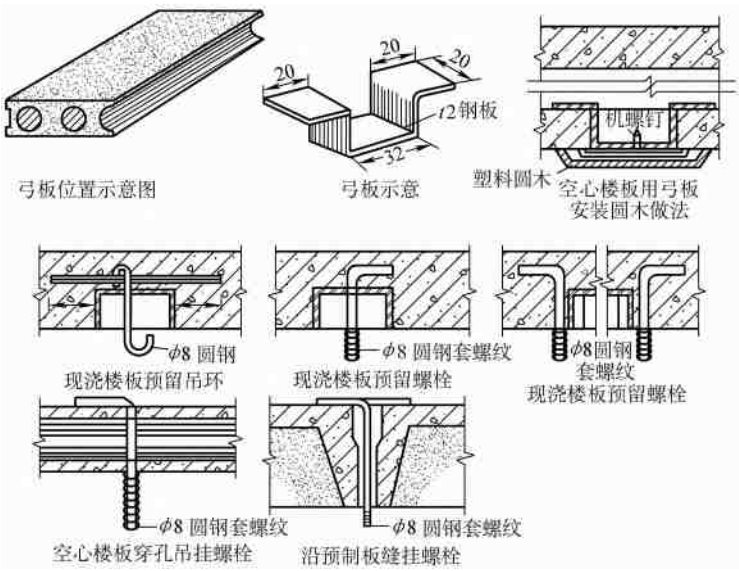


图2-102 灯具吊钩螺栓的预埋方式

表 2-61　一般建筑物公用地点灯泡的安装功率　（单位：W）

灯具型式	5lx			10lx		
	楼梯间	走廊		楼梯间	走廊	
		灯距 < 10m	灯距 > 10m		灯距 < 10m	灯距 > 10m
乳白玻璃水晶底灯				100	100	150
圆球灯	60	60	100	100	100	150
半圆吸顶灯（双灯泡）	2×25	2×25	2×40	2×40	2×40	2×60
半圆吸顶灯（单灯泡）	40	40	60	60	60	100
天棚灯座（带伞）	25	25	40			

表 2-62　综合建筑物单位面积安装功率　（单位：W）

序号	房间名称	电能消耗/（W/m²）	序号	房间名称	电能消耗/（W/m²）
1	高炉部分	5	22	总降压变电所	10
2	铸铁机室	8	23	锅炉房	4
3	炼钢车间	9	24	机车库	8
4	整模、脱模间	6	25	汽车库	8
5	废钢处理间	7	26	各种仓库	5
6	轧钢车间	10	27	生活间	8
7	金工车间	7	28	电缆隧道	4
8	装配车间	9	29	露天栈桥	5
9	工具修理车间	8	30	室外配电装置	1.5
10	金属结构车间	10	31	道路照明	4（W/m）
11	焊接车间	8	32	警卫照明	5（W/m）
12	锻造车间	7	33	露天堆场	0.5
13	热处理车间	8	34	喷水池	0.3
14	铸钢车间	8	35	学校	5
15	铸铁车间	8	36	办公楼	5
16	木工车间	11	37	住宅	4
17	中心试验室	10	38	单身宿舍	4
18	煤气站	7	39	食堂	4
19	氧气站	7	40	托儿所	5
20	氢气站	11	41	浴室	3
21	压缩空气站、泵房	5	42	商店	5

表 2-61、表 2-62 提供的数据为一般估算值，不作为施工图设计的依据。

十一、导线及选择

见《电气工程项目管理与策划技术手册》相关内容。

十二、跌落式熔断器

跌落式熔断器一般作为容量不大且不太重要负荷的小型变压器的短路保护，并作为该系统 10kV 电源进线的第一个接线点。

1. 测试及检查

熔断器的接线端子及载流部分应洁净，触头镀银层完好无脱落且接触良好；绝缘支柱表面无裂纹、无破损、无焊接残留斑迹等缺陷，瓷铁粘合部位牢固整洁；熔管无变形裂纹；转动部位灵活无卡，跌落后钩挂可靠。电压等级与线路相符，规格与变压器一次电流相符，配件齐全无损。

用 2500V 绝缘电阻表测量上下闸口静止部位与安装板的绝缘电阻，阻值应大于 1200MΩ；合闸后，上闸口与下闸口的直流电阻应近似为零。

用手握住熔管或操作环应可靠合闸，触动鸭嘴时应可靠掉闸。

2. 安装接线

跌落式熔断器一般安装在横担上，安装板用螺栓与横担固定，安装后熔管轴线与铅垂线的夹角为15°~30°。电源为10kV时，三相间距应大于350mm，距地面高度应大于3m。上闸口与电源连接，下闸口与变压器高压套管连接。

3. 选择

电压等级应与线路相等，熔断器规格应按表2-63选择，其中分子为熔断器规格，分母为熔丝规格。熔丝应无弯曲、无压扁、无损伤。

表2-63 变压器配用跌落式熔断器规格 （单位：A）

变压器容量/kVA		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
一次额定电流	6kV	9.6	12	15.4	19.2	24	30.2	38.4	48	60.5	76.8	96
	10kV	5.8	7.2	9.3	11.6	14.4	18.2	23	29	36.5	46.2	58
RN1型熔断器规格/熔丝电流	6kV	20/20		75/30		75/40	75/50	75/75		100/100	200/150	
	10kV	20/15			20/20	50/30		50/40	50/50	100/75		100/100
RW4型熔断器规格/熔丝电流	6kV	50/20		50/30	50/40		50/50	100/75		100/100	200/150	
	10kV	50/15		50/20		50/30	50/40		50/50	100/75		100/100

注：熔断器规格中，分子为熔断器规格，分母为熔丝规格。

十三、避雷器

避雷器用在电源进线端，也防止变压器因雷电或其他原因而过电压，进而破坏绝缘。

1. 测试及检查

阀型避雷器为常用高压电器，瓷件应无裂纹、无破损、瓷套与铁法兰间的粘合应牢固，法兰泄水孔畅通，顶盖与下部引线处的密封物未出现龟裂或脱落，摇动器身应无任何声响。用2500V绝缘电阻表测电源接线端与固定抱箍的绝缘电阻应不小于2500MΩ，与接地端的绝缘电阻应不小于1500MΩ。

2. 安装接线

避雷器安装要求基本同跌落式熔断器，但应垂直地面安装。电源为10kV时，三相间距为350mm，距地面高度应大于3m。上端子与10kV电源连接，下端子与接地体可靠连接，接地体的接地电阻应小于10Ω。

3. 选择

避雷器的额定电压应与线路电压相等。

十四、穿墙套管

穿墙套管是把10kV电源引入到室内的装置，常与穿墙隔板配合使用，见图2-103。

测试及检查基本同避雷器，用2500V绝缘电阻表测得的绝缘电阻应大于1200MΩ。安装间隔为350mm，进线端接电源，出线端接变压器一次套管或跌落式熔断器上端。选择时除电压等级相符外，还应考虑额定电流。套管的额定电流应大于线路或变压器的额定电流。

十五、绝缘子

绝缘子的型号规格很多，它是支持和固定导线或硬母线的，常用低压绝缘子外形如图2-104所示，尺寸参见表10-20和表10-21。高压绝缘子如图10-1所示。

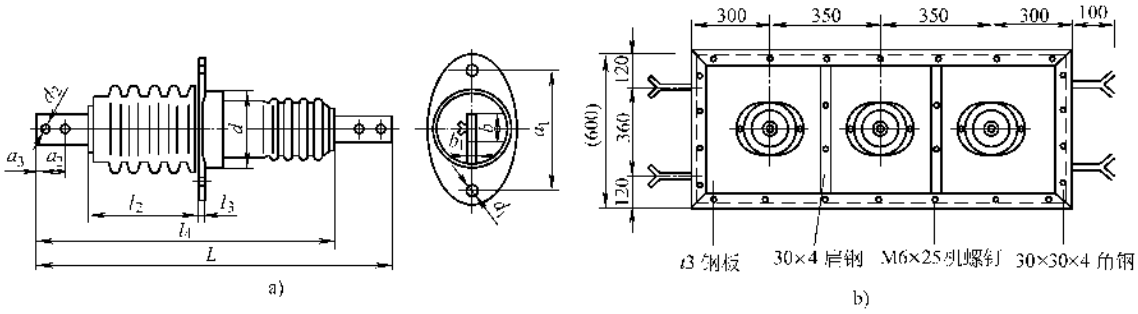


图2-103 穿墙套管及其安装

a）套管外形 b）安装示意图

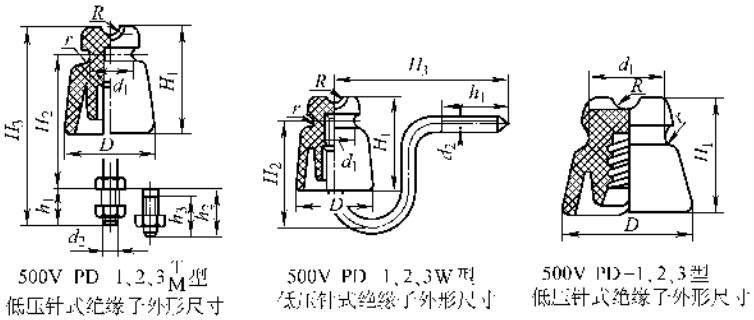


图 2-104　常用低压绝缘子的外形

测试和检查基本同避雷器，用 2500V 绝缘电阻表测得的绝缘电阻，针式的应大于 500MΩ，悬式每片绝缘电阻应大于 300MΩ。支柱绝缘子应垂直安装在铁横担上，导线则绑扎在其颈部或顶部，悬式绝缘子是挂在横担上的，用来将导线拉紧，常用耐张线夹配合将导线拉紧，如图 2-105 所示。选用绝缘子时必须与电压等级相符，绝缘子的电压等级应大于或等于线路的额定电压。

十六、高压电器

这里仅说明要点，其他详见《电气工程项目管理与策划技术手册》相关内容。

1. 高压断路器的选择

高压断路器的选择必须满足五个条件：

1）断路器的额定电压应大于或等于装置地点的额定电压。

2）断路器的额定电流应大于或等于装置地点通过的计算电流 I_{30}，I_{30} 一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。

3）断路器的开断电流应大于或等于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$。$I_K^{(3)}$ 一般由设计给出或按规定的计算方法算出。

4）断路器的极限通过电流（峰值）应大于或等于装置地点可能通过的短路冲击电流 $i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$。$i_{SK}^{(3)}$ 或 $I_{SK}^{(3)}$ 一般由设计给出或者按规定的计算方法算出。

5）断路器热稳定电流 I_t 的二次方与热稳定试验时间 t 的乘积应大于或等于装置地点可能通过的短路最大电流 $I_K^{(3)}$ 的二次方与短路发热时间 t_{ima} 的乘积，即 $I_t^2 t \geqslant I_K^{(3)2} t_{ima}$。$t_{ima}$ 一般由设计给出或按规定的计算方法算出。

另外，断路器的选择还必须按安装地点的要求，分别选用户内型、户外型、柱上型，同时还应满足当地的地理、气候、环境条件以及电源相数的需要。

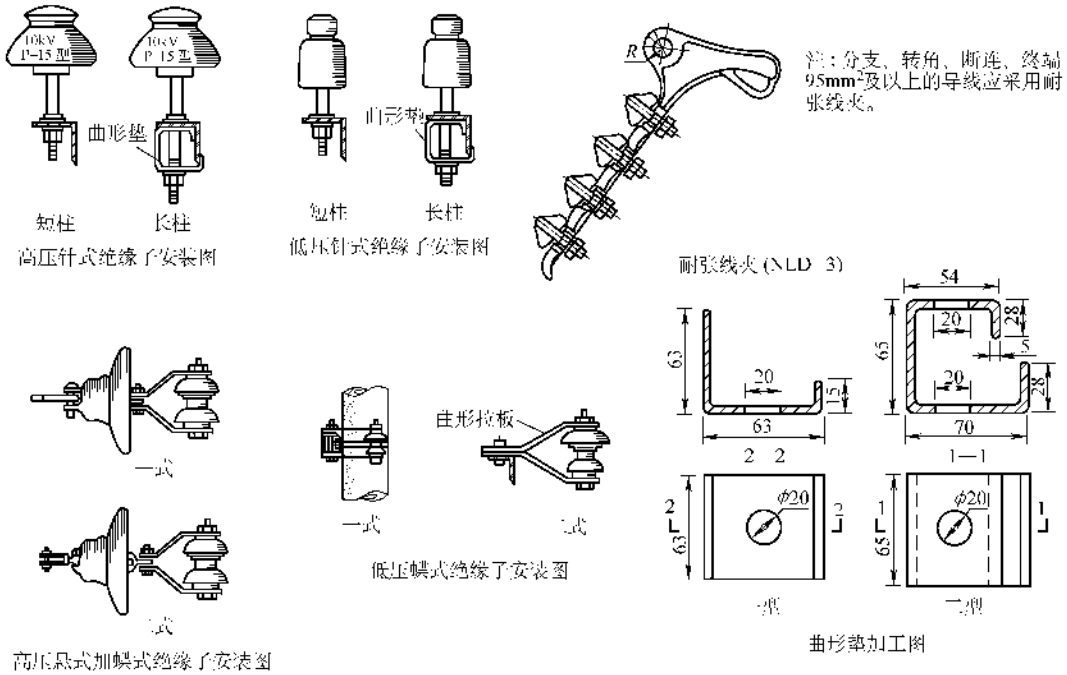


图 2-105　绝缘子的配合使用和安装

2. 高压负荷开关的选择

高压负荷开关的选择与断路器的选择基本相同，必须满足额定电压、额定电流、开断电流、极限电流及热稳定度五个条件，详见《电气工程项目管理与策划技术手册》。其中最大开断电流应不小于装置地点的最大负荷电流，而不是短路最大电流，这个短路最大电流是用于负荷开关串联使用的熔断器切断的，因此应考虑熔断器的选择。

3. 高压隔离开关的选择

高压隔离开关的选择与断路器基本相同，但无开断电流的校验，因为隔离开关只能空负荷切断，而不能切断电流，这也是与断路器、负荷开关的主要区别。

第十节　常用电测量计量仪表与接线

常用的电表有电压表、电流表和电能表三种。电压表、电流表、电能表有交流、直流之分。交流电压表和交流电流表有使用互感器和不使用互感器两种；直流电压表有使用分压器和不使用分压器两种；直流电流表有使用分流器和不使用分流器两种；交流电能表分无功电能表和有功电能表两种，使用时又分经互感器和不经互感器两种。直流电能表使用时可与分流器、分压器、附加电阻配合使用。电表使用的互感器、分流器和分压器必须与表配套使用，读数时均有一定的规则。

一、交流电压表

常用交流电压表的选用一般应使示值在表盘满刻度的2/3左右，如380V应选用满刻度为500V的电压表，220V应用选满刻度为300V或400V的电压表。高压电压表均与电压互感器配套使用，如6kV应选用表盘上标有6000/100的电压表，10kV应选用表盘上标有10000/100的电压表。我们把6000/100和10000/100叫做电压比，电压互感器的电压比与之是相同的。交流电压表的接线是不分极性的，但在一个系统中，所有的电压表接线应是一致的，特别是220V或使用互感器的电压表必须遵守这一规则。交流电压表的接线如图2-106所示。交流电压表及其电压互感器回路必须配置熔断器，以防短路。

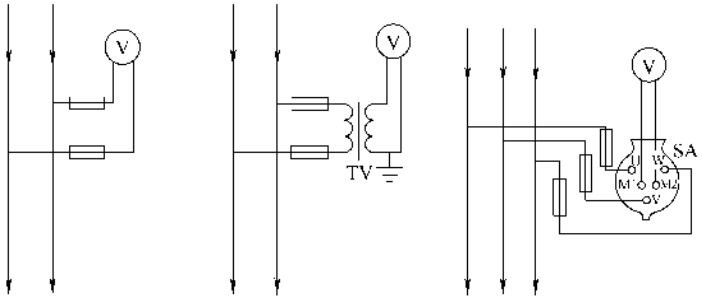


图2-106　交流电压表的接线图

二、交流电流表

常用交流电流表的选用同样应使最大示值在表盘满刻度的2/3左右。一般条件下50A及以上的电流表或有特殊要求的电流表（如与保护装置线圈串联的电流表），都应与电流互感器配合使用。电流互感器的电流比应与电流表表盘上标注的电流比相同。当使用穿心互感器时，可按穿过心口的导线匝数调整电流比，如100/5的电流互感器，当穿过心口的导线为1匝时，电流比为100/5；当穿过心口的导线为2匝时，电流比为50/5。交流电流表的接线也是不分极性的，同样，在一个系统中，所有的电流表接线必须是一致的，如图2-107所示。交流电流表及电流互感器回路不得配置熔断器，以防回路开路。

三、交流电能表

交流电能表的选用一般应按负载的大小和相数选用，单相负载选用单相电能表，三相负载选用三相电能表，三相负载和单相负载混用时可选用三相四线电能表，负载较大时（一般条件下30A以上）要选用5A的电能表与互感器配套使用。电能表的接线必须使每个计量单元中的电流线圈串联在线路中，电压线圈并联在线路中，同时必须保证该单元中的电流、电压线圈同相。电能表又分有功电能表和无功电能表两种，接线上略有不同。电能表的接线如图2-108所示，5A的电能表与互感器配合使用时必须把电流线圈与电压线圈的挂钩取掉，如图6-6所示。总表与分表的接线如图6-4～图6-6所示。同样，电压互感器回路必须装设熔断器，而电流互感器回路不得装设熔断器。新型电子式单相电能表接线如图2-109所示。

四、直流电压表

常用直流电压表的选用与交流电压表相同，若使用分压器，分压器必须与电压表配套使用。直流电压表的接线是有极性的，必须使电源正极接在电压表的⊕端，负极接在电压表的⊖端，如图2-110a所示。

五、直流电流表

常用直流电流表的选用与直流电压表相同，若使用分流器，分流器必须与电流表配套使用。直流电流表的接线是有极性的，必须使电源正极（电流流出的极）接在电流表的⊕端，电流表的⊖端接在电源的负极（电流流进的极）。当直流电表极性不明确时，可用直流调压器将电压/电流调小而临时接入，当其指针偏向正确时即为接线正确，偏向相反时可将正负极（⊕、⊖）对调连接即可。直流电流表的接线如图 2-110 所示。

六、直流电能表

常用直流电能的测量应选用直流电能表，选择方法和接线要求基本同上，如图 2-110c 所示。

七、新型三相电子式多功能电能表

新型三相电子式多功能电能表的接线见图 2-111。

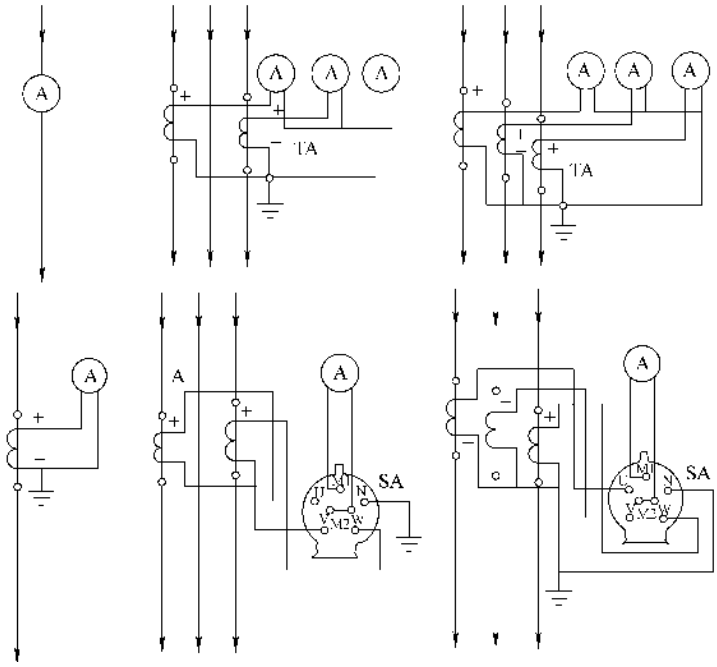


图 2-107　交流电流表的接线

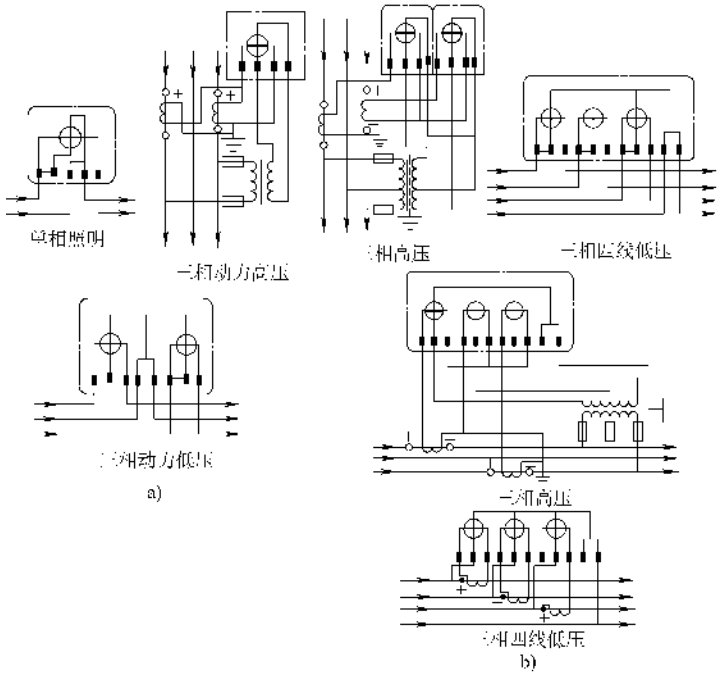


图 2-108　交流电能表的各种接线

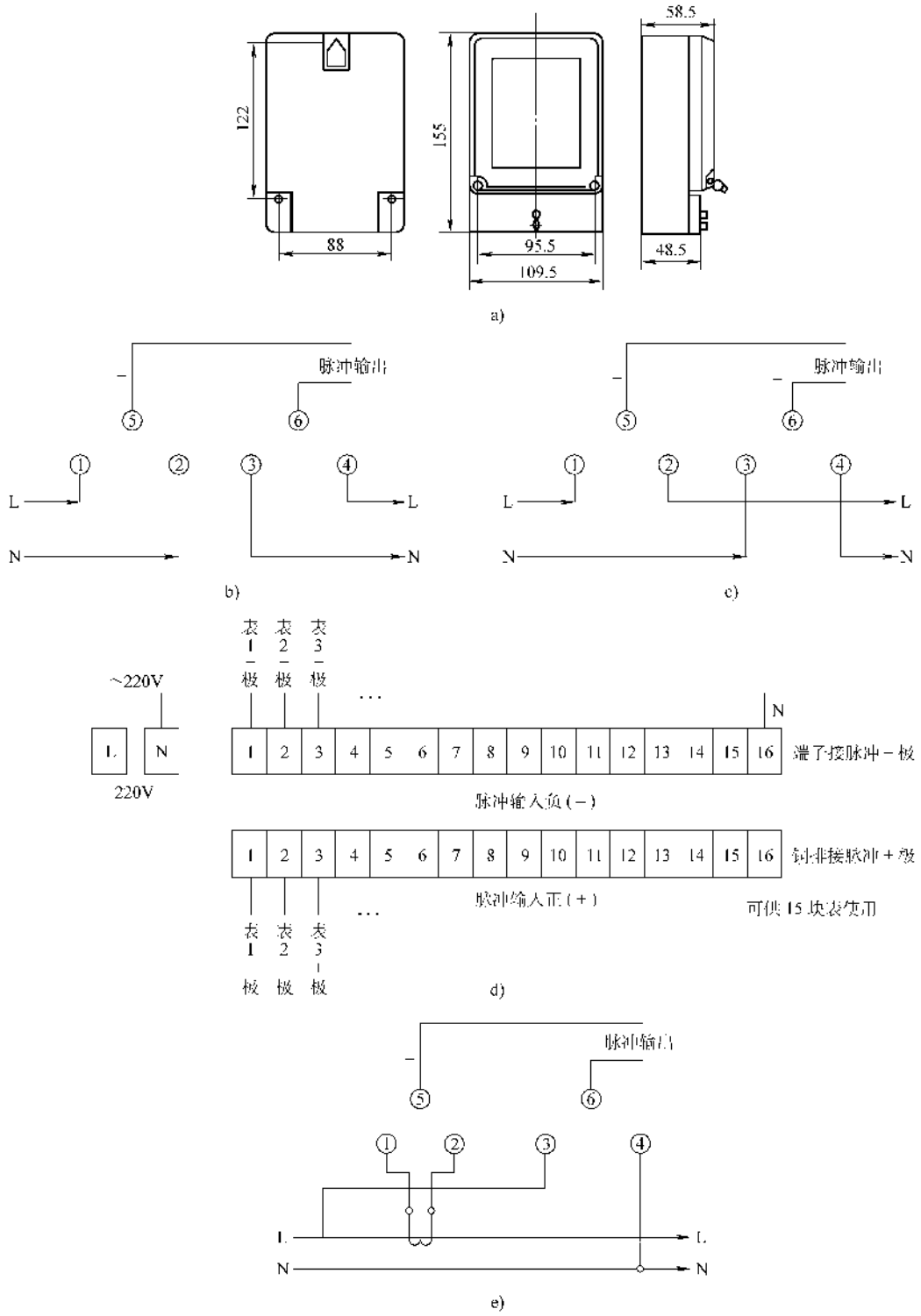


图 2-109 新型电子式单相电能表的接线

a）DDS7 型外形尺寸 b）直接式接线图（①、②为进线，③、④为出线） c）直接式接线图（①、③为进线，②、④为出线） d）$CZL_{012\text{-}C}$型电力载波采集终端接线图 e）互感器接入式接线图

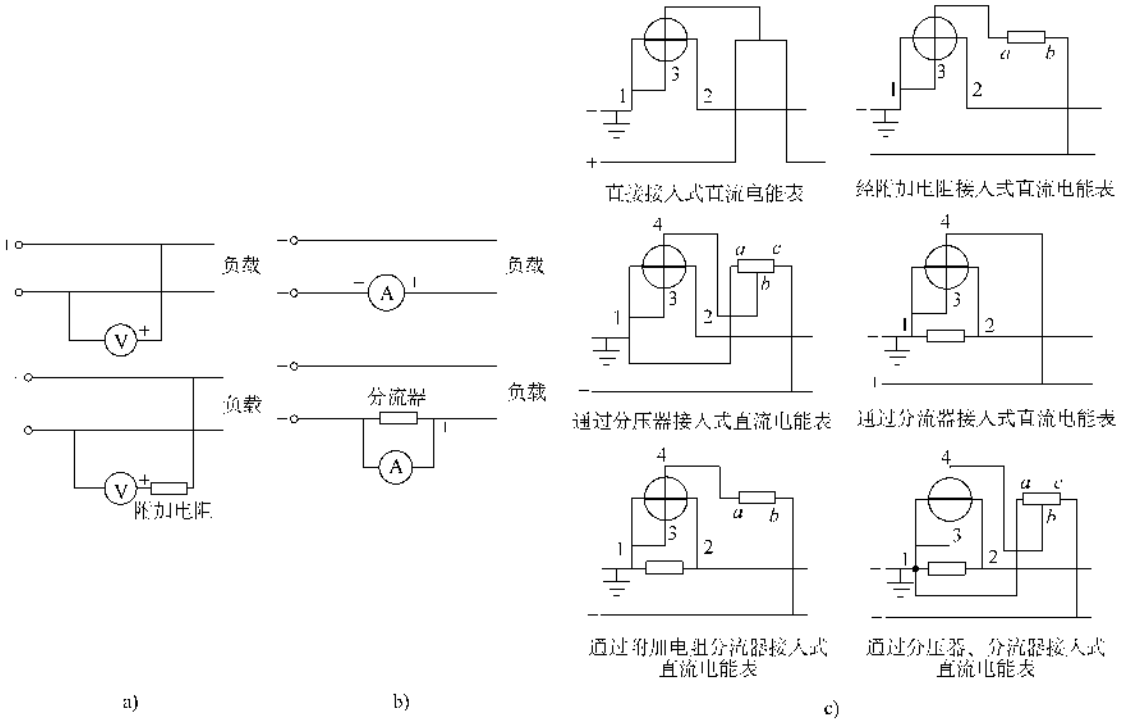


图 2-110　直流电压表、电流表、电能表的接线

a）电压表　b）电流表　c）直流电能表的接线

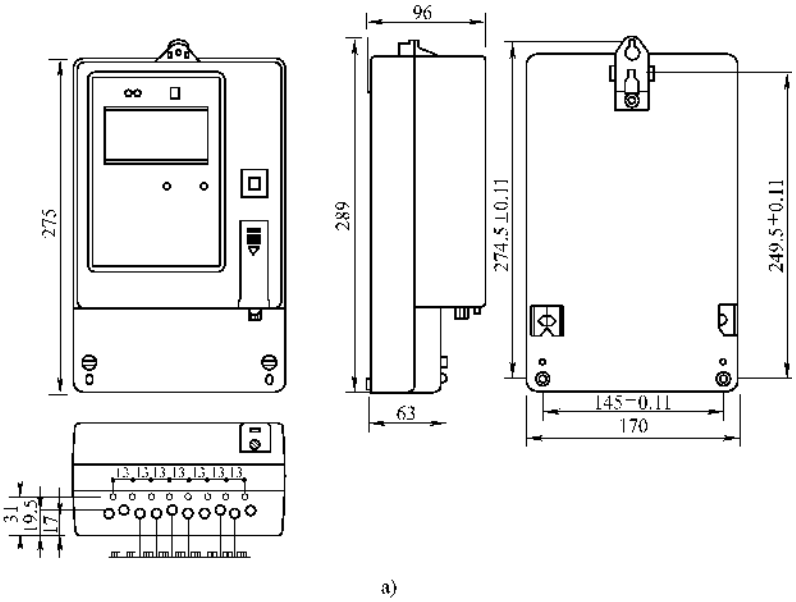


图 2-111　新型三相电子式多功能电能表的接线

a）多功能电能表安装图

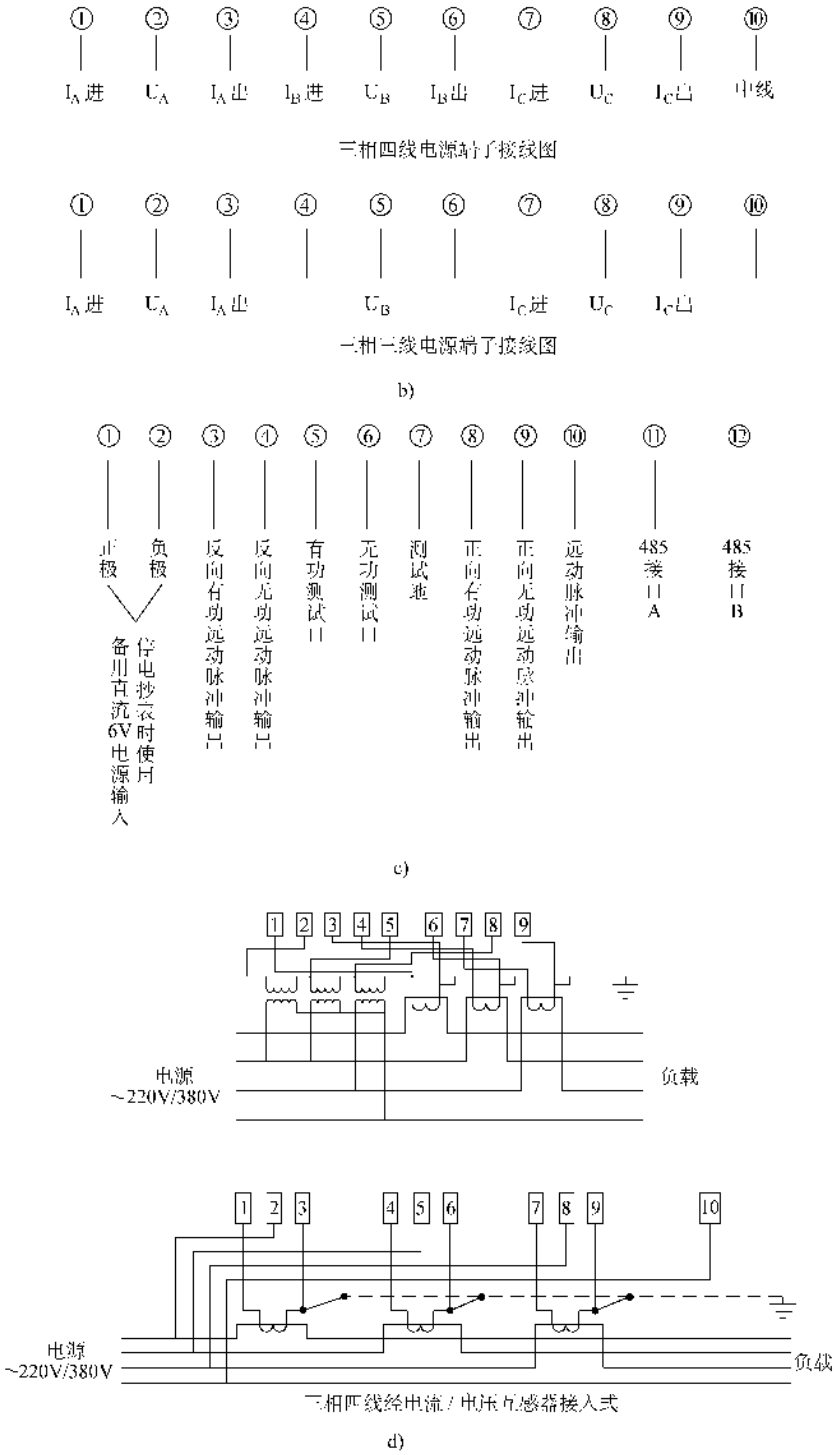


图 2-111 （续）

b）电源端子接线图 c）RS485 通信接口与远动脉冲输出功能接线图 d）接线盒内接线图

第十一节　常用电工调整试验仪器及使用

示波器、图示仪、电桥是电工常用的测试仪器，对于测试元件、检测电气参数有很大的用途。相比常用电工仪表，这些仪器的操作方法较为复杂，但是对一名电气工作人员来说也是应该掌握的。

近几年来一些新型电测仪器的出现，简化了操作方法，测量参数更加精确，更加多样化，给电气系统的测试、调整、试验带来了很大的方便。如 TSB 试验变压器、Q-50-250 放电球隙测压器、ZBC-1 电压比自动测试仪、YM-942 继电保护校验仪、KJTC 开关机械性能测试仪、JF 局部放电测试仪、HYBL 氧化锌避雷器测试仪、DWR 大接地网接地电阻测试仪、ZGF/ZGC 直流高压发生器、SB2204 智能介质损耗测试仪、GZ 智能高压绝缘电阻表、SB2230 直流数字电阻测试仪、MD911 电缆故障测试仪、双钳相位伏安表、UT 数字钳形表、LCR 测量仪等，也是我们必须掌握的。

本节详细讲述示波器、图示仪、电桥及新型电测仪器等的使用方法，测试各种电气参数、电子器件的具体操作程序，仪器一般故障的检查，操作保管的注意事项，故障排除的方法，以及仪器的校验方法等内容。

一、示波器及使用

1. 通用示波器面板上的旋钮

示波器的型号很多，但均大同小异，这里仅以 SBT-5 型示波器为例，说明示波器面板上各旋钮的作用。

“电源开”：电源开关向上扳，接通电源。接通额定电源后，指示灯发出柔和的红光。

“辉度”：控制示波管荧光屏上迹点的亮度，顺时针旋转时增加亮度，反之，则减弱亮度。

“聚焦”：聚集光点为一小圆点。在每次改变辉度后，一般需要重行调整聚焦状态。

“辅助聚焦”：使光点成为一清晰的小圆点或迹线。

“标尺亮度”：示波管荧光屏前坐标刻度片的照明亮度和不同色别的旋钮。转动旋钮可以从白光变换为红光、黄光或关掉坐标刻度的照明。拍摄照片时宜采用白光照明。

“*Y* 轴选择”：选择输入端阻容（输入阻抗）的旋钮。有 1MΩ 和 75Ω 两种匹配状态，在“比较信号”时，送入机内的比较信号，作校准衰减器用。

“*Y* 轴输入”：*Y* 轴偏转系统的被测信号输入插座。常用的输入端。

“*Y* 轴衰减”：分 1、3、10、30、100、300 和 1000 七档，供选择适当的测量电压，使有适当的观察信号幅度。

“*Y* 轴增幅”：控制 *Y* 轴方向迹线的幅度，顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在 6mm 范围内为宜。

“*Y* 轴移位”：移动迹线在荧光屏 *Y* 轴方向的上下位置。顺时针旋转时向上移动，反之，则向下移动。

“触发输入”：外界触发信号输入端。触发信号应不小于 0.5V（峰-峰值）。

“触发选择”：触发工作方式和极性的变换开关。一般观察放在“内 +”或“内 -”位置，均可显示。当观察正脉冲波形的上升时间时，需放在“ +”位置。用外界信号触发扫描时，应放在“外 +”或“外 -”位置。如果观察与电源频率有时间关系的信号波形时，用电源信号进行触发。

“稳定调节”：触发稳定调节旋钮。先将“触发增幅”旋钮逆时针方向旋转到底，然后将旋钮逆时针方向缓慢旋转到使示波管荧光屏上刚出现扫描基线，再顺时针向后旋转，使扫描基线刚刚消失，这时的位置表示扫描发生器的工作点已调节在临界状态，最后顺时针方向旋转“触发增幅”旋钮，即能得到稳定的触发状态。

“触发增幅”：触发信号幅度的旋钮。控制触发器正常工作状态，以使“稳定调节”旋钮选择到一个灵敏的待触发点。顺时针缓慢旋转即可得到稳定工作的触发状态。

“*X* 轴输入”：*X* 轴偏转系统的被测信号输入插座。

“*X* 轴选择”：*X* 轴输入衰减器，分 1、10、100 三档，供选择适当的输入电压。在“扫描”档时，则由机内的扫描信号电压作时间基准。

“*X* 轴增幅”：控制 *X* 轴方向迹线的长度。顺时针旋转时增长迹线，反之，则减短迹线。显示迹线长度控制在 10cm 范围内为宜。

“*X* 轴移位”：移动迹线在荧光屏 *X* 轴方向的左右位置。顺时针旋转时向右移动，反之，向左移动。

“扫描时间”：扫描时间速度档级开关，在 0.1μs/cm ~ 10ms/cm 范围内从 0.1 ~ 10，共分 5 个档。

“扫描微调”：扫描时间速度微调旋钮，配合“扫描时间”，可使扫描时间速度从 0.02μs/cm ~ 10ms/cm 连续可调。

“扫描扩展”：扫描时间速度扩展旋钮开关。置于“校准”位置时，扫描速度不扩展，顺时针旋转

到开关“开”，扫描速度扩展约5倍，使最高扫描时间速度达到0.02μs/cm。

“扫描输出”：正向扫描锯齿电压输出接线柱。

“比较信号V（峰-峰值）”：约1kHz的方波校准信号电压，从50mV～50V，共分8档，“0”为关掉比较信号。用于校准阻容补偿衰减器、探极的补偿电容器或Y轴放大器的偏转幅度校准和对比。

“比较信号”：校准信号电压输出接线柱，供机外使用。

“时标”：用已知频率的正弦波送到示波管的阴极用作确定被测信号，波形从一点到另一点间隔之间的时间。当阴极电位升高时，电子束密度减弱，光点变暗，反之则变亮，使显示波形分割成明暗相间的光点，叫做时标。如时标档级在1μs时，时标脉冲振荡器的输出频率1MHz。

“Y_1、Y_2、X_1、X_2”：被测量信号可不经过仪器放大系统而直接送至示波管的Y偏转板或X偏转板。

“Z”：在需要使用调辉法直接测定被测信号波形各部分的时间时，可将时标信号从本插座接入。

2. 使用示波器前的注意事项

1）接通示波器电源之前，为了保证仪器的安全使用，应检查仪器进线电源变换插头是否置于所供应的电源标称值上。仪器出厂时适应电源为220V。如供应电压为110V时，应将仪器后部电源变换插头铁罩取下，变成110V，同时变换插头附近的熔丝必须换成5A才可。

进线电压误差超过额定值的±5%时，应采取措施使之符合使用条件。

2）开启电源，指示灯亮，表示电源接通，预热5min，即可使用。

3）仪器内部装有风冷装置（微型风扇），每使用500h后，须在风扇轴承内添注机油（如缝纫机油）数滴，使其润滑。

4）仪器后盖板装有滤尘网，仪器使用一定时期后，应卸下该滤尘网，清除积尘，以免积尘堵塞网眼，影响风量。

5）若使用其他导线或电缆来引入观察信号，且Y轴选择置于75Ω时，应在引入线或电缆上串接隔直流电容，防止外界信号源的高压直接加于输入端电阻上，而导致其损毁。

6）由于仪器所用示波管的偏转灵敏度有一定的限制，故在使用中，荧光屏上波形的幅度不应大于8cm，更不宜长时间超过规定值，以免过载。同时，在使用前宜将Y轴衰减置于最大，然后视所显示波形的大小和观察需要再适当调节衰减。

7）使用时应注意辉度适中，不宜过亮，光点不可长时间停留在一点上，以免损坏荧光屏。

8）因故暂停使用而将电源切断后，若需再行立即使用，则应稍待2～3min后才开启电源，以免熔丝烧毁。

9）当用探极来引入观察信号时，应将Y轴选择置于1MΩ档，用探极引入能增大输入阻抗，以减少对被测信号源的影响和避免外界杂散信号的干扰，但它也能把干扰衰减到1/10。除探极外，也可用导线或其他同轴电缆引入信号，但当信号源输出端带有高压时，应注意串接隔直流电容。

10）光点聚焦可调节聚焦旋钮，使其成为一个小圆点，直径一般不大于1mm，如光点不圆，可调节辅助聚焦，务使趋近于小圆点时为止。辅助聚焦一次调整后可不经常调节，辉度与聚焦应同时调节。

11）通常在观察被测信号时，X轴选择应置于扫描档，并视被测信号为正、负极性分别将触发选择于“内+”或“内-”档。若采用外界触发信号时，外触发信号应于触发输入端输入，再视该信号的正、负极性将触发选择置于“外+”或“外-”档。

12）Y轴信号输入时，应根据输入信号的强度，选择适当的衰减。当信号峰值电压超过0.2V时，宜衰减到1/3；超过0.6V时，则宜衰减到1/10，其他以此类推。

如信号不需增幅而直接加到示波管之偏转板时，则可由仪器后面板的插孔直接输入，但应注意插孔与输入信号源之间须串隔直流电容，以免影响偏转板的正常工作。

13）扫描时间的选择与扫描微调的调节，由被观察脉冲持续时间与重复频率以及观察需要而决定。例如，宽度为50μs，重复频率为5kHz的矩形脉冲，当扫描时间置于10μs档时，荧光屏上呈现约为5cm宽度的单个脉冲；若将扫描时间置于100μs档级时，荧光屏上就呈现5～6个约0.5cm宽度的脉冲，两相邻脉冲的距离约为2cm。因此，由波形宽度与扫描时间，可获得脉冲宽度与重复频率的近似值。当扫描微调自“标准”位置反时针旋至最小，则扫描时间增大约10倍。

14）一般情况下，扫描扩展应置于“校准”位置，只有要从一系列复杂脉冲波形中选取其中某一单个脉冲作仔细观察时，才可将扫描扩展打开，于是荧光屏上的波形在水平方向约被扩展5倍。将扫描扩展顺时针逐渐旋至最大，则荧光屏上被扩展的波形将顺序地自右而左地移动，直到所需观察的脉冲移至荧光屏的正中时为止。

15）利用仪器内部的比较信号发生器与触发扫描发生器可作为信号源，分别由比较信号端接线柱与扫描输出端接线柱对外输出方波与锯齿波。

16）当需要由输入信号对示波管的辉度进行调制时，该信号可由仪器后面板的调辉插孔 Z 直接输入。

17）当需要由 X 轴输入信号时，信号由 X 轴输入端输入，并将 X 轴选择置于合适的 X 轴衰减档（1、10 或 100）。

3. 使用示波器前应做的检查和试验

在进行各种测量之前应对示波器做一次简要的检查或试验。检查时示波器面板上各控制旋钮见表 2-64。

表 2-64　示波器面板旋钮名称及其作用

控制旋钮名称	作用位置	控制旋钮名称	作用位置
Y 轴选择	比较信号	扫描时间	100
Y 轴衰减	1	扫描微调	校准
Y 轴增幅	反时针旋足	触发选择	内 +
时　　标	关	扫描扩展	校准
比较信号	0.15	触发增幅	逆时针旋足
X 轴选择	扫描	稳定调节	顺时针旋足

通电后，示波器工作在触发扫描状态，数分钟后，将“稳定调节”自最右位置渐渐向左旋转，到开始出现扫描则再向右旋至刚刚停扫的一点（此点称为待触发点）。此时将“触发增幅”渐渐向右旋转即可获得稳定的扫描，荧光屏上即出现稳定的方波波形，见图 2-112。

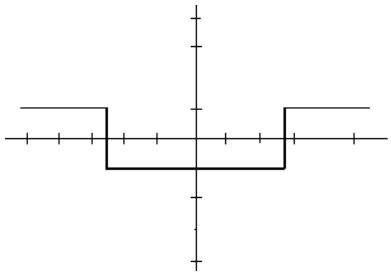


图 2-112　仪器典型使用状态时的波形

从图 2-112 中可以确定仪器单元电路的工作是否处于正常状态。

1）“Y 轴增幅”在最左位置，荧光屏上的幅度小于 2cm；而置于最右位置时，幅度大于 7cm，这说明 Y 轴输入灵敏度符合下列关系式：

$$S_Y = \frac{\text{输入电压}}{\text{显示幅度}} \tag{2-6}$$

如输入电压为 150mV，显示幅度大于 6cm，即

$$S_Y = \frac{150\text{mV}}{6\text{cm}} = 25\text{mV/cm}$$

S_Y 的数值按技术指标应不大于 25mV/cm，因此上式结果是符合要求的。

此外，“Y 轴增幅”的覆盖系数应符合下列关系式：

$$A_{覆盖} = \frac{\text{最大幅度}}{\text{最小幅度}} \tag{2-7}$$

如最大幅度应大于 6cm，最小幅度应小于 1.8cm，即

$$A_{覆盖} = \frac{(\text{大于})6\text{cm}}{(\text{小于})1.8\text{cm}} > 3.3$$

$A_{覆盖}$ 的数值按技术指标应大于 3.3，因此，“Y 轴衰减”就保证了 Y 轴幅度在各种测量时能连续地调节。

2）荧光屏上出现稳定的波形，说明仪器触发放大器工作是正常的。同时从方波的宽度为 5cm 左右，可知此档级的扫描速度亦是正确的。从 Y 轴输入的比较信号的频率是 1kHz，又是较对称的方波，所以脉冲宽度应为 500μs。

3）将“时标”置于“100”位置时，荧光屏上方波立即改变为图 2-113 所示的波形，这时可进一步证实方波宽度为 500μs。

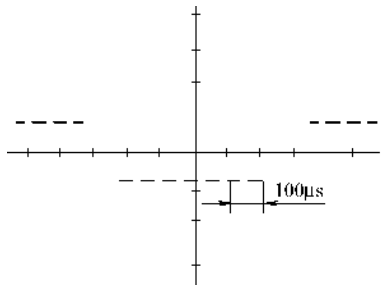


图 2-113　100μs 时标所显示的方波

4. 用示波器测量波形幅度

先将“Y 轴选择”置于 1MΩ 档，被测信号由 Y 轴输入，调节“Y 轴衰减”，使波形幅度控制在荧光屏刻度以内，调节触发和扫描时间，荧光屏上出现稳定波形，见图 2-114，其操作方法如下：

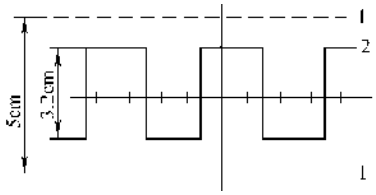


图 2-114　测量波形幅度示意图

1—比较信号　2—被测信号

1）“Y 轴选择”置于“比较信号”，调节比较信号和 Y 轴增幅，使幅度为 5cm。算出此时每厘米的灵

敏度。

2）示波器各旋钮保持不变，将“Y轴选择”置于1MΩ档，读出被测波形的幅度，乘以每厘米灵敏度即可。若每厘米灵敏度为0.1V/cm，则图2-114中被测波形的幅度为

$$A = 3.2\text{cm} \times 0.1\text{V/cm} = 0.32\text{V}$$

3）若被测信号很大，可用本机所备的10∶1探头来测量，但计算时应注意每厘米灵敏度值（0.1V/cm）乘以10。

5. 用示波器测量频率和相位

1）100kHz以下的频率测量，可采用李沙育图形法。这个方法通过一已知频率的信号与未知频率的信号分别输入仪器的X轴和Y轴，荧光屏上可出现各种图形，根据这些图形和已知频率的数值，就能算出被测信号频率的数值。图2-115所列各图就是以X轴和Y轴均输入正弦波信号时，常用的一些频率比图形。

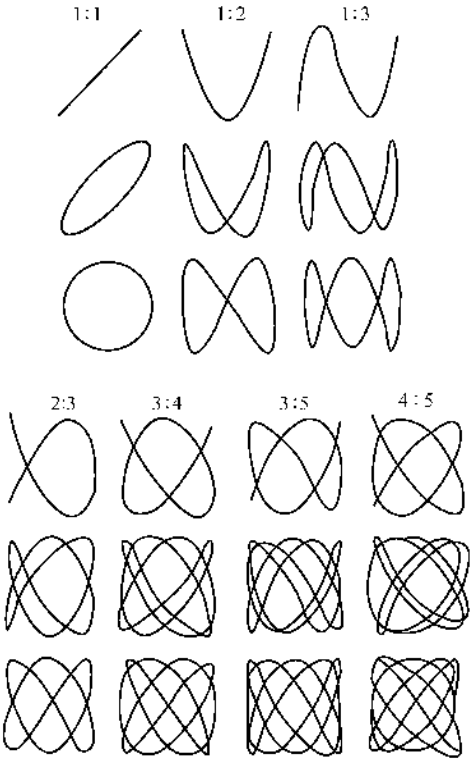


图2-115 常用的频率比图形（李沙育图形）

2）利用李沙育图形来比较测量两个信号的频率，虽然十分方便，但当测量两个频率比相当大的信号时，若再用李沙育图形比较法，则所得的图形将很复杂而难以估计，因此，可采用分相比较法，见图2-116。

已知低频的信号，通过C与R的移相网络，送

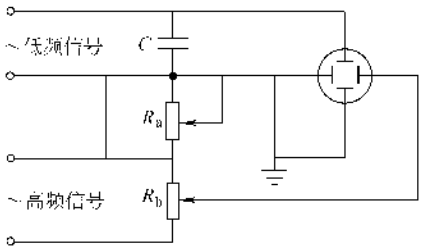


图2-116 分相比较法

入Y轴与X轴偏转系统，旋动移相调节器R_a，可使荧光屏上显示的圆环形图形变为正圆或椭圆。被测的高频信号通过R_b幅度的控制送入X轴偏转系统。

3）除测量频率之外，还可以进行相位比较，图2-117所列的各图是在下列条件下得出的：示波器Y轴与X轴的灵敏度调节一致，此外，相比较的频率亦是相同的。

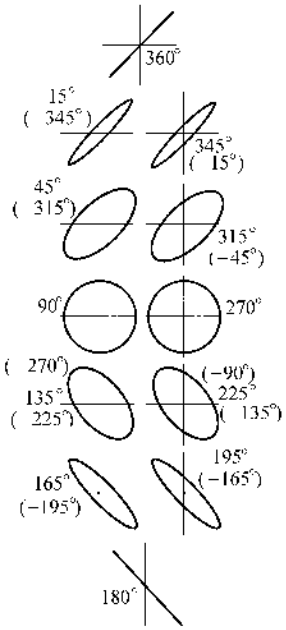


图2-117 波形的相位比较图

6. 用示波器测量波形时间

用示波器测量各种信号的时间参数，可以取得简便和较精确的效果。当“扫描微调”置于“校准”位置时，“扫描时间”所指的读数即为荧光屏上X轴向每厘米的扫描速度。测量时的操作方法与波形幅度测量相同。以图2-114为例，图中方波是对称的，方波的宽度为2cm，周期为4cm，若设此时的扫描速度为100μs/cm，则宽度为

$$t = 100\mu\text{s/cm} \times 2\text{cm} = 200\mu\text{s}$$

周期为两倍宽度，即

$$T = 2t = 400\mu\text{s}$$

有些场合，需要对一脉冲信号的上升时间进行定量的分析，由于该示波器本身的上升时间为40ns，因此被测信号的前沿不能超过此数量级。如果被测信号的前沿大于100ns，则测量结果就不需修正，荧光屏上读出的数值即为实际被测数值。如果被测信号的前沿为同数量级时，则应将荧光屏上读出的前沿数值按下式修正：

$$t = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} \qquad (2\text{-}8)$$

式中　t_1——荧光屏上读出的前沿数值；

t_2——示波器本身的上升时间，即40ns；

t——被测信号的上升时间。

图2-118为一快速脉冲前沿的测量方法。

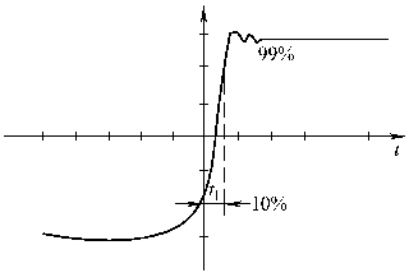


图2-118　快速脉冲前沿测量

若此时扫描速度为0.1μs/cm，则上升时间为

$$t_1 = 0.5\text{cm} \times 0.1\mu\text{s/cm} = 0.05\mu\text{s} = 50\text{ns}$$

$$t_2 = 40\text{ns}$$

$$t = \sqrt{50^2 - 40^2} = 30\text{ns}$$

但是，示波器本身的上升时间不一定很准，因此，所得的结果尚有一定的误差。

7. 用示波器测量延迟时间

测量延迟网络、延迟电缆、同轴电缆等延迟装置的延迟时间，见图2-119，A端是信号的输入端，B端是信号的输出端。两信号的时间对应关系见图2-120，τ就是被测延迟装置的延迟时间。

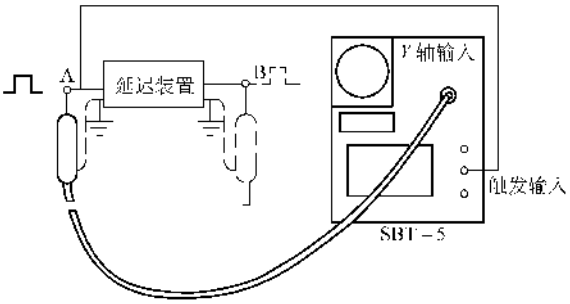


图2-119　延迟时间测量方框图

测量时，示波器置于外触发状态。延迟前与延迟后的两次测量之间，仪器的控制旋钮不能任意变动，尤其不能调节“触发增幅”与“稳定调节”等旋钮，以避免测量发生误差。

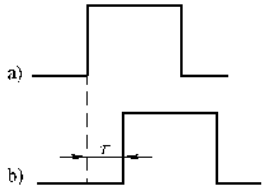


图2-120　两信号的对应关系

a）延迟前　b）延迟后

8. 用示波器测量调制系数

在发送和接收技术中经常要测量调幅信号的调制系数，图2-121所示的为一已调制的信号，其调制系数为

$$m = \frac{a - b}{a + b} \times 100\% \qquad (2\text{-}9)$$

式中　a——最大幅度；

b——最小幅度。

例如：图2-121中b为10mm，a为37mm，则调制系数为

$$m = \frac{37 - 10}{37 + 10} \times 100\% = \frac{27}{47} \times 100\% = 58\%$$

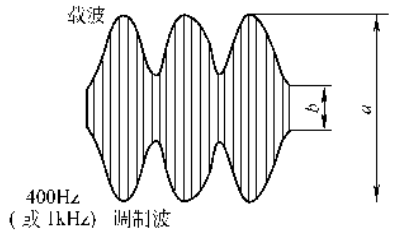


图2-121　已调制信号波形

二、晶体管特性图示仪

1. 晶体管特性图示仪的检查和校正

晶体管特性图示仪面板示意图见图2-122。晶体管特性图示仪是一种用途很广的电子仪器，下面先介绍一下部分旋钮的用处。

（1）X轴或Y轴作用单元的“外接”档　当要显示外接信号时，将开关拨至“外接”档，外接信号从后箱板上X（+）或X（-）、Y（+）或Y（-）处接入，此时X轴和Y轴放大器的灵敏度为0.1V/度。

（2）X轴或Y轴作用单元的“放大器校正”开关　在进行定量测量时，为了保证屏幕标尺刻度能够准确读数，应先对放大器进行零位和放大倍数的校正。

（3）为了扩大Y轴作用单元的量程，在该单元设有“mA/度倍率”开关，共有×2、×1、×0.1三档，如置于×2档，表示将“mA/度”开关的集电极电流的读数加倍。

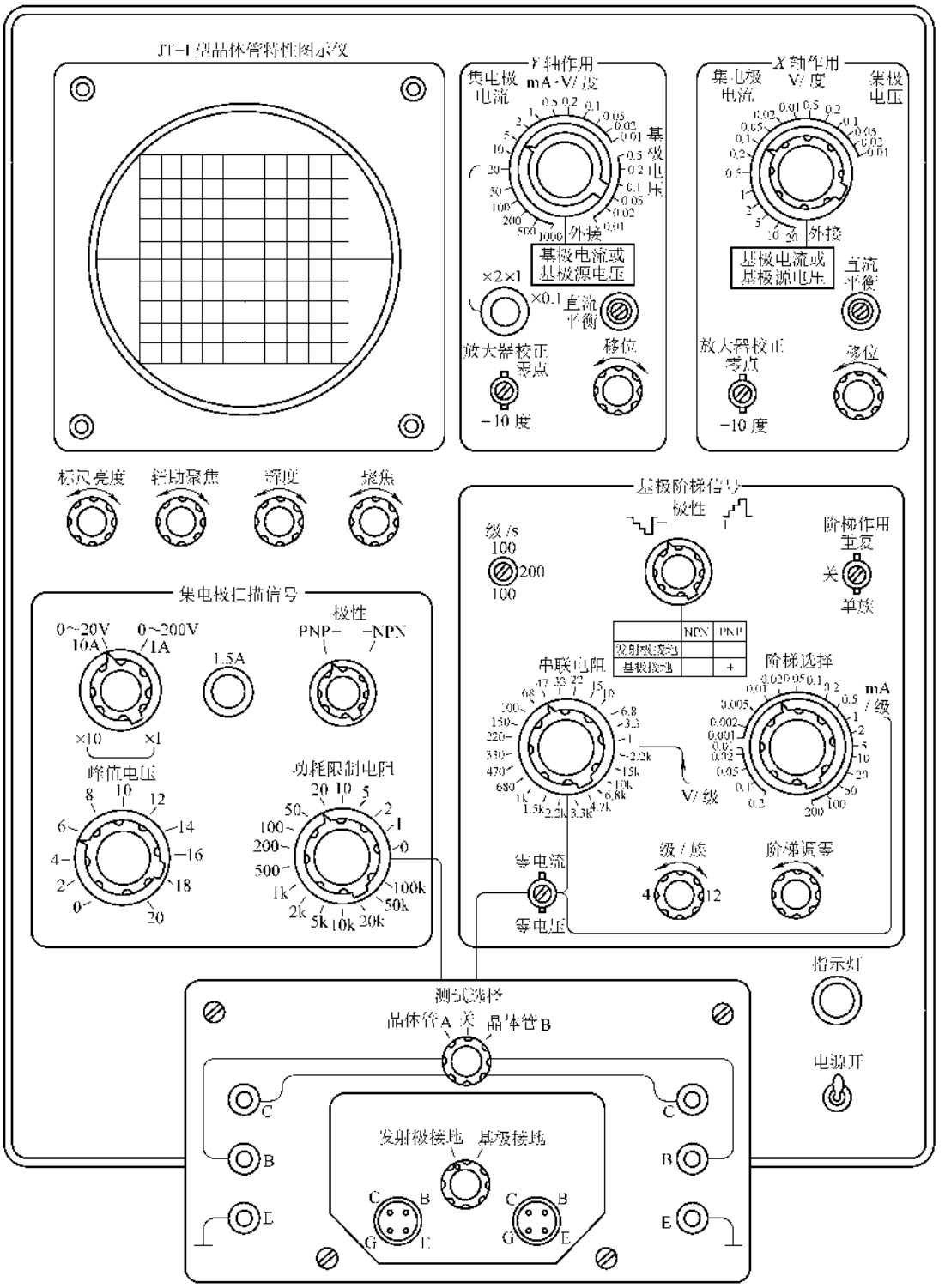


图 2-122 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

（4）在测量晶体管时，应根据所测特性曲线的坐标来选择 X 轴作用“V/度”开关和 Y 轴作用“mA·V/度”开关的档位。例如，在测共发射极电流放大特性曲线时，X 轴作用“V/度”开关置于“基极电流”档（最下方框中的基极电流或基极源电压），Y 轴作用“mA·V/度”开关置于“集电极电流档”。

（5）“级/族”旋钮　调节阶梯信号的级数，从4～12级连续可调。例如，测量共发射极输出特性曲线时，阶梯信号每跳变一级，示波管屏幕上就显示出一条曲线。如阶梯信号变化10级（包括 $i=0$），则荧光屏上显示出一族11条输出特性曲线。

（6）阶梯作用开关分三档，其中“重复”为阶梯信号重复地加在被测管的基极上（指共发射极接法）。在需要观察被测管的特性曲线族时，开关应置于“重复”位置。“关”为阶梯信号停止输出。“单族”为阶梯作用开关向下按一次，只输出一级阶梯信号，相应显示一条曲线。这样便于瞬时测量被测管各项极限参数，避免损坏被测管。使用“单族”时，应预先调好其他各旋钮位置。

（7）“级/s”开关，用来改变阶梯信号的频率相位。其中100即为阶梯信号1s变化100级，200即变化200级。用200级/s时，图像闪烁现象减少，比较稳定。

（8）“零电流、零电压”按键有三档，中间位置时阶梯信号直接加到被测管的基极。当置于“零电流”时，被测管基极开路，可测 I_{CEO}、BV_{CEO}；置于“零电压”时，基极与发射极短接，可测 I_{CES}、BV_{CES}。

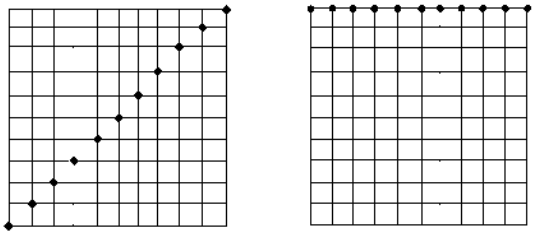
（9）“阶梯调零”，用来将阶梯信号起始电位调到零电位。

（10）“接地选择开关”，分为“发射极接地”和“基极接地”两档，用来选择小圆插座的接地方式。

晶体管特性图示仪检查和校正的步骤为：

（1）检查放大器的对称性　如果示波器的 X 轴和 Y 轴的放大器有相同的增益，则当加相同的阶梯电压时，屏幕上应显示出一列沿对角线排列的亮点。其检查方法是：先开启电源，预热15min，将 X 轴作用开关和 Y 轴作用开关均置于“基极电压”0.01V/度，并将基极阶梯信号“阶梯选择”开关也相应地置于0.01mA/级，“极性”为“－”，阶梯作用置于“重复”档，“级/族”＞0，“级/s”任意。这时若 X 轴和 Y 轴放大器的增益相同，则屏幕上显示的图形应如图2-123a。

（2）放大器调零　Y 轴放大器调零，应在检查对称性的基础上，将 Y 轴“放大器校正”开关扳向“零点”位置（即把 Y 轴放大器输入端短路）。这时屏幕上的亮点应沿水平方向排成一行亮点，见图2-123b。同时要求 Y 轴作用开关置于不同的“基极电压”档时，都应满足上述要求。否则，应调节“直流平衡”电位器，直到“基极电压”在0.1～0.5V/级各档亮点都不产生上下移动为止。



a)　　b)

图2-123　图示仪的检查

a）检查放大器对称性时显示的图形　b）检查 Y 轴放大器“零点”时显示的图形

X 轴调零，基本同上，所不同的是当 X 轴“放大器校正”开关扳向“零点”时，亮点应沿垂直方向排成一列。

（3）检查放大器增益　Y 轴放大器增益，先在调零的基础上，调节“移位”旋钮，使水平排列的亮点对准标尺格子的上边线，然后将“放大器校正”开关扳向“－10度”档，这时亮点应立即向下偏10格。要求对 Y 轴作用开关在“基极电压”的 b 个档位，都应逐档进行上述校正。

X 轴增益检查同上。

（4）检查阶梯波　在定量测试时，阶梯信号的幅度应该和屏幕上标尺间隔相对应，相位要和标尺垂直坐标对齐。将集电极扫描信号“峰值电压范围”调到0～20V，“峰值电压”为10V，“极性”置于“－”；将基极阶梯信号“级/s”调到200，“极性”为“－”，“级/族”为9，“阶梯作用”调至重复，“阶梯选择”为0.01mA/级；将 Y 轴基极电压调到0.01V/度，X 轴集电极电压1V/度，这时屏幕上将显示图2-124所示的图形。

调节 Y 轴“移位”钮，使图形的零线（上边线）与标尺格子上边重合，阶梯波的各级扫描线与标尺刻度相重合。图形两边的转角线成直角。调节“级/族”旋钮，阶梯波的级数应从4～12级间连续变化。

（5）阶梯调零　在上述检查的基础上，将“零电流”/“零电压”按键扳向“零电压”，这时零线停留的位置就是阶梯信号真正的零电位。然后让按键回到中间位置，调节“阶梯调零”电位器，使阶梯

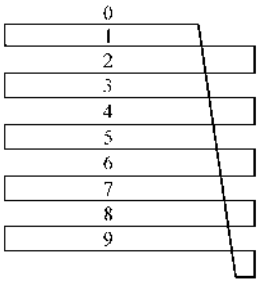


图 2-124 检查阶梯波时显示的图形

波的零线与上述“零电压”时的位置重合。

2. 使用晶体管特性图示仪时的注意事项

1）检查有关旋钮的位置是否正确。“测试选择”开关置于“关”，“峰值电压”钮调至零，“阶梯作用”置于“关”，“集电极扫描信号”电压范围 0～20V，“峰值电压”置于 0，功耗电阻置于 1k 上，然后才能插上被测管子。

2）根据被测管的类型（PNP 或 NPN）和接法（E 接地或 B 接地），选择“极性”开关位置；测试条件应按管子生产厂家规定的技术条件。

3）根据需要显示的曲线，选择相应的作用开关，并选择合适的量程；要根据被测管的极限参数（最大允许电流、击穿电压和最大功率等）调节旋钮，应注意不得超过极限参数值，以免损坏管子。一般应将功耗限制电阻取得大一些，阶梯电流应取得小一些，然后根据显示图形再作适当调整。

4）打开“测试选择开关”后，调节“峰值电压”钮，应由零逐渐加大，注入基极电流和基极电压时也应逐步增加，并注意功耗电阻的选择。每项测完后，“峰值电压”钮应回旋到零位。

5）测试大功率晶体管、测试极限参数或过载参数时，晶体管由于工作电流很大容易击穿，而且仪器承受不住长时间大电流工作。这时应用“单族”，使基极注入一次阶梯信号就停止，荧光屏瞬时呈现出一族特性曲线，此曲线和重复工作时呈现的完全相同。这样，可测试其参数，又不损坏管子，对仪器也有好处。

6）使用前必须阅读仪器的使用说明书，并检查接线应正确无误。

3. 使用晶体管特性图示仪的准备工作

1）将被测试的管子和有关管子的参数手册准备好，以备查阅；同时开启电源，指示灯亮，预热。

2）调整示波管下的旋钮，“标尺亮度”打到红箭头，调节“辉度”、“聚焦”与“辅助聚焦”，使线条或亮点清晰。

3）将集电极扫描的“峰值电压”、“极性”、“功耗限制电阻”旋钮，调到测量需要的范围；其中“峰值电压”先置于最小位置，测量时慢慢增加。

4）将 Y 轴、X 轴作用单元中的“mA · V/度”与“V/度”旋钮，调到测量需要读测的范围。

5）将基极阶梯信号单元中的“极性”、“串联电阻”、“阶梯选择”调到读测的范围。“阶梯作用”置于“重复”，“级/s”可放在 100 或 200。

6）将“测量选择”放在中间位置，接地开关置于需要位置，然后插上被测晶体管，将“测试选择”开关打到要测试的一方。

7）准备测试。

4. 用晶体管特性图示仪测试晶体管

现以测试小功率的 NPN 管子的共发射极特性为例，进一步说明测试方法。

1）集电极扫描信号单元上的“峰值电压”选“0～20V”，“极性”为“+”（NPN）；基极阶梯信号单元上的“极性”为“+”（NPN），“阶梯选择”置“mA/级”，“级/s”为 200，“阶梯作用”为重复。

2）输入特性曲线。将 Y 轴作用单元置于“基极电流”或“基极源电压”，X 轴作用单元置于“基极电压”，荧光屏上便显示出输入特性曲线，见图 2-125。

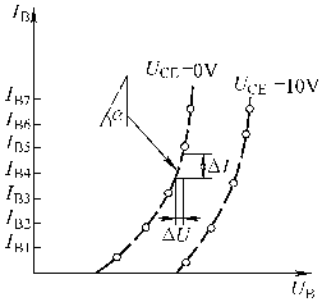


图 2-125 晶体管输入特性曲线

3）由图 2-125 可计算出输入阻抗 R_λ，$R_\lambda = \Delta U/\Delta I$。

4）将 Y 轴作用单元置于“集电极电流”（1mA/度），X 轴作用单元置于“集电极电压”（0.5V/度），“功耗限制电阻”置于 1k，“阶梯选择”置于 0.02mA/度左右。调节集电极扫描信号，将“峰值电压范围”钮置于（0～20）V 档或（0～200）V 档（要根据管子的参数选择），调节“峰值电压”钮进行扫描，但不易太快或太大，即在荧光屏上显示出晶体管输出特性曲线，见图 2-126。

5）由图 2-126 可以计算出共发射极电流放大倍数 β，当集电极、发射极之间的电压 U_{CE} 为一定值时，

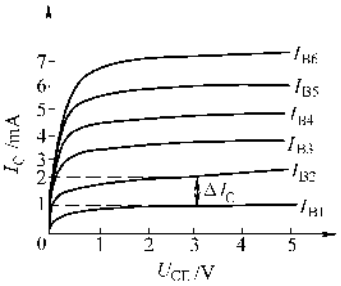


图 2-126　晶体管输出特性曲线

$\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$。

6）将基极阶梯信号单元上的“零电流”/“零电压”扳向“零电流”侧，调节集电极扫描信号，将“峰值电压”钮旋大，加大集电极电压 U_C，直至屏上的曲线突然向上弯为止。这时的 U_C 电压即为 E-C击穿电压 BV_{CEO}，其数值可由 X 轴作用单元指示的“V/度”乘以度算出，度即为 X 轴上从 0 开始到曲线上弯点的格数。为了防止管子击穿，功耗电阻可适当取大些，调节集电极电压钮要缓慢一些。

7）将基极阶梯信号单元上的“零电流”/“零电压”扳向“零电流”，荧光屏上 $I_B = 0$ 所对应曲线指示的 I_C 值，即为 I_{CEO}。

因为 NPN 硅管的穿透电流很小，在图示仪上读不出来。如果要观察明显的 I_{CEO}，可换成 PNP 锗管。这时应先将集电极扫描信号单元上的“极性”调到“－”（PNP），基极阶梯信号单元上的“极性”也调到“－”（PNP），交点则应移到荧光屏的右上角。

如果测量大功率晶体管时，对应的 X 轴、Y 轴、阶梯选择都要根据管子的参数相应地增加。在测试管子的极限参数或测试大电流工作情况时，应在被测管子上装接散热片，多采用“单族”。

8）如果测试 PNP 晶体管，方法基本同上，只是将扫描信号和阶梯信号上的“极性”打在“－”上即可。

5. 用晶体管特性图示仪测试场效应晶体管

场效应晶体管的测试应使用晶体管特性图示仪，现以测试 3DJ6 为例，说明测试方法。

1）将 3DJ6 的三个极 S、D、G 对应于晶体管的 E、C、B，插入 E、C、B 孔内，然后仔细检查机壳接地是否良好。

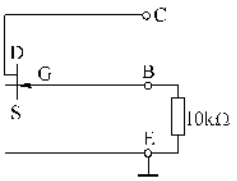


图 2-127　场效应晶体管在测试台上的接线

2）集电极扫描信号单元的“极性”取“＋”，基极阶梯信号单元的“极性”取“－”，场效应晶体管在测试台的接法见图 2-127，10kΩ 电阻为外接电阻，发射极应接地。

3）调节 X 轴和 Y 轴的“位移”按钮将光点调到 $X = 0$、$Y = 0$ 的位置，“峰值电压”范围 0～20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（2V/度左右），Y 轴作用单元为“集电极电流”，“阶梯选择”为 mA/级（取 0.05mA/级），B、E 上外接 10kΩ 电阻，则阶梯电压为 0.5V/级。功耗电阻为 1kΩ。这时逐渐增加集电极扫描电压，也就是调节“峰值电压”钮，即可在荧光屏上得到一族输出特性曲线，见图 2-128。

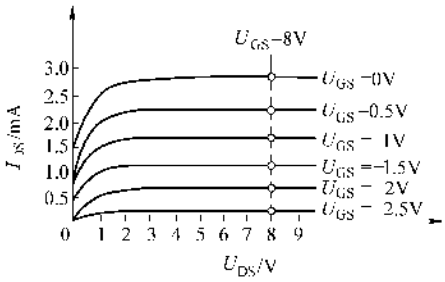


图 2-128　场效应晶体管输出特性曲线

4）特性曲线最上面的一条为 $U_{GS} = 0$ 时的漏源电流，即为饱和漏电流 I_{DSS}；放大倍数跨导 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$，条件为 U_{DS}固定不变；$I_{DS} \to 0$ 时的栅极电压为夹断电压 U_P，一般取 $I_{DS} = 50\mu A$ 时，栅极电压为 U_P。

5）为进一步观察 g_m 和 U_P，可将 X 轴作用单元打到基极电流或基极源电压，并使光点移到 $X = 10$、$Y = 0$ 的位置，然后再加集电极电压，即可得到转移特性曲线，见图 2-129。此曲线的斜率为跨导，$I_{DS} = 50\mu A$ 时的栅极电压即为夹断电压 U_P。为使 U_P 看得更清楚，可将 Y 轴作用开关放到 0.01mA/度的位置，把小电流的部分放大，明显地看出 $I_{DS} = 50\mu A$ 处的栅极电压。

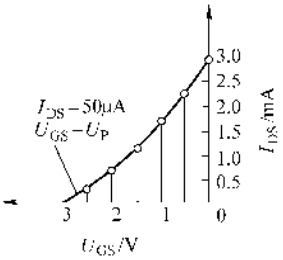


图 2-129　场效应晶体管转移特性曲线

6. 用晶体管特性图示仪测试二极管、稳压管

1）将二极管按图 2-130a 接在测试台上，并将光点移到 $X = 0$、$Y = 0$ 的位置。“峰值电压范围”为 0～20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（0.1V/度），Y 轴作用单元为“集电极电流”（0.2mA/度），

“阶梯作用”开关为“关”，集电极扫描信号单元“极性”取“+”。调节集电极扫描电压，即可得到二极管正向特性曲线，见图 2-130b。测试时，应适当选择集电极功耗电阻，一般取 1kΩ。

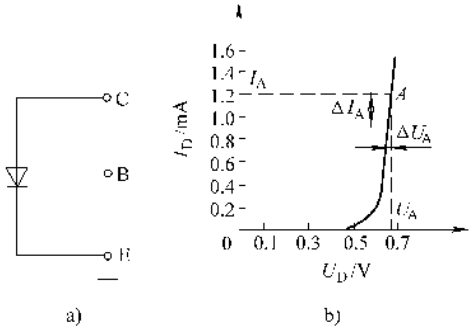


图 2-130 二极管的测试

a）二极管在测试台上的接线

b）二极管的正向特性曲线

2）正向直流电阻 $R_{直}$ 就是二极管两端所加电压与流过它的电流之比。假设二极管工作在 A 点，$R_{直}=U_A/I_A$。正向交流电阻 $R_{交}$ 就是二极管在工作点附近电压变化值与相应的电流变化值之比，即 $R_{交}=\Delta U_A/\Delta I_A$，见图 2-130b。

3）测试二极管反向特性时，应在二极管上加反向电压，即将集电极扫描信号单元“极性”取“-”，逐步加大集电极电压，可以看到二极管的反向漏电流突然增大，出现反向击穿，该点的电压即为反向击穿电压。反向击穿电压大于 200V 的二极管在仪器上看不到击穿现象，因为图示仪最大扫描电压为 200V。

4）将稳压管按图 2-131a 接在测试台上，并将光点移到 $X=0$、$Y=0$ 的位置。峰值电压范围 0～20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（1V/度），Y 轴作用单元为“集电极电流”（2mA/度），“阶梯作用”开关为“关”，功耗电阻 1kΩ，集电极扫描信号单元“极性”取“+”，调节集电极扫描信号，即得反向特性曲线，见图 2-131b。在 $I_D=10mA$ 处所对应的 X 轴电压，即为该稳压管的稳定电压 U_Z。稳压管的动态电阻 R_Z，是指在规定的稳定电流 I_Z 下，电压微量变化引起的电压变化量与该电流变化量之比，即 $R_Z=\Delta U_Z/\Delta I_D$，这里指在 $I_D=10mA$ 附近，I_D 的微量变化 ΔI_D 引起的电压变化量 ΔU_Z 与 ΔI_D 之比。

7. 用晶体管特性图示仪测试单结晶体管

单结晶体管的测试一般用晶体管图示仪，现以测试 BT-33 为例说明测试方法。

1）按图 2-132a 把被测管接在测试台上，10V 电池为外接电源；图示仪产生的集电极扫描电压，加在 E、B_1 上；“峰值电压范围”0～20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（1V/度），Y 轴作用单元为“集电极电流”（0.1mA/度），集电极扫描信号单元“极性”取“+”，调节集电极扫描电压旋钮，即可得出单结晶体管的特性曲线，见图 2-132b。

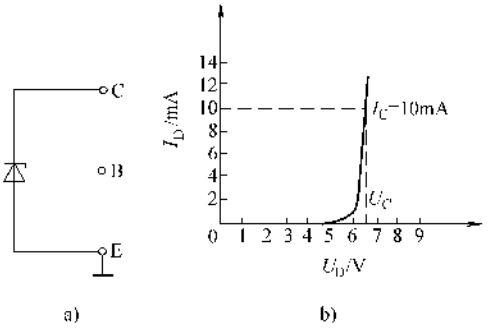


图 2-131 稳压管的测试

a）稳压管在测试台上的接线 b）稳压管的反向特性曲线

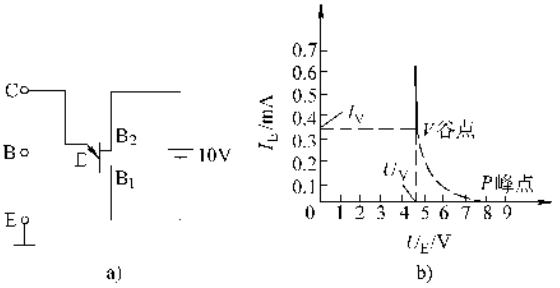


图 2-132 单结晶体管的测试

a）接线图 b）特性曲线

2）P 点为峰点，U_P 为峰值电压，I_P 为峰值电流；V 点为谷点，U_V 为谷值电压，I_V 为谷值电流。I_P 很小，一般小于 2～4μA，因此 0～U_P 这一段为近似直线，荧光屏上只能看到一条直线。从 P 点到 V 点之间为负阻区，即图中的虚线部分，荧光屏上看不到。到达 V 点之后，U_E 将随着 I_E 的增加而渐渐上升。

8. 用晶体管特性图示仪测试隧道二极管

隧道二极管的测试一般用晶体管图示仪，现以测试 2BS4 为例说明测试方法。

1）按图 2-133a 把被测管接在测试台上，并将光点移到 $X=0$、$Y=0$ 的位置，“峰值电压范围”0～20V，X 轴作用单元为“集电极电压”（0.05V/度或 0.1V/度），Y 轴作用单元为“集电极电流”（0.2～1mA/度），“阶梯开关”置于“关”的位置，集电极扫描信号单元“极性”取“+”，调节集电极扫描电压，即得到隧道二极管的特性曲线，见图 2-133b。

2）P 点为峰点，对应的 U_P 为峰值电压，I_P 为峰

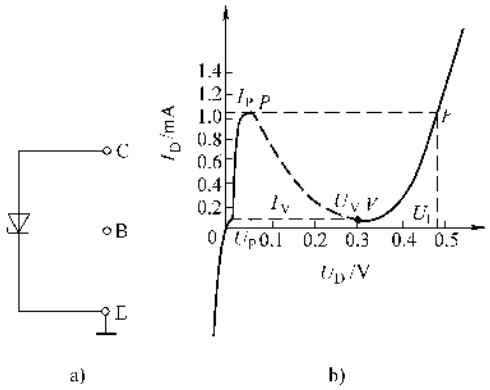


图 2-133　隧道二极管的测试

a）接线图　b）特性曲线

值电流；V 点为谷点，对应的 I_V 和 U_V 分别为谷点电流和谷点电压；F 点对应的 U_F 为正向电压值。图中虚线部分，图示仪上看不出，为负阻特性；加反向电压，电流剧增，如同普通二极管被击穿一样。

9. 用晶体管特性图示仪测试运算放大器

运算放大器的测试较为复杂，一般由生产厂家或国家电子器件技术监督部门使用专用仪器进行测试。对于仪表工来讲，可使用 SR8 型二踪示波器、DYC-5 型超高频电子管电压表、XD2 型信号发生器联合接线进行测量。

（1）仪器的使用

1）SR8 型二踪示波器：加入信号前先接通电源，先调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”各旋钮，使屏幕上显示出一条细而明亮清晰的扫描基线；若扫描线偏离屏幕，可按下“寻迹”开关，找出偏离方向，然后调节 X 轴或 Y 轴的“位移”旋钮，使基线回到屏幕中央；Y 轴有两路输入，Y_A 和 Y_B。作单踪显示，可将信号从 Y_A 或 Y_B 输入，这时显示方式开关应拨至 Y_A 或 Y_B 档；作双踪显示，可将两个不同信号分别从 Y_A 和 Y_B 输入，这时显示方式开关应拨至“交替”或“断续”档，视被测信号频率高低而定；当测量单踪信号时，应调节 Y_A 或 Y_B 的灵敏度选择开关“V/div”及其“微调”钮（div 即格），改变扫描电压的周期 T_c。当 T_c 为正弦信号周期 T_s 的整数倍时，屏幕上就能显示出稳定的正弦波图形。改变 T_c 和 T_s 的倍数关系，就能控制显示正弦波形的个数。

当测量信号的幅度时，应将 Y 轴灵敏度红色微调钮置于“校准”位置，这时 Y 轴灵敏度选择的黑色钮所指示的刻度就是屏幕上纵向每格的电压伏数。因此，被测信号的峰-峰值电压等于屏幕上显示波形的高度乘以灵敏度选择钮所指示的刻度值。当采用10∶1衰减探头时，电压峰值为上述确定的数值再乘以 10。

当测量信号的时间参数时，将 X 轴扫描速率红色微调钮置于“校准”位置，为了保证测量精度，屏幕上一个周期应占有足够的格数，也就是要占满格，因此应将扫描速率开关置于合适的档位；这样扫描速率黑色钮的刻度“t/div”，就是屏幕上横向每格的时间数。被测信号所占据的时间等于屏幕上显示波形的水平距离乘以扫描速率钮所指示的刻度值。

当测量两个正弦波信号之间的相位差时，应将信号分别加到 Y_A 和 Y_B 端，显示方式钮置于“交替”或“断续”档。然后分别调节 Y_A、Y_B 的“位移”钮和灵敏度选择开关“V/div”及其“微调”钮，就可在屏幕上看到两个高度相等的正弦波形。再将推拉式开关“内触发 Y_B”拉出，使内触发信号只取自 Y_B 的输入信号，这样就可以进行比较了。SR8 型示波器面板布置见图 2-134。

2）DYC-5 型超高频电子管电压表：测量直流电压前先进行零位调整，通常是先接通电源预热 10min 后，将“测量选择”开关置于 V_+ 或 V_-，调节“零位调节”钮，使表头指示为零。然后再将“测量选择”开关扳至 V_- 或 V_+，表头指示仍为零。测量交流电压前，应进行交流零位调整，但必须在直流零位调整之后进行，因为测量是以直流电桥的平衡为准的，不然将会引起测量误差。调整时，将“测量选择”开关置于 V_- 档，“测量范围”钮置 1V 档，并将检波探头的探针与地短路，调节“交流零位调整”钮使表头指示为零。零位调整应反复进行，但只要预热时间足够长，零位一经调好，在改变量程时，可不必重调，但应校正一下是否在零位。

测量直流电压时要根据被测电压的极性，将“测量选择”开关置于 V_+ 或 V_- 档，被测电压由 $V_=$ 接线柱输入。测量高压时要注意安全。

测量交流电压时，“测量选择”开关置于 $V_\sim$ 档，被测信号由 $V_\sim$ 接线柱输入。测量高频电压必须改用高压检波探头，探头地线应尽可能短。

测量电阻时，“测量选择”开关置于 Ω 档，一端接于 Ω 接线柱，另端接于探针。

用直流中心零位指示时，“测量选择”开关置 ⊥ 档，调节“零位调整”钮，使针对准中心零位，灵敏度由“测量范围”选择开关决定。当被测电压为正极性时，指针向右偏转；为负极性时，向左偏转，用以判定被测信号的极性。

DYC-5 型电压表面板布置见图 2-135。

3）XD2 型信号发生器：接通电源预热后，根据所需频率，将“频率范围”钮置于相应频段，然后分别调节三个“频率调节”钮，即可从这四个钮的指示上读出频率。例如，“频率范围”在 1～10kHz 档，“频率调节”钮“×1”置于 3，“×0.1”置于 4，“×0.01”置于 6，则为 3.46kHz。

调节信号输出幅度时，调节“输出细调”钮，使表头指示在某一数值，同时调节用分贝数值表示刻度的“输出衰减”钮，即可读出输出信号的幅度。如“输出衰减”钮置于 0dB 时，表头指示值即为输出信号电压的有效值；“输出衰减”钮置于 10dB 时，输出信号电压为表头指示置的 0.316 倍。

XD2 型信号发生器面板布置见图 2-136。

（2）参数的测量

1）输入失调电压 U_{os} 的测量：按图 2-137 将电路搭好，集成运放的管脚使用管脚插座，不得直接焊接。图中小三角形表示理想集成运放，而带虚线的大三角形则表示实际的集成运放，其中 I_{b1}、I_{b2} 为恒流源提供的偏置电流。将输出端的“+”分别接在 SR8 型示波器的 Y_A 端和 DYC-5 型电压表的 $V_=$ 端，同时将示波器的“显示方式”开关拨至 Y_A，电压表的“测量选择”钮置于 V_+ 档，并调节“零位调整”，使指针指向零位。

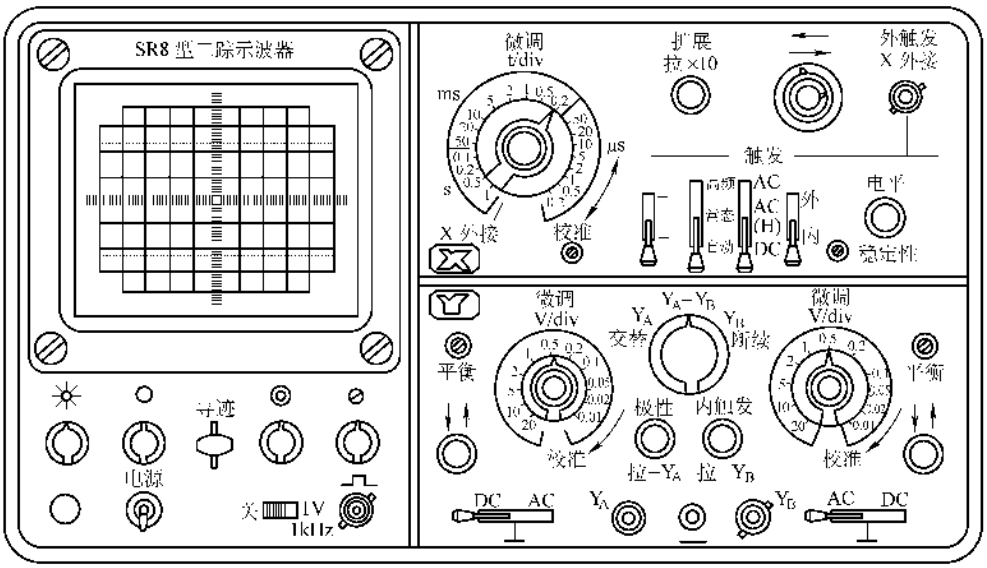


图 2-134 SR8 型二踪示波器面板示意图

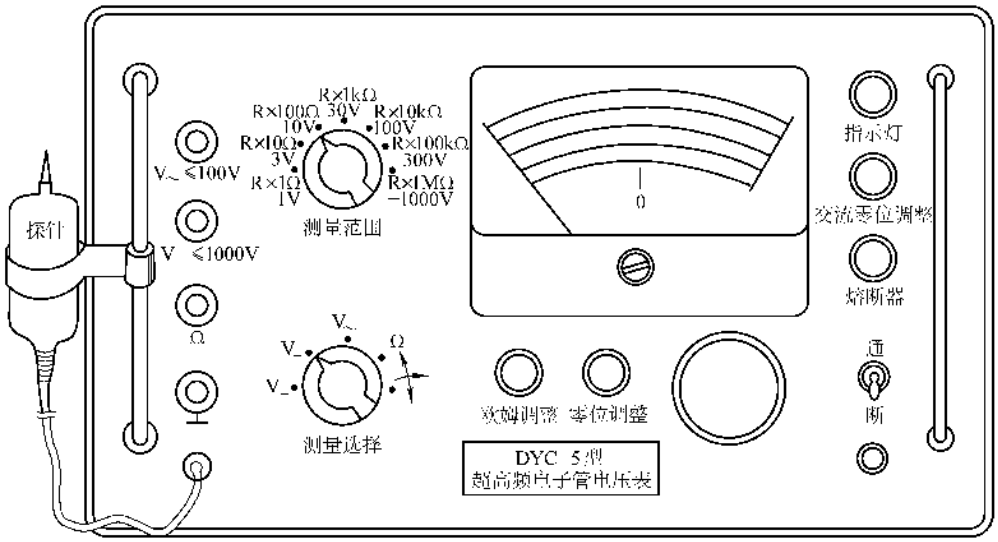


图 2-135 DYC-5 型超高频电子管电压表面板示意图

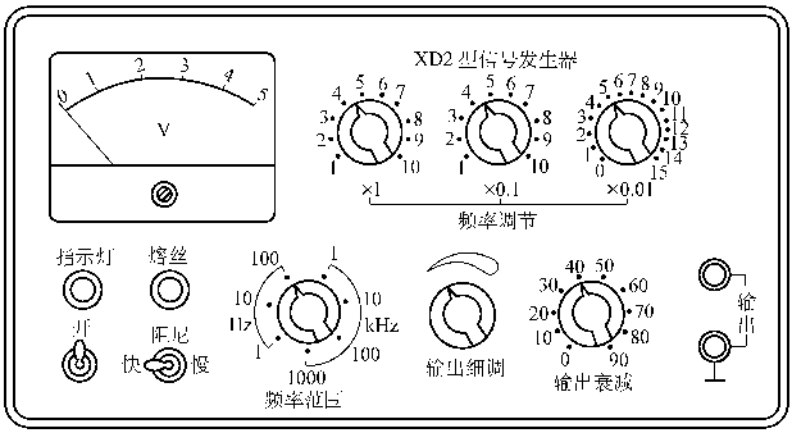


图 2-136　XD2 型信号发生器面板示意图

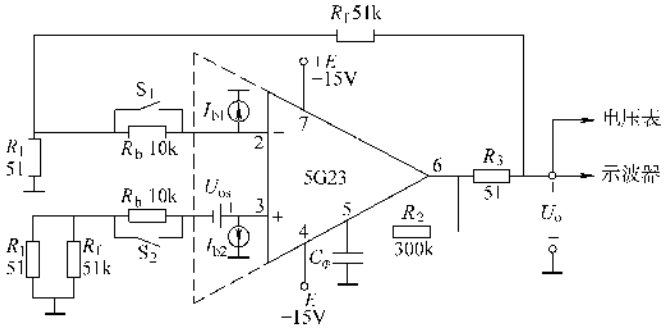


图 2-137　输入误差参数 U_{os}、I_{os}、I_b 的测量电路

闭合开关 S_1 和 S_2，并将集成运放插入管座，检查无误后再接通 ±15V 电源，然后用调整好的示波器观察有否自激振荡波形，如有则应接入相位补偿电容 C_ϕ 消除自激。不同型号的管子，C_ϕ 的数值不同，表 2-65 列出了 5G23 集成运放的补偿电容值。

表 2-65　5C23 在反相应用时的补偿电容

R_f/R_1	1000	100	10	1
C_ϕ/pF	0	6.8	100	100

然后用调整好的 DYC-5 型电压表测出输出电压 U_{o1}，即可代入 $U_{os}=U_{o1}\times10^{-3}$V 中算出 U_{os}。

2）测量静态功耗 P：在正、负电源回路串入直流 mA 表或用万用表的 mA 档，读出 I_+ 和 I_-，然后代入 $P=EI_++EI_-$ 算出 P。

3）测量输入失调电流 I_{os}：将 S_1、S_2 打开，按测量 U_{o1} 的方法测出输出电压 U_{o2}，然后代入 $I_{os}\approx\dfrac{U_{o2}-U_{o1}}{R_1+R_f}\dfrac{R_1}{R_b}$，即可算出 I_{os}。

4）测量输入偏置电流 I_b：打开 S_1、闭合 S_2，测出输出电压 U_{o3}；闭合 S_1、打开 S_2，测出输出电压 U_{o4}；然后代入 $I_b\approx\dfrac{1}{2}(U_{o3}-U_{o4})\dfrac{R_1}{R_b(R_1+R_f)}$，即可算出 I_b。但是这里要注意，U_{o3} 和 U_{o4} 应是符号相反的两个数值，否则应加大 R_b 的数值后再进行测量，直到符号相反。而 R_b 的数值应严格对称相等，否则会引起很大的误差，同时应用示波器随时监视波形，如果自激，应加入 C_ϕ 消除。

5）测量开环电压增益 K_d：按图 2-138 接好电路，检查无误后插入集成运放，接通电源，观察波形有无自激，进行补偿。

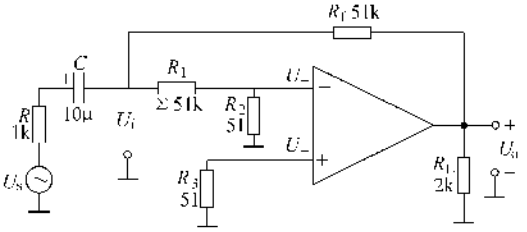


图 2-138　开环电压增益 K_d 的测量电路

按前述方法使 XD2 型信号发生器产生 200Hz 的正弦信号电压加到输入端，用 DYC-5 型电压表的“V～”档测量 U_o 和 U_i，然后代入 $K_d=60+20\lg\dfrac{U_o}{U_i}$，即可算出开环电压增益 K_d。

这里应注意，从 Σ 点到反相端之间的连接线应尽可

能短，以免引入交流干扰；输入信号电压不宜过大，并随时用示波器观察波形，若有自激，应先补偿后测量。

6）测量共模抑制比 *CMRR*：按图 2-139 把电路接好，其他同 5）；输入 $f=200\text{Hz}$、$U_{ic}=5\text{V}$ 的共模信号电压，用 DYC-5 型电压表的“V～”档测量输出电压 U_o，代入 $CMRR=40+20\lg\frac{U_{ic}}{U_o}$，即可算出共模抑制比。

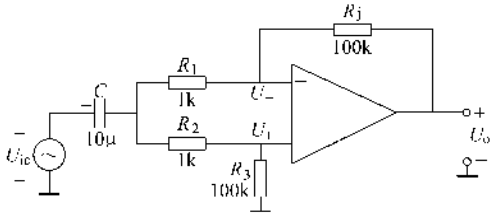


图 2-139　共模抑制比 *CMRR* 的测量电路

这里要注意，输入的共模电压 U_{ic} 必须小于被测集成运放的最大共模输入电压范围 U_{CM}，否则将使 *CMRR* 降低；*CMRR* 的测量精度取决于 R_f 和 R_3、R_1 和 R_2 的匹配程度，如果 *CMRR* 规定的测量误差为 1%，则电阻的相对误差应小于 0.025%；随时监视有无自激，如有则应先补偿，后测量。

（3）用万用表简单检查集成运放的方法　以 5G33 通用Ⅱ型运算放大器为例，通过测量 1-3 端、8-2 端的正向、反向电阻值，可以分别判断 VT_1、VT_2 的 C-B 结是否完好；通过测量 5-6 端的正向、反向电阻值，可以判断 VT_7、VT_8 的 E-B 结是否完好；还可以检查正、负电源引出线 7-4 端对输出端 6 有无短路等现象。5G33 通用Ⅱ型运算放大器的电路及管脚见图 2-140。

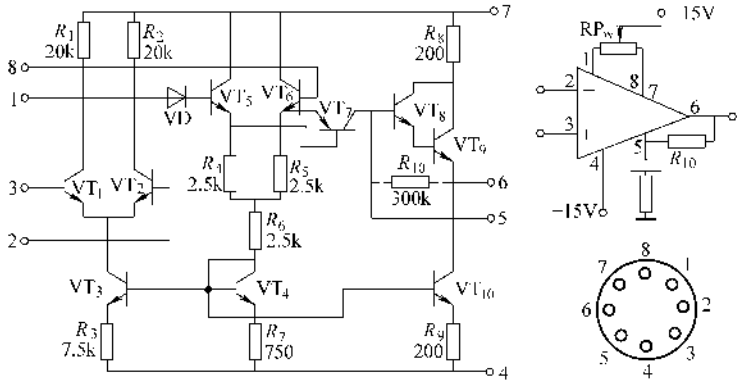


图 2-140　5G33 通用Ⅱ型运算放大器原理及管脚图

（4）可以从波形的奇变判断是否自激，自激的原因是由于反馈深度太大而造成的。自激的消除测试电路见图 2-141。通过逐渐减小 RP 的阻值即可用示波器观察到自激的形成过程及自激的波形，见图 2-142。自激会给测量和使用带来很大的不便，因此必须随时监视波形的变化，以便补偿或调整。

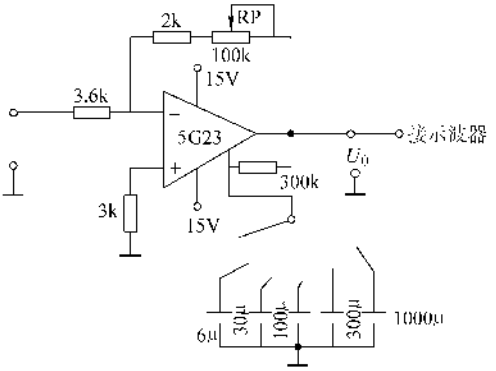


图 2-141　自激的消除测试电路

三、万用电桥

万用电桥的型号很多，仅以 WQ-5A 型万用电桥（图 2-143 为板面结构图）为例说明电桥使用方法。

1. 用万用电桥测量电阻

（1）将桥臂读数开关“×1”、“$\times10^{-1}$”、“$\times10^{-2}$”、“$\times10^{-3}$”置于“0”位。

（2）将损耗因数和品质因数旋钮“Q_1”、“Q_1D”、“Q_1Q_2D”置于“0”位。

（3）将被测元件接入测量接线柱，接线越短越好。

（4）接通电源，并将“测量电源”和“检流计”置于内接位置。

（5）反时针旋转“灵敏调节”钮到最小位置，使平衡指示表达到满刻度 100，若达不到就调节“零点调节电位器”。顺时针转动“灵敏调节”到最大位置，“平衡指示”的指针应指向“0”位。

（6）将“测量选择”置于测量档。

（7）根据被测电阻的标称值范围，将“倍率选

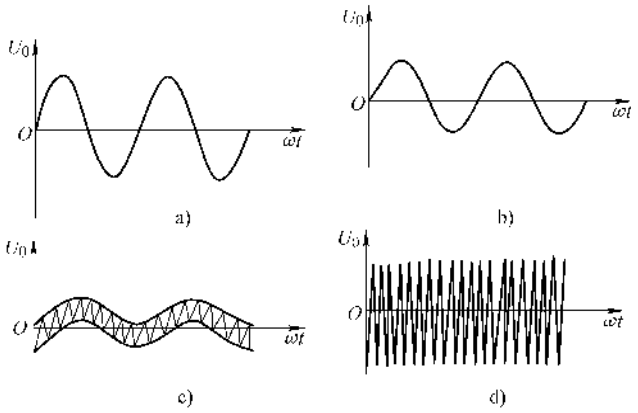


图 2-142　自激波形的判定

a）RP 值最大，不自激　b）RP 减小，未自激　c）继续减小 RP 出现自激，波形发生变化　d）RP 值最小自激加强波形巨变

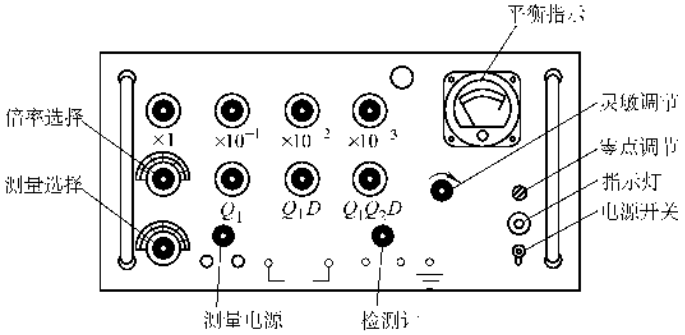


图 2-143　WQ-5A 万用电桥面板元件布置图

择”开关打在适当的档位。

（8）按顺序调节“×1”、“$\times10^{-1}$”、“$\times10^{-2}$”、“$\times10^{-3}$”四个读数开关，平衡指示电表的指针逐渐向满刻度偏转，调节每一个读数开关时应调到平衡指示电表的指针不动为止，然后再调下一个读数开关。反复调节读数开关，直至使电表的指针指到满刻度。这时，无论怎样调节“灵敏调节”电位器，指针都稳在满刻度而不摆动，说明电桥已达到平衡。

（9）将读数开关指示数值的总和即□.□□□（□指数值），与“倍率选择开关”指示数值的乘积，就是被测电阻的电阻值。

这里要注意，有时电桥不易达到平衡，这时可将“灵敏调节”电位器反时针旋转，使“平衡指示”指针处于中间位置。反复调节读数开关，使指针向左偏转，同时逐渐顺时针调节“灵敏调节”电位器直到最大，尽可能使指针偏转到最大值。有时，由于被测元件存在着分布电容或剩余电感，电桥无法达到理想的平衡状态，指示表的指针就不能偏转到满刻度100。

2. 用电桥测量电容器的电容

使用 WQ-5A 型万用电桥测量电容时的（1）～（5）与“1. 用万用电桥测量电阻”的（1）～（5）相同。

（6）将“测量选择”开关置于电容档。

（7）根据被测电容的标称范围，将“倍率选择”开关置于适当的档位。

（8）顺序调节读数开关，使平衡指示指针偏转到最大限度。若被测电容有一部分的介质损耗，调节读数开关效果不佳，应同时调节损耗因数“QD”及“Q_1Q_2D”旋转钮，使指针偏转更大，反复调节读数开关和损耗因数旋钮，直到电桥达到完全平衡为止。

（9）各读数开关指示数值的总和，与“倍率选择”开关指示数值的乘积，就是被测电容的电容量。“Q_1D”与“Q_1Q_2D”开关所指示的读数之和，就是被测电容的损耗因数 D 值。

3. 用电桥测量电感器的电感

使用 WQ-5A 型万用电桥测量电感时的（1）～（5）与“1. 用万用电桥测量电阻”中的（1）～（5）相同。

（6）将“测量选择”开关置于电感档，选择电感档时要根据电感的品质因数 Q 值的大小，当被测电感的 Q 值小于 10 时，“测量选择”置于电感档的“Q_1”位置；当 Q 值大于 10 时，“测量选择”置于电感档的“Q_2”位置。

（7）根据被测电感的数值范围，选好相应的“倍率选择”档位。

（8）与电容测量调节步骤一样，但比电容测量更难调节到完全平衡。所以，要耐心反复调节读数开关和品质因数的读数开关“Q_1”、“Q_1D”、“Q_1Q_2D”，使平衡指示的指针偏转到最大限度。

（9）各个读数开关数值之和，与“倍率选择”开关指示的数值的乘积，就是被测电感的电感量。直读“Q_1”、“Q_1D”、“Q_1Q_2D”开关读数之和，就是被测电感的 Q 值。当“测量选择”开关放在电感“Q_2”档时，只用“Q_1Q_2D”的读数，以红字红线刻度直接表示被测电感的 Q 值，因为这时“Q_1”、“Q_1D”开关均置于“0”位。

这里我们要注意，使用 WQ-5A 型万用电桥时，测量电阻用的是 50Hz 市电电源经整流稳压后的直流电源，而测量电容、电感时用的是 1kHz 的信号源，这些都已在电桥的电源部分做好，只要正确操作即可。

四、双臂电桥的使用方法

双臂电桥是测量 0.1Ω 以下低值电阻的精密仪器，测量范围 $1\sim10^{-5}\Omega$，QJ103 双臂电桥倍率和相对误差的关系见表 2-66。

表 2-66　QJ103 电桥比例臂的倍率与相对误差关系

倍率	R_x/Ω	相对误差
×0.01	0.0001～0.0011	±20%
×0.1	0.001～0.011	±2%
×1	0.01～0.11	±2%
×10	0.1～1.1	±2%
×100	1～11	±2%

双臂电桥有两对测量端钮，即电流端钮 C_1C_2、电压端钮 P_1P_2。测量时将被测电阻引出线的两端先接在 P_1P_2 上，使其最接近电阻，然后再在 P_1P_2 以外的引出线两端接 C_1C_2，见图 2-144。要使用铜质粗导线连接。

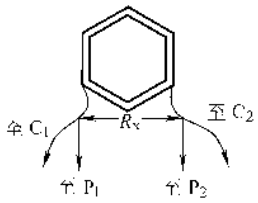


图 2-144　被测电阻电压端与电流端的接法

双臂电桥有两只转换开关，一只是倍率选择开关，即×100、×10、×1、×0.1、×0.01；另一只是读数盘，它是一只 0.01～0.11Ω 连续可调的滑线标准电阻并有刻度。使用方法较简单，将被测电阻按图 2-144 接好，接通电源，再接通检流计，从最大档位即 $0.11\times100\Omega=11\Omega$，逐渐按读数盘下调，直至检流计趋向于零不动，再经粗细调节使之指向于零，这时读数盘的读数乘以倍率即为该电阻的阻值。

有的型号的双臂电桥，在使用时需外接标准电阻，标准电阻应尽量使其阻值与被测电阻在同一数量级，即满足下面的关系：

$$\frac{1}{10}(\text{被测电阻})<\text{标准电阻}<10(\text{被测电阻})$$

其他注意事项同单臂电桥。

五、示波器、图示仪、电桥的保管

示波器、图示仪、电桥均属精密贵重仪器，在保管上应做到以下几点：

（1）建立仪器管理制度，包括使用、校验及校验周期、借用、使用环境、操作规程、存放环境、保养、入库/出库检查、使用记录等内容，并严格执行。

（2）仪器应放置于清洁、干燥、通风的室内台架上，不用时应用双层绒布遮盖。

（3）室内电源设置应符合仪器的要求，并保证安全、接地良好。

（4）仪器应由专人负责保管，仪器的档案、资料、文件应齐全，并按仪器管理制度严格执行。

（5）使用者应在有经验的人的指导下进行。

六、吸收比和极化指数的测量

吸收比和极化指数都与绝缘电阻有关。

当给被试物施加一定的直流电压后，在直流电压的作用下，流过被试物绝缘介质的电流，通常由电容电流、介质吸收电流和电导（泄漏）电流三部分组成。

其中，电容电流是由绝缘介质弹性极化引起的，一般情况下，绝缘介质的极化过程很快，电容电流只是在直流电压加到绝缘介质上的瞬间出现，然后很快

衰减为零。电容电流的大小主要由外加电压的高低、电源内阻的大小、绝缘材料的材质、几何尺寸、结构等因素决定，与介质的绝缘能力无关。

吸收电流是由不均匀介质或多层介质界面电荷移动和聚积引起，是绝缘介质内层松弛极化过程产生的电流，一般电气设备的绝缘通常由多种绝缘介质组成，由于不同介质的介电常数和电导率不同，当直流电压作用于不均匀介质时，电压的起始分布和稳态分布也将不同。起始分布决定于介电常数的比值，稳态分布决定于电导率的比值。当电压从起始分布状态过渡到稳态分布状态时，为适应电压的重新分布，在不同介质的交界处发生电荷移动，形成介质的内层极化过程，产生吸收电流。介质的内层极化过程需要较长的时间才能结束，因而吸收过程也需要一个较长的时间才能结束。吸收时间的长短和吸收电流的大小，通常由介质的不均匀程度、介质的结构状态、介质的材质性能、外加电压的大小、工作温度等因素决定。介质的绝缘性能越好，吸收电流衰减越慢。

电导电流由绝缘介质体的电导电流和表面漏电流组成，是介质在直流电压作用下正负离子的移动形成的，电导电流为一不随加压时间的变化而变化的恒定电流，其数值与外加电压的大小、被试物的几何尺寸、工作温度、制造工艺、绝缘材料的优劣、受潮脏污和贯穿性缺陷等有关，由介质在直流电场内的电导率决定。介质的绝缘性能越好，泄漏电流就越小，绝缘电阻也就越高。

在测量过程中，流过绝缘体的泄漏电流始终不变，但绝缘体中的电容电流和吸收电流却随时间的增加而减小，开始非常迅速，而后逐渐趋于稳定。

在直流电压的作用下，绝缘介质内部产生的各种电流及总电流随时间变化的曲线见图 2-145。

由于绝缘电阻与流过介质的电流是成反比的，由图可知，在对被试物开始施加直流电压时，绝缘电阻最小，随着时间的延长，绝缘电阻很快增大，经过一段时间后，才趋于稳定，因此，在实际测量中，通常以施加电压后 60s 的读数值作为工程上的绝缘电阻值。

当被试物的绝缘有受潮、脏污及贯穿性缺陷时，在直流电压的作用下，传导电流将大大增加，因而绝缘电阻降低。因此，测量被试物的绝缘电阻值，可初步了解被试物的绝缘是否受潮、脏污、过热老化、绝缘击穿及其他贯穿性缺陷等绝缘状况。因此，绝缘电阻测试是最简便而且对被试物的绝缘无任何破坏作用的绝缘试验方法之一。

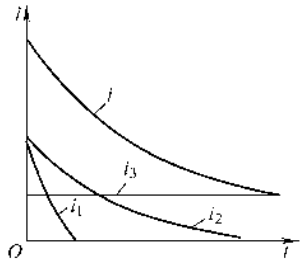


图 2-145　直流电压作用下，介质内所产生的各电流及总电流随时间变化的曲线

i_1—电容电流　i_2—吸收电流

i_3—传导电流　i—总电流

1. 吸收比 K_1

吸收比，是指在同一次测量中，被试物在测量开始后 60s 时的绝缘电阻值与 15s 时的绝缘电阻值的比值，即

$$K_1 = \frac{R_{60s}}{R_{15s}} \tag{2-10}$$

由于吸收比测出的是不同时间的两个电阻（或两个电流）的比值，故其数值与被试物的外形尺寸、材料、容量、几何形状等因素无关。同时，受其他偶然因素的影响也较小。所以，吸收比可以更灵敏地反映出被试物的绝缘受潮程度，比绝缘电阻值更有利于用相同的判断标准来衡量被试物的绝缘性能。

当被试物的绝缘受潮时，传导电流在总电流中的比例显著增加，吸收比下降，此时（R_{60s}/R_{15s}）下降，比值为 1。被试物绝缘良好时，吸收比增大，一般为 1.3～2.5。一般情况下，吸收比 K_1 应大于或等于 1.3。

绝缘电阻和吸收比仅在被试物的绝缘有严重受潮、脏污或贯穿性缺陷时有明显的反应；而对被试物的绝缘有不明显的局部缺陷时，反应却不太灵敏，因而不能及时地发现被试物的局部缺陷。所以，绝缘电阻和吸收比的测量，仅仅能作为初步判断被试物的绝缘情况，对于没有严重受潮、脏污或贯穿性缺陷的被试物，仅可作为判别被试物能否进入直流耐压试验的参考，而不能单一作为判别被试物绝缘强度的可靠依据。

2. 极化指数 K_2

极化指数是指在同一次测量中，10min 时的绝缘电阻值与 1min 时的绝缘电阻值之比，即

$$K_2 = \frac{R_{600s}}{R_{60s}} \tag{2-11}$$

由于大型设备的松弛极化时间很长，绝缘电阻测

量和吸收比测量已经不能正确地反映出设备的真实绝缘性能。为了满足测量的需要，因此，在大型设备绕组的绝缘测量中，推荐使用“极化指数”作为判断绕组绝缘是否受潮的依据。极化指数测量，除能够反映设备绝缘状况和受潮程度外，还能反映整体和局部缺陷，并且在较大的范围内与被试物温度无关，因此，用来判断被试物的绝缘性能更为准确有效，一般规定在 10～30℃时极化指数 K_2 应 ≥1.5。

GB 50150—2006《电气装置安装工程　电气设备交接试验标准》中规定，额定电压 1000V 以上的电动机，吸收比不得小于 1.2，中性点可以拆开的电动机应分相测量。35kV 及以上、4000kVA 及以上的变压器，吸收比不得小于 1.3。220kV 及以上、120MVA 及以上的变压器，极化指数与出厂试验值应无明显差别。6000kW 及以上同步发电机、调相机，沥青浸胶及烘卷云母绝缘时极化指数不小于 1.3，环氧粉云母绝缘时极化指数不小于 1.6。

吸收比和极化指数的测量同绝缘电阻的测量。在进行吸收比和极化指数的测量时，应先将绝缘电阻表摇至额定转速（对于电子式绝缘电阻表，则应先合上仪表电源开关，待仪表正常后），再将绝缘电阻表高压端（“L”端钮）的测量引线使用绝缘棒接到被试物的被测量部分上，从接到被试物时开始计时，分别读取并记录 15s 和 60s（或 1min 和 10min）时的绝缘电阻值。测量完毕，应先断开仪表与被试物的测量引线，再停止绝缘电阻表的转动或关掉电子式绝缘电阻表的电源，以防被试物的反冲电流损坏绝缘电阻表。测量完毕，应将被试物充分放电并接地。同时记录测量时的环境条件（温度、湿度和气象状况）以备进行温度换算之用。

B 级绝缘发电机绝缘电阻的温度换算：任意温度 t 下测得的 B 级绝缘发电机的绝缘电阻 R_t，可用下式换算为 75℃时的绝缘电阻

$$R_{75}=\frac{R_t}{2^{\frac{75-t}{10}}}=\frac{R_t}{K_{t1}} \tag{2-12}$$

式中　K_{t1} 可在表 2-67 中查找。

A 级绝缘材料绝缘电阻的温度换算：任意温度 t 下测得的 A 级绝缘材料的绝缘电阻 R_t，可用下式换算为 75℃时的绝缘电阻

$$R_{75}=\frac{R_t}{10^{\frac{75-t}{40}}}=\frac{R_t}{K_{t2}} \tag{2-13}$$

式中　K_{t2} 可在表 2-68 中查找。

七、新型电测仪器及使用

1. TSB 高压试验变压器的使用和注意事项

（1）按图 2-146 接好工作线路，变压器外壳、控制箱（台）外壳及公共地线必须接在良好接地体上，不允许随意接在自来水管或其他金属管道上。

表 2-67　B 级绝缘发电机绝缘电阻各种温度时的 K_{t1} 值

t/℃	K_{t1}	t/℃	K_{t1}	t/℃	K_{t1}	t/℃	K_{t1}	t/℃	K_{t1}	t/℃	K_{t1}
1	170	15	64	29	24	43	9.2	57	3.5	71	1.320
2	158	16	60	30	23	44	8.6	58	3.3	72	1.230
3	147	17	56	31	21	45	8.0	59	3.03	73	1.147
4	137	18	52	32	20	46	7.5	60	2.80	74	1.072
5	128	19	49	33	18	47	7.0	61	2.64	75	1.000
6	120	20	46	34	17	48	6.5	62	2.46	76	0.932
7	112	21	42	35	16	49	6.1	63	2.30	77	0.872
8	105	22	39	36	15	50	5.7	64	2.19	78	0.813
9	95	23	37	37	13.9	51	5.3	65	2.00	79	0.757
10	90	24	34	38	13.0	52	4.9	66	1.860	80	0.707
11	85	25	32	39	12.1	53	4.6	67	1.740		
12	79	26	30	40	11.3	54	4.3	68	1.624		
13	73	27	28	41	10.6	55	4.0	69	1.515		
14	69	28	26	42	9.9	56	3.7	70	1.414		

表 2-68　A 级绝缘材料绝缘电阻各种温度时的 K_{t2} 值

t/℃	K_{t2}	t/℃	K_{t2}	t/℃	K_{t2}	t/℃	K_{t2}	t/℃	K_{t2}	t/℃	K_{t2}
1	70.8	15	31.60	29	14.10	43	6.31	57	2.82	71	1.258
2	67.0	16	29.80	30	13.33	44	5.95	58	2.66	72	1.188
3	63.1	17	28.20	31	12.53	45	5.62	59	2.51	73	1.112
4	59.5	18	26.60	32	11.88	46	5.30	60	2.37	74	1.060
5	56.2	19	25.10	33	11.12	47	5.00	61	2.24	75	1.000
6	53	20	23.70	34	10.60	48	4.73	62	2.16	76	0.944
7	50	21	22.40	35	10.00	49	4.46	63	1.995	77	0.915
8	47.3	22	21.60	36	9.44	50	4.21	64	1.880	78	0.841
9	44.6	23	19.95	37	9.15	51	3.98	65	1.770	79	0.795
10	42.1	24	18.80	38	8.41	52	3.76	66	1.678	80	0.750
11	39.8	25	17.77	39	7.95	53	3.54	67	1.585		
12	37.6	26	16.78	40	7.50	54	3.345	68	1.495		
13	35.4	27	15.85	41	7.08	55	3.16	69	1.410		
14	33.45	28	14.95	42	6.70	56	2.98	70	1.330		

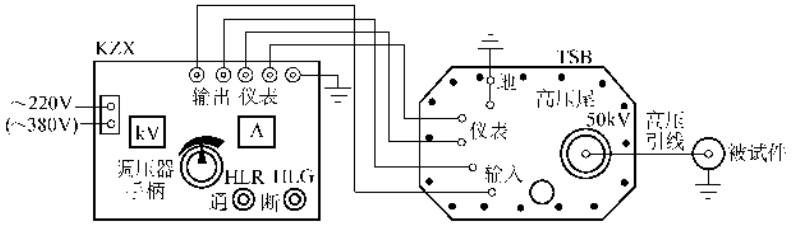


图 2-146　单台 TSB 试验变压器外部接线图

（2）直流耐压试验时，先将高压套管短路棒旋松抽出，再将光电保护微安表旋装在高压套管顶端螺栓上。交流高压测试时，必须旋入短路铜棒，不装光电保护微安表。

（3）接通电源前，控制箱 KZX 的调压器手柄须先调回到零位。用插头线将电源接通，绿色指示灯亮，按下起动按钮 HLR，红色指示灯亮表示调压器电路已通电，等待升压。

（4）顺时针按每秒 1.5～2kV 的升压速度均匀旋动调压器手柄升压，并密切注意仪表指示及被试品情况。

（5）试验完毕后，应在约 5s 内匀速将高压降至 10kV 以下，然后按断电按钮 HLG 切断电源。除非试验必需时，不允许突然全电压断电。

（6）试验中发现电压表指示摆动大，电流表指示急剧增加，或被试件冒烟、打火、有焦煳味或有异常响声，应立即切断电源，停止试验，然后检查原因。

试验中由于被试件短路或故障击穿，控制箱（台）内过电流继电器将动作切断电源，此时应立即将调压器手柄回到零位。

使用中注意事项有以下几点：

1）额定输出容量下的持续使用时间不能超过 1h，如还需再使用，应断电停用 2h 后再通电。

如负载容量低于产品额定容量的 70% 时，可以连续使用。

2）正常的高电压电气绝缘试验中，不允许超过额定输出电压使用。

3）当用多台试验变压器组成串级高压试验时，要注意检查第 2、3 级的变压器本体及绝缘支架的状况、连接线的正确性、硅堆短路杆的位置及整个系统的保护接地状况。

多台试验变压器串级试验接线见图 2-147。

2. ZBC-1 型电压比自动测试仪的使用及注意事项

ZBC-1 型电压比自动测试仪，采用微机技术和高精度 A-D 技术，具有高精度、快速运算和人工智能的特点。仪器自动测量被试变压器（或互感器）的电压比和极性，并根据预先输入的联结组标号（如（/△等）和额定值，自行计算电压比及误差，直接用数字显示，使电压比测量操作简便，快速准确。其面板、背板简图见图 2-148。

（1）使用前必须已知试件的联结组标号，分清线

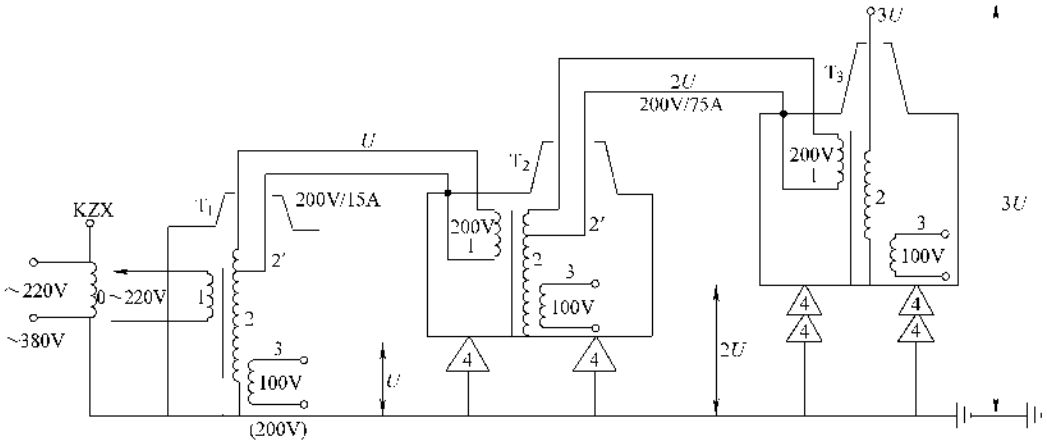


图 2-147 TSB 系列高压试验变压器三台串级使用的原理接线图

1—一次励磁绕组 2—二次升压绕组 2′—升压绕组 200V 抽头 3—仪表绕组 4—绝缘支架（50kV、100kV）

注：1）如用三台 TSB（JZ）产品串级时，T_1、T_2 的高压硅堆用短路棒短路，T_3 的硅堆换用 300kV、0.1A 级。

2）当串级后输出电压达不到 $3U$ 时，可能是一、二次相位相反，可将 T_1 或 T_2 的一次励磁绕组两端接线对换。

3）T_2、T_3 所用的绝缘支架必须牢固、清洁。各级之间连接线应尽量短，并注意与壳体的距离。

圈的高压侧和低压侧。

（2）必须先检查仪器面板、背板、各元件须完好无损，无松脱现象或损坏痕迹，才可插上电源插头。

（3）被测试变压器高压侧接背板线夹 12 的 A、B、C 端，低压侧接到线夹 13 的 a、b、c 端，按背板上标明的相序接好并由非接线人员检查无误。对于单相变压器可接在 AB（AX）、ab（ax）上即可。相序选为 AB，联结组标号为(/(。

（4）合上电源开关 6，开关上的灯亮，同时在状态显示屏 1 上显示“P”，表示显示状态是定值，数值显示屏 2 显示的是整定数值。

（5）检查电压比定值开关是否选得恰当，若不恰当，可由各置数开关（按“+”或“-”按键）重新整定。其中电压比整定开关 7 由 4 个置数开关组成，可整定电压比的 4 位有效值；而开关 8 用来设定小数点位置，范围为 0~3 位，超过 3 位出错，按其“+”或“-”键，可使小数点向左或向右移动。整定时，显示屏自动显示置入的数值，举例如下：

如，额定电压比是 101.2，则开关 7 应是 1 0 1 2，开关 8 应是 1。

如，额定电压比是 1012，则开关 7 应是 1 0 1 2，开关 8 应是 0。

合上电源开关，显示屏上立即显示出 P101.2 或 P1012。定值可随时进行修改，但不得在测量时修改。

（6）检查并选择联结组标号，本仪器可选(/(、(/△和△/(三种，旋转开关即可。

（7）相序选择：对于三相变压器的测量，可用相序选择开关 9 来选择，从左到右，顺时针旋转，分别选择 AB、BC、CA 相，以上联结组标号和相序的切换必须在显示状态字为“P”时进行。

（8）检查被测试变压器高低压侧接线、联结组标号、定值、相序开关选择正确后，可按测量起动按钮 3，起动测量，此时主继电器合闸，被测变压器带电，显示屏 1 的状态字显示一闪动的“y”，表示正在测量。闪光结束后，主继电器断开，被测变压器断电，显示屏显示实测的电压比值，状态字显示一稳定的“y”字，显示值为 4 位有效值。若状态字为“F”，则表示测量出错，立即手按复位按钮 5，可返回初始状态。若再按测量起动按钮 3，可重新开始测量。

（9）误差值显示，若测量电压比显示正确，可按下误差计算按钮 4，显示屏上显示出误差的百分值，状态显示字为“E”；若误差为负值，则状态字为“-”，经过 2~3s 后，自动恢复初始状态，显示额定值。若还需读误差值，可再重复上述过程。仪器设有极性判别电路，极性正确测试时闪动显示“y”，极性相反时闪动显示“-”。

（10）切换相序或联结组标号时，可不必断开电源或降低电压，但必须严格遵守下述注意事项中的要求。

（11）注意事项

1）被试件必须已知联结组标号，并分清高、低

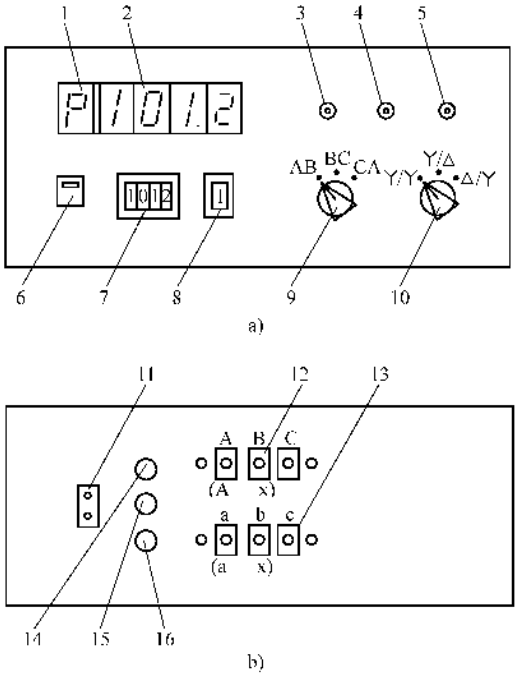


图 2-148　测试仪面板、背板各部件分布及名称

a）面板　b）背板

1—状态字显示 LED 数码管　2—数值显示屏（由 4 位 LED 数码管组成）　3—测量起动按钮　4—显示误差按钮　5—复位按钮　6—电源开关　7—电压比额定值（铭牌值）整定开关　8—电压比额定值小数点位设置开关　9—相序选择开关（可选 AB、BC、CA 三组）　10—联结组标号选择开关（可选择(/(组、(/△组和△/(组三种）　11—电源插座　12—高压侧接线夹（三相分别用 A、B、C 标明）　13—低压侧接线夹（三相分别用 a、b、c 标明）　14、15、16—熔断器

压侧。高压侧必须接到线夹 12 上，按相序接 A、B、C 端；低压侧接到线夹 13 上，也按相序接 a、b、c 端，不得接错。高压侧额定电压不得低于 220V。

2）联结组标号选择开关和相序选择开关必须在测量前预置好，即在“P”状态时切换，严禁在无字符显示或闪动显示“y”时切换，若此时非切换不可，可先按复位按钮 5，使之恢复“P”显示后或断开电源开关后，再切换。

3）若发现显示不符合使用方法中的规定，或显示“F1111”时，应立即按复位按钮 5 恢复初态，若不能恢复初态，立即断开电源开关，然后对被试件和仪器本身及接线由非接线电气人员进行检查。

4）各种联结组标号电压比的计算公式

(/(　　$K_L = \frac{U_1}{U_2}$，$K_L = K_\phi$　　(2-14)

(/△　　$K_L = \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}U_1}{U_2}$　　(2-15)

△/(　　$K_L = \frac{U_1}{\frac{2}{\sqrt{3}}U_2}$　　(2-16)

式中　K_L——线电压比值；

K_ϕ——相电压比值；

U_1——高压侧电压，单位为 V；

U_2——低压侧电压，单位为 V。

单相试件可接 AB、ab 端即可。

5）对于三相变压器，须短接的绕组，本仪器能根据联结组标号和相序的选择自动切换，无需查表。

6）状态字符说明：

“P”——显示额定值

“y”——显示测量数值

“E”——显示误差数值

“－”——显示负误差数值

“F”——表示测量出错

“y”——闪光表示正在进行测量，严禁切换联结组标号选择开关和相序开关。

7）误差 $E = \frac{y - P}{P}\%$

3. YM-942 型继电保护校验仪的使用方法

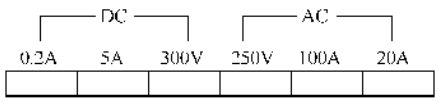
YM-942 型继电保护校验仪，是一种综合性的校验用仪器，它集电压发生器、电流发生器、标准电压表、标准电流表、电秒表、调压器为一体，可以输出交直流电压、交直流电流对各种高电压变配电系统的继电保护装置进行校验（如，各种电磁型、整流型、晶体管型、集成电路型继电器的动作电压、返回电压、动作电流、返回电流、重合闸充放电时间，以及动作、返回时间的测量和校验），还可以对电压、电流、时间等技术参数进行测量，是现场试验调整工作中不可缺少的综合仪器。

YM-942A 型机面板排列及功能见图 2-149a，后板排列及功能见图 2-149b。

YM-942B 型机面板排列及功能见图 2-150。

（1）测量档位选择开关，主要用于选择合适的测量范围和测量种类，以便进行高精度的测量。

选择开关排列位置如下：



测量档位选择见表 2-69。

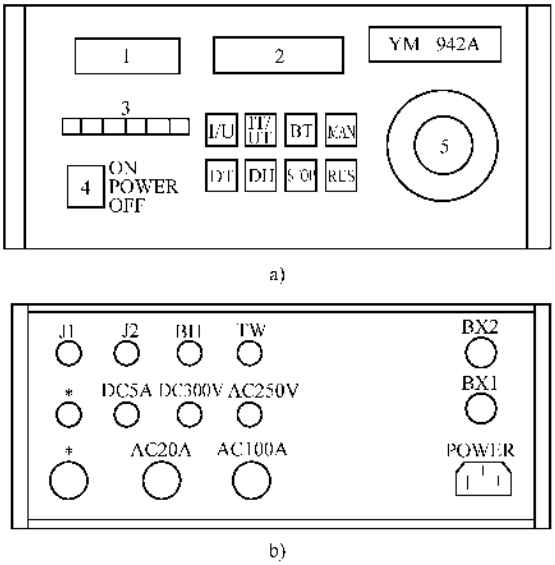


图 2-149 YM-942A 型继电保护校验仪

a）面板排列及功能 b）后板排列及功能

1—电压、电流表显示窗 2—电秒表、功能状态显示窗 3—电压、电流测量转换开关 4—电源开关 5—电流、电压调节器（上层为电压调节，下层为电流调节） I/U—动作电压、动作电流、返回电压、返回电流测量键 DT—断电延时动作时间测量键 IT/UT—通电延时动作时间测量键 DH—重合闸继电器充电启动键 BT—冲击试验键/重合闸信号启动键/软件标志 STOP—重合闸放电键 RES—返回键 MAN—人工信号键 J1、J2—继电器触点信号端 *—电压、电流输出公用端 DC300V—直流电压输出端 DC5A—直流电流输出端 AC250V—交流电压输出端 AC20A—交流电流 0～20A 输出端 AC100A—交流电流 0～100A 输出端 TW—重合闸信号起动端 BH—重合闸放电端 BX2—电压发生器熔管（1A） BX1—总电源熔管（7A） POWER—电源进线插座

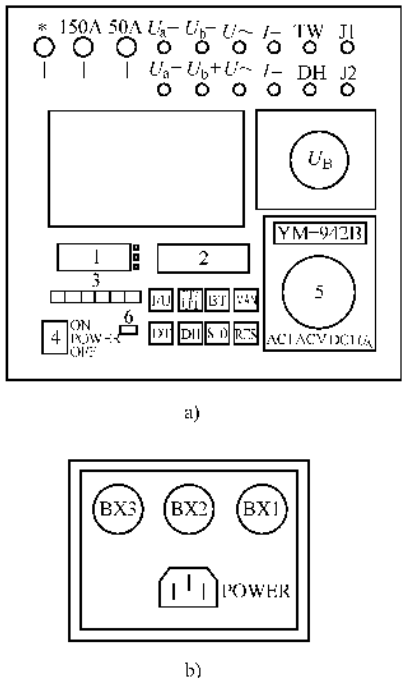


图 2-150 YM-942B 型机面板排列及功能

a）面板 b）电源接线板

1—电压、电流表显示窗 2—电秒表、功能状态显示窗 3—电压、电流测量转换开关 4—电源开关 5—电流、电压调节器 6—U_A、U_B 电压测量选择 I/U—动作电压、动作电流、返回电压、返回电流测量键 DT—断电延时动作时间测量键 IT/UT—通电延时动作时间测量键 DH—重合闸继电器充电起动键 BT—冲击试验键/重合闸信号起动键/软件标志 STO—重合闸放电键 RES—返回键 MAN—人工信号键 *—电流公用端 150A—交流电流 0～150A 输出端 50A—交流电流 0～50A 输出端 U_{a-}、U_{a+}—直流 a 组电压输出 U_{b-}、U_{b+}—直流 b 组电压输出 $U_{\sim}$、$U_{\sim}$—交流电压输出 I_-、I_+—直流电流输出 TW—重合闸信号启动端 DH—重合闸放电端 J1、J2—继电器触头信号端电源端子 BX1—总电流保险（15A） BX2—V_A 熔管（1A） BX3—V_B 熔管（1A） POWER—电源进线插座

表 2-69 测量档位选择

测量项目 / 档位参数	测量键	基本量程	显示误差	测量误差	测量回路
直流电流	DC 0.2A	0～199.9mA	±0.001A	±0.001A	I_+ I_-
直流电流	DC 5A	0～19.99A	±0.01A	±0.1A	I_+ I_-
直流电压	DC 300V	0～700V	±1V	±2V	U_A U_B
交流电压	AC 250V	0～700V	±1V	±2V	U_-
交流电流	AD 100A（AC 150A）	0～199.9A	±0.1A	±1A	* ～20A～100A
交流电流	AC 20A	0～19.99A	±0.01A	±0.1A	* ～20A～100A

直流电流测量时，可根据继电器工作电流的大小选择 0.2A 档或 5A 档。选择 0.2A 档测量时，显示器显示满刻度应为 200mA；选择 5A 档测量时，显示器满度为 20A。

交流电流测量时，可根据实际工作电流选择测量档。当工作电流小于 20A 时，应选用 20A 测量；工作电流大于 20A 时，可选用 100A（150A）档测量。

直流电压测量时，可选择开关 6 的位置选定测量 U_A 或 U_B，再选择 DC300V 键进行测量。

交流电压测量时，可直接按下 AC250V 键即可测量输出。

（2）普通型继电器的测定

1）常用型号：GL-11、GL-12、GL-13、GL-14、GL-15、GL-16 型继电器；DL-10、DL-20C、DL-30 系列电流型继电器；DY-100、DY-20C、DY-30 系列电压型继电器。

2）DL 型电流继电器接线见图 2-151。

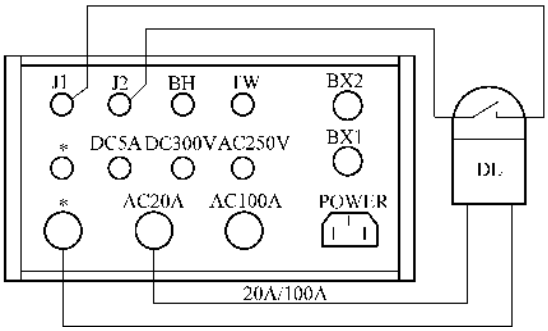


图 2-151　DL 型电流继电器接线图

3）DY 型电压继电器接线见图 2-152。

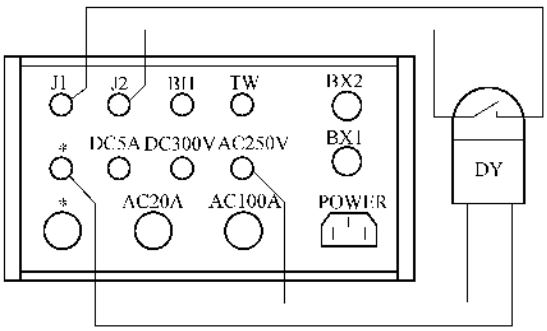


图 2-152　DY 型电压继电器接线图

4）动作电压 U_{DZ}、电流 I_{DZ} 的测量

①　按图 2-151、图 2-152 接好线且经非接线人员检查无误后，将图 2-149 或图 2-150 中电流、电压调节器 5 逆时针旋转至零点，打开电源开关，此时状态显示窗显示为 942. A 或 942. B。

②　选择好测量转换开关 3 至相应的量程。

③　按下 I/U 键接通输出电源，此时状态显示为常开［OFF］。

④　缓慢调整电流、电压调节器 5，此时电表显示为继电器上所加的电流值或电压值，如果校验电压型，可调节 5 外旋钮，按图 2-152 接线。

⑤　调至接近动作电压或电流时，应减缓调节速度，至动作信号产生。

⑥　继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态显示为闭合［ON］，电表显示窗显示的数值为动作电压值或电流值并锁定。如需解除锁定状态可单次按一下 I/U 键即解锁。

5）返回电压 U_{FH}、电流 I_{FH} 的测量

①　继电器的动作电压、电流测量完成后，再次按压 I/U 键释放数据将调节器 5 逆时针缓慢旋转，降低所施加的电压或电流。

②　继电器产生动作时，蜂鸣器发生 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态显示为断开状态［OFF］。

③　届时电表显示窗显示的数值为返回电压值或电流值并锁定。

④　测量完毕后按下 RES 键，切断输出电源，返回到初始状态。

6）冲击试验：过电流冲击试验是保证继电器在过载的情况下能可靠地动作，冲击电流为继电器额定电流的 3～5 倍。

①　按（2）—4）动作电压 U_{DZ}、I_{DZ} 中的①、②、③、④步骤进行。

②　调节调节器 5，使电表显示电流为继电器额定电流的 3～5 倍。

③　按下 RES 键，返回至初始状态。

④　按下 BT 键即接通电源输出电流，松开 BT 键即切断电源。

7）动作时间的测量

①　接线同动作电压或电流的测量，按 4）①②③步骤操作。

②　缓慢调节调节器 5 至额定电压值或电流值，按下 RES 键，返回至初始状态。

③　按下 IT/UT 键接通输出电源，微机开始计时，并在状态显示窗口显示时间。

④　当继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警信号以提醒操作，此时状态窗显示为动作时间。

8）返回时间的测量

①　在动作电压测量状态 I/U 调至额定电压或电流按下 RES 键返回到初始状态，按下 DT 键，微机开始计时，并在状态显示窗口显示计时时间。

② 继电器产生动作时，蜂鸣器发生 0.5s 报警信号以提醒操作，届时状态窗显示为返回时间。

（3）GL 型继电器的测定 GL 型电流继电器测定接线如图 2-153 所示。

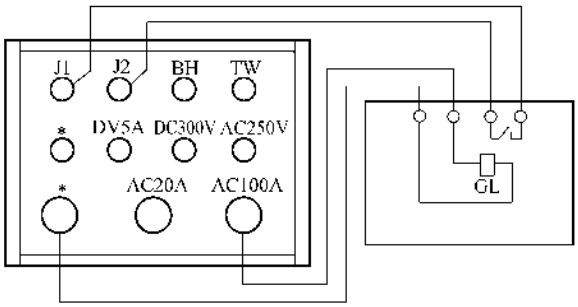


图 2-153 GL 型电流继电器测定接线图

1）始动电流、动作电流测定：

① 按下 I/U 键，缓慢调节电流、电压调节器 5，铝盘刚启动时，电表所显示的电流值为始动电流。

② 缓慢调节电流、电压调节器 5，当铝盘产生位移并使螺杆与齿啮合时，电表的显示的电流值为动作电流。动作电流有时也称啮合电流。

2）动作时间测定：

① 与上述测定方法相同，将电流调整到动作电流，按下 RES 键返回。

② 按下 IT/UT 键，接通输出电流，微机开始计时，并在状态显示窗口显示时间。

③ 继电器产生动作时，蜂鸣器发出 0.5s 报警，此时状态窗显示的时间为动作时间，并自动切断输出电流。

④ 2 倍、5 倍、10 倍电流动作时间的测定，可先用 BT 键调定电流强度，再按 IT/UT 键进行测定和调整。

⑤ BT 键调整电流强度的方法，先将 5 调节到一较小角度，按下 BT 键，观察电流强度如不足，可松开 BT 键重新调节 BT 键观察，以达到要求的电流强度即可。

3）合理地选择电流档：GL 型继电器的内阻较一般电流继电器大的多的情况，故提高了功率输出，如果在做冲击试验时，发生输出电流不足时，可将接线接至 * 端和 20A 端子上，对 B 型机应接至 * 端和 50A 端子上以提高功率输出，这样 B 型机可满足 GL 型继电器 120A 的冲击电流，A 型机可满足 60A 的冲击电流，但注意此时通电时间一般不得超过 30s。

4. KJTC-Ⅲ（B）型开关机械特性测试仪的使用方法

KJT 开关机械特性测试仪，主要用来对各种高压开关的机械特性参数进行测量和调整，可用于各种电压等级的 SF_6 断路器、多油断路器、少油断路器、真空断路器等高压开关合分闸时的参数进行测试。

（1）测试功能

1）合（分）闸先后顺序：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

2）合（分）闸时间（min）。

3）动触头行程：测 1 个断口（传感器安装断口）（mm）。

4）动触头超行程：测 1 个断口（传感器安装断口）（mm）。

5）合（分）闸不同期：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

6）合（分）闸弹跳时间：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

7）刚合（刚分）闸速度：测 1 个断口（传感器安装断口）（m/s）。

8）合（分）闸最大速度：测 1 个断口（传感器安装断口）（m/s）。

9）合（分）闸平均速度：测 1 个断口（传感器安装断口）（m/s）。

10）主副触头配合时间：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

11）自动重合闸无电流间歇时间：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

12）合分时间（金属短接时间）：同时测 1 ~ 6 个断口（ms）。

（2）主机面板简介

1）塑料机壳双面板型：前面板见图 2-154a，后面板见图 2-154b，左侧面板见图 2-154c

2）铝合金壳单面板型见图 2-155。

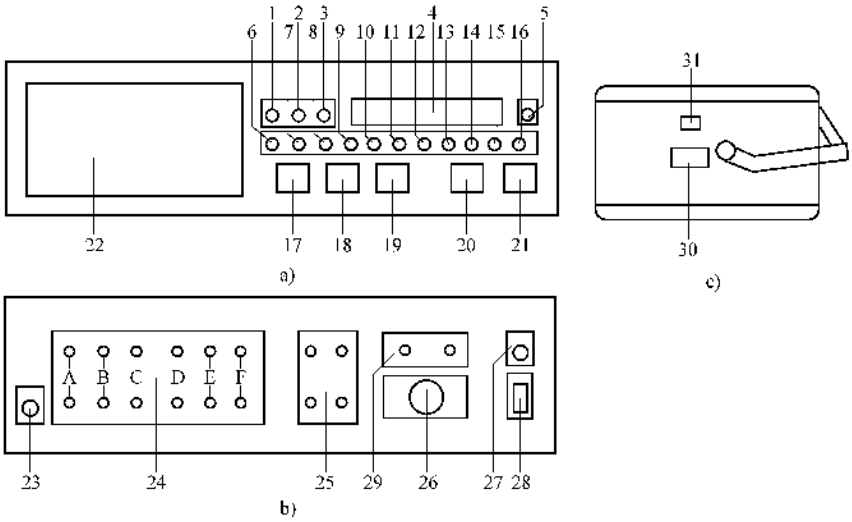


图 2-154　KJTC-Ⅲ型开关机械特性测试仪

a）前面板配置图　b）后面板配置图　c）左侧面板配置图

1—合闸操作参数显示指示灯　2—分闸操作参数显示指示灯　3—重合闸操作参数显示指示灯　4—测试参数数码显示窗　5—电源指示灯　6—不同期显示指示灯（与合分闸顺序共用）　7—分/合闸时间显示指示灯　8—弹跳时间显示指示灯　9—动触头行程显示指示灯　10—接触行程（超程）显示指示灯　11—刚合（刚分）速度显示指示灯　12—最大速度显示指示灯　13—平均速度显示指示灯　14—主副触头配合时间显示指示灯　15—金属短接时间显示指示灯　16—无流（分-合）时间显示指示灯　17—测试数据打印输出键　18—断口电流波形打印输出键　19—A 断口动触头行程特性曲线打印输出键　20—测试数据数码显示选择键　21—数据清除键（复位键）　22—打印机　23—传感器接口　24—断口信号接线柱（A-F）　25—合/分闸操作信号接线柱　26—电源接口　27—熔丝　28—电源开关　29—操动电源输入接线柱（A、B 型机）　30—合/分闸操作选择开关　31—操作键

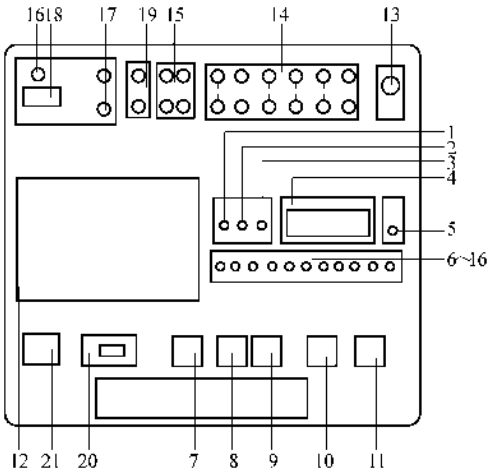


图 2-155　铝合金壳单面板型面板配置图

1—合闸操作参数显示指示灯　2—分闸操作参数显示指示灯　3—重合闸操作参数显示指示灯　4—测试参数数码显示窗　5—电源指示灯　6—测试参数显示指示灯（与图 2-154a 前面板 6～16 功能相同）　7—测试数据打印输出键　8—断口电流波形打印输出键　9—A 断口动触头行程特性曲线打印输出键　10—测试数据数码显示选择键　11—数据清除键（复位键）　12—打印机　13—传感器接口　14—断口信号接线柱（A-F）　15—合/分闸操作信号接线柱　16—电源接口　17—熔丝　18—电源开关　19—操动电源输入接线柱（A、B 型机）　20—合/分闸操作选择开关　21—操作键

3）传感器见图 2-156。

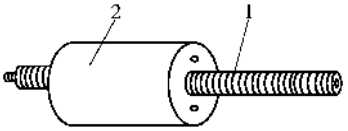


图 2-156　传感器

1—传感器滑标　2—传感器主体

（3）测量线的连接与传感器的安装

1）断口线的连接：该仪器同时可测 6 个断口，仪器 A 断口具有测量行程、超行程和合分闸速度的功能，安装传感器的断口连线必需接到 A 断口上。

2）连线方法：仪器断口连线一般用低阻铜导线。接线方法有以下几种：

①　单断口六线制。将 A、B、C 三相每组两根线分别接在仪器后面板断口信号输入对应的接线柱上。

②　双断口九线制。将 A 相两个静触头线接在仪器断口信号红接线柱 A、B 上，将动触头线接在黑接线柱上，依此类推，B 相两静触头线接仪器红色接线柱 C、D 上，C 相两静触头线接仪器红色接线柱 E、F 上，见图 2-157。

③　单断口四线制。将 A、B、C 三相断口的同一端用导线短接，并将此短接线接到断口信号接线柱

任一黑接线柱上，其余 3 根线接在对应的红色接线柱上，见图 2-158。

④ 双断口七线制。接线同②，只需将三相的动触头线短接后，接在断口信号的黑接线柱上。

⑤ 测试有辅助接点的开关接线方法同①、③接线。

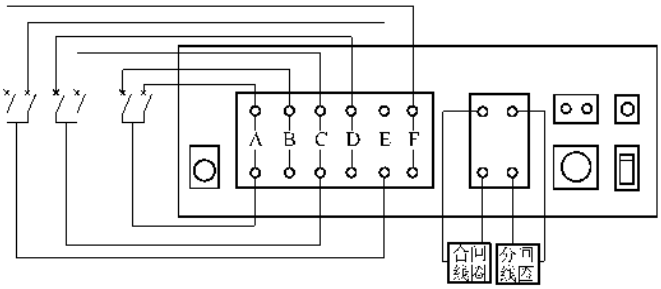


图 2-157 双断口九线制接法

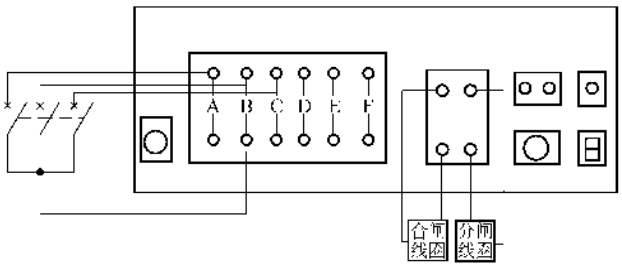


图 2-158 单断口四线制接法

（4）合分闸信号线的连接

1）使用外接操动机构操动开关时，做合闸操作试验时，将合闸线圈与仪器合闸信号接线柱连接；做分闸操作试验时，将分闸线圈与仪器分闸信号柱连接，但不可同时接线。使用电磁操动机构时，合闸线圈接线必须接到接触器线圈上，切勿连到大电流线圈上，以免烧毁仪器。

2）使用仪器操动机构操动开关时，应将高压开关合/分闸线圈“正”端对应接入仪器合/分闸红接线柱（“正”端）上，黑接线柱不需接线，再将开关操动电源（直流 300V）引线接在仪器对应的输入接线柱上，按动仪器操作键，进行操作。如接线均正确，但开关不动作，可采用 1）接线方法，检查仪器显示是否正常，如仪器一切正常，即可检查操动机构熔断器和合分功能开关。上述接线应注意以下几点：

① 输入 100V ~ 300V 红接线柱与合分闸线圈红接线柱保持同名端。

② 使用仪器操动机构时，将开关负电源与合分闸线圈公共端连通。

③ 仪器操动机构电流不可大于 10A。

④ 如开关操动电源是交流，生产厂备有交直流两用操动机构。

（5）重合闸操作接线 开关作重合闸操作试验时，均需另配重合闸操作箱，把共用端与合分闸信号的黑色接线柱并接。

（6）传感器的安装 见图 2-159，不测行程和速度时可不接传感器。

1）传感器安装方法：

① 传感器壳体固定在开关本体上，使其导向孔与开关动触头运动方向保持一致，且同心。

② 滑标穿过传感器壳体导向孔，借助尼龙连接件与动触头连接并保证与动触头做1:1的相对同相运动，除滑标与动触头绝缘外，连接杆应套绝缘管。

③ 传感器信号线插头可靠地插入仪器后面板上传感器插头座内。

④ 传感器与导向孔应保持同心，滑标应分别露在壳体两端面外，支架应固定牢固，传感器壳体与支架应保持绝缘。

2）真空开关传感器安装要求：真空开关的开距小，传感器滑标和开关动触头严格同步运动是确保测量结果精确度的关键，因此对连接开关动触头和传感器滑标的卡具安装要求很严格，必

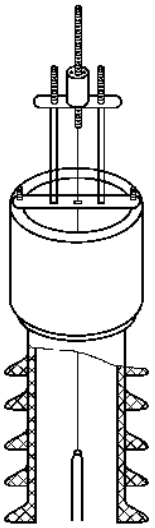


图 2-159 传感器安装

须做到以下几点：

①　滑标轴线和开关动触头运动轴线的平行度小于 0.03。

②　卡具自身水平抖动小于 0.03。

一些不适合安装连接卡具的真空开关，也可采用胶粘、钻固定孔等办法，把传感器滑标和开关动触头连接起来。

（7）操作方法　接线完成后需经非接线人员检查一次，无误后即可操作被测开关一次分（合）动作，便可得到分（合）闸全部数据，并能打印所需的全部数据及断口电流波形和动触头运动曲线，操作简便而宜操作，非常适宜现场试测。

5. 局部放电检测仪的使用

局部放电检测仪，可对电气设备的局部放电量进行测量，以判定电气设备的绝缘状况。JF-2001 型局部放电检测仪，抗干扰能力强，使用方法简便，是一种国内先进的局部放电检测仪器，系统工作原理见图 2-160。

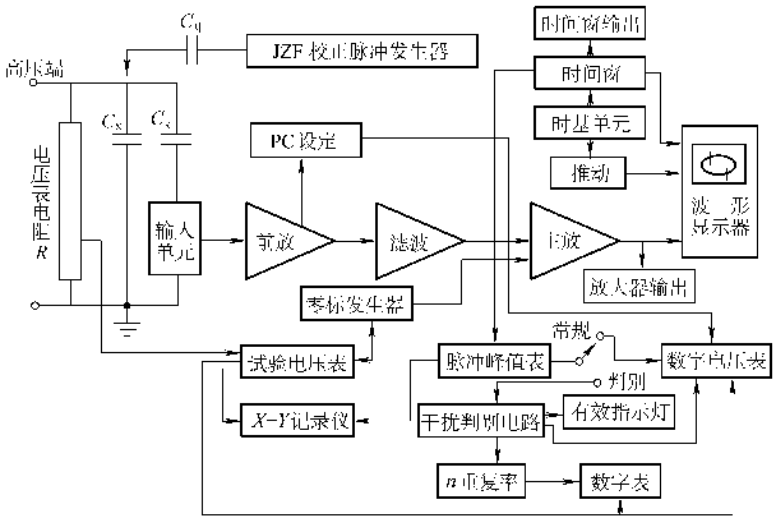


图 2-160　JF-2001 型干扰判别式局部放电仪原理框图

试品 C_x 在试验电压下产生局部放电时，经耦合电容 C_k 产生脉冲电流，由输入单元取得脉冲信号，经低噪声前置放大器放大、滤波放大器选择所需频带及主放大器放大，达到所需幅值与产生零标志脉冲后，在示波屏的椭圆扫描基线上产生可见的放电脉冲，同时也送至脉冲峰值。时间窗单元控制试验电压每一周期内脉冲峰值表的工作相位区间；并在这段相位区间内将示波屏的相应显示区加亮。它可以消除固定相位的干扰，这是常规的放电量测试方法。

工作方式置于干扰“判别”位置时，脉冲峰值表的输出送至干扰判别逻辑电路与供用户调定的阈电平（设置的 PC 门槛电平值）比较，如此阈电平高且能持续四个试验周期，则产生一脉冲使“有效”指示灯亮，可借此消除偶发的外干扰。同时，将超过阈电平的脉冲送入放电重复率测量电路，由数字电表指示放电量超过预设 PC 门槛电平的放电重复率 n。

JZF 型校正脉冲发生器注入试器 C_x 为已知电量时，调节 PC 设定装置及放大器放细调旋钮使数字表显示 PC 数（包括小数点）与注入电量一致，就可以在加电压试验时直接在数字电压表上读出被测放电量，无须任何计算，十分方便。

试验电压表经电容式输入单元产生试验电压过零标志信号，可在示波屏上显示零标志脉冲，试验电压大小可由数字电压表指示。

脉冲峰值表与试验电压表的输出可分别接至 X-Y 记录仪以供作 Q-U 与 Q-t 曲线。

6. HYBL 型氧化锌避雷器测试仪的使用

氧化锌避雷器测试仪可在现场或实验室内对氧化锌避雷器的各项参数进行测试。HYBL 型氧化锌避雷器测试仪，具有抗干扰能力强、测量准确可靠、智能化操作等优点，使用非常方便。其面板布置见图 2-161。

（1）现场带电测试　现场带电检测应按图 2-162 所示方式接线。开机前将仪器的地线与现场地线接好，电压互感器的二次信号接仪器的“电压信号输入”端子，由避雷器计数器两端取出的信号接仪器的“电流信号输入”端子。仪器可精确测量计数器本身的电阻值，因此不必担心由于计数器的分流作用使得测量产生误差。合上电源开关，即可测得数值。

（2）实验室离线测试　实验室离线检测，则按图

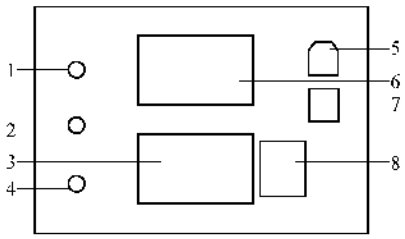


图 2-161 仪器面板示意图

1—安全接地端 2—电压信号输入端 3—大屏幕液晶显示器 4—电流信号输入端 5—电源插座 6—微型打印机 7—电源开关 8—触摸键盘区

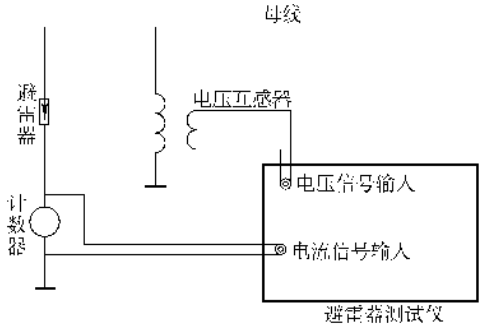


图 2-162 在线检测接线图

2-163 所示方式接线。开机前首先将仪器接地端与实验室地线连接，然后将高压试验变压器的测量端引入仪器的“电压信号输入”端子，避雷器经“电流信号输入”端接地，合上电源开关，即可测得数值。

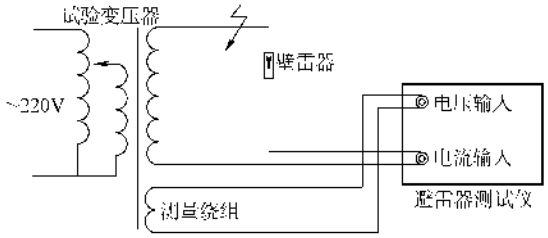


图 2-163 离线检测接线图

7. DWR-Ⅲ型接地网接地电阻测试仪的使用及注意事项

DWR-Ⅲ型接地电阻测试仪，是可测变电站地网、水电厂、火电厂、微波站、避雷针接地电阻的多用机型。该仪器采用了新型异频交流电源，并采用了微处理机控制和信号处理等措施，很好地解决了测试过程中的抗干扰问题。同时简化了试验操作过程，提高了测试结果的精度和准确性。

DWR-Ⅲ型接地电阻测试仪要求：

测量电流线：长度为地网对角线长度的 4～5 倍；线径≥1.5mm。

测量电压线：长度为 0.618L（L 为电线长度）；线径≥0.8mm。

该表使用时需用 220V 交流电源，因此在没有电源的地方使用受到了限制。如需使用，需配置逆变电源。

（1）测试操作及步骤 测试接线见图 2-164。

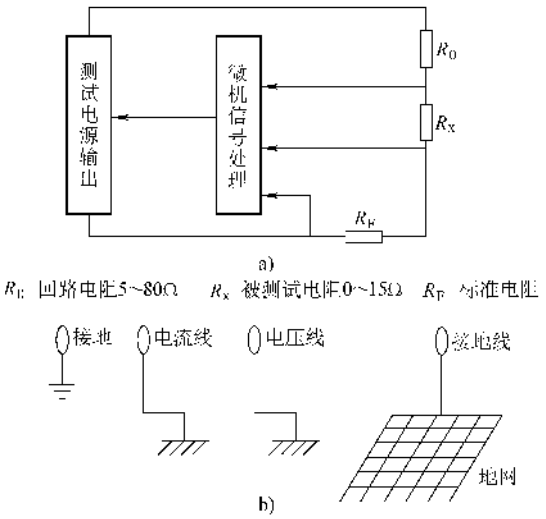


图 2-164 测试接线

1）检查用于试验的电流线、电压线和地网线是否有断路现象，地桩上的铁锈是否清除干净，其埋进深度是否合适（>0.5m），同时检查测试线与地桩的连接是否可靠。

2）电流测试线与电压测试线的长度比为1∶0.618，电流测试的长度应是地网对角线的 4～5 倍。

3）电流测试线和电压测试线按规定的长度将一端与仪器相接后平行放出。另一端分别接在两支地桩上，见图 2-164。

4）将已放好的测试线再检查测量一遍，确认完好再进行测试。

5）检查连线无误后，方可给仪器接通 AC220V/50Hz 电源。

6）按测量键，开始测量，这时液晶屏显示“正在测试，请等待”。

7）仪器显示测试结果后，记录测试数据。

8）关掉仪器电源，拆除连线，测试过程结果。

（2）测试过程仪器自诊断说明

1）仪器显示“回路电阻偏大”，则说明“电流线”连线与“电流极”地桩接触不良或地桩太少，需要增加地桩，减少电阻。地桩深度不少于 0.5m。

2）仪表显示“接地线”，说明与地网接地点接触不良，应除铁锈。

3）仪器显示“超过量程”，即为地网电阻大于15Ω。

4）仪器显示“接线错误”，即为“电流极”线未接上。

5）若仪器显示的测量值极低（<0.01Ω），则可能是电压线未连上。

（3）注意事项

1）测试前请先用万用表检查测试导线与地桩的接触点是否完好，并测量已放好的线是否有断路现象。

2）地网极测试线连接不同位置的地桩时，所测的地网阻值会产生变化，此时应将所测的电阻值减去测试线增加部分的电阻值，即为实际阻值。

8. ZGF 和 GFC 型直流高压发生器的使用及注意事项

直流高压发生器是对电气设备进行直流耐压试验和直流泄漏电流测量时必需的测试设备。它将工频交流电压变为电压值可调的直流负高压，以供试验时使用，代替旧式的静电高压发生器。

（1）使用前的准备和检查　按图 2-165 示意连接好该仪器和被试品，用户必要时可在高压箱的输出端串入自控微安表，具体连接方法见图 2-166。

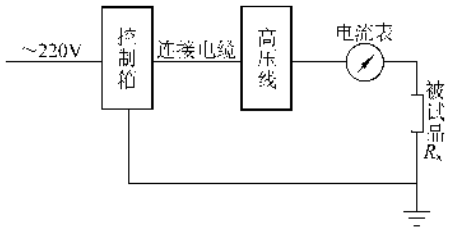


图 2-165　试验接线图

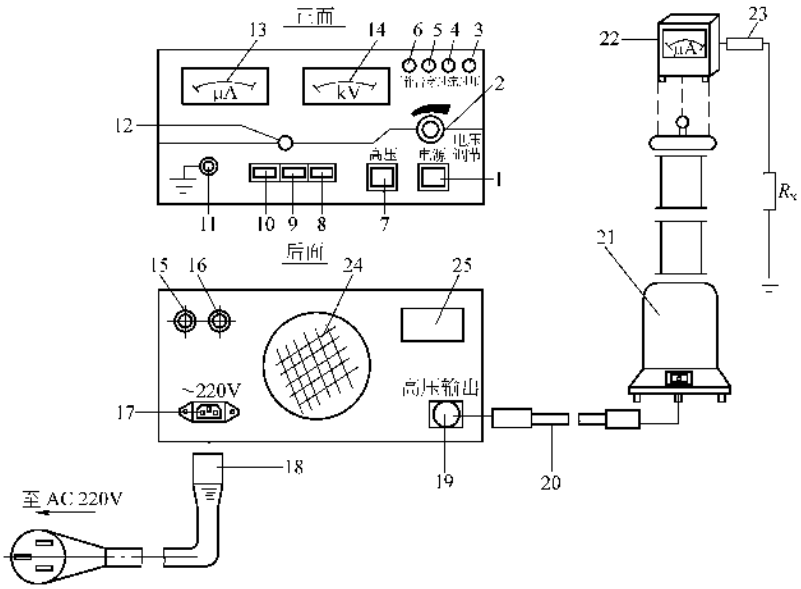


图 2-166　仪器结构图示说明

1—电源开关　2—电压调节旋钮　3—过电压指示灯　4—过电流指示灯　5—击穿指示灯　6—工作指示灯　7—高压开关　8—电压指示换档开关　9—电流指示换档开关　10—电流表短路开关　11—接地端子　12—过电压预置调节旋钮　13—电流表　14—电压表　15—直流熔丝座　16—交流熔丝座　17—电源输入插座　18—电源电缆　19—高压输出插座　20—高低压箱连接电缆　21—高压箱　22—高压侧电流表（微安表）　23—微安表插头开关及测试线　24—轴流风扇　25—出厂铭牌

开机前应确认控制箱的地线是否牢靠接地，高压箱距操作者和周围可传导设备的距离是否达到安全距离的要求。

（2）操作程序

1）开机前，先检查“电压调节”旋钮是否归在零位，然后开启“电源开关”，此时工作灯亮，之后再开启“高压开关”，缓慢调节升压旋钮，一般在归零位置后右旋 1 圈左右即有电压输出，即可将输出电压升至所需值，升压过程中可监视电压表和电流表读数，根据情况可随时换档，读取电压值和电流值，待试验结束后将“电压调节”旋钮归零，然后依次关掉“高压开关”和“电源开关”，放电后拆除高压引

线进行下一次试验。

2）“过电压预置”的操作方法：先按图 2-166 连接好系统，但必须将图 2-166 中 R_x 取掉后，按 1）项进行操作，当电压升至所需保护值时，用螺钉旋具缓慢左旋过电压预置电位器，使其产生光电报警，然后关掉“高压开关”和“电源开关”，并将“电压调节”旋钮归零，之后再重新按 1）项进行升压操作，确认是否在保护电压下动作。确认后，再将试品 R_x 接入，按 1）项对试品进行正常的耐压或泄漏试验。一般条件下要高于试品实际的试验电压，防止试验时保护动作而影响试品的正常试验。

（3）注意事项

1）绝不允许仪器开启“电源开关”后，在有声光报警的情况下，开启“高压开关”。

2）启动时，在“电压调节”旋钮归零后，先按“电源开关”，正常后再按“高压开关”。

3）遵守电工高压作业安全技术规程。

9. SB2204 型智能介质损耗测试仪及使用和注意事项

智能介质损耗测试仪能够自动测量绝缘体的介质损耗和电容值，并且能够以数字的形式自动显示测量结果。用于在工频高压下测量各种变压器、互感器、电容器、电力电缆、绝缘套管、高压设备及各种绝缘材料的介质损耗和电容值。可以测量两个电极与地绝缘的试品，也可测量一极接地的试品。操作简单、使用方便、读数直观、不需换算和抗干扰能力强等。仪器的前面板和后面板见图 2-167。

高压导电插孔 1 用于选择所需要的输出电压。将导电杆插入相应的插孔内，即可得到所需的输出电压。

tanδ 值显示窗 2 以四位 LED 显示 tanδ 测量值的百分数。

电容量显示窗 3 以六位 LED 显示电容测量值。其中，前四位显示电容测量值，后两位为电容量的单位。

电压倍率开关 5 用于控制高压输出和改变输出电压的倍率：

当开关置于“关”时，仪器无高压输出；

当开关置于“开”时，仪器有高压输出；

当开关置于“×0.5”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示值×0.5；

当开关置于“×0.75”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示值×0.75；

当开关置于“×1”时，输出电压为高压导电杆插孔相应指示值×1。

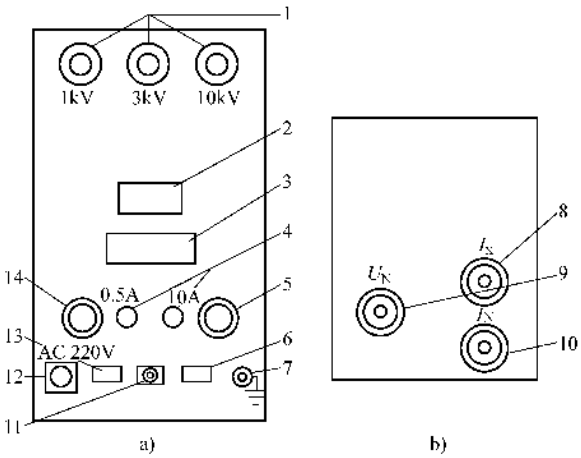


图 2-167 SB2204 型智能介质损耗测试仪

a）面板配置 b）后板配置

1—高压导电插孔 2—tanδ 值显示窗 3—电容量显示窗 4—熔丝 5—电压倍率开关 6—启动按钮 7—接地端子 8—被试电流输入端 9—电压输入端 10—标准电流输入端 11—蜂鸣器 12—电源输入插座 13—电源开关 14—工作方式选择开关

启动按钮 6 为测量控制按钮，按下该按钮，开始测量；弹起该钮，停止测量。

接地端子 7 为接地用，仪器使用前，应将该端子可靠接地。

被试电流输入端 8 为被试品的电流输入端，被试品的一端用专用电缆接到该端子，另一端接到电压输出端。

电压输入端 9 为升压装置的高压输出端，使用时应根据不同的接线方式与被试品的不同部位进行连接。

标准电流输入端 10 当使用外接标准电容器进行测量时，将测量电缆的一端接标准电容，另一端接入此端。

蜂鸣器 11 为提示和告警用。

电源开关 13 是负责控制电路和显示电路的通断，按下为开，弹起为关。

工作方式开关 14 是根据不同的测量对象和测量需要，用以选择不同的测量方式。

（1）正接线法

1）先将仪器的接地端子 7 可靠接地，然后将电压倍率开关 5 置于“关”的位置，拔出高压导电杆。再将“U_H”端子 9 用专用测试电缆接至被试品高压端；“I_x”端子 8 用专用测试电缆接到被试品的低压端，电缆的芯线接被试品，屏蔽“E”必须接地。被试品低压端如有屏蔽端子，必须将该端子“E”连接

后再可靠接地，见图 2-168。

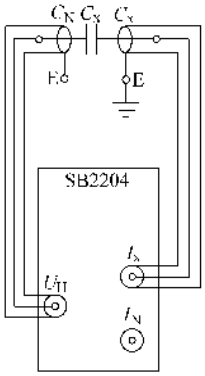


图 2-168　正接线法

2）将工作方式开关 14 置于“正接”位置，将高压导电杆插入相应电压的插孔内，电压倍率开关置于所需位置，按下电源开关 13，仪器的显示窗口全部显示“8”后，在 tanδ 显示窗显示“SC”，表示仪器进入自检状态。自检通过后，在电容显示窗首先显示“Good”，继而显示“SB2204”。

3）按下启动按钮 6，仪器进入测量状态，蜂鸣器发出短信号，提示高压将产生，仪器进入倒计时，显示窗口依次显示“3”、“2”、“1”。倒计时结束，蜂鸣器 11 发出长信号，显示窗口显示闪烁的“ON”字样，表示高压已经加到被试品。30s 后，“ON”字样消失，然后，蜂鸣器提示测量结束。仪器分别在 tanδ 显示窗口 2 和电容显示窗口 3 显示测量结果，同时高压自动下降，测量结束。最后断开启动按钮，将电压倍率开关置于“关”的位置，拔出高压导电杆，准备下次测量。

4）当仪器显示“UnLo”时，则表示标准侧轻载；仪器如显示“UnHi”，则表示标准侧过载。如显示“UoLo”，则表示被试侧轻载；显示“UoHo”，则表示被试侧过载。如显示“SC-Error”，则提示仪器自检未通过，表示仪器内部发生故障。

在测量状态下，如需退出测量，可按下启动按钮 6，即退出测量。

（2）反接线法

1）同样须将仪器的接地端子可靠接地。然后将电压倍率开关置于“关”的位置，拔出高压导电杆。再将“U_H”端子用专用测试电缆接地；“I_x”端子用专用测试电缆接到被试品的高压端，电缆的芯线接被试品，屏蔽“E”悬空或接到被试品高压端的屏蔽，被试品低压端接地，见图 2-169。

2）将工作方式开关置于“反接”位置，将高压导电杆插入相应电压的插孔内，电压倍率开关置于所

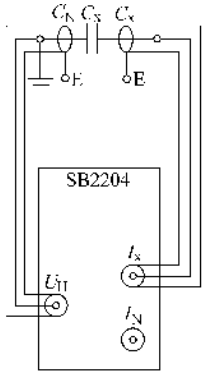


图 2-169　反接线法

需位置，按下电源开关 13 仪器的显示窗口全部显示“8”后，在 tanδ 显示窗显示“SC”，表示仪器进入自检状态。自检通过后，在电容显示窗首先显示“Good”，继而显示“SB2204”。

3）按下启动按钮，仪器进入测量状态，蜂鸣器发出短信号，提示高压即将产生，仪器进入倒计时，显示窗口依次显示“3”、“2”、“1”。倒计时结束，蜂鸣器发出长信号，显示窗口显示闪烁的“ON”字样，表示高压已经加到被试品。30s 后，“ON”字样消失，然后蜂鸣器提示测量结束。仪器分别在 tanδ 显示窗口和电容显示窗口显示测量结果，同时高压自动下降，测量结束。然后断开启动按钮，将电压倍率开关置于“关”的位置，拔出高压导电杆，准备下次测量。

（3）外接高压法　被试品的电容量较大时，仪器内升压装置的输出电流和输出能力不能满足测量需要时，可外接一台容量较大的升压装置以产生高压进行测量，使用外接高压法进行测量时必须将高压导电杆拔出。

1）将工作方式开关置于“外接”，电压倍率开关置于“关”的位置，按下仪器的电源开关接通电源，仪器自检后显示“SB2204”，此时，将外接高压发生器升压至测试所需电压，按下启动按钮，仪器开始测量。当测量过程中显示屏显示“HU-OFF”时，将外接高压发生器产生的高压降为 0V，然后等待仪器继续进行测量。测量结束，显示屏显示测量结果。

2）使用外接高压法进行测量时，其“正接线法”和“反接线法”的接线图见图 2-170a、b。

3）使用外接标准电容进行测量时，可将外接标准电容的一端接到 I_N 端子上，另一端接到 U_H 端子上。

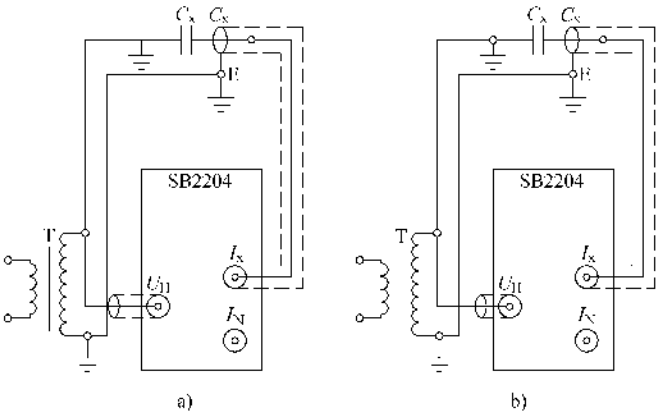


图 2-170 外接高压法

a）正接线 b）反接线

（4）注意事项

1）使用前，应将仪器的接地端子可靠接地，以确保测量的准确和测量人员的安全。

2）仪器在测量时，严禁操作除“启动按钮”外的其他任何开关、按钮，更不得移动高压导电杆。高压导电杆使用时必须插到底。拔、插高压导电杆时，必须将电压倍率开关置于“关”的位置。

3）必须使用仪器所附专用测量电缆进行测量，以确保测量准确度。

4）遵守安全操作规程，当仪器使用完毕，首先切断电源，将“倍率开关”置于“关”的位置，用放电棒将被试品充分放电，然后拔出导电杆，拆去连接仪器和被试品的导线，再拆除仪器设备的接地，最后将仪器放入箱内。

10. GZ-8 型智能高压绝缘电阻表及使用

GZ-8 型智能高压绝缘电阻表，可用于现场调试和运行维护时测量高压电气设备的绝缘电阻、吸收比和极化系数，适用电力变压器、电动机和发电机、高压开关、避雷器、高压电缆等设备，体积小、携带方便、操作简单、显示直观稳定、数据准确度高。

技术指标

测试电源：额定电压 2500～5000V（1±5%）

测量范围：4～200000MΩ

测量准确度：量程 5～50000MΩ 时，±5%

量程 50000～200000MΩ 时，±10%

测量方式：连续测量 数据采样 4 次/s，示值更新 1 次/s，实时显示被测电阻值

吸收比 保持每 15s 的测量电阻值，保持时间 7s；1min 时高压自动消失，鸣叫 8s 后显示试品吸收比值

极化系数 保持每 15s 的测量电阻值，保持时间 7s；10min 时高压自动消失，鸣叫 8s 后显示试品极化系数值

显示方式：3½位液晶显示被测电阻值、吸收比或极化系数，3½位液晶显示分、秒

负荷能力：当高压测试电源 LG 端钮外接负荷下降至 20MΩ 时，测试电压变化率≤5%

短路保护：当试品电阻值≤4MΩ 时，延时 5s 后直流测试高压自行消失，25～30s 后自动关机

电压纹波：测试电压纹波含量≤5%

计时报时：开机测量瞬间开始计时并显示时间，每 15s 短促音响报时一次

测试能力：可以测量纯阻性和容性分量≤2.1μF 的试品，仪表惯性网络延时≤4s

对单位电容的充电时间≤7.2s/μF

对单位电容的放电时间≤60s/μF

仪表端钮短路电流值≥2mA（5000V 时）

绝缘：仪表本体与交流电源一次引线之间的绝缘电阻值≥50MΩ

耐压：仪表 L 端钮与 E、G 端钮之间耐受 50Hz 正弦波 6kV/1min 试验电压

供电方式：交流 220（1±10%）V，≤50mA

直流 12（1±10%）V，≤350mA

（1）使用时应将 GZ-8 型高压绝缘电阻表为水平放置，打开箱盖接好连线并接通电源即可。两显示屏

置于仪表面板显要位置，左屏显示时间，右屏显示测量结果，显示值乘100为试品的绝缘电阻值。

（2）GZ-8型智能高压绝缘电阻表采用了低电位屏蔽结构方式，仪表测量电路输入端钮E接地；L端钮接试品，输出2.5kV或5kV负高压；测量电路地和测试高压正端接G端钮，用作试品表面漏电流屏蔽，电位等于接近于零的负低电位。现场测量时，由于测量线屏蔽层的电位低，即使外包屏蔽和塑套的测量线拖地，屏蔽层对地也不致达到放电或强烈泄漏的条件，避免G、E端钮间构成旁路，改变采样电路参数，影响示值准确度。

（3）仪表对试品有较高的充电能力，电压上升速度快，允许接线后开机，仍可保证吸收比和极化系数的读测准确度，并避免测试人员带电操作，确保人身安全。仪表有较强的抗反充电能力，允许先关机后拆线。

（4）使用时必须被测件断开电源并充分放电后测量，绝不允许在仪表工作时将L端钮与G端钮短接。

11. SB2230型直流数字电阻测试仪的使用及注意事项

SB2230型直流数字电阻测试仪是由CMOS大规模集成电路组成的4½位便携式数字仪表，测量结果用5位LED显示，可用作为1μV～2V的电压测量，还可用来测试小型电机、变压器的绕组电阻等。SB2230电阻测试仪很方便。前后面板示意图见图2-171。

使用时，先将测量参数及其量程选定，然后调整量程并直接拨到测量位置。将表针插入测量孔内，测量电压则将表笔插入$V_{Ⅰ}$、$V_{Ⅱ}$孔，测量电阻则将表笔插入$R_{Ⅰ}$、$R_{Ⅱ}$孔，再将表笔触及测量位置即可从显示屏幕上读到被测数值。

使用时应注意以下几点：

1）接通电源预热60s即可进行测量。

2）仪器经过剧烈的环境条件变化或长期不使用，在首次使用时应通电3～4h，以便驱除潮气，保证正常使用。

3）测量过程中应一直注意量程范围。

4）测量电压须将两表笔并联在被测的两个点上或接线柱上。

5）测量电阻时至少应将被测元件的一端与原系统断开。

6）测量时必须先将被测件断电，并充分放电。

12. MD911-Ⅳ型电缆故障测试仪的使用

电缆故障测试仪，一般采用脉冲法、闪络法对各种型号电缆的开路故障、短路故障、低阻故障、泄漏性高阻故障、闪络性高阻故障进行测试。

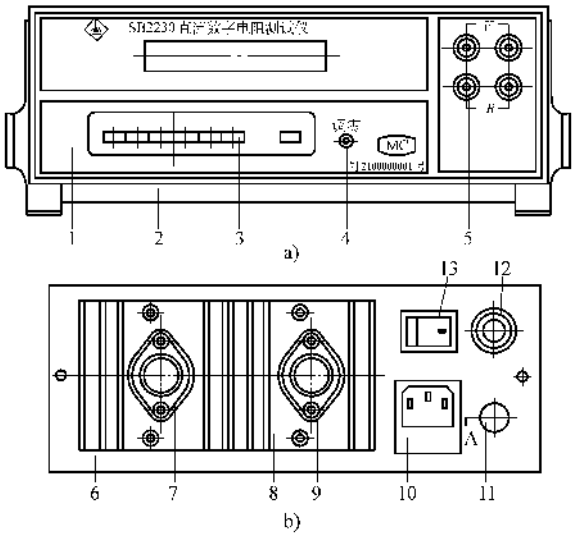


图2-171　SB2230直流数字电阻测试仪

a）仪表面板　b）仪表后板

1—面板　2—外壳　3—量程开关　4—调零电位器　5—输入插孔　6—后面板　7—大功率晶体管　8—散热件　9—稳压器　10—电源插座（带0.5A熔丝）　11—接地柱　12—插座　13—电源开关

（1）整机的操作流程　见图2-172。

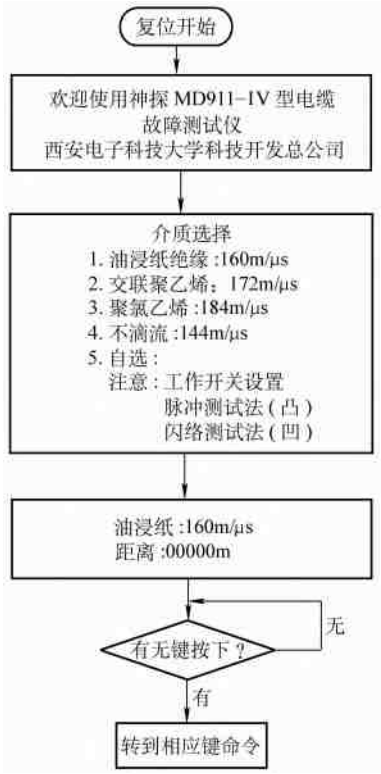


图2-172　操作流程框图

开机加电自动复位或 RESET 复位。

显示本机型号和生产单位，按任意功能键进入菜单选择。

进入速度选择菜单，根据不同介质按 1 至 5 数字任意键。工作种类开关的预置：脉冲测试法（凸）或闪络测试法（凹）。

油浸纸电缆按数字键 1，显示屏出现 *X-Y* 坐标，在左上角显示油浸 160m/μs。屏幕下面显示距离 00000m，主机处于等待状态。

无功能键按下，返回到显示 *X-Y* 坐标；有功能键按下，转到相应键盘命令操作。

（2）主机面板上的键盘和开关旋钮　见图 2-173。

面板设有 16 个功能键，属于双功能键一键多用。两个专用命令键，即复位键和采样准备键。两个按键式开关，一个管工作方式，另一个管输出脉冲宽度。还有电源开关、亮度旋钮、幅度旋钮、垂直位移旋钮及电源指示灯泡。

低压脉冲测试法主要用于测试电缆的全长、短路故障、开路故障、低阻故障、电波测速及电缆中间的接头。而对于高阻闪络性故障和高阻泄漏性故障采用闪络测试法。

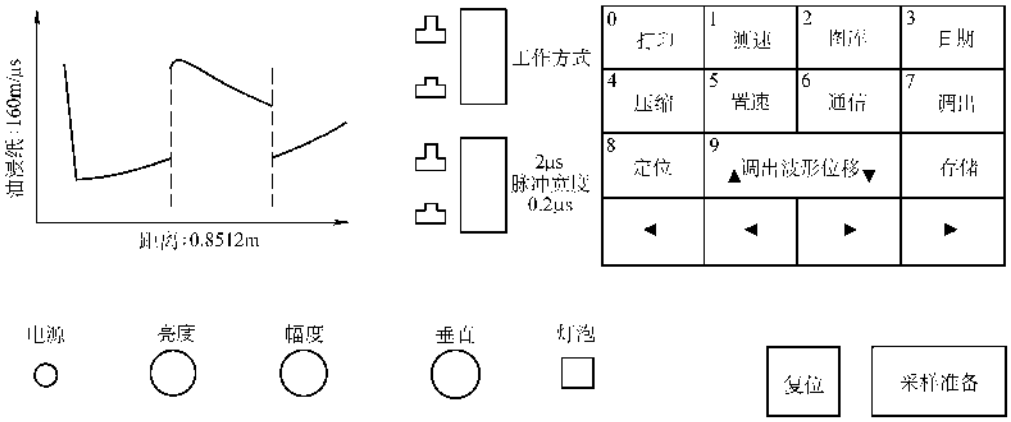


图 2-173　主机面板

13. 双钳相位伏安表

双钳相位伏安表可以测量 0～500V 交流电压及 0～10A 的交流电流；而且可以在两电压之间（0～500V）、两电流之间（0.1～20A）的范围内，测量两电压、两电流间和电压与电流间的相位。ZD8066B 型双钳相位伏安表还可测交流电压与电流有效值的频率。间接测量电路的功率因数和功率；用于二次电路、继电器控制线路及电能表线路的电器参数测量；可对三相相序、变压器联结组标号，以及感性、容性电路进行判别，是进行二次电路检查的常用仪表。

因为该表有两个钳形口，故称双钳，实际上该表是采用了先进数字电子技术及测量技术，将常用的钳形电流表、万用表及测量仪器结合在一体的便携式仪表，其基本工作条件见表 2-70。

表 2-70　双钳相位伏安表的基准工作条件与工作条件

工作条件 / 使用环境及参数	基准工作条件		工作条件		备　注
环境温度	21℃±1℃		0～40℃		
环境湿度	≤60%		≤80%		
信号波形	正弦波		正弦波		$B=0.05$
信号频率	50Hz±1Hz		45～55Hz		对相位测量有影响
信号幅值	电压	100V±5V	电压	15～500V	1. A、A-1、B 型表电流幅值为 0.1～10A 2. C 型表电流幅值为 0.02～10A
	电流	1A±0.1A	电流	见备注	

（续）

工作条件 / 使用环境及参数	基准工作条件	工作条件	备　注
导线在钳口中位置	中心位置	任意位置	
工作电源	9V ±0.1V	9V ±1V	

（1）面板说明

1）液晶显示器：具有3½位数字显示，最大示值1999（相位显示0°～360°），超量程时最高位显示“1”；B型表为双液晶，显示最大示值5999（频率）和1999。

2）两路电压、电流输入端在显示器的两侧上端，插口和接线柱分别标有 I_1、U_1 和 I_2、U_2 字符。

3）面板下边一排开关键，标注符号 φ、U_1、I_1、U_2、I_2 为功能键。按下 U_1（或 U_2）键时，测量输入端 U_1（或 U_2）电压值；按下 I_1（或 I_2）键时，电流输入插孔 I_1（或 I_2）通过连接线接测量钳，对线路中的电流进行在线测量。按下 φ 键时，测量输入端 U_2 或 I_2 对 U_1 或 I_1 的滞后角。下边一排中间3个键标注：电压、电流量程、量程开关键。按下 U_1 或 U_2 键时，表示电压量程。按下 I_1 或 I_2 键时，表示电流量程。电源开关键在右下角。

（2）测量相位　按下电源开关键接通电源。

由 U_1（或 I_1）和 U_2（或 I_2）输入两个信号，按下 φ 键，当两路电压信号从两路电压输入接线柱（U_1 与 U_2）输入时，按下 U_1、U_2 键，显示器示值为两路电压之间的相位。当两路电流信号从两路输入插孔（I_1 与 I_2）经卡钳输入时，按下 I_1、I_2 键，显示器示值为两路电流之间的相位。如从两路分别输入电压和电流（U_1 或 I_1 与 U_2 或 I_2）信号，按下相应的 U_1 或 I_1 与 U_2 或 I_2 功能键，则显示器示值为电压（或电流）和电流（或电压）之间的相位。不论在哪种情况下所测得的相位均为1路信号超前2路信号的相位。

（3）测量幅值　测量电压、电流的幅值时，只能从 U_1 和 I_1 一路输入端输入；ZD8066A-1、B、C型均可两路输入。

测量电流幅值，规定使用标有 U_1 符号的卡钳。用电流专用线将测量钳与本仪器连接好，先将 φ 键弹起，按下功能键 I_1（或 I_2）选择适当的量程，测量钳通过连接线插入 I_1（或 I_2）插孔，由相应的输入端输入电流信号，显示器示值为被测电流幅值。在测量过程中，需更换量程时，务必先将测量钳从被测线路中移去，也可先按下 φ 键，紧接着更换量程键，然后再次按下 I_1（或 I_2）键进行测量。

电压幅值测量，按下功能键 U_1（或 U_2）选择适当量程，被测电压接输入端 U_1（或 U_2）即显示被测电压幅值。

（4）测量频率　功能分为两档20.00～59.99Hz/599.9Hz，通过开关更换档位。先选择好被测信号频率大约范围，当被测量端（电压或电流）加入被测信号后，被测信号的频率则在第二块液晶上直接显示出来。

（5）测量功率因数及功率　按以上方法测得线路 U_1 及其相位 φ 后，再由 $\cos\varphi$ 得出该线路所对应的功率因数，线路有功功率由公式 $P = UI\cos\varphi$ 计算得出。如果线路由对称三相交流电路供电，则功率由 $P = 3U_{相} I_{相} \cos\varphi$ 或 $P = \sqrt{3}U_{线} I_{线} \cos\varphi$ 计算出相应有功功率。如该线路由不对称三相交流电路供电，则所测有功功率 P 应为三相有功功率之和即 $P = P_A + P_B + P_C$。

（6）判别感性电路、容性电路　按下 φ 键，将被测电路的电压信号从 U_1 输入端输入，电流信号经卡钳从 I_2 插孔输入，若测得相位小于90℃，则电路为感性；大于270°则电路为容性。如果电路信号经卡钳从 I_1 输入，电压信号由 U_2 输入端输入，即测得的相位大于270°时，则电路为感性，小于90°时电路为容性。

（7）测量三相电压相序　按下 φ 键，将电压 U_{AB}（或 I_{AO}）从 U_1（或 I_1 插孔）端输入，U_{BC}（或 U_{BO}）从 U_2 端输入，测量其相位，如 $\varphi = 120°$ 时，为正相序；当 $\varphi = 240°$ 时，则为逆相序。

（8）检查变压器联结组标号　变压器一般采用Yy、Yd、YNd三种联结。当采用Yy联结时，U_{AB} 与 U_{ab} 同相，其相位为0°或360°；当采用Yd或YNd联结时，U_{ab} 超前 U_{AB} 30°。通过测量两电压间的相位，即可检查出变压器的联结组标号。

（9）分析三相二元件有功电能表接线　三相二元件有功电能表在安装时，由于电流和电压互感器的接入，7条入线以及考虑电流线圈的极性和三相电压的相序，其接线方法可组成48种，其中只有两种是正确的。用本表可不必拆开回路就能方便地直接读出相

位关系，确定接线对否。实测方法是将电压信号引入 U_1 输入端，电流信号引入 I_2 电流插孔，测得 U_{AB} 超前 I_A 的相位为 φ_2，U_{CB} 超前 I_C 的相位为 φ_1，如果 $|\varphi_2-\varphi_1|=300°$，则接线正确。

（10）估算电能表运行的快慢　电能表在实际运行中有快有慢，用本表在现场不需拆线可实测电路中电压与电流的幅值和其间的相位。计算功率根据公式 $T=3600n/NP$（N 为电能表常数，n 为设定转数，P 为功率；T 为理论时间），设定转数 n 由公式计算出，转过 n 的理论时间 T 用秒表测出，转过 n 转所用的实际时间为 t，比较 T 与 t，可知电能表运行的快慢。

（11）注意事项

1）电池的更换：当显示屏左上角显示字符“LOW BAT”时，表示电池电压不足，需更换电池。更换电池须打开仪表后面板的电池盒盖即可更换。

2）卡钳的专用性：

①　每台仪器所配两把卡钳仅限本台仪表使用，不可将一台表的卡钳与另一台表卡钳调换使用。

②　进行相位测量时，应注意被测信号输入、输出的方向，电压信号从面板上红色接线柱一端输入，电流则应从卡钳带红“·”标志一侧输入。

③　本仪表供二次电路和低压电路检测，不能用于测量高压（1kV 以上）线路中的电流，以防通过卡钳触电。

3）仪表的保养：

①　测量前应通电预热 3～5min，以保证测量精度，测量完后应关闭电源，以延长电池寿命。

②　仪表长期不用时，应在卡钳的钳口张合处涂仪表脂，以防生锈。

4）使用时必须遵守安全操作规程。

14. UT 系列数字钳形表

UT 系列数字钳形表采用数字电子技术，比传统钳形表（只能测量交流电压、电流）有绝大的优越性，该表可用于测量交直流电压、交流电流、电阻、二极管、电路通断、电容、频率/占空比或温度。

（1）仪表外形　见图 2-174。

（2）显示符号内容　见表 2-71。

UT 系列钳形表的使用与普通钳形表的使用基本相同，表笔的插入与万用表基本相同。

（3）注意事项

1）使用前，必须检查仪表及表笔，谨防任何损坏或不正常的现象。发现任何异常情况，如表笔裸露、机壳破损、液晶显示器无显示等，不得进行使用。严禁使用没有后盖和后盖没有盖好的仪表，否则有电击危险。

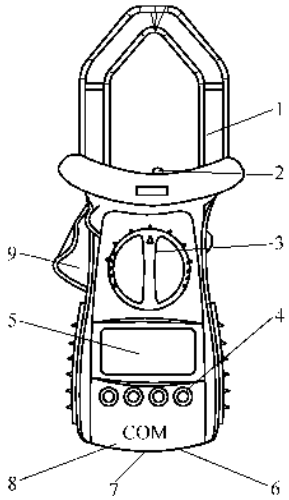
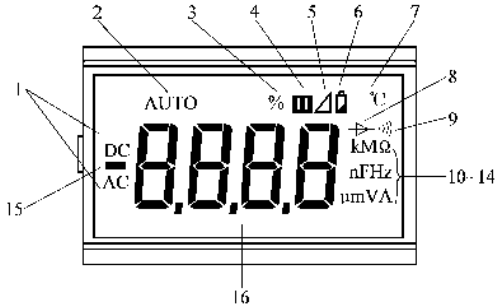


图 2-174　数字钳形表外形

1—交流电流钳头（用于检测交流电流）2—钳口照明灯　3—功能量程开关（用于选择各种功能和量程）　4—按键开关（用于选择各种功能）　5—LCD 显示器　6—V 插孔（测量电压时的正极输入端，插入红表笔）7—COM 插孔（负极输入端，插入黑表笔）8—分类插孔（测量电阻、二极管、电路通断、电容、温度或频率/占空比时的正极输入端，插入红表笔）　9—扳机（按下扳机，钳头张开，同时钳口照明灯自动点亮；松开扳机，钳头合拢，照明灯熄灭）

表 2-71　显示符号



显示符号说明

序号	符号	说　　明
1	AC. DC	直流、交流信号测量
2	AUTO	自动量程
3	%	占空比测量
4		数据保持

（续）

序号	符号	说　　明
5		相对值测量
6		电池电量不足
7	℃	温度测试 （自带温度探头）
8		

率选择天线，并将其调节到相应的长度上。长度的确定是与频率对应的，只要将拉杆天线拉到所要测量的频率上，即是天线所需要的长度。RR3 场强仪配有四副对称偶极子天线，测量频率为 28 ~ 500MHz，可测量 1 ~ 15 频道的场强；同样，RR8 场强仪也配有对称偶极子天线，测量频率为 470 ~ 1000MHz，可测量 UHF 频段的各频道。RR8 场强仪与 RR3 场强仪的使用方法基本相同。

（2）组装天线，把选好且拉长的天线拧在支撑杆顶上的阻抗变换器上。

（3）用带有高频插头的同轴电缆将天线的阻抗变换器与仪器的天线插孔连接起来，连接时应检查其插入是否紧密可靠、不得松动。

（4）将组装好的天线杆与三角支架连接起来，其天线总高度应大于 3.5m。组装好的天线及场强仪的连接如图 2-175 所示。

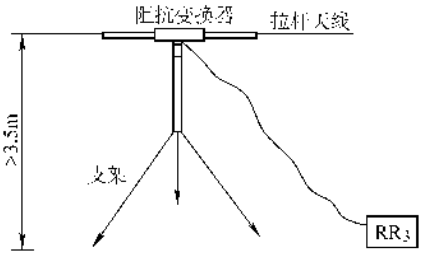


图 2-175　组装好的天线及场强仪示意图

（5）将场强仪的电源接好，同时检查表的指针是否在零位，否则应进行调整。将电源开关打在“直流”档上，按下“检查电源”按钮，看表的指针是否进入红线区，是否应充电。

（6）校准仪器　将电源接通，将“增益”旋钮转到增益最小的位置，调节“零点”使指针指在零位；将“波段”和“调谐”放在相应的位置上；将“输入电平—Ⅰ”放在 0dB 的位置上；将“输入电平—Ⅱ”放在红线的位置上；将“工作选择”开关放在“校准”位置上，调整增益旋钮，使指针指在红线的位置上。

（7）测量　将“工作选择”打在测量位置上；将“波段开关”打在被测频率的位置上，可在频率标度盘右下方圆窗口显示出波段，如 1、2、3 等；调节“调谐”钮，使指针指示值为最大；调整“输入电平—Ⅰ”和“输入电平—Ⅱ”使指针指在红线的位置；将“Ⅰ”+“Ⅱ”则为被测场强值，单位为 dBμV。

其他型号的场强仪可按使用说明书进行。

九、单臂电桥的使用

单臂电桥上有五个转换开关，其一是选择倍率的，共有 7 档，即 ×0.001、×0.01、×0.1、×1、×10、×100、×1000；另有 4 个档是千位、百位、十位、个位的读数盘，每个读数盘上有 ×0、×1、×2、…、×9 十个档。

对于一个未知电阻，可将其接在被测端钮上，连接时应将连接部位的油污处理干净，用砂纸打磨出金属光泽，并把读数盘和倍率盘打在最大档，倍率档为 ×1000，读数盘分号为 9×1000、9×100、9×10、9×1，然后接通电源，这时如果指针接近于零位，可调节粗调钮和细调钮，这时指针为零，即被测电阻阻值为 9999×1000Ω = 9999000Ω；如果不为零，先调个位读数盘，调为 8，经粗细调节后为零，即被测电阻阻值为 9998000Ω；如果不为零，且和上次动作方向一致，则应继续下调至 7、6、…、0；如果仍不为零，则应从十位读数盘、百位读数盘、千位读数盘下调；如果仍不为零，则应调节倍数档至 ×100，并把读数盘恢复至最大档 9，仍按前述方法调节；如果仍不为零，则应调节倍数档至 ×10、×1、…、×0.001，直至指针指向于零。假如倍率档在 0.01 档，读数盘分别为 0421，则被测电阻阻值为 421×0.01Ω = 4.21Ω。

这样看来，电桥使用起来很麻烦，其实不然，前面叙述的是调节方法。实际使用中，先用万用表欧姆档粗略地测量一下被测电阻的阻值，然后再合理地选择倍数档和读数盘，则能很快测出该电阻的准确阻值。

假如万用表测出某电阻值为 5Ω，那么这只电阻的阻值很可能为 4 点几、3 点几，或是 5 点几、6 点几欧，为了准确起见，可选用倍数盘为 ×0.001 这一档，读数盘千位可先打在 ×5 这档，百、十、个位可在任意档。接通电源后指针向“+”偏转，说明应增大读数盘的数值，如果读数盘调至最大（9999）仍向“+”偏转，这时则应将倍率盘调大一级，并把读数盘调至最小（0001）再继续高调；通电后指针向“-”偏转，说明应减小读数盘的值，如果读数盘调至最小仍向“-”偏转，这时则应将倍率盘调小一级，并把读数盘调到最大再继续调。一直调至指针趋向零位后，经粗细调节后使指针位于零位，即可读出数值。

调节读数盘一般应从最低位逐渐调节，有时为了加快测量速度，可越级调节，如果指针偏转的方向突然发生改变，则说明被测值位于越级调节前的数值与越级调节后的数值之间，这样即可从这两个值往大或

往小调节，很快就能使指针趋向零位不动，即可读出数值。

单臂电桥适用于测量中值电阻（1～$10^6\Omega$），测量不同范围的电阻时，倍率选择和测量相对误差的关系见表 2-73。

表 2-73　QJ23 电桥比例臂的倍率与相对误差的关系

倍率	R_X/Ω	相对误差
×0.1，×1，×10	10^2～99990	±0.2%
×0.01	10～9999	±0.5%
×100	10^5～999900	±0.5%
×0.001	1～9.999	±1%
×1000	10^6～9999000	±1%

使用单臂电桥应注意以下几点：

1）先用万用表粗测一下阻值或按参考值合理选择相应的倍率；

2）经常检查电池使用情况并及时更换电压或电流不足的电池，以免影响测量精度或电池电解液渗漏而导致毁坏仪表；

3）测量端与被测电阻间的连线应尽量短而粗，连接必须紧固正确；

4）单臂电桥不宜测 0.1Ω 以下的电阻，测量小于 1Ω 的电阻时要降低电源电压并缩短测量时间，以免桥臂电阻发热而损坏；

5）在测量具有电感回路的电阻时，如电动机、变压器绕组的直流电阻，应先接通电源，再接通检流计；断开时，应先断开检流计，再断开电源，以免绕组的自感电量烧坏检流计；电桥不用时应将检流计锁住，以免搬动时损坏吊丝；

6）测量过程中，调节一次倍率应按动一下检流计按钮，以免电桥不平衡时的过大电流烧坏检流计；

7）应经常保持桥臂接触点接触良好，可用蘸有汽油、酒精的棉丝清洗，擦净后可涂一点中性凡士林。

十、电压升压器的使用及耐压试验

升压器包括单相调压器和试验变压器，是用来作交流耐压试验的主要设备，还有球隙和控制箱等。试验电压值见表 5-13。

1. 交流耐压试验

（1）当被试品需要较高的电压，而一台试验变压器又不能满足其要求时，则用两台试验变压器高压侧异极性串联、低压侧同极性并联，以提高试验变压器的电压或电流，或者将试验变压器高压侧同极性并联，而低压侧异极性串联。这些接线有时要配以两台调压器分别激励，或者配以隔离变压器，以提高试验变压器的绝缘能力。常用的接线如图 2-176 所示。

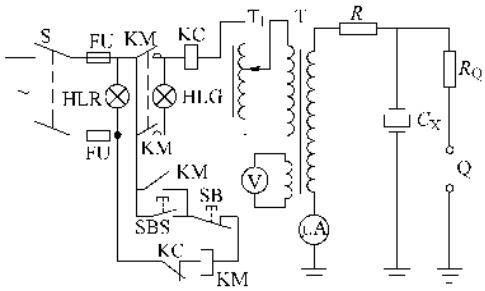


图 2-176　工频耐压试验的接线

S—双极刀开关　FU—熔断器　KM—交流接触器　KC—过电流继电器　T_1—调压器　T—试验变压器　R—限流电阻　R_Q—球隙保护电阻　C_X—被试品　Q—铜球间隙　HLG—电源绿灯　HLR—红灯　SBS—起动按钮　SB—停止按钮

（2）试验设备的选择

1）试验变压器：试验变压器高压侧额定电压应大于被试品的最高试验电压，其额定电流应大于被试品的最大电容电流。被试品电容电流 I_{SC}（A）通常按式（2-17）进行估算：

$$I_{SC}=2\pi fC_S U\times10^{-6} \qquad (2\text{-}17)$$

式中　f——试验电源频率，单位为 Hz，取 50Hz；

C_S——被试品电容量，单位为 μF，通常由 tanδ 试验中测得；

U——试验所加的电压，单位为 V。

试验变压器的容量 S 可按式（2-18）计算

$$S\geqslant2\pi fC_S U^2\times10^{-9} \qquad (2\text{-}18)$$

一般情况下，试验变压器的容量应按表 2-74 选择。

表 2-74　试验变压器的容量选择

最大工作电压/kV	20 以下	50 以下	105 以下
试验变压器的容量/kVA	1～3	3～5	10～25

2）调压器：调压器通常有三种，即自耦调压器、感应调压器和电阻调压器。试验变压器容量较小时，宜选用自耦调压器，其容量为（0.75～1）倍试验变压器容量。试验变压器容量较大时（25kVA 以上），宜选用感应调压器，其容量应与试验变压器容量相等，调压器绝缘及通风散热良好时，可按 1.25 倍过负荷使用。被试品电容电流极小时，可采用电阻调压器，其容量应大于 0.4 倍试验变压器容量。调压设备

的额定输出电流应与试验变压器额定输入电流相等，因试验变压器是间断运行的，所以调压器的额定输出电流可小于试验变压器的额定输入电流。

3）限流电阻的选择：限流电阻的设置是限制被试品击穿电流的，进而保护试验变压器，防止事故扩大。其阻值视高压电流而定，当电流在 100～300mA 时，可取 0.5～1Ω/V；高压电流为 1A 时，可取 0.1～1Ω/V。当被试品电容较大时，应取小一些；当被试品电容较小时，则取大一些。限流电阻一般使用水泥电阻，其热容量则按通过的电流和阻值进行计算。当热容量较小时，也可用线绕电阻代替。

4）保护电阻的选择：保护电阻的设置是减小过电压保护装置球隙放电时的短路电流，使球隙不至于烧坏，其阻值一般按不大于 1Ω/V 来计算。

5）电压测量设备的选择：

① 在试验变压器低压侧用 0.5 级电压表直接测量，将其乘以试验变压器的电压比得出。这种方法仅适用于电容较小的被试品，如瓷绝缘子、开关设备、绝缘工具等。

② 被试品电容较大时，宜在试验变压器高压侧经电压互感器测量。

③ 被试品电容较大时，当现场条件允许时也可用高压静电电压表直接测量，但由于高压静电电压表的使用受到气候条件的影响，同时因室外阳光常看不清楚刻度的亮点，使用中受到限制。

④ 被试品电容较大时，室内一般用球隙测量，球隙放电电压的数值可参考表 2-75。因为气压、温度对放电电压都有影响，通常要将表中查得的数值乘上一个修正系数 δ，当空气的相对密度在 0.95～1.05 范围内时，由式（2-19）来计算：

$$\delta = \frac{51.4p}{(273+t)} \tag{2-19}$$

式中 p——测量时的大气压力，单位为 Pa；

t——测量时的温度（℃）。

当空气相对密度与 1.0 相差很大时，δ 按表 2-76 中的数值选取。

表 2-75 一球接地时，球隙的击穿电压（仅供参考）

球距/cm	击穿电压（千伏最大值，适用于交流电压，负极性标准全波和较长冲击波以及正负极性的直流电压/kV）											
	球径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05	2.8											
0.10	4.7											
0.15	6.4											
0.20	8.0	8.0										
0.25	9.6	9.6										
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		48.1	48.1	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		53.0	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5					

（续）

球距/cm	击穿电压（千伏最大值，适用于交流电压，负极性标准全波和较长冲击波以及正负极性的直流电压/kV）											
	球径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
2.0		57.5	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		61.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		65.5	67.5	69.5	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(69.0)	72.0	74.5	75.0	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(72.5)	76.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(75.5)	79.5	84.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(82.5)	(87.5)	95.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(88.5)	(95.0)	105	108	110	112	112	112	112		
4.5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5.0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5.5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6.0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	
6.5				(144)	(154)	161	173	177	177	177	177	
7.0				(150)	(161)	169	184	189	190	190	190	
7.5				(155)	(168)	177	195	202	203	203	203	
8.0					(174)	(185)	206	214	215	215	215	
9.0					(185)	(198)	226	239	240	241	241	
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	286	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795

（续）

球距/cm	击穿电压（千伏最大值，适用于交流电压，负极性标准全波和较长冲击波以及正负极性的直流电压/kV）											
	球径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(655)	(775)	845	910	930
40								(670)	(800)	875	955	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340
65										(1160)	1340	1410
70										(1200)	1390	1480
75										(1230)	1440	1540

注：1. 试验条件：大气压力为 101332Pa（760mmHg），周围空气温度为 20℃。

2. 括号内数字准确度较低。

表 2-76　δ 值的选用表

空气相对密度	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.00	1.05	1.1
δ	0.72	0.77	0.86	0.86	0.91	0.95	1	1.05	1.09

⑤　被试品电容较大时，也可用电容分压器来测量，接线如图 2-177 所示。其中高压到高内阻电压表的连线应用屏蔽高频电缆，以防止外界电场干扰。放电电阻 r 选取时应使时间常数 $\tau = rC_2 = 1 \sim 2\text{s}$，$C_1$ 则应选用高压标准电容器，主要是使其容量不随温度变化而变化，C_2 最好选云母电容器。C_1 和 C_2 组成的分压器应用标准互感器进行校验。被试品所加的试验电压 U 可用式（2-20）计算

$$U = U_2 \frac{C_2}{C_1} \tag{2-20}$$

式中　U_2——电压表测得的电压，单位为 V。

（3）试验程序方法

1）进行试验前，对被试品的具体情况应充分了解，如是否经过绝缘潮湿程度的判定，是否具备耐压条件，是否进行过试验，并检查试验记录以及外壳的完好程度等。

2）用绝缘电阻表测量被试品的绝缘电阻，其值应正常。同时清扫和擦拭被试品的表面，如套管、瓷绝缘子等。

3）对被试品周围的非被试品及其线路应予以隔离和短路接地，并拆除各种临时线路和障碍物，将现场清理干净。

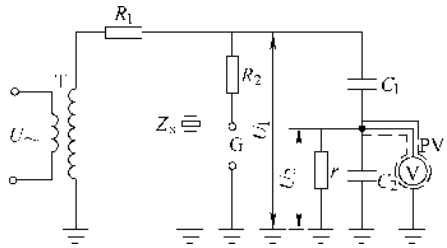


图 2-177　用电容分压测量电压的接线

T—试验变压器　C_1—高压分压电容器　C_2—低压分压电容器　PV—高内阻电压表　r—分压电容 C_2 的并联电阻　R_1、R_2—限流电阻　Z_X—被试物　G—球隙

4）按选定的试验接线图进行接线，导线一般用两端均有鱼嘴夹的多股软铜线并悬空放置，对地有足够的安全距离，试验设备的外壳、非被试部分均可靠接地。接地体应选用现场的正式接地装置，否则应设置接地体。接好线后，应由非接线人员检查无误。

5）正式试验前，先将被试品从线路上移开，空投一下试验设备和线路，并调节调压装置将电压缓慢

升高至所加电压或高于所加电压，观察系统是否正常，否则应查明原因并处理。检查和处理时，应将电压退回零位并关掉电源。

6）用球隙测压时，应先进行电压校正。由于球隙放电电压受到气压、温度、球表面粗糙度以及球隙调整误差的影响，不论被试品的容量是否相同，对任一被试品均在试验前进行实际校验。校正后，在空负荷情况下按表 2-75 调整球隙距离，使球隙放电电压为试验电压的 1.1～1.15 倍，再将电压调至零位，断开电源。

7）将试验变压器与被试品之间的连线重新接好，检查调压器的手柄是否在零位及其他有无不妥，一切正常后，即可合上电源开关进行升压试验。

8）转动调压器手柄，均匀地将电压升至试验电压，到达试验电压后即开始计时，1min 后，迅速而均匀地将电压降至零，然后断开电源。在升压过程中，应监视电压表和电流表的读数。当电压升至 0.5 倍试验电压时，迅速断开毫安表的短路开关，读取被试品的电容电流，读完后应立即合上。电压升至全试验电压时，用同样方法读取电流，并做好记录。

9）耐压试验后，应立即对被试品进行放电操作，然后拆除接线，并用绝缘电阻表测试被试物的绝缘电阻，做好记录，与耐压试验前的测试值进行比较，不应有过大的误差。

10）拆除所有接线，清理现场，清点用具，整理记录，试验完毕。

（4）应注意事项

1）耐压试验应选择在干燥、气温正常的晴朗天气下进行。

2）耐压试验必须在绝缘电阻合格时才能进行，试验电压应按规定的标准选定，不得超过规定值。试验电流不应超过试验装置的允许电流。

3）试验场所应设立防护围栏，防止试验人员偶然接近高压体，试验装置应有完善可靠的接地措施，试验前后应注意放电。

4）试验变压器不能带高电压进行断开和冲击加压，否则将造成过电压，损坏设备。因此，每次试验后，必须使调压器回零，必要时应有自动回零装置。加压和断电必须在调压器为零位时进行。

5）试验前应用丝绸类柔软且不脱落纤维的绒布仔细擦拭球隙铜球的表面，使之干净，无尘、无毛屑。检查两球的中心位置应垂直或水平。下球必须接地良好。外部物体不得影响球隙电场的分布，离球体的距离至少应大于 4～5 倍球直径，周围空气不得有明显的灰尘。

6）试验装置中除高压侧装设限流电阻和球隙外，还必须在低压侧装设过电流继电器。当被试品被击穿或球隙放电时，低压侧的过电流使继电器动作，立即切断电源，保护试验装置。过电流的整定一般按试验变压器的容量确定。

7）试验设备、仪表及球隙应校验准确，仪表的准确度不得低于 1.0 级。

8）高压导线与被试物的连接必须正确无误，对多相母线试验时应按相序依次进行，当进行某相试验时，其余各相应可靠接地。同规格的瓷质绝缘物可以并联试验而不得串联进行试验。

9）试验过程中，发现非正常现象时，应立即停止试验，同时将调压器迅速调至零位并切断电源，然后检查原因，正常后才能重新试验。常见的非正常现象有：电压表指针摆动过大，毫安表的示值急剧增大，发现冒烟现象或绝缘烧焦气味，系统发生不正常响声，瓷表面产生火花放电等。

10）试验中，试验电压应按均匀的速度由零压升至全压，绝不能用冲击合闸的方法给被试品加压。通常应按不同设备的具体规定升速加压，如无规定，一般可按从试验电压的 1/3 起到全试验电压为止宜为 10～15s，从零压到 1/3 试验电压一般不大于 2s。如不能从零起升压，也可从 1/3 试验电压下合闸升压，这要由调压器能否从零调压来决定。

11）对油浸变压器、互感器应在注油静置 20h 后进行试验，对 3～10kV 变压器，可静置 5～6h 后试验。变压器与电机等耐压试验均应在干燥后的冷态下进行，如果经判断可不干燥处理时，可在检修后进行。

12）工频交流耐压试验时要求试验电压的波形为正弦波，波形有无畸变，可用示波器检查，也可用球隙测出的电压峰值与用交流电压表测出的电压有效值进行比较，有无$\sqrt{2}$倍的关系。一般应采用星形联结中的线电压（380V）作为试验电源，或者加装滤波器，调压器应采用自耦调压器或阻抗较小的调压器，一般不采用电阻式或感应式调压器，若用感应式调压器则应加装滤波器。

13）对大电容设备进行交流耐压试验时，被试品上的电压将会比所加电压升高 10%～20%，这对被试品是不利的。因此，应在试验变压器高压侧直接测量电压，即得所加电压，不得采用低压测量经电压比计算值为所加电压的方法，以避免被试品端部出现危险高压。

14）交流耐压试验时，被试品的电容和试验变压器的漏抗是串联的，在参数合适的情况下将会发生串

联谐振，产生较高的过电压而使试品无辜击穿，试验证明，这种过电压会达 3～4 倍。为了避免发生电压谐振，首先应按表 2-74 正确选择漏抗较小的试验变压器，并且采用漏抗小的自耦调压器，一般不使用电阻式或感应式调压器，同时应使下式的条件满足：

$$C_S < 3.18\frac{10^9}{X_\Sigma} \qquad (2\text{-}21)$$

式中 C_S——被试品电容，单位为 pF；

X_Σ——试验变压器与调压器漏抗之和，单位为 Ω。

式（2-21）中的参数不易查找和计算，一般满足前述的条件即可。但是，当使用电压互感器作为试验变压器时，必须满足式（2-21）的条件。

15）试验时，被试品的电容电流与试验变压器的励磁电流是并联的，易引起电流谐振，导致试验变压器高压侧产生危及被试器的高压，通常使用自耦调压器时，因漏抗小而影响不大。若试验变压器满足下列条件之一时，也可避免其谐振：

$$S_C > 0.4S_e \qquad (2\text{-}22)$$

$$S_C < 0.03S_e \qquad (2\text{-}23)$$

式中 S_C——被试品电容负荷（电容电流与试验电压的乘积）；

S_e——试验变压器额定容量。

16）试验中，为了避免过电压以致损害试品的绝缘，也可在低压回路靠近调压器输出处加装滤波电容。另外，高压回路中的接线宜选用 6～10mm² 的软绞铜线。球隙保护电阻的阻值一般应在 100～500kΩ 范围之内。

17）组合接线时，必须注意极性的正确连接，绝对不能接错，否则将会给试验及设备带来很大的危害。串联组合接线时，高压侧为异极性串联，低压侧为同极性并联；并联组合接线时，高压侧为同极性并联，低压侧应为异极性串联。这两点是万万不能接错的，接线后应由两位非接线人员进行核查，必须做到万无一失。

2. 直流耐压试验

直流耐压试验的接线原理图如图 2-178 所示，其中主要有试验变压器、灯丝变压器、单相调压器、高压整流管、限流电阻、稳压电容等。

（1）根据微安表、整流管灯丝的接线位置不同，可分微安表在低压，整流管灯丝在高压；微安表在高压，整流管灯丝在低压；微安表、整流管灯丝均在高压或均在低压或者整流器采用硅堆的方法，试验时按具体情况选择。

（2）设备的选择

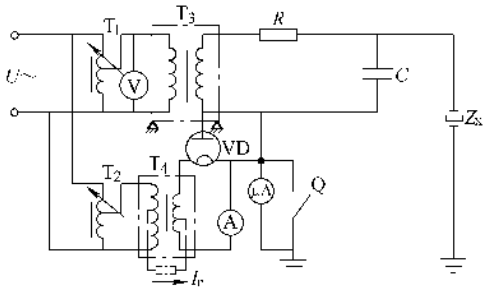


图 2-178 直流耐压试验原理接线

T_3—试验变压器 T_4—灯丝变压器 T_1—单相调压器（容量 0.5～1kVA） T_2—单相调压器（容量 0.5～1kVA） VD—高压整流管 C—稳压电容 R—限流电阻 Q—短路开关 Z_X—被试物 A—灯丝电流表

1）当被试品泄漏电流很小时，试验变压器的容量可选小一点，通常可用现场的高压电压互感器，否则应选择容量较大的试验变压器。

2）交流电压表应选多量程的，便于泄漏试验时分段加压，其量程应按被试品直流试验电压除以试验变压器的电压比后的数值估算选取。

3）整流元器件额定反向峰值电压应大于所加最高交流电压有效值的 $2\sqrt{2}$倍；其额定电流应大于最高试验电压时，试品可能出现的最大泄漏电流的 2～3 倍。

4）灯丝变压器可按灯丝电压及电流选择，当接至高压时应有较高的绝缘强度。灯丝电流表一般为 0～15A、0.5 级的交流电流表。

5）稳压电容选择时应根据试品本身电容量决定，当试品电容量较大时，一般不接入电容，如发电机、变压器、高压电缆等。当试品电容量较小时，接入的电容为 0.01～0.1μF，耐压为最大直流试验电压的 1.2 倍以上。

6）保护电阻通常按整流元器件允许的最大电流来选择，一般为每伏 10Ω。

7）直流微安表一般选用多量程且精度为 0.5 级以上。其最大量程应满足试品可能出现的最大泄漏电流。

（3）试验程序方法

1）～5）基本同工频交流耐压试验的试验程序方法的 1）～5）。直流耐压设备的操作规程应按以下步骤进行，合上电源总开关，先调节灯丝变压器的单相调压器，使灯丝电流达到规定值并预热 5min，然后再调节升压变压器的单相调压器，逐段升压（可将试验最高电压分为 5 段），每段升压后先断开短路

开关，读取泄漏电流，通常应在 1min 内完成，然后再合上短路开关，继续升压。

6）试验前，先移开试品，按上述方法将电压升至规定值，读取空负荷状态下的泄漏电流，这个电流值应从负荷状态下读取的泄漏电流值中减去即为被试品的实际泄漏电流值。

7）试验完毕，先将升压回路的单相调压器退回零位，同时切断电源，然后再将灯丝回路的调压器退回零位并切断电源，最后断开总电源。

8）将试品先经电阻放电，再直接对地放电。如再试验，必须检查接地线是否已拆除。

9）拆除接线，清理现场，清点用具，整理记录。

（4）注意事项

1）微安表必须并联短路开关或常闭按钮，只有在读取泄漏电流时，才允许断开，读取后必须立即合上，以免烧坏仪表。多量程微安表应放在最大量程上，读数时如示值太小，再逐步切换到小量程读数。微安表一般应有保护装置，其原理如图 2-179 所示。当稳压管发光时，说明微安表有撞针的可能，这时不允许将短路开关打开。R 的大小按式（2-24）计算：

$$R = 1.2\frac{U_{VS}}{I_{\mu}} \tag{2-24}$$

式中　U_{VS}——稳压管放电电压，单位为 V；

I_{μ}——微安表满刻度电流，单位为 μA。

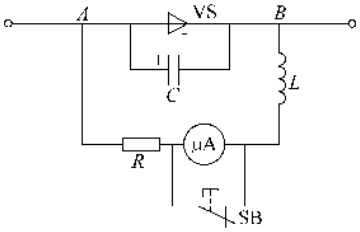


图 2-179　用稳压管保护微安表的线路

VS—稳压管（放电电压为 105V）

R—电阻（阻值待计算）

SB—按钮　L—电抗器（约 1H）

C—电容器（约 30μF、150V）

2）试验中微安表出现下列异常现象时，应立即停止试验，同时进行检查处理：

①　指针抖动，说明微安表有交流分量流过，当抖动剧烈无法读数时，应检查微安表保护装置或整流器是否正常。

②　指针突然冲向零或最大值，说明受电源电压波动影响或试验回路及被试品内部有断续性放电或闪络。

③　指针周期性摆动，说明试验回路中有反充或因试品绝缘不良而产生的周期性放电。

④　指示数值太大，检查试验回路接线及屏蔽是否完好，试品是否异常。

⑤　指示数值太小，检查高压接线是否正确，微安表保护有无断线或分流，整流管灯丝电流大小，灯丝亮度是否正常等。

3）整流装置出现下列异常现象时，应立即停止试验，查找原因并处理：

①　灯丝电流不够，检查灯丝变压器的电压及灯丝的亮度。

②　整流管加高压后，外部产生蓝色晕光，一般为整流管表面污垢造成，应予以清除。

③　整流管屏极发红，表示屏极电流过大，应降低电流，否则会烧坏管子。

4）被试品电容较小时，必须接入稳压电容，以减小误差。

5）高压导线的直径不宜过小，一般应不小于 $6mm^2$，要避免毛刺及尖端并加大对地的距离，尽量缩短连线的长度，以减小高压导线对地的泄漏电流。

6）被试品的温度为 30～80℃时宜进行直流试验，运行中的设备及电缆最好在停电后立即进行试验，新装设备及刚投入运行的电缆如环境温度较低时，应用短路法预热后进行。实际工程中，有时用换算的方法，将测到的泄漏电流值换算到 75℃的泄漏电流。

对 B 级绝缘的发电机，应用下式换算到 75℃的泄漏电流：

$$I_{75} = I_t \times 1.6^{\frac{75-t}{10}} \tag{2-25}$$

式中　t——试验时，试品温度；

I_t——温度 t（℃）时测得的泄漏电流；

I_{75}——换算到 75℃时的泄漏电流。

对 A 级绝缘的电气设备，用下式进行换算：

$$I_{t2} = I_{t1}e^{\alpha(t_2-t_1)} \tag{2-26}$$

式中　I_{t2}——换算到温度为 t_2 时的泄漏电流值，单位为 μA；

I_{t1}——温度为 t_1 时测得的泄漏电流；

α——温度系数，一般为 0.05～0.06℃$^{-1}$；

e——自然常数，取 2.7183。

7）被试品必须干燥，表面必须清洁，以减小泄漏电流引起的误差。

8）直流试验电路应装设过电流保护，其过电流继电器通常装设在调压器与试验变压器之间，其整定值应小于试验变压器和整流元件中容量较小者的额定值。

9）试验中，通常在几个电压值下读取泄漏电流，

并绘制试品伏安特性曲线，以便发现试品的缺陷。每升到一个电压值时应持续 1min 后再读取电流值。

10）微安表接在高压线路上时，支撑微安表的绝缘物应牢固可靠、绝缘良好。

11）试验完毕，必须对被试物进行放电，放电时应先经电阻放电，其电阻值约为 200～500Ω/kV，放电持续时间一般为 3～5min。然后再用接地线直接放电。

放电时可根据放电火花的大小初步了解试品的绝缘情况。当绝缘良好且电容量较大（电力电缆、电力电容等）时，放电火花和声响特别大，要防止震坏耳膜，通常要戴上护耳。

12）直流高压一般用静电式直流电压表测量，也可用图 2-180 的方法测量，其中毫安表的量程应在 2mA 以下，所串电阻应为性能稳定的碳膜电阻，一般是把电阻安装在绝缘板上后再引至毫安表，毫安表的读数与电阻值的乘积即为直流高压值。一般不采用在交流侧间接测量，以免误差太大。

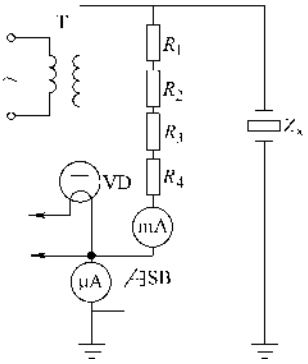


图 2-180 直接测量直流高压接线示意图

十一、电流升流器的使用及电流试验

升流器是能产生大电流的变压器，并可进行电流大小调节，有时可用电焊机来代替。升流器的输出电流是由精密电流表显示的，并配有电流互感器。升流器的使用较升压器简单，可参照进行，但应注意以下几点：

1）升流器必须配备由软铜线和线鼻子构成的预制好的铜辫子，一般有 10A、50A、100A、500A、1000A、3000A、5000A 等不同规格供不同负载使用，铜辫子与设备的连接必须紧密可靠，避免发热。

2）使用升流器时应有足够的电源容量，特别是进行大电流试验时必须在距变电室较近的地方进行。

3）用多台电焊机代替使用时，必须使每台电焊机的一次和二次相位相同，避免短路。

4）与升流器配套使用的电流互感器和电流表应在 0.2 级以上，并按使用频率进行周期检定，一般半年一次。

5）使用前要对设备进行检查，特别要检查连接部位是否松动，电流互感器二次是否接地可靠。

6）开机后 5min 才可进行试验，先进行无负荷试验和短路试验，100A 以上的电流试验应按段进行，每段停留 1min，并进行检查有无不妥。大电流试验时现场应有良好的通风，短路试验如图 2-181 所示。只有短路试验无误后才可进行试验。

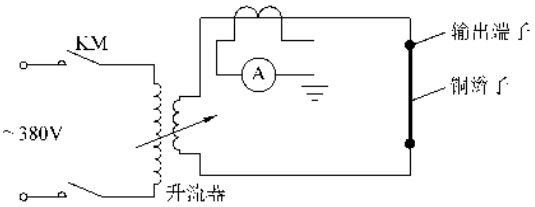


图 2-181 升流器的短路试验接线

7）大电流试验时，机壳应可靠接地，大电流试验应避开管道、线路，否则应有屏蔽措施和防静电措施。

8）电流试验时应随时注意设备的温升和声响。

十二、仪表的保管及检定周期

1）仪表应放在通风良好的室内货架或柜内保管，且周围的空气中应不含有腐蚀和有害杂质；使用及保管时都不能使其受到敲击或剧烈振动。长期不用的仪表应妥善保管，内部装有电池的应将电池取出，并在内部放置防潮剂。

2）仪表应设专人保管，并有管理制度，主要包括《入库检查制度》、《借用制度》、《保养及校验制度》、《检定制度》、《报废制度》等。电工检修仪表不得借给外人使用，以免损坏以致再用时出现错误，导致事故。便携式仪表一般应装在用牛皮做成的盒子内，以便于携带并保护仪表。

3）仪表使用后交还时应由保管人员检查验收，以免损坏不报告而下次再用时出现故障或事故。使用人员应及时报告使用情况及发现的问题，以便及时修理或校验。

4）仪表应定期保养及校验，以便及时发现问题及隐患，保证正常使用。保养时，应用柔软的棉布先将浮尘擦掉，然后蘸少许酒精再仔细擦洗。保养时只将电池盒打开检查或擦洗，一般不得将表内打开。校验时，一般是用同类的仪表测量同一被测物，其结果应一致，否则说明误差较大的表已失灵或损坏，应进行检定或修理。保养和校验的周期一般为三个月或者集中使用仪表频率很大后均应保养或校验。

5）便携式电工仪表应定期送至国家技术监督部门核准的具有检定资格的单位进行检定，检定和前述的校验是不同的概念，校验不等于检定，检定有法律效力，检定周期见表 2-77。

表 2-77　常用便携式电工仪表的检定周期

仪表名称	检定周期/年
绝缘电阻表	0.5
接地电阻测试仪	0.5
钳形表	1
万用表	1
点式温度计	1
仪器设备上的电流表、电压表	0.5

第十二节　一般设备安装要点

一、基础的检查及验收

基础的检查及验收应根据设备基础设计施工图样、设备制造图样和基础施工隐蔽验收及检查记录，核对其坐标、外形尺寸、标高是否符合要求。基础表面应无蜂窝、裂纹及露筋等缺陷。用 5kg 小锤敲击基础表面不得有空洞声音。基础预埋地脚螺栓或预留的孔洞尺寸应符合图样的要求。设备基础尺寸和位置的允许偏差见表 2-78。

二、设备安装程序要点

1. 画线定位

依据设计图样和建筑物的轴线、边线放出平面位置的纵横垂直的基准线。画出设备就位的纵横准线。相互连接、衔接或排列关系的设备应按设计要求确定其共同的基准线。画线一般采用木工用的墨斗进行。

2. 复核地脚螺栓或埋注地脚螺栓

地脚尺寸的复核见表 2-78。埋注地脚螺栓应保证其在预留孔中垂直，不垂直度不应大于 1%，地脚任一部分距孔壁的间距不应大于 15mm，底端不应碰到孔底，浇注的混凝土应与基础标号相同，埋注前应清理干净孔内杂物，浇注后应捣实。若预埋地脚或预留孔洞有偏移时，要做纠偏处理。

表 2-78　设备基础尺寸和位置的允许偏差

（续）

项次	项　　目	允许偏差/mm
1	基础坐标位置（纵横轴线）	±20
2	基础各不同平面的标高	+0 −20
3	基础上平面外形尺寸 凸台上平面外形尺寸 凹穴尺寸	±20 −20 +20
4	基础上平面的不水平度（包括地坪上需安装设备的部分）： 每　米 全　长	 5 10
5	竖向偏差：每米 全长	5 20
6	预埋地脚螺栓： 标高（顶端） 中心距（在根部和顶部两处测量）	 +20 −0 ±2
7	预留地脚螺栓孔： 中心位置 深度 孔壁的铅垂度	 ±10 +20 −0 10
8	预埋活动地脚螺栓锚板： 标高 中心位置 不水平度（带槽的锚板） 不水平度（带螺纹孔的锚板）	 −0 ±25 ±5 5 2

在楼板上安装设备除预埋螺栓外，可打出板内钢筋将螺栓焊在钢筋上，并且找正后用混凝土填实抹平。无钢筋则可采用对穿螺栓的方法，小型设备则可用膨胀螺栓来固定。在混凝土板上打凿地脚螺栓的孔洞，一般宜用冲击电钻或扩孔钻开孔，严禁用大锤錾子开孔，同时不得切断混凝土内钢筋。选用地脚螺栓时请参阅表 2-79 和表 2-80 中的有关数据。地脚螺栓装好后露出设备地脚孔端面的高度，一般为垫片厚度 + 螺母厚度 + 2/3 螺栓直径。因此预埋、浇注地脚时应考虑这一点，有时采用双母固定也要注意露出高度。应采取措施保护好螺栓的螺纹，一般采用塑套保护。

表 2-79 地脚螺栓直径与设备底座上孔径

螺栓公称直径/mm	10	12	16	20	24	30	36	42	48
孔径/mm	12～13	13～17	17～22	22～27	27～33	33～40	40～48	48～55	55～65

表 2-80 地脚螺栓与垫圈的关系

公称直径/mm	垫圈内径/mm		垫圈外径/mm			垫圈厚度/mm
	粗制	精制	大型	普通	小型	
10 12	11 13.50	10.50 13	28 35	21 24	18 21	2
16 20	17.50 22	17 21	45 55	30 37	28 34	3
24 30	26 33	25 31	65 80	44 56	39 50	4
36	39	37		66	60	5
42	45	43		78	66	7
48	52	50		92	78	8

注：垫圈的公称直径指配合使用的螺栓的公称直径。

3. 垫铁与基础的处理

垫铁有斜垫铁和平垫铁两种，其中铸铁平垫铁最薄不得小于20mm，钢制平垫铁最薄不小于1mm，平垫铁也有做成U形的，铁斜垫的坡度一般为1/10～1/20。垫铁在能放稳和不影响灌浆的前提下应靠拢地脚，因此常使用U形铁。垫铁必须平整无毛刺，放置垫铁的基础表面应进行铲平或磨平处理。每组垫铁不宜超过三块，最薄的放于中间，最厚的放在下面，两块及以上的垫铁组应用电焊点死。垫铁露出设备底面外缘的宽度一般为20～30mm。

4. 设备的开箱检查

设备开箱必须由购货或厂家参加，除按装箱清单清点外，还应填写记录，开箱后的放置和保管应按说明书进行。开箱前必须核对设备名称、规格、型号、厂家，确认后方可开箱。开箱过程必须保证设备的完好无损。

5. 设备的搬运和就位

设备就位前，必须将设备底座底面清除干净，将要灌浆处的基础凿成麻面并用水冲洗干净，清除地脚孔的污物积水；设备就位，应将设备底座的纵横基准线对准基础上的纵横基准线，平面基准线与标高的误差应符合表2-81的规定。就位时，应注意保护好地脚螺栓的螺纹及设备外壳等部位不得受损伤，就位后应及时拧上螺母但不拧紧。

表 2-81 设备就位基准线与标高的允许偏差

项次	项目	允许偏差/mm	
		平面位置	标高
1	与其他设备无机械上的联系	±10	+20 -10
2	与其他设备有机械上的联系	±2	±1

就位方法的选择：现场无起吊工具或现场受到限制的情况下，一般采用滑移法就位。先将设备连同木排运到基础旁摆正位置（与安装位置对应），用滚杠滑移到安装位置，滑移时多采用撬杠或倒链将其逐渐移动，然后用千斤顶顶升法脱排落位；设备较高、重心偏上且现场无起吊机具时，可将设备及其包装箱体直接运至基础之上，然后再开箱，这时也按设备实际高度和重量搭设三角架或人字架吊装就位。

6. 找正找平

设备的找正找平应按相关施工及验收规范或设计要求进行，一般常采用重锤水平拉钢丝测量直线度、平行度、同轴度，吊钢丝测量立面的铅垂度，液体连通器测量水平度，测微光管测量水平面内V形槽的不直度，光学准直仪测量导轨水平面、垂直面内的不直度等。一般设备可采用磁力线坠法测量不垂直度，用水平尺测量水平度，要求较高的可用经纬仪、水准

仪来测量。

设备找正找平应在设备自由状态下进行，但重心较高、稳定性较差的设备找正找平时，宜用吊装工具不摘钩进行保护，其钢丝处于刚松弛状态，以防设备倾倒。设备的垂直度、不平度一般用垫铁进行调整。找正找平合适后，拧紧地脚螺栓，拧紧时应注意先后顺序、对称拧紧、用力均匀适中，以防变形。地脚螺栓拧紧的顺序可参考图 2-182 进行。

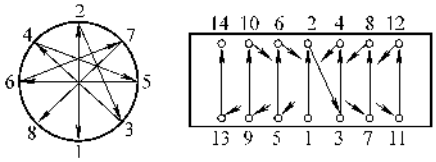


图 2-182　地脚螺栓紧固的顺序

7. 二次灌浆

二次灌浆前应会同有关部门进行隐蔽项目的检查及验收，应把需灌浆部位凿成麻面并清洗干净、浇水湿润，但灌浆时不得有积水。预留孔灌浆应先检查螺栓位置并保证其垂直，灌浆时要分层捣实，捣实时不得将地脚及设备、垫铁碰歪。二次灌浆一般用细石混凝土或水泥砂浆，标号比基础高一号。其中细石指 5～15mm 的粒径，可按缝隙大小选用。混凝土的配比见表 2-82。灌浆必须一次灌完，中途不得中断，灌完抹平后要洒水养护 7 天。灌浆时先灌地脚螺栓孔，待混凝土强度达到 75% 后再灌垫铁下面的压浆层（一次灌完），然后复查垫铁与设备底面的接触是否良好，最后用细石混凝土或砂浆压浆，一般为 30～50mm 厚。

表 2-82　混凝土配比（水泥∶砂∶碎石）

水泥标号	混凝土标号				
	140	170	200	250	300
325	1∶2.20∶4				
425	1∶2.60∶4.70	1∶2.30∶4.20	1∶2.10∶3.80		
525	1∶2.90∶5.40	1∶2.60∶4.80	1∶2.40∶4.40	1∶2.10∶3.80	1∶1.80∶3.40

8. 无垫铁安装

设备的自重及地脚螺栓的拧紧力均能由灌浆层来承受时，可采用无垫铁安装。无垫铁安装以调整螺栓代替垫铁找平找正，找正后地脚均应适当吃力，不可拧得太紧，防止设备变形。灌浆厚度为 60～100mm。其他同前。

9. 试运转

设备及电气系统安装完毕，经调整试验且具备使用条件后可进入试运转阶段。试运转应编制方案并请有关专业人员参加，准备所需工具、材料、安全防护用品等。试运转达到设计要求后可交工验收。

第十三节　电气故障判断及处理方法

一般条件下，电工应学会利用观察法来判断电气故障，以便及时处理和排除故障，特别是在试车试运行时尤为重要。所谓观察法就是利用人的眼、鼻、耳、手来进行判断故障的所在，这里将观察法判断电气故障的方法列于表 2-83 中，供读者参考，并在实践中进行验证。

表 2-83　观察法发现、判断电气故障的常用方法

观察方式	表现形式	借助工具	方法和内容
眼/看	现象、状态、颜色、缺陷毛病	放大镜（近） 望远镜（远） 当观察设备内部或细小缺陷时可用放大镜 当观察杆上、设备上（带电不易靠近）时可用望远镜观察 有些现象可在雨后、雪后或夜间观察，如触头发热、发红等	1. 短缺，如绝缘子、垫片、螺母、开口销子，电动机的后罩、风叶等辅件；排风道堵塞，转速明显加快或变慢，电灯不能正常发光或通电后不点亮等现象，均为电气故障 2. 破损（裂纹、断线、粗糙、伤残、绝缘层变硬），如绝缘子、套管有裂纹易放电，绝缘能力降低；断线则因垂度太小或太大所致或受到外力破坏；电刷太粗糙易产生火花，而线夹与导线触面不粗糙不易夹紧导线，铁心极面和触头接触必须平整严密；电器元件伤残易漏电或功能不全；绝缘导线电流太大，发热使绝缘层变硬等 3. 变形（膨胀或收缩），电力电容器外壳鼓肚或凹凸不平说明内部变形不能继续使用；电缆外皮起皱或凹凸不平说明电缆制造低劣或运行老化，相间绝层缘被破坏，不能继续使用 4. 松动，导线接头或与设备连接处松动易使接头烧坏或烧坏电

（续）

观察方式	表现形式	借助工具	方法和内容
眼/看	现象、状态、颜色、缺陷毛病	放大镜（近） 望远镜（远） 当观察设备内部或细小缺陷时可用放大镜 当观察杆上、设备上（带电不易靠近）时可用望远镜观察 有些现象可在雨后、雪后或夜间观察，如触头发热、发红等	气元件，固定件松动易使设备脱落摔坏或使导线拉断等 5. 漏油，变压器、油断路器、充油电缆、电容器等漏油一方面污染环境，更重要的是使其绝缘能力降低，最后使其损坏，漏油要及早修复并随时观察油位计。充气设备，如 SF_6 断路器漏气更是不允许的，冷却装置漏水要及早修复 6. 污垢和腐蚀，要及时清理电气场所及设备元件上的污垢，以免造成腐蚀，有腐蚀性源的场所要选用防腐电器 7. 磨损，如触头、传动部位当磨损较大时将会产生大的火花电弧或不能正确动作，要经常检查触头和传动机构，及时更换部件，对传动机构卡涩要点少许机油以润滑，对铁心吸力不足者可将其间隙适应减小以增大吸力 8. 变色，触头或导线接头发红、铜导线发黑、铝导线发灰白、母线油漆变色、绝缘皮变脆烧焦，均为电流过大所致，变压器油发黑、混浊不清、游离物和沉淀物增多均为过电压、过电流严重所致，将导致绝缘能力降低而报废停用。变压器吸湿器吸湿剂变色（由蓝变粉红）为吸潮过度、垫圈损坏所致，将加速变压器油老化 9. 冒烟，电流太大加上环境温度过高，使绝缘材料过热而超过耐热等级，最终使绝缘材料烧坏而冒烟或点燃，应加强检查并设定保护装置或增大开关元件、导线的规格，有些地方必须用钳形表实测电流再设定 10. 产生火花即放电现象，当绝缘子有裂纹而绝缘性能降低时，高压导线将对地放电，有火花并伴有嗞嗞声；当爬电距离较小，或间隔较小时，潮湿天气高压相与相、相与地也会有放电火花产生；电刷在电动机正常运转时有微弱蓝色小火花，当火花太大超过允许等级时，说明电刷或集电环有缺陷。产生火花应及时处理，避免大事故发生 11. 电气线路、电气设备、元件、插接件上有杂质异物应及时清除，以免影响正常运行或造成短路、发生事故或火灾 12. 控制电路有误致使电气设备或元件动作不正常，而影响系统的运行 13. 观测电流表、电压表三相平衡且不超过红线，功率因数表、周波表、温度表正常 14. 其他详见《新标准电工安全技术 365 问》一书
鼻/嗅	气味 一般轻微的气味是正常的，当人不能忍受时则说明电流太大，应进行调整或保护		1. 新的电气产品刚投入使用时，由于电流的作用而使其温度会有升高，特别是夏季室温较高，这样电器本身会放出一种微轻的气味，但不刺鼻，不会引起人们咳嗽，这是正常的，但是这时应加强巡视通风并测试其电流并加强器件本身的温度测试（可用半导体点式温度计），如今伪劣品较多，要注意此点 2. 绝缘胶布包扎的接头由于电流的作用发热并放出橡胶烧焦的难闻气味，当气味较浓时说明接头松动或氧化而电阻增大，电流再大时会烧坏接头

（续）

观察方式	表现形式	借助工具	方法和内容
鼻/嗅	气味 一般轻微的气味是正常的，当人不能忍受时则说明电流太大，应进行调整或保护		3. 塑料胶布或塑料绝缘导线的接头以及导线本身电流较大时，会发出塑料烧煳的极难闻的气味，会引起咳嗽，再大时会使人窒息、接头烧坏、绝缘层变硬烧坏 4. 电木制品由于触头或接点松动，电流太大使电器木身受热而发出强烈的焦煳味，常常将电气外壳烧坏 5. 母线油漆、管道油漆、电动机及电磁铁绝缘漆由于电流过大而会发出刺鼻的油漆焦煳味，使人难以忍受，必须设置过电流或过载保护、温度保护装置，及时消除隐患
耳/听	声音、振动音律、音色	听音棍 一般用长把的旋具代替，也可用检查小锤来敲击有关部位用以发出来的声音进行判断 用手触摸来测试振动或振幅	1. 正常的电动机是以均匀的嗡嗡声运行的，当用听音棍的一端顶住机壳或轴承盖时，另一端顶住耳朵即可测听其声响，如果听到的是有规律或无规律的叩击声、滑动声、金属撞击声并与均匀的嗡嗡声有较大差异时，则说明电动机处于非正常状态。电动机的音响一般来自基础安装不当、轴承损坏、定子转子相碰（扫膛）、内部接线错误（绞磁）、转子部件松动，或由负载造成，因此为了进一步判断，通常是空载（将联轴器/传动带解开来）进一步进行测试 2. 正常的变压器也是以均匀的嗡嗡声运行的，当用听音棍测听时，器身内部有较大的撞击声、放电声或嗡嗡声很大时，则说明变压器处于非正常运行状态。变压器的非正常音响是由于绝缘老化、变压器长期超载运行、内部零部件松动、油变质使绝缘能力下降、线圈绑扎松动等原因造成，应加强监视电流、温度 3. 电磁式继电器、接触器正常的声响也应为均匀的“嗡嗡”声，当音响过大、振动过大时往往是由于铁心间隙太大、或有污物、或不平、或短路环破损、配线接点松动、弹簧失效、线圈即被烧坏、线圈制造先天不良等原因，应加强维护、保养和检修 4. 其他详见《新标准电工安全技术 365 问》一书
手/摸	温度、振动	半导体点式温度计、示温蜡片	1. 用手摸电气设备的不带电的外壳、绝缘导线的外皮、电缆的外皮，正常情况下不应烫手，用手摸能坚持 10s 的温度经验为 60℃左右，当发现烫手时则为温度太高 2. 有时为了证实上一点，可用示温蜡片、点温计来验证 3. 用手摸电气设备不带电的外壳，如手感觉轻微的抖动是正常的；当手感剧烈、手感发麻，则说明电气设备的振动太大，应找出原因，见上栏 4. 由于振动会使设备的螺钉松动、接线端子发热，进而使设备发生断线、单相乃至发生事故 5. 温度是电气设备运行最重要的参数，必须采用措施使其温升不超过允许值
巡视检查	有计划/随机	眼、鼻、耳、手和点温计	为了保证电气系统和电气设备的安全运行，这里推荐《新标准电工安全技术 365 问》一书，该书详细介绍了各类电气线路、电气设备元件的巡视检查和安全技术

一、明装线路故障排除方法

架空线路、室内外瓷件支持的线路较明装电气线路故障比较直观，处理上应与安装架设相同，但必须先停电后处理，处理用绝缘电阻表摇测，绝缘电阻大于1MΩ后才能送电使用。摇测主要是相对地、相对零应符合要求。

（1）杆身倾斜的处理　停电后，先观测杆倾斜的程度，如为一般倾斜，操作人员可先登杆到1/2高处，用大绳系好，绳结应系在倾斜的反侧，下杆后将大绳系于与倾斜反侧的临时地锚或其他固定点上作为临时拉线，然后再次登杆到最下一层横担处，再系一根大绳，同样下杆后将杆根底部倾斜的反侧开挖到杆的底盘处，开挖的宽度为易操作即可，与杆接触部位不宜大于杆径。如有卡盘应把其周围挖通，以便正杆时阻卡。挖好后用第二次系好的大绳将杆拉正，边拉边观测，然后将细土填进倾斜侧的缝隙中，边填边用细棒捣固，不得填入碎石或石块，必须时可在距地面0.8m处设置一卡盘。最后将开挖处细土填满夯实，边填边夯，并将杆根堆土到0.5m以上并夯实。

登杆将大绳解开、撤掉地锚，然后再处理杆上的故障或缺陷。如果杆身倾斜程度太大，必须先用起重机将杆身吊住（只将钢索撑紧即可），或先用戗杆将杆身倾斜侧戗住支好支稳才能进行上述的操作。如果升降车方便，可站在操作斗内将大绳系好或站在人字形高凳上将大绳结好，这要看现场的条件，一定要注意：安全第一。

（2）换杆的操作　当杆身出现严重露筋、周身断裂或者横向、纵向裂纹严重、杆身弯曲超过杆长的1/1000时应进行换杆处理。

1）根据原杆的状态确定新杆的规格，准备绝缘子、绑线、横担、抱箍、穿钉等，并确定是否更换原横担和原绝缘子。将新杆运到现场，按线路方向放好，大头指向已确定立杆的杆坑位置，一般条件下，新杆坑与旧杆坑顺线路方向的距离不宜大于1m，且将杆坑挖好并装底盘。

2）办理停电手续并停电，停电必须做到万无一失。

3）立杆并上卡盘，并将新杆杆头穿过线路的导线，使之与原杆两侧的导线相别及根数相同。

4）如果原杆可以攀登，则可登杆后将绑扎绝缘子上的绑线解开拆掉，将原横担拆下交于新杆上的工友（或用小绳送于地下）并按略高于原位置装好（或用小绳将新横担拉上来装好）。如果原杆不可攀登，则应用升降车、高凳或搭架子将导线松开并拆卸横担。新杆横担先将导线托起。

5）将原杆上所有的附件拆下后按下述方法将原杆卸倒：

①　在原杆杆根新杆的反侧开挖，宽度易操作即可，杆根部宽度与杆径相等，并将卡盘拆开拉上来。如果用起重机将杆拔出，其杆坑长宽以易操作为好，深度以取出最下一卡盘即可。然后系好钢索于杆高1/2处，开动起重机即可拔出。如果人工卸杆，坑长应大于2.5m，深度以见到根部为止，且从根部到上部2.5m长度为斜坡形。开挖前应登杆在其2/3高处系两根大绳，顺线路方向一根向前，一根向后。

②　将靠新杆一侧的大绳与新杆的根部盘绕5圈并撑紧，尾部至少有五人拉住。另侧拉绳人将大绳撑开，在大于原杆高加2m处顺线路方向站好。两侧均准备好后，即可用力撑紧大绳把杆身拉斜，另侧大绳缓缓松动，直到杆根部与坑的斜坡接触为止，也可用戗杆支起。

③　用众多人力将杆顺斜坡拔出放倒，并将原坑掩埋夯实，将原土堆于原坑处夯实。

6）登杆将新杆上的绝缘子与导线绑扎好。

这里需要说明一点，如果是更换终端杆、转角杆、轻承力杆其过程要复杂一点。首先是在更换杆的前一基杆上顺线路方向于被换杆侧加设临时拉线三根，其中一根拉住杆身的横担下侧，另两根分别拉住横担的两端，多层导线时应分别按上述设置拉线。然后是在该杆上装置与原杆导线根数相同数量的紧线器，并将每根导线用紧线器拉紧，拉紧的位置与装设临时拉线的位置相反。这时应检查有无不妥，特别是拉线和紧线器，要注意到该杆已成为临时的终端杆（转角杆、轻承力杆）。最后再按前述方法进行换杆并做好拉线。倒线时一般是在新杆装设紧线器，先把导线拉紧后再松开原杆上的终端蝶式绝缘子或耐张线夹。紧线时应将该耐张段上的绝缘子与导线绑扎的绑线松开，并松开临时终端杆的紧线器总体进行紧线，然后再把所有的绝缘子与导线绑扎好。

最后清理现场，清点工具，准备送电。换杆和送电的注意事项见丛书《电气工程出装调试运行维护实用技术技能丛书》的《电气工程安全技术及实施》分册。

（3）明装线路的其他故障及处理

1）横担歪斜、绑线脱落、绝缘子破裂松动、杆上鸟巢等均应停电后处理。横担歪斜可先将绝缘子上的绑线拆掉，稍微松开抱箍螺栓或穿钉，用铆头将横担敲打，使其端部上下歪斜小于20mm，端部左右扭斜小于20mm。然后将松开的螺母拧紧，如发现溢扣

则应更换同规格的螺栓。绑线脱落应用新绑线重新绑扎好，绝缘子破裂应更换为新绝缘子。高压绝缘子应先做耐压试验才能用于更换，当其松动时可将铁角的螺母拧紧，增补弹簧垫，如溢扣可拆下后重新套螺纹或更换螺母。杆上鸟巢可用竹竿将其捅掉。

2）导线垂度太大易引起相间短路，可将线路停电后，拆掉该耐张段所有杆上导线与绝缘子的绑线，于终端重新紧线；垂度太小易将导线拉断，也可重新紧线。

3）导线断线一般为垂度太小或导线受到机械损伤所致，也可为导线接头松动拉断或电流过大烧断所致。可重新调整垂度，或将导线松开重新接头然后再紧线。接头必须按前述要求进行。如因导线强度所致，则应重新选择导线重新架设。

4）导线从绝缘子绑扎处或耐张线夹处、并沟线夹处拉断均为导线有伤迹所致，放线时必须保证导线不受损伤并要仔细检查导线，以免发生拉断事故。

二、暗装电气线路故障排除

导线穿管暗设电路故障处理比较麻烦，因为我们看不到导线的实际情况，必须按照逐段排除的方法去解决。暗装线路的故障一般是由导线绝缘低劣、接头松动、安装时穿线受伤（如穿线困难用力拉线使导线截面积变小、削绝缘层时线芯受伤等）、负载太重电流太大等原因造成。暗装线路故障的处理应掌握管线的走向或者会判断管线的走向。这里用一实例来分析暗装线路故障的排除方法，如图 2-183 所示，假设图中标注⑪#的插座无电。

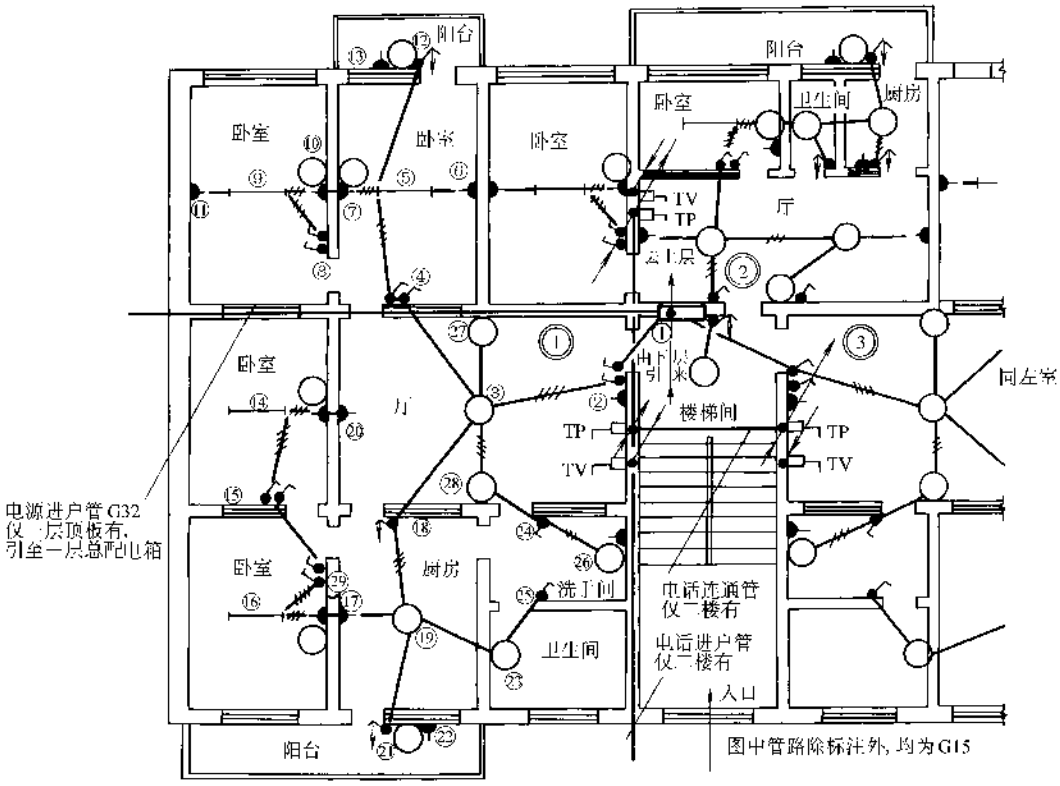


图 2-183　某住宅楼照明平面图

1）将⑪#插座盒盖的螺钉卸掉，将盒盖拿出并让接线朝上。用旋具将接线柱的螺钉拧紧，再次用万用表、试灯或能显示数值的试电笔测试，如仍无电则应继续查找。

2）将⑨#灯的电源盒打开，找出通向⑪#的两根线（按盒内管口的去向可判断），然后拉动这两根线，如果插座盖摇动则说明正确。将这两根线的“跪头”的绝缘布拆掉，先测试该“跪头”的进线有无电，如有电再测试“跪头”的出线（指接插座的两根线），如无电则说明“跪头”松动，应观察跪头有无过热痕迹，可用钳子夹紧或重接。如出线有电则说明有断线可能，可先把电源断开并把两个接头碰在一

起，在插座处用万用表或绝缘电阻表测试两线端是否相通。如不通则说明管内断线，如通则应将跪头断开，并用绝缘电阻表测试这两导线间的绝缘电阻及每根对地（管壁）的绝缘电阻，如均小于0.5MΩ，则说明绝缘层已坏，应更换导线，如均大于0.5MΩ，则说明绝缘层良好，应继续查找。

这里要注意，换线时应将带线用旧线系好穿入管内，旧线撤出后用带线再进行穿线。

3）将⑦#插座顶部距顶板 -0.3m 处的接线盒盖打开（注意：该盒是一个暗盒，只是为了接线的方便而设置的），按2）的方法进行检查和测试，如正常则应将⑤#灯的电源盒打开，仍按2）的方法进行检查和测试。这里要注意：如果⑤#灯盒正常仍找不出故障点，⑨#灯、⑩#灯和插座也是没有电的。

4）按上述方法检查和测试④#开关盒、③#灯盒、②#开关盒直到电源箱①，总会找到故障点。

处理暗装线路的故障要注意以下几点：

1）处理故障时不要着急，特别是夜间，可用防水线接一个临时照明灯，然后再处理。

2）当局部故障时，可从故障的前一个接线盒（点）进行，当全部没电时则应从总开关箱开始检查。

3）测试时最好用万用表、试灯或能显示电压值的数显式试电笔，效果较为直观。一般的氖泡试电笔只凭氖泡的亮度进行判断是比较困难的，有经验的电工也会出现误判，特别是线路陈旧时，绝缘能力降低，感应电往往会混淆人的思维。

三、电动机故障处理方法技巧

电动机的故障包括电动机本身、被拖动机械、控制电路、保护装置、电源及线路等几部分内容。出现故障时必须按程序进行判断和处理，以免事故进一步扩大而产生其他影响。

1. 电动机故障处理的程序及要点

（1）检查电源电压是否正常　检查盘柜上的电压表或用万用表检查电源总开关、断路器或熔断器式刀开关的上闸口和母线上的电压。三相电源电压应平衡（380V ± 10V），三相的电源指示灯应点亮且亮度相同，否则说明电源或线路有故障。

（2）检查保护装置是否已动作　低压断路器或接触器下闸口是否有电，三相电压是否平衡，检查跳闸指示灯是否点亮。检查每相熔断器的熔丝是否熔断，还可从熔室的状态初步判断故障的原因，如熔室烧成漆黑一片并有熔丝金属颗粒或熔珠，基本判断为电动机或负载线有短路可能；如熔室内熔丝被烧断且熔丝上下基本完好，只有中间段熔化，基本判断为电动机过载。

保护装置动作后，不得立即重新起动电动机，必须进行如下检查：

1）用人力盘动被拖动机械，检查有无堵塞、卡死现象。如盘车不动，则应将联轴器或传动带卸下，重新分别盘动机械和电动机轴，如机械被卡死应通知设备人员进行进一步的检查；如电动机盘不动，则应将前后轴承的轴承盖打开，检查轴承及润滑油是否正常；轴承基本正常则应解体电动机，检查定子与转子是否被卡死。

2）用万用表或试灯检查电动机接线盒的接线端子对地（外壳）是否有短路现象，检查每相线圈的头与尾是否相通。一般情况下，刚停下的电动机不用绝缘电阻表进行测量。

3）空试电动机的控制电路是否正常动作。空试指只有控制电路有电，主电路开关元件和电动机不得电、检验各元件动作的状态。一般情况下应将控制电路的电源接在总开关的上闸口，在总开关断开的情况下进行空试。同时检查控制电路的断路器或熔断器是否正常。必要时应将电动机负载线从柜内临时拆开，然后将电源开关合上，带电空试控制电路，并用万用表测量拆开处是否有电，进一步判断开关是否接触不良或有空合现象。

4）手摸或用点温计测量电动机外壳，若温度过高烫手，必须拆开电动机与机械的连接，进一步检查电动机。

（3）电动机无故障。若机械、电路也无故障、则可重新将断路器合闸或将热继电器复位（按动复位按钮）或更换同规格熔丝，空载起动电动机，测试空载电流及电压，若正常则可负载运行。否则，应修理电动机、修理机械、修理电路，正常后才能重新起动。若生产急用、且电动机或机械设备不能在短时修复，则应更换电动机或设备。

2. 电动机内部故障的诊断

（1）内部绕组极性连接错误的诊断

1）极相组中线圈的反接诊断通常是在各相中通以低压直流，同时在铁心上放一只指南针，并使其沿定子铁心内壁移动，每经过一极相组时，均应反向。如果经过某极相组时指针不固定或晃动，说明这个极相组有线圈反接的可能。因为线圈反接，削弱了这个极相组的磁场。

2）极相组与极相组的反接的诊断与前述基本相同，也是分别在每相通以低压直流，并在铁心上放置指南针，当指南针在内壁慢慢移动时，应在经过这相的各个极相组时反向，否则说明这个极相组接反。

（2）断路的诊断　断路的诊断一般可用万用表，先用万用表（R×1k 档）测出某相不通，然后把该相极相组的连接线的封头绝缘层去掉，露出连接的焊点，再从一端开始一一测量每个极相组的通断，即能很快测出断路的极相组。这里要注意焊点是否连接可靠，这是断路经常发生的部位。

找出不通的极相组后，把线圈连接的封头绝缘层去掉，再用万用表一一测量每个线圈的通断情况，即可找出断路的线圈。

（3）接地的诊断　接地的诊断应使用绝缘层电阻表，方法同断路的诊断，所不同的是绝缘电阻表的测量线一端接被测点，而另一端一直接地（机壳），绝缘电阻为零的则有接地故障。

（4）短路的诊断　短路按部位划分有绕组匝间短路，绕组与绕组间短路，极相组间短路，相间短路等几种，其中匝间短路的诊断比较困难。短路的诊断一般用绝缘电阻表、电桥和短路侦察器。

1）相间短路或极相组间的短路。短路的诊断应先将电动机的星点或三角形联结的角点打开，用绝缘电阻表测试三相中相与相之间的绝缘电阻，绝缘电阻极小、趋于零或为零则为该两相有相间短路的故障。

将相间短路的两相中每相的极相组封头连接线打开，用绝缘电阻表分别一一测试这两相间每个极相组间的绝缘电阻，绝缘电阻为零的则为该两极相组有短路故障。这两极相组很可能相邻，也可能不相邻。

将这两个不同相的极相组的各个线圈的封头连线打开，用摇测试一相的每个线圈与另一相每个线圈间的绝缘电阻，阻值为零者即为相间短路的两个线圈。这样也解决了不同相中绕组与绕组短路的故障诊断。

2）同相中绕组与绕组间的短路或匝间短路。先用电桥测出直流电阻较小或通电后测出电流较大的一相，可能有绕组与绕组间短路或匝间短路故障。

将这相的极相组封头连线打开，用电桥分别测量每个极相组的直流电阻，其值最小者，可能有绕组与绕组短路或者匝间短路故障。

将有故障的极相组中线圈的封头连线打开，用电桥分别测量每个线圈的直流电阻，其值最小者，会有匝间短路故障；用绝缘电阻表分别测量每线圈间的绝缘电阻，阻值为零者，说该两线圈间有短路故障。

3）匝间短路。单独诊断线圈匝间短路故障，只需将星点或角点打开，并联支路应将并联点打开，然后用短路侦察器进行扫描即可。短路侦察是一种专用工具，是用变压器的原理检查线圈匝间短路故障的，使用方法如图 2-184 所示。短路侦察器有一个不闭合的铁心磁路，绕有励磁绕组，相当于变压器一次侧绕组。将其接通电源，对准放在定子铁心的槽口，沿着各个槽逐槽移动，当它经过一个有短路故障的线圈时，这个短路线圈即成为变压器的二次侧绕组，这时电流表将指示较大的电流或者放在该线圈另一边所在的槽口处的 0.5mm 厚的薄钢片将会振动。

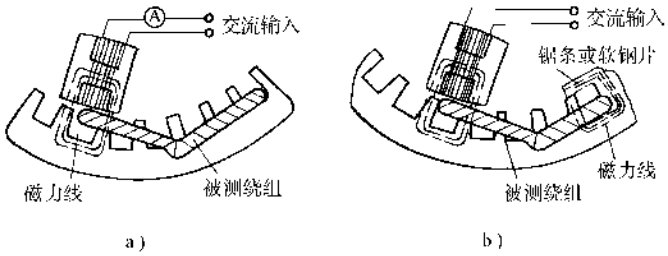


图 2-184　短路侦察器的使用方法

a）用电流表　b）用钢片

短路侦察器市场有售，也可以自制。按图 2-185 的铁心尺寸，选用直径 0.44mm 漆包线每层绕 50 匝，19 层，共 950 匝，并作好层间绝缘，电压为交流 220V。

（5）绕线转子绕组的诊断　参见定子绕组的诊断方法。

（6）笼型转子断条的诊断　断条一般可以用肉眼或放大镜看出，但是一些细微的裂纹或不明显的断条则应用断条侦察器来检查。断条侦察器利用互感器的原理，将被测转子放在图 2-186 所示的两个铁心上，用铁心 2 逐槽测量，如果毫安表的读数增大，则该处的铜或铝条有断条故障。

铁心 1 和 2 是用 0.35～0.50mm 厚的硅钢片叠成，其尺寸见图 2-186。铁心 1 接 220V 交流电源，两

只绕组头尾串联，用直径 1.0mm 漆包线，每只绕组为 600 匝。铁心 2 的绕组用直径 0.19mm 的漆包线沿轴向绕于 15mm 宽处绕 2500 匝，然后接一只 1000mA 的毫安表。

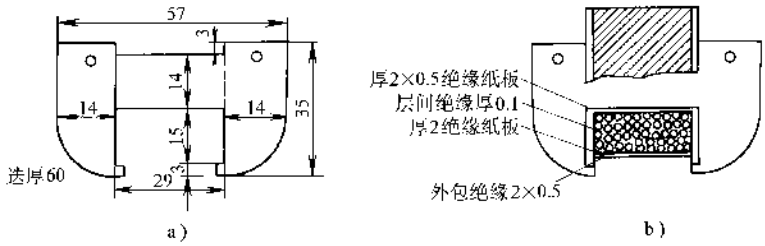


图 2-185　短路侦察器的外形及结构

a）铁心尺寸　b）绝缘结构

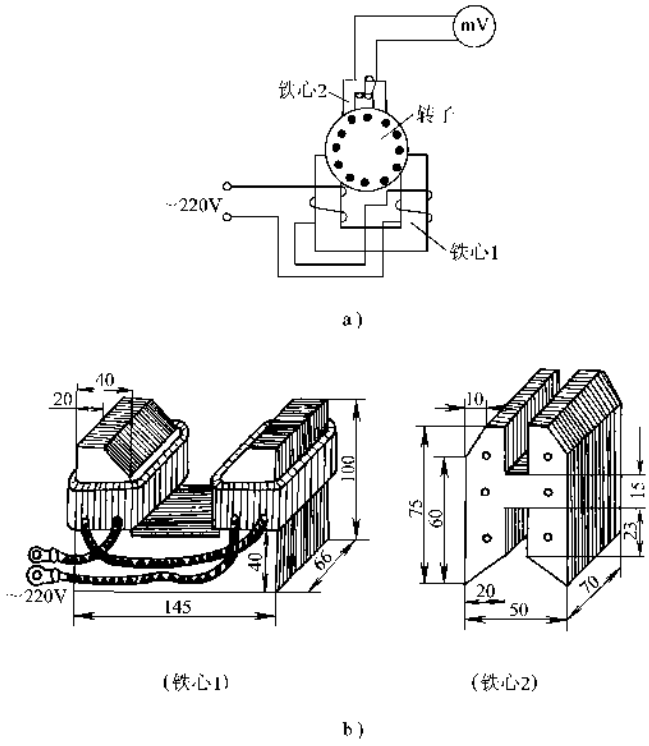


图 2-186　断条侦察器的使用方法及外形结构

a）笼型转子断条检查方法　b）断条侦察器的形状与尺寸

3. 电动机常见故障及故障处理方法

见表 2-84。同时可参照第五章的电动机测试相关内容进行。

四、照明装置故障处理方法

照明装置故障的处理方法较简单，这里仅列出要点，供读者参考。

表 2-84　三相异步电动机的常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
不能起动	1. 电源未接通 2. 定子或转子绕组断路 3. 定子绕组相间短路 4. 定子绕组通地 5. 定子绕组接线错误 6. 熔丝烧断 7. 绕线转子电动机起动误操作 8. 过电流继电器整定值调得太小 9. 老式起动开关油杯缺油 10. 负载过大或传动机械被轧住 11. 控制设备接线错误	1. 检查开关、熔丝、各对触头及电动机引出线头，将故障处查出修理 2～5. 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 6. 查出烧断原因，排除故障，然后按电动机规格配上新熔丝 7. 检查集电环短路装置及起动变阻器的位置，起动时应分开短路装置，串接变阻器起动 8. 适当调高 9. 加新油至油面线 10. 选择较大容量电动机或减轻负载，如传动机器被轧住，应检查机器、消除障碍、盘车并进行控制电路的空投试验 11. 校正接线
电动机带负载运行时转速低于额定值	1. 电源电压过低 2. 笼型转子断条 3. 绕线转子异步电动机起动变阻器接触不良 4. 绕线转子一相断路 5. 电刷与集电环接触不良 6. 负载过大	1. 用电压表、万用表检查电动机输入端电源电压 2. 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 3. 修理变阻器接触器 4. 用校验灯、万用表等检查断路处排除故障 5. 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触 6. 选择较大容量电动机或减轻负载
电动机空载或负载时电流表指针来回摆动	1. 绕线转子异步电动机一相电刷接触不良 2. 绕线转子异步电动机的集电环短路装置接触不良 3. 笼型转子断条 4. 绕线转子一相断路 5. 转子和定子不同心 6. 负载不稳定	1. 调整电刷压力及改善电刷与集电环接触面 2. 修理或更换短路装置 3. 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 4. 用校验灯、万用表等检查断路处排除故障 5. 校正 6. 调整或校正负载
接地失灵、电动机外壳带电	1. 电源线与接地线搞错 2. 电动机绕组受潮，绝缘老化或引出线与接线盒碰壳	1. 纠正接线 2. 电动机绕组干燥处理、绝缘严重老化者要更换绕组、整理接地线
电动机运转时声音不正常	1. 定子与转子相摩擦 2. 电动机二相运转有“嗡嗡”声 3. 转子风叶碰壳 4. 转子磨绝缘纸 5. 轴承严重缺油 6. 轴承损坏	1. 锉去定转子硅钢片突出部分，轴承如有走外圆或走内圆，可采取镶套办法或更换端盖或更换轴承 2. 检查熔丝及开关触头，排除故障 3. 校正风叶，旋紧螺钉 4. 修剪绝缘纸 5. 先清洗轴承加新油，润滑脂的容量不宜超过轴承内容积的 70%，润滑油的选择按电动机要求进行选择 6. 更换轴承
电动机振动	1. 转子不平衡 2. 带盘不平衡 3. 带盘轴孔偏心 4. 轴头弯曲	1. 校动平衡 2. 校静平衡 3. 车正或镶套 4. 校直或更换转轴、弯曲不严重时，可车削 1～2mm，然后配上套筒（热套）

（续）

故障现象	可能原因	处理方法
轴承过热	1. 轴承损坏 2. 轴承与轴配合过松（走内圆）或过紧 3. 轴承与端盖配合过松（走外圆）或过紧 4. 滑动轴承油环轧煞或转动缓慢 5. 润滑油过多过少或油质不好 6. 传动带过紧或联轴器装得不好 7. 电动机两侧端盖或轴承盖未装平	1. 更换轴承 2. 过松时转轴镶套，过紧时重新加工到标准尺寸 3. 过松时端盖镶套，过紧时重新加工到标准尺寸 4. 查明轧煞处，修好或更换，油环油质太厚时应换掉较薄的润滑油 5. 加油或换油、润滑脂的容量不宜超过轴承容积的70%，润滑油选择应按轴承要求进行 6. 调整传动带张力、校正联轴器传动装置 7. 将端盖或轴承盖止口装进装平、旋紧螺钉
电动机温升过高或冒烟	1. 负载过大 2. 两相运转 3. 电动机风道阻塞 4. 环境温度增高 5. 定子绕组匝间或相间短路 6. 定子绕组通地 7. 电源电压过低或过高	1. 选择较大容量电动机或减轻负载 2. 检查熔丝、开关触头、排除故障 3. 清除风道油垢及灰尘 4. 采取降温措施 5. 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 6. 参见“电动机内部故障的诊断”检查处理 7. 用电压表、万用表检查电动机输入端电源电压，是否电源波动
绕线转子集电环火花过大	1. 电刷牌号及尺寸不合适 2. 集电环表面有污垢杂物 3. 电刷压力太小 4. 电刷在刷握内轧住	1. 更换合适电刷 2. 用0号砂布磨光集电环并擦净，污垢痕重时应车一刀 3. 调整电刷压力 4. 磨小电刷
起动即跳闸	1. 负载太重 2. 保护装置动作 3. 电动机故障	1. 选择较大容量电动机或减轻负载 2. 检查或调整保护装置 3. 排除电动机故障

1）灯全部不亮应检查总开关，当总开关跳闸或总熔丝熔断时则为线路或设备短路或负载太大。如熔丝盒内黑煳一片或熔珠飞溅则为短路造成，如只有中间段熔断，并有熔液流出则为过载造成。当总开关未跳闸或总熔丝未熔断则为总干线断路或控制箱内开关或某相接触不良或烧坏所致。

2）只有部分灯不亮则为支路上或支路开关有上述故障存在。

3）某一灯不亮则为该分路上或开关有上述故障，或灯具连接错误，或接触不良，或灯泡损坏，或开关损坏。

4）灯具不能正常发亮，一般为电压太低、接触不良、线路陈旧漏电及绝缘性能差，或灯泡损坏等。

5）检查故障时要一个回路一个回路检查，不得急于求成。

五、低压电器故障处理方法

断路器故障及排除方法见表2-85。

热继电器故障及排除方法见表2-86。

接触器故障及排除方法见表2-87。

电缆故障类型及检测方法见表2-88。

轴承常见故障和处理方法见表2-89。

换向器常见故障和处理方法见表2-90。

表 2-85　断路器常见故障及排除方法

	故障现象	原　　因	处理办法
1	手动操作断路器，触头不能闭合 手动拉闸不能断开	1. 失电压脱扣器无电压或线圈烧坏 2. 储能弹簧变形，导致闭合力减小 3. 反作用弹簧力过大 4. 机构不能复位脱扣 5. 传动机构不灵活	1. 检查线路，施加电压或更换线圈 2. 更换储能弹簧 3. 重新调整 4. 调整脱扣接触面至规定值 5. 传动点上加少许机油
2	电动操作断路器，触头不能闭合	1. 操作电源电压不符 2. 电源容量不够 3. 电磁铁拉杆行程不够或衔铁间隙过大 4. 电动机操作定位开关失灵 5. 控制器中整流管或电容器损坏	1. 更换电源 2. 增大操作电源容量 3. 重新调整或更换拉杆或垫高铁心 4. 重新调整 5. 更换
3	有一相触头不能闭合	1. 一般为断路器的一相连杆断裂 2. 限流元件传动机构角度不合适	1. 更换连杆 2. 调整至原技术条件规定要求
4	分励脱扣器不能使断路器分断	1. 线圈短路 2. 电源电压太低 3. 脱扣接触面太大 4. 螺钉松动	1. 更换线圈 2. 更换电源电压或升高 3. 重新调整 4. 拧紧
5	失电压脱扣器不能使断路器分断	1. 反力弹簧变小 2. 如为储能释放，则储能弹簧变小 3. 机构卡死	1. 调整弹簧 2. 调整储能弹簧 3. 消除卡死原因
6	起动电动机时断路器立即分断	1. 过电流脱扣器瞬动整定电流太小 2. 断相保护或其他保护动作	1. 调整过电流脱扣器瞬时整定弹簧及其他保护 2. 如为空气式脱扣器，则可能阀门失灵或橡皮膜破裂，查明后更换
7	断路器闭合后，一定时间（约 1h）自行分断	1. 过电流脱扣器长延时整定值不对 2. 热元件或半导体延时电路元器件变质	1. 重新调整 2. 更换
8	失电压脱扣器噪声	1. 反力弹簧力太大 2. 铁心工作面有油污 3. 短路环断裂	1. 重新调整 2. 消除油污 3. 更换衔铁或铁心
9	断路器温升过高	1. 触头压力过分降低 2. 触头表面过分磨损或接触不良 3. 两个导电零件连接螺钉松动	1. 调整触头压力或更换弹簧 2. 更换触头或清理接触面，不能更换者只好更换整台断路器 3. 拧紧
10	辅助开关发生故障	1. 辅助开关的动触桥卡死或脱落 2. 辅助开关传动杆断裂或滚轮脱落	1. 拨正或重新装好触桥 2. 更换传动杆和滚轮或更换整只辅助开关
11	半导体过电流脱扣器误动作使断路器断开	在仔细寻找故障，确认半导体脱扣器本身无损坏后，在大多数情况下可能是外界电磁干扰	仔细寻出引起误动作的原因，例如邻近大型电磁铁的操作，接触器的分断，电焊等，予以隔离或更换线路

表 2-86 热继电器常见故障及处理办法

故障现象	造成原因	处理办法
热继电器误动作	1. 整定值偏小 2. 电动机起动时间过长 3. 反复短时工作操作次数过高 4. 强烈的冲击振动 5. 用于不适合的工作制（如通断频率过高） 6. 连接导线太细	1. 合理调整整定值，如果热继电器额定电流或热元件号不符要求者应更换产品 2. 按电动机起动时间的要求，选择具有合适的可返回时间级数的热继电器或从线路上采取措施（如起动过程中热继电器短接） 3. 正确合理选用 4. 对有强烈冲击振动的场合应选用带防冲击装置的专用热继电器 5. 正确合理选用 6. 按技术条件规定选用标准导线
热继电器不动作	1. 整定值偏大 2. 触头接触不良 3. 热元件烧断或脱焊 4. 动作机构卡死 5. 导板脱出 6. 连接导线太粗	1. 按上栏办法 1 解决 2. 去除触头上的尘垢 3. 更换产品 4. 修理（但用户不得随意调整，否则会造成动作特性变化） 5. 重新放入，推动几次看动作是否灵活 6. 按技术条件规定选用标准导线
热元件烧断	1. 负载侧短路，电流过大 2. 反复短时工作操作次数过高 3. 机构故障，在起动过程中热继电器不能动作	1. 检查电路，排除故障或更换产品 2. 正确合理使用 3. 更换产品

表 2-87 接触器常见故障及处理办法

故障现象	可能原因	处理办法
吸不上或吸力不足（即触头已闭合而铁心尚未完全吸合）	1. 电源电压过低或波动过大 2. 操作回路电源容量不足或发生断线、配线错误及控制触头接触不良 3. 线圈技术参数与使用条件不符 4. 产品本身受损（如线圈断线或烧毁，机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜等） 5. 触头弹簧压力与超程过大	1. 调高电源电压 2. 增加电源容量，更换线路，修理控制触头 3. 更换线圈 4. 更换线圈，排除卡住故障，修理受损零件 5. 按要求调整触头参数
不释放或释放缓慢	1. 触头弹簧压力过小 2. 触头熔焊 3. 机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜 4. 反力弹簧损坏 5. 铁心极面有油污或尘埃粘着 6. E 形铁心，当寿命终了时，因去磁气隙消失，剩磁增大，使铁心不释放	1. 调整触头参数 2. 排除熔焊故障，修理或更换触头 3. 排除卡住现象，修理受损零件 4. 更换反力弹簧 5. 清理铁心极面 6. 更换铁心
线圈过热或烧损	1. 电源电压过高或过低 2. 线圈技术参数（如额定电压、频率、通电持续率及适用工作制等）与实际使用条件不符 3. 操作频率（交流）过高	1. 调整电源电压 2. 调换线圈或接触器 3. 选择其他合适的接触器

（续）

故障现象	可能原因	处理办法
线圈过热或烧损	4. 线圈制造不良或由于机械损伤、绝缘层损坏等 5. 使用环境条件特殊：如空气潮湿，含有腐蚀性气体或环境温度过高 6. 运动部分卡住 7. 交流铁心极面不平或中间气隙过大 8. 交流接触器派生直流操作的双线圈，因常合联锁触头熔焊不释放，而使线圈过热	4. 更换线圈，排除引起线圈机械损伤的故障 5. 采用特殊设计的线圈 6. 排除卡住现象 7. 清除极面或调换铁心 8. 调整联锁触头参数及更换烧坏线圈
电磁铁（交流）噪声大	1. 电源电压过低 2. 触头弹簧压力过大 3. 磁系统歪斜或机械上卡住，使铁心不能吸平 4. 极面生锈或因异物（如油垢、尘埃）侵入铁心极面 5. 短路环断裂 6. 铁心极面磨损过度而不平	1. 提高操作回路电压 2. 调整触头弹簧压力 3. 排除机械卡住故障 4. 清理铁心极面 5. 调换铁心或短路环 6. 更换铁心
触头熔焊	1. 操作频率过高或产品过负载使用 2. 负载侧短路 3. 触头弹簧压力过小 4. 触头表面有金属颗粒突起或异物 5. 操作回路电压过低或机械上卡住，致使吸合过程中有停滞现象，触头停顿在刚接触的位置上 6. 产品不合格、属伪劣品	1. 调换合适的接触器 2. 排除短路故障，更换触头 3. 调整触头弹簧压力 4. 清理触头表面 5. 提高操作电源电压，排除机械卡住故障，使接触器吸合可靠 6. 调换
触头过热或灼伤	1. 触头弹簧压力过小 2. 触头上有油污，或表面高低不平，有金属颗粒突起 3. 环境温度过高或使用在密闭的控制箱中 4. 铜触头用于长期工作制 5. 操作频率过高，或工作电流过大，触头的断开容量不够 6. 触头的超程太小	1. 调高触头弹簧压力 2. 清理触头表面 3. 接触器降容使用 4. 接触器降容使用 5. 调换容量较大的接触器 6. 调整触头超程或更换触头
触头过度磨损	1. 接触器选用欠妥，在以下场合时，容量不足： （1）反接制动 （2）有较多密接操作 （3）操作频率过高 2. 三相触头动作不同步 3. 负载侧短路	1. 接触器降容使用或改用适于繁重任务的接触器 2. 调整至同步 3. 排除短路故障，更换触头
相间短路	1. 可逆转换的接触器联锁不可靠，由于误动作，致使两台接触器同时投入运行而造成相间短路，或因接触器动作过快，转换时间短，在转换过程中发生电弧短路 2. 尘埃堆积或粘有水汽、油垢，使绝缘性能变坏 3. 产品零部件损坏（如灭弧室碎裂） 4. 产品不合格，属伪劣品	1. 检查电气联锁与机械联锁；在控制电路上加中间环节或调换动作时间长的接触器，延长可逆转换时间 2. 经常清理，保持清洁 3. 更换损坏零部件 4. 调换

表 2-88 电缆故障类型及其检测方法

故障类型		检测方法
短路接地故障	1. 低阻接地故障（接地电阻在 100kΩ 以下）	1. 电桥法（QJ-23 型或 QF_1-A 型电桥） 2. 连续扫描脉冲示波器法（MST-1A 型或 LGS-1 型数字式测试仪）
	2. 高阻接地故障（接地电阻在 100kΩ 以上）	1. 高压电桥法（QF_1-A 型电桥） 2. 一次扫描示波器法（711 型） 3. 烧穿故障点，再用低压电桥法
断线故障	1. 完全断线故障	1. 电桥法（电容电桥 QF_1-A 型电桥） 2. 连续扫描示波器法（MST-A 型或 LGS-1 型）
	2. 不完全断线故障	1. 高电阻断线用交流电桥法 2. 低电阻断线，先烧断，后再按完全断线测寻
闪络性故障		一次扫描示波器法（711 型）

表 2-89 轴承常见故障和处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
滚动轴承发热和不正常杂声	1. 轴承内润滑脂过多或过少 2. 滚珠（滚柱）磨损 3. 轴承与轴配合过松（走内圈）或过紧 4. 轴承与端盖配合过松（走外圈）或过紧	1. 维持适当的润滑脂（一般为轴承室内部容积的 2/3～3/4） 2. 更换轴承 3. 过松时，可用金属喷镀或镶套筒；过紧时，则需重新加工 4. 过松时，可用金属喷镀或镶套筒；过紧时，则需重新加工
滑动轴承发热，漏油	1. 轴颈与轴瓦间隙太小，轴瓦研刮不好 2. 油环运转不灵活，压力润滑系统的油泵有故障，油路不畅通 3. 润滑油牌号不合适，油内有杂质 4. 油箱内油位太高 5. 轴承挡油盖密封不好；轴承座上下接合面间隙过大	1. 研刮轴瓦，使轴颈与轴瓦间隙合适 2. 更换新油环，排除油路系统故障，保证有足够的润滑油量 3. 换用合适的润滑油清除杂质 4. 减少油量 5. 改进轴承挡油盖的密封结构，研刮轴承座上下接合面使之密合

表 2-90 换向器常见故障和处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
片间短路	1. 片间云母损坏 2. 换向器 3°锥面因涂封绝缘处理不好，进入金属异物	1. 更换片间云母 2. 清除金属异物，3°锥面间隙处作绝缘涂封处理
接地	1. V 形绝缘环 3°锥面损坏 2. 换向器内部进入金属异物 3. 换向器 V 形绝缘环 3°锥面有粉尘，产生爬电	1. 更换 V 形绝缘环 2. 清除异物（解体后） 3. 清除粉尘，加强绝缘涂封，提高表面绝缘电阻
外圆变形	1. 片间绝缘、V 形绝缘环产生热收缩 2. 换向器压圈，螺母等紧固件松动	1. 在换向器热态下对称均匀地旋紧螺母 2. 换向器外圆偏摆超过规定时，应采取措施车削外圆

（续）

故障现象	可能原因	处理方法
升高片断裂	1. 电动机扭振和机械力反复冲击，使升高片根部疲劳而断裂 2. 升高片材质硬脆 3. 升高片机械碰伤	1. 改进升高片结构，提高固有频率，防止发生谐振 2. 局部更换升高片 3. 局部更换升高片

六、变配电装置故障处理方法

变配电装置故障处理较为复杂，特别是在变配电所完工进行试运行阶段有时易发生一些常见故障，所以把这些故障的处理放在了本书的第十二章，如，高压断路器、高压隔离开关、高压互感器、电容器以及变压器等。这里仅列出低压配电装置及一些较为简单的故障处理方法。

（1）变电所（站）内发生全所（站）无电的处理

1）当电源有电，各分路断路器的继电保护装置均未动作时，应详细检查所（站）内设备，排除故障后方可恢复送电；分路断路器的继电保护装置已动作，不论掉闸与否，可按越级掉闸处理。

2）当电源无电时，电源断路器的继电保护装置已动作而未掉闸者，应立即拉开电源断路器，检查所（站）内设备，查出故障点，待故障排除后，且电源有电时，可恢复送电或倒至备用电源供电；本所（站）无故障时，可倒至备用电源供电，但应先拉掉电源断路器，后合备用电源断路器。

（2）高压熔断器熔丝熔断时，应先检查被保护设备有无故障，如因过负荷熔断（可根据熔丝熔断情况判断，熔丝断开点距离较小且无熔丝金属液飞溅迹象及烧黑，即为过负荷熔断；如断开点距离很大且熔丝金属液飞溅并黑糊一片即为短路熔断），可更换熔丝后试送；如果短路熔断，则应先查明原因并修复后，方可更换熔丝试送。更换的熔丝必须与原型号规格相同，不得任意更换规格或用非熔丝替代。

（3）35kV 及以下中性点非直接接地系统发生单相接地时的处理：

①　从表计及信号灯发现单相接地故障后，应立即检查所（站）内设备有无接地。所（站）内无接地时，可用分路断路器按线路的重要程度依次切断线路，查找接地点。

②　两台及以上变压器并列运行发生单相接地时，应先断开母线联络开关，判断哪段母线系统接地。

③　应采用断路器来断开接地点的电源，禁止使用隔离开关断开接地点电源。

④　消弧线圈在单相接地情况下，运行时间应以铭牌数据为准，但不得超过 2h，且上层油温不得超过 95℃。同时禁止使用消弧线圈盘上的小电流表来观察，以免烧毁；禁止拉开消弧线圈的隔离开关。

（4）变压器异常运行与故障的处理

①　运行人员发现变压器发生异常现象时应及时处理并报告上一级管理部门,必要时应调运其他值班人员。

②　变压器温升太大时一般由过负荷超过允许值及允许时间引起，应及时调整和限制负荷，可按照负荷的重要程度卸掉一部分次要负荷或停电而不影响整体运行的负荷，或者启动备用变压器，或者将一些负荷调整到并列运行的不超负荷的另一台变压器上。

③　其他故障处理详见第十二章第七节相关内容。

（5）低压配电系统异常运行及缺陷处理方法

低压配电系统重要的是要把巡视、检查、维护、保养、检修做好,把事故消灭在萌芽状态,确保正常运行。

1）低压母线和设备的连接点超过允许温度时，应先迅速停下次要负荷，以控制温度上升，然后再停下缺陷设备进行检修。遇异常现象时，除作紧急停电处置外，一般应报告电气主管上级。

2）各种电器触头和接点过热时，应检查触头压力及接触连接点的紧固程度，消除氧化层，打磨接点，调整压力，拧紧连接处。

3）电磁铁噪声过大，应检查铁心接触面是否平整、对齐，有无污垢、杂质和铁心锈蚀；检查短路环有无断裂，检查电压是否过低，并采取相应的修复措施。

4）低压电器内部发生放电声响，应立即停止运行并取下灭弧罩或外壳，检查触头接触情况，并摇测对地及相间的绝缘电阻是否合格。

5）如灭弧罩损坏或掉落，无论几相，均应停止该设备运行，待修复后方准许使用。灭弧罩内沉积的金属珠颗粒应及时清除，如金属隔栅烧毁较严重应予以更换。

6）接地线损坏或掉落时，应先检查设备是否漏电，必要时应停电修理，否则应用带绝缘介质的工具进行修理。

7）三相电源电压发生断相或电流互感器二次开路时，应及时停电进行处理。

8）断路器或熔断器发生越级动作时，应校验整定值和熔丝规格，否则应重新整定。

9）低压配电支路送电时，立即跳闸送不出去者，应先检查开关自身有无缺路或吸合线圈吸不住、过电流整定太小、机械挂钩不灵及其他有碍合闸的故障，必要时可将负荷线临时拆掉，然后再检查负荷线有无短路或带负荷较大等情况。

10）送电或正常运行时，某个部位若发生打火，有碍于运行，则应停下修理，一般是由于虚接所致。

11）低压配电室必须保持良好的通风，特别是夏日用电高峰时间，必要时应设置机械通风装置，强制通风，以减少事故的发生。

12）配电室有直接控制的大型电动机起动时，应密切注意电流、电压及各连接部位的变化情况。如有意外，应紧急停车，并检查故障点。如引起总保护动作时，则应重新调整动作参数。

13）低压配电室与高压配电所一样，应该是一个井井有条、整洁卫生、保卫严密、通信方便、道路畅通的场所，并永远保持六防二通、即防火、防水、防漏、防雨、防盗、防小动物，通风良好，道路畅通。

（6）继电保护装置与自动装置异常运行及事故处理的方法

1）运行中的继电保护装置出现异常情况时，值班人员应加强巡视，并采用果断措施立即处理，对有碍于安全运行的则应立即报告主管部门或负责人。

2）继电保护装置动作，使断路器跳闸，应通知该回路的用电单位，并做记录。电源进户总断路器因继电保护装置动作而跳闸，应通知供电部门。

3）凡因保护装置动作而引起断路器跳闸者，应检查保护装置动作情况并查明原因。恢复送电前必须将保护装置的所有掉牌信号全部复归。以上作业必须有两人进行，并做好监护和核查。

4）发现表针指示异常，如电流冲击、电压下降等，应立即检查信号装置（如光字牌等），判断是否发生故障。

5）变压器的差动保护装置动作，经检查判断，是由于引线故障或电流互感器及二次回路等原因造成，则经过处理修复后，变压器应继续投入使用。

6）变压器气体保护装置动作后，如不能明显判定是变压器内部故障，则应立即收集气体继电器内聚积的气体，并判定其性质。

7）运行中的晶体管式保护装置突然失去直流电源时，应将该装置的出口压板解除，待查明原因并恢复供电，并能正常工作后，方可投入压板继续运行。

8）分析继保装置故障时应注意以下几点：

① 保护装置动作时，系统的运行方式及输出回路的运行状态。

② 故障发生的时间、地点、部位、顺序、延续时间、故障种类和其他各种事故现象。

③ 断路器跳闸、合闸的顺序和因之引起运行方式的变化。

④ 故障发生时，系统出现的不正常现象，如振动、振荡、电压及频率的变化及失去负荷等。

⑤ 故障前后有功、无功负荷情况。

⑥ 发生事故时，哪些保护装置的动作引起了跳闸，哪些保护装置虽已动作，但未引起跳闸。

⑦ 发生事故后，若有必要或可能应对保护装置进行校验，以便找出保护装置本身可能存在的问题。

⑧ 处理故障时，一般应为两人，并做好详尽记录，同时应遵守安全操作规程。处理事故必须遵照继电保护原理接线图。

（7）电缆线路缺陷处理的方法

1）巡视检查时，应将一般缺陷记录在缺陷记录本内，然后按月或季维护小修计划处理。

2）发现电缆严重缺陷和危及运行时，除记录外，应立即报告上级并及时采取措施消除缺陷。一般方法是将电路停下运行，抢修制作电缆头或更换电缆。

3）运行维修人员必须全面了解和掌握电缆埋设路径上的各种情况，发现在电缆线路附近挖土取土者，应先向挖土人员索要挖土凭证，并向挖土人员交代电缆位置、深度及注意事项，必要时应由有关部门干预；发现电缆线路被挖、露出电缆，应及时做好防护工作，并检查电缆有无损坏，然后妥善处理；发现电缆线路附近有酸、碱等腐蚀性液体或其他污染源时，应及时调查清楚，并采取防护措施。如果危及运行或有触电危险，除向上级报告外，应设置临时围栏，组织人力抢修，必要时应停下电缆的运行。对不听劝阻或有意造成危害的应由法律部门追究责任。

4）电缆线路上的任何变动及修改、与电缆线路接近或交叉的管路、道路有变动时，都应及时掌握并更正相应的图样或技术资料。

解读或处理电工技术疑难问题往往是衡量评价一名电气维修人员技术水平的一个无形的标准，特别是在现场，当疑难问题出现后会有很多方面的人聚集在一起商讨解决办法，尽快解决问题恢复生产。作为电气维修人员来讲，这时要沉着冷静，仔细分析故障原因，不要急于发表意见，特别是一些重大难题，一定要慎重。因此，对于疑难问题的解决最主要的功夫是要在平时对设备、线路、元器件的安装、调试、运行、维护、检修、保养、修理、配件、材料等方面仔细观察，认真总结，以便积累经验，俗话说，养兵千日，用在一时。

解决难题要机电分离，强弱分离，主次分离。所谓机电分离是指要将设备中机械的部分与电气部分分开去解决；强弱分离是指电气部分中强电部分与弱电部分分开去解决；主次分离是指主要部分与次要部分分开去解决，主要元器件与次要元器件分开去解决。然后再用排除法，把正常的部分排除，最后找到症结。总结一下就是，化整为零，机电分离、强弱分离、主次分离，接口入手，排除异常、各个击破，找到症结。

第十四节　读图的程序、要点、方法

一、读图程序

实践中读图的程序一般按设计说明、电气总平面图、电气系统图、电气设备平面图、控制原理图、二次接线图和电缆清册、大样图、设备材料表和图例并进的程序进行，详见图 2-187。

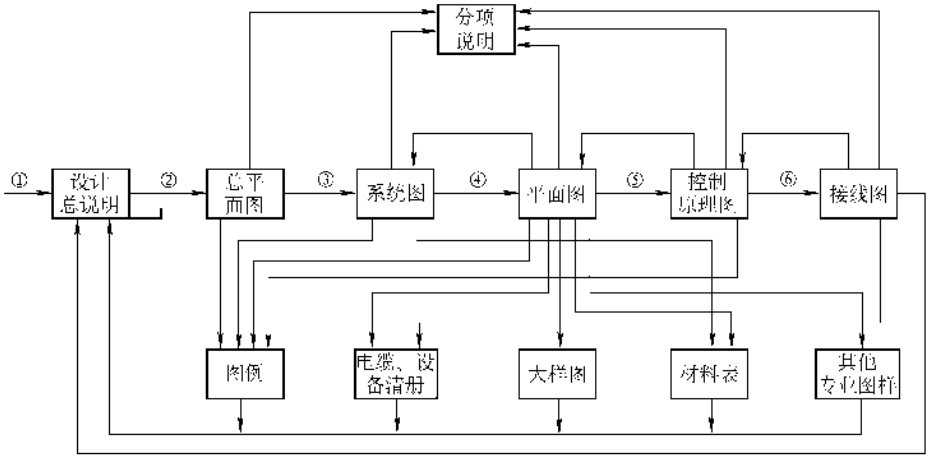


图 2-187　读图的程序框图

二、读图要点

（一）设计说明

阅读设计说明时，要注意并掌握下列内容：

（1）工程规模概况、总体要求，采用的标准规范、标准图册及图号，负荷级别，供电要求，电压等级，供电线路及杆号，电源进户要求和方式，电压质量，弱电信号分贝要求等。

（2）系统保护方式及接地电阻要求，系统防雷等级、防雷技术措施及要求，系统安全用电技术措施及要求，系统对过电压和跨步电压及漏电采取的技术措施。

（3）工作电源与备用电源的切换程序及要求，供电系统短路参数、计算电流、有功负荷、无功负荷、功率因数及要求，电容补偿及切换程序要求、调整参数、试验要求及参数，大容量电动机起动方式及要求，继电保护装置的参数及要求，母线联络方式，信号装置、操作电源、报警方式。

（4）高低压配电线路型式及敷设方法要求，厂区线路及户外照明装置的型式、控制方式，某些具体部位或特殊环境（爆炸及火灾危险、高温、潮湿、多尘、腐蚀、静电、电磁等）安装要求及方法，系统对设备、材料、元器件的要求及选择原则，动力及照明线路的敷设方法及要求。

（5）供电及配电采用的控制方式，工艺装置采用的控制方法及联锁信号，检测和调节系统的技术方法及调整参数，自动化仪表的配置及调整参数，安装要求及其管线敷设要求，系统联动或自动控制的要求及参数，工艺系统的参数及要求。

（6）弱电系统的机房安装要求，供电电源的要求，管线敷设方式，防雷接地要求及具体安装方法，探测器、终端及控制报警系统安装要求，信号传输分贝要求，调整及试验要求。

（7）铁构件加工制作和控制盘柜制作要求、防腐要求、密封要求、焊接工艺要求，大型部件吊装要求及其混凝土基础工程施工要求及其标号、设备冷却管路试验要求，蒸馏水及电解液配制要求，化学法降低接地电阻剂配制要求等非电气的有关要求。

（8）所有图中交代不清、不能表达或没有必要用图表示的要求、标准、规范、方法等。

（9）除设计说明外，其他每张图上的文字说明或注明的个别、局部的一些要求等，如相同或同一类别元件的安装标高及要求等。

（10）土建、暖通、设备、管道、装饰、空调制冷等专业对电气系统的要求或相互配合的有关说明、图样，如电气竖井、管道交叉、抹灰厚度、基准线等。

（二）总电气平面图

阅读总电气平面图时,要注意并掌握以下有关内容：

（1）建筑物名称、编号、用途、层数、标高、等高线，用电设备容量及大型电动机容量与台数，弱电装置类别、电源及信号进户位置。

（2）变配电所位置，变压器台数及容量、电压等级，电源进户位置及方式，系统架空线路及电缆走向，杆型及路灯、拉线布置，电缆沟及电缆井的位置、回路编号，主要负荷导线截面及根数，电缆根数，弱电线路的走向及敷设方式，大型电动机及主要用电负荷位置以及电压等级，特殊或直流用电负荷位置、容量及其电压等级等。

（3）系统周围环境、河道、公路、铁路、工业设施、电网方位及电压等级、居民区、自然条件、地理位置、海拔等。

（4）设备材料表中的主要设备材料的规格、型号、数量、进货要求、特殊要求等。

（5）文字标注、符号意义、其他有关说明、要求等。

（三）电气系统图

1. 阅读变配电装置系统图时的注意事项

（1）进线回路个数及编号、电压等级、进线方式（架空、电缆）、导线电缆规格型号、计量方式、电流电压互感器及仪表规格型号数量、防雷方式及避雷器规格型号数量。

（2）进线开关规格型号及数量、进线柜的规格型号及台数、高压侧联络开关规格型号。

（3）变压器规格型号及台数、母线规格型号及低压侧联络开关（柜）规格型号。

（4）低压出线开关（柜）的规格、型号及台数，回路个数、用途及编号，计量方式及表计，有无直接控制电动机或设备及其规格、型号、台数、起动方法，导线、电缆的规格、型号，同时对照单元系统图和平面图查阅送出回路是否一致。

（5）有无自备发电设备或 UPS，其规格、型号、容量与系统连接方式及切换方式，切换开关及线路的规格型号，计量方式及仪表。

（6）电容补偿装置的规格、型号及容量，切换方式及切换装置的规格、型号。

2. 阅读动力系统图时的注意事项

（1）进线回路编号、电压等级、进线方式、导线电缆及穿管的规格型号。

（2）进线盘、柜、箱、开关、熔断器及导线规格、型号、计量方式及表计。

（3）出线盘、柜、箱、开关、熔断器及导线规格、型号，回路个数、用途、编号及容量，穿管规格，起动柜或箱的规格、型号，电动机及设备的规格、型号、容量、起动方式，同时核对该系统动力平面图回路标号与系统图是否一致。

（4）有无自备发电设备或 UPS，内容同前。

（5）电容补偿装置，内容同前。

3. 阅读照明系统图时的注意事项

（1）进线回路编号、进线线制（三相五线、三相四线、单相两线制）、进线方式、导线电缆及穿管的规格型号。

（2）照明箱、盘、柜的规格型号，各回路开关熔断器及总开关熔断器的规格型号，回路编号及相序分配，各回路容量及导线穿管规格，计量方式及表计，电流互感器规格型号，同时核对该系统照明平面图回路标号与系统图是否一致。

（3）直接控制回路编号、容量及导线穿管规格、控制开关型号规格。

（4）箱、柜、盘有无漏电保护装置，其规格、型号、保护级别及范围。

（5）应急照明装置的规格、型号、台数。

4. 阅读通信系统图时的注意事项

（1）总机规格、型号及门数，外线进户对数，电源装置的规格、型号，总配线架或接线箱的规格、型号及接线对数，外线进户方式及导线电缆穿管规格、型号。

（2）各分路送出导线对数，房号插孔数量，导线及穿管规格型号，同时对照平面布置图，核对房号及编号。

（3）发射天线规格型号、根数，引入电缆规格型号。

5. 阅读广播音响系统图时的注意事项：

（1）广播音响设备规格型号，电源装置规格型号，送出回路个数及其开关规格型号，导线及管路规格型号，自办节目的设备规格型号及天线规格、型号，电缆引入方式。

（2）各分路送出导线回路数、房号、编号，对照平面图核对房号及编号。

6. 阅读电缆电视系统图时的注意事项

（1）天线根数及其规格型号，天线引入信号的分贝值，前端设备的规格型号及输出信号的分贝值，自办节目的设备规格型号，电缆的规格型号，电源装置规格型号及功能。

（2）系统的回路个数及电缆的规格型号，各回路从顶层至最底层各房间信号分贝值及编号，中间放大器、线路放大器规格型号，送至架空电缆的规格型

号及信号的分贝值，各插孔规格型号。

（3）对照平面图核对编号及信号分贝数。

（4）系统与保安系统的联络方式及控制功能。

7. 阅读火灾自动报警及消防系统图的注意事项

（1）集中报警控制器、区域报警控制器规格、型号、台数，电源装置规格、型号、台数，火警报警装置和消防控制设备规格、型号，消防通信设置规格、型号，火灾事故广播设备规格、型号，信号盘及操作控制柜规格、型号、功能，监视器规格、型号、台数，上述各设备送出的回路个数、编号及导线或电缆的规格型号，被控制设备的名称、规格、型号及编号、机房及其他设施规格、型号及管线电缆规格、型号。

（2）各区域报警控制器输入回路个数，探测器规格、型号、数量、编号及房号，输出回路个数，导线及穿管规格型号。

（3）集中报警控制器输入回路个数，导线或电缆穿管规格。

（4）喷洒灭火系统中喷洒头规格、型号、个数及编号、房号，水流报警阀规格、型号、个数及编号，气压水罐规格、型号，泵房动力系统图（水泵、稳压泵、消防泵等）同动力系统图。

（5）卤代烷灭火系统中，喷头规格、型号、个数及编号、房号，瓶头阀、分配阀及储罐规格、型号、个数及编号。

（6）二氧化碳、泡沫、干粉、蒸气及氮气等灭火系统主要设备的型号、规格及分布的编号、房号等。

（7）防排烟系统中，防火阀、送风机、排风机、排烟机的规格、型号、编号、房号及其电气动力系统图。

（8）安全疏散系统中疏散指示标志、防火门、防火卷帘的规格、型号、编号及房号，以及上述设施中的管线规格型号。事故照明系统图、消防电源系统图及消防电梯系统图同前。

（9）通风空调系统中的动力系统图。

（10）消防栓系统中的消防水泵、气压水罐、稳压泵的规格型号及动力系统图。

（11）系统中其他设施的规格型号及管线缆的规格型号。

（12）火灾事故广播系统及消防通信系统同4和5。

（13）对照平面图核对送入回路及探测器的编号、房号。

8. 阅读保安防盗系统图时的注意事项

（1）机房监视器规格、型号、台数，信号报警装置型号规格，传输电缆规格型号，送入信号回路个数、编号及房号，摄像探测器型号规格及个数，电源装置的规格型号。

（2）电门锁系统中控制盘的规格型号，监控回路个数、编号、房号，电源装置，管线缆规格型号。

（3）系统与电视和通信广播系统的联络方式。

（4）对照平面图核对回路的编号、房号等。

9. 阅读微机监控系统图的注意事项

（1）CPU主机规格型号台数，打印机，监视器，模拟信号装置的规格型号台数，电源装置及UPS规格型号，接线箱规格型号，引入回路个数、编号及房号，引入回路的管线电缆规格型号。

（2）数据采集器规格、型号、台数及功能，电磁量传感器及执行器规格、型号、台数，热工量和机械量传感器及执行器规格型号及台数，爆炸危险环境探测器及传感器、执行器的规格、型号、台数，火灾探测器及传感器、执行器的规格、型号、台数，有毒有害气体及环境保护监测传感器和执行器的规格型号及台数，其他传感器、探测器、执行器的规格型号及台数，传输信号管线电缆规格型号，各类传感器、探测器、执行器的编号及房号，并对照弱电平面图核对编号、房号。

（3）系统电源装置，系统与其他系统的联络及其管线缆等。其他系统指火灾自动报警、防盗保安、通信广播、电缆电视、自动化仪表系统等。

10. 阅读自动化仪表系统图的注意事项

（1）被测量的类别（温度、压力、流量、物位、机械量、化学量等），被测介质（蒸气、水、烟气、空气、风、CO_2、CO、SO_2、pH值等），一次仪表及取样装置的规格型号及编号，就地安装仪表及变送器的规格型号及编号，一次导线导管的规格型号及长度、编号，接线盒及二次导线或电缆导管的规格型号和长度、编号、走向，仪表盘上仪表及二次仪表的规格型号，仪表盘上的切换开关、信号指示、报警装置及其他电气装置的规格型号。

（2）仪表、电动调整装置与其他装置或电气设备的联锁条件及方式，调节阀或调节挡板与仪表或仪表盘上装置的关系，执行器的规格、型号、用途及其联锁控制方式。

（3）现场就地仪表接线盒、接线图，现场其他非仪表件（包括截止阀、针形阀、冷凝器、平衡器、保温箱等）的规格、型号、个数。

（4）仪表电源装置及连线方式。

（四）电气平面图

1. 变配电装置平面图

（1）阅读户外变电所平面布置图时，要注意并掌握以下有关内容：

1）变电所在总平面图上的位置及其占地面积的几何形状与尺寸，电源进户回路个数、编号、电压等级、进线方位、进线方式及第一接线点的形式（杆、塔），进线电缆或导线的规格型号，电缆头规格型号，进线杆塔规格，悬式绝缘子的规格、片数及进线横担的规格。

2）混凝土构架及其基础的布置、间距、比例、高度、形式（门型、单杆支柱）、中心线位置、数量、规格、用途及其结构型式，避雷针的位置、个数、规格、型式结构，电缆沟的位置、盖板结构及其沟断面布置，控制室及室内部分配电装置、电容器室以及休息室、检修间、备品库等房间的位置、面积、几何尺寸、开间布置等。

3）隔离开关、避雷器、电流互感器、电压互感器及其熔断器、断路器、电力变压器、跌落式熔断器、所用变压器、阻波器、滤波器、耦合电容器等室外主要设备的规格、型号、数量、安装位置。

4）一次母线、二次母线的规格及组数，悬式绝缘子规格、片数、组数，穿墙套管规格、型号、组数、安装位置及标高，二次侧母线桥的结构型式、标高、材料、规格，支柱绝缘子型号、规格及数量、安装位置、间距。

5）控制室信号盘、控制盘、电源柜、直流柜、模拟盘的规格、型号、数量、安装位置，室内电缆沟位置。

6）二次配电室进线柜、计量柜、开关柜、控制柜、联络柜、避雷柜的规格、型号、台数及安装位置，室内电缆沟位置，引出线的穿墙套管的规格、型号、编号、安装位置及标高，引出电缆的位置、编号。室内敷设管路的规格及导线电缆规格、根数。

7）修理间电源柜、动力配电柜的规格、型号、安装位置，电缆沟位置，管路布置及其规格，导线及电缆规格。

8）电容器室电容柜或台架的规格、型号、安装位置，电缆沟位置。

9）接地极、接地网平面布置及其材料的规格、型号、数量、引入室内的位置及室内布置方式，接地电阻要求，与设备接地点连接要求、敷设要求。

10）上述各条内容有无与设计规范不符，有无与土建、采暖、通风、给排水等专业冲突矛盾之处。

变配电所对建筑、采暖、通风、给排水的要求见表 2-91 ~ 表 2-93，变压器布置要求见表 2-94 ~ 表 2-97。审图时必须注意这些内容的核对。

表 2-91　变、配电所各房间对建筑的要求

房间名称	高压配电室（有充油设备）	高压电容器室	油浸变压器室	低压配电室	控制室	值班室
建筑物耐火等级	二级	二级（油浸式）	一级	二级		
屋面	应有保温、隔热层及良好的防水和排水措施					
顶棚	刷白					
屋檐	防止屋面的雨水沿墙面流下					
内墙面	邻近带电部分的内墙面只刷白，其他部分抹灰刷白		勾缝并刷白，墙基应防止油浸蚀，与有爆炸危险场所相邻的墙壁内侧应抹灰并刷白	抹灰并刷白		
地坪	水泥压光	水泥压光，采用抬高地坪方案，通风效果较好	低式布置采用卵石或碎石铺设，厚度为250mm 高式布置采用水泥地坪，应向中间通风及排油孔作2%的坡度	水泥压光	水磨石或水泥压光	水泥压光

（续）

房间名称	高压配电室（有充油设备）	高压电容器室	油浸变压器室	低压配电室	控制室	值班室
采光和采光窗	宜有自然采光，允许用木窗，能开启的窗应设置纱窗，第一层开向变电所范围以外的窗应加保护网，其窗台高度应≤1.8m，靠近带电部分的窗应为固定窗，在空气污秽或风沙大的地区，不宜设置可开启的窗	可设采光窗，其要求与高压配电室相同	不设采光窗	允许用木窗	允许用木窗 能开启的窗应设置纱窗，在寒冷或风沙大的地区采用双层玻璃窗	
通风窗	允许用木制百叶窗加保护网（网孔≤10mm×10mm），防止小动物进入	通风窗用百叶窗，并设有网孔不＞10mm×10mm的铁丝网	车间内变压器室的通风窗应为非燃烧材料制成，其他变压器室则允许用木制。出风窗应有防止雨、雪进入的措施，进风窗应有防止小动物进入的措施 门上的进风窗可采用百叶窗，内设网孔≤10mm×10mm的铁丝网，当进风有效面积不能满足要求时，可只装设网孔≤10mm×10mm的铁丝网			
门	门向外开，当相邻房间都有电气设备时，门应能向两个方向开或开向电压较低的房间					
	通往室外的门一般为非防火门，当室内总油量≥60kg，且门开向建筑物内时，门应用非燃烧体或难燃烧体做成	与高压配电室相同	采用铁门或木门内侧包铁皮 单扇门宽≥1.5m时，应在大门上加开小门，小门上应装弹簧锁，锁的高度应考虑室外开启方便。大门及大门上的小门应向外开启，其开启角度为180°，同时要尽量降低小门的门槛高度，使在室内外地坪标高不同时，出入方便	允许用木制	允许用木制 在南方炎热地区经常开启的通向屋外的门内还宜设置纱门	
电缆沟	水泥抹光并采取防水、排水措施 若采用钢筋混凝土盖板，要求平整光洁，重量≤50kg			水泥抹光并采取防水、排水措施		

表 2-92　变压器室通风窗有效面积　（单位：m^2）

进出风窗中心高度/m	进出风窗面积之比	SJL1－630				SJL1－1250				SJ1－560				SJ1－1000			
		进风温度30℃		进风温度35℃		进风温度30℃		进风温度35℃		进风温度30℃		进风温度35℃		进风温度30℃		进风温度35℃	
		进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积	进风窗有效面积	出风窗有效面积
3.0	1:1	1.12	1.12	1.96	1.96					1.36	1.36	2.38	2.38				
	1:1.5	0.91	1.36	1.59	2.38					1.10	1.65	1.92	2.88				
	1:2	0.82	1.64	1.43	2.86					0.99	1.98	1.74	3.48				
3.5	1:1	1.04	1.04	1.82	1.82	1.97	1.97	3.45	3.45	1.26	1.26	2.20	2.20	2.06	2.06	3.61	3.61
	1:1.5	0.84	1.26	1.47	2.20	1.59	2.38	2.79	4.18	1.02	1.53	1.78	2.67	1.67	2.50	2.92	4.38
	1:2	0.76	1.52	1.33	2.66	1.44	2.88	2.52	5.04	0.92	1.84	1.61	3.22	1.51	3.02	2.64	5.28
4.0	1:1	0.97	0.97	1.70	1.70	1.84	1.84	3.23	3.23	1.17	1.17	2.06	2.06	1.93	1.93	3.38	3.38
	1:1.5	0.79	1.18	1.37	2.05	1.49	2.23	2.61	3.91	0.95	1.42	1.67	2.50	1.56	2.34	2.73	4.09
	1:2	0.71	1.42	1.24	2.48	1.34	2.68	2.36	4.72	0.86	1.72	1.50	3.00	1.41	2.84	2.47	4.94
4.5	1:1	0.92	0.92	1.60	1.60	1.73	1.73	3.04	3.04	1.11	1.11	1.94	1.94	1.82	1.82	3.19	3.19
	1:1.5	0.74	1.11	1.30	1.95	1.40	2.10	2.46	3.69	0.90	1.35	1.57	2.35	1.47	2.20	2.58	3.87
	1:2	0.67	1.34	1.17	2.34	1.27	2.54	2.22	4.44	0.81	1.62	1.42	2.84	1.33	2.66	2.33	4.66
5.0	1:1					1.65	1.65	2.88	2.88					1.73	1.73	3.02	3.02
	1:1.5					1.32	1.99	2.33	3.49					1.40	2.10	2.45	3.67
	1:2					1.20	2.40	2.11	4.22					1.26	2.52	2.21	4.42

表 2-93　变配电所内各房间采暖、通风、给排水要求

项目	房间名称				
	高压配电室（有充油电气设备）	高压电容器室	油浸变压器室	低压配电室	控制室、值班室
通风	宜有自然通风，当装有事故通风装置时，其换气量每小时应不少于 6 次，事故排风机的控制开关宜装在便于开启处	应有良好的自然通风，按排风温度不高于 40℃ 计算，当自然通风不能满足要求时，应增设机械通风	应有良好的自然通风，按排风温度不高于 45℃ 计算，当自然通风不能满足要求时，应增设机械通风	一般靠自然通风	
采暖	一般不采暖	一般不采暖，当温度低于制造厂规定值以下，应采暖		一般不采暖，当兼作控制室或值班室时，在规定采暖区则采暖	在规定采暖区要采暖
水道	有人值班的配电所一般设给、排水管道；车间变电所一般不设给、排水管道				

表 2-94　户外变压器基础尺寸　（单位：mm）

变压器型号	电压/kV		容量/kVA	尺寸（见图 2-188）				
				L	c	b/a		
	高压	低压				混凝土	砖	块石或毛石混凝土
SJL（R8 系列）	6，10	0.4	180～240 320～560 750～1000	1000 1200 1600	550 660 820	300/250 300/360 300/520	370/180 370/290 370/450	400/150 400/260 400/420
SJL（R10 系列）	6，10	0.4	200～315 500～630 800～1000	1000 1200 1600	550 660 820	300/250 300/360 300/450	370/180 370/290 370/520	400/150 400/260 400/420
SJL1（R10 系列）	6，10	0.4	200～315 400～630 800～1000	1000 1200 1600	550 660 820	300/250 300/360 300/520	370/180 370/290 370/450	400/150 400/260 400/420
SJ（R8 系列）	6，10	0.4	180～320 420～1000	1200 1600	660 820	300/360 300/520	370/290 370/450	400/260 400/420
BSJL	6	0.4	320 560 750	1000 1200 1200	660 820	300/360 370/520	370/290 370/450	400/260 400/420
BSJ	6	0.4	1000	1600	820	300/520	370/450	400/420

注：本表适用于混凝土（100 号），砖（75 号砖、50 号水泥砂浆），石（200 号块石、50 号水泥砂浆），基础顶面做法与屋内变压器相同。

表 2-95 普通型电力变压器基础尺寸 （单位：mm）

变压器容量/kVA		尺寸（见图 2-189）			
		F_1	F_2	F_0	H
铝线	200～630（180～560）	550	660	605	500
	800～1250（750～1000）	660	820	740	300
铜线	180～560	660	820	740	500
	750～1000	820	1070	945	300

注：图 2-189 所示为不抬高地坪方案，当采用抬高地坪方案时，表中轨距仍然适用。

表 2-96 控制室各屏间及通道距离 （单位：mm）

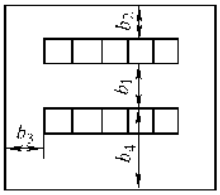
简图	符号	名称	一般值	最小值
	b_1	屏正面—屏背面	1300～1500	1200
	b_2	屏背面—墙	1000～1200	800
	b_3	屏边—墙	1000～1200	800
	b_4	主屏正面—墙	3000	—

表 2-97 变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距 （单位：m）

变压器容量/kVA	≤1000	1250
至后壁和侧壁的净距	0.6	0.8
至门的净距	0.8	1.0

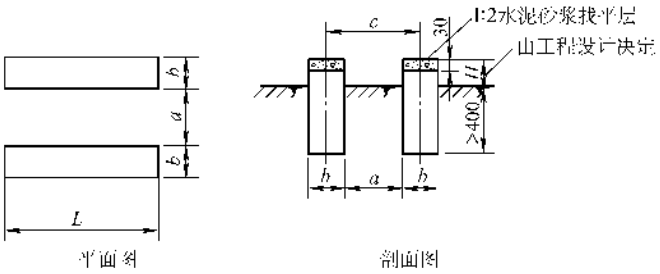


图 2-188 户外变压器基础示意图

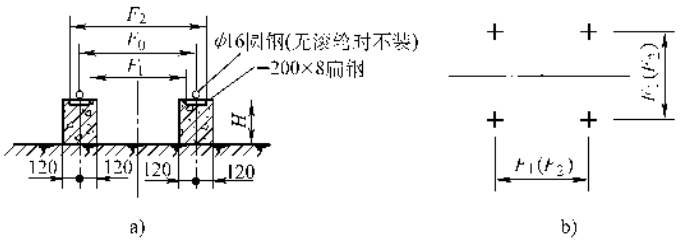


图 2-189 户内变压器基础示意图

a）变压器基础 b）荷重分布

（2）阅读户外变压器台平面布置图时，要注意并掌握以下有关内容：

1）变压器台的容量及安装位置、电源电压等级、回路编号、进户方位、进线方式、第一接线点形式、进线规格型号、电缆头规格、进线杆规格、悬式绝缘子规格和片数、进线横担规格。

2）变压器安装方式（落地、杆上），变压器基础面积、高度，围栏形式（墙、栏杆或网）、高度及设置，跌落式熔断器和避雷器规格、型号、安装位置，横担、构件、支撑规格及要求，杆头金具布置形式，接地引线及接地板的布置，接地电阻要求，悬式绝缘子及针式绝缘子数量及规格，高低压母线规格及安装方式，电杆规格及数量，卡盘和底盘，隔离开关规格型号及安装方式，低压侧熔断器的规格型号，低压侧总柜或总箱的位置、规格、结构型式以及低压出线方式、计量方式等。

（3）阅读户内变配电所平面布置图时，要注意并掌握以下有关内容：

1）见户外变配电所平面图的1）。

2）变配电所的层数、开间布置及用途，楼板孔洞用途及几何尺寸。

3）各层设备平面布置情况，开关柜、计量柜、控制柜、联络柜、避雷柜、信号盘、电源柜、操作柜、模拟盘、电容柜、变压器等规格、型号、台数、安装位置，首层电缆沟位置，引出线穿墙套管规格、型号、编号、安装位置，引出电缆的位置、编号，母线及母线桥结构型式及规格、型号、组数等。室内敷设管路的规格及导线、电缆的规格、型号、根数。

4）见户外变配电所的9）和10）。

2. 阅读动力平面图时的注意事项

（1）设备基础及电动机位置，电动机容量、电压、台数及编号，控制柜箱的位置及规格、型号，从控制柜箱到电动机安装位置的管路、线槽，电缆沟的规格、型号及线缆规格、型号、根数和安装方式，直接控制大型电动机线缆敷设方式及引入位置、规格、型号。

（2）电源进户位置、方式，线缆规格、型号，第一接线点位置及引入方式，电源总柜规格、型号及安装位置，总柜与各控制柜箱的连接形式及线缆规格、型号。

（3）接地母线、引线、接地极的规格、型号、数量、敷设方式、接地电阻要求。

（4）控制回路、检测回路的线缆规格、型号、数量及敷设方式，控制元件、检测元件规格、型号及安装位置。

（5）核对系统图与动力平面图的回路编号、用途名称、容量及控制方式是否相同。

（6）建筑物为多层结构时，上下穿越的线缆敷设方式（管、槽、插接或封闭母线、竖井等）及其规格、型号、根数、相互联络方式。单层结构的不同标高下的上述各有关内容及平面布置图。

（7）系统采用的接地保护方式及要求。

（8）单独设立控制室的动力平面图，应掌握控制室的位置、控制回路数、控制柜结构或规格型号，并对照控制原理图及电缆清册核对控制方式、联锁回路，控制柜排列安装位置、电缆沟或线槽的安装位置和安装方式。

（9）具有仪表检测的动力电路应对照仪表平面布置图核对联锁回路、调节回路的元件及线缆的布置及安装敷设方式。

（10）室内采用明装架空母线的规格、绝缘子规格型号、电源引入及引下线规格、安装方式、对应设备及开关箱柜的规格型号等。

（11）各类特殊环境电气设备及管线的上述内容。

3. 阅读照明平面图时的注意事项

（1）灯具、插座、开关的位置、规格型号、数量，控制箱的安装位置及规格型号、台数，从控制箱到灯具插座、开关安装位置的管路（包括线槽、槽板、明装线路等）的规格、走向及导线规格、型号、根数和安装方式，上述各元件的标高及安装方式和各户计量方法等。

（2）电源进户位置、方式，线缆规格、型号，第一接线点位置及引入方式，总电源箱规格型号及安装位置，总箱与各分箱的连接形式及线缆规格型号。

（3）核对系统图与照明平面图的回路编号、用途名称、容量及控制方式（集中、单独控制）是否相同。

（4）建筑物为多层结构时，上下穿越的线缆敷设方式（管、槽、竖井等）及其规格、型号、根数、走向、连接方式（盒内、箱内等）。单层结构的不同标高下的上述各有关内容及平面布置图。

（5）系统采用的接地保护方式及要求。

（6）采用明装线路时，其导线或电缆的规格、绝缘子规格型号、钢索规格型号、支柱塔架结构、电源引入及安装方式、控制方式及对应设备开关元件的规格型号等。

（7）其他特殊照明装置的安装要求及布线要求、控制方式等。

（8）土建工程的层高、墙厚、抹灰厚度、开间

布置、梁窗柱梯井厅的结构尺寸、装饰结构形式及其要求等土建资料。

（9）各类机房照明要求及上述有关内容。

（10）各类特殊环境照明布置要求及上述有关内容。

4. 阅读通信、广播、音响平面图时的注意事项

（1）机房位置及平面布置、总机柜、配线架、电源柜、操作台的规格型号及安装位置要求，交流电源进户方式、要求、线缆规格型号，天线引入位置及方式。

（2）市局外线对数、引入方式、敷设要求、规格型号，内部电话引出线对数、引出方式（管、槽、桥架、竖井等）、规格型号、线缆走向。

（3）广播线路引出对数、引出方式及线缆的规格型号、线缆走向、敷设方式及要求。

（4）各房间话机插座、音箱及元器件安装位置标高、安装方式、规格型号及数量、线缆管路规格型号及走向；多层结构时，上下穿越线缆敷设方式、规格型号、根数、走向、连接方式。

（5）屋顶天线布置位置、天线规格型号数量、安装方式，信号线缆引下及引入方式及引入位置、信号线缆规格型号。

（6）核对系统图与平面图的信号回路编号、用途名称等。

（7）见照明平面图中的（8）。

5. 阅读电缆电视平面布置图时的注意事项

（1）机房位置及平面布置，前端设备规格型号、台数，电源柜和操作台的规格型号及安装位置要求，交流电源进户方式、要求、线缆规格型号，天线引入位置及方式、天线数量。

（2）信号引出回路数、线缆规格型号、电缆敷设方式及要求、走向。

（3）各房间电视插座安装位置标高、安装方式、规格型号数量、线缆规格型号及走向、敷设方式；多层结构时，上下穿越电缆敷设方式及线缆规格型号；有无中间放大器，其规格型号、数量、安装方式及电源位置等。

（4）有自办节目时，机房、演播厅平面布置及其摄像设备的规格型号、电缆及电源位置等。

（5）屋顶天线布置，天线规格型号、数量、安装方式，信号电缆引下及引入方式、引入位置、电缆规格型号，天线电源引上方式及其规格型号，天线安装要求（方向、仰角、电平等）。

（6）见通信广播音响平面图的（6）和（7）。

6. 阅读火灾自动报警及自动消防平面图时的注意事项

（1）机房平面布置及机房（消防中心）位置、集中报警控制柜、电源柜及 UPS 柜、火灾报警柜、消防控制柜、消防通信总机、火灾事故广播系统柜、信号盘、操作柜等机柜室内安装排列位置、台数、规格型号、安装要求及方式，交流电源引入方式、相数及其线缆规格型号、敷设方法，各类信号线、负荷线、控制线的引出方式、根数、线缆规格型号、敷设方法，电缆沟、桥架及竖井位置、线缆敷设要求。

（2）火灾报警及消防区域的划分，区域报警器、探测器、手动报警按钮安装位置标高、安装方式，引入引出线缆规格型号、根数及敷设方式，管路及线槽安装方式及要求、走向。

（3）消防系统中喷洒头、水流报警阀、卤代烷喷头、二氧化碳等喷头安装位置、标高、房号，管路布置、走向及电气管线布置、走向、导线根数，卤代烷及二氧化碳等贮罐或管路安装位置、标高、房号等。

（4）防火阀、送风机、排风机、排烟机、消防泵及设施、消火栓等设施安装位置标高、安装方式及管线布置、走向，导线规格、根数，台数、控制方式。

（5）疏散指示灯、防火门、防火卷帘、消防电梯安装位置标高、安装方式及管线布置、走向，导线规格、根数，台数及控制方式。

（6）多层建筑结构时见动力平面图的（6）。

（7）系统采用的接地保护方式及要求。

（8）核对系统图与平面图的回路编号、用途名称、房间号、管线槽井是否相同。

7. 阅读保安防盗平面图时的注意事项

（1）机房平面布置及机房（保安中心）位置，监视器、电源柜及 UPS 柜、模拟信号盘、通信总柜、操作柜等机柜室内安装排列位置、台数、规格型号、安装要求及方式，交流电源引入方式、相数及其线缆规格型号、敷设方法，各类信号线、控制线的引入引出方式、根数、线缆规格型号、敷设方法、电缆沟、桥架及竖井位置、线缆敷设要求。

（2）各监控点摄像头或探测器、手动报警按钮的安装位置标高、安装及隐蔽方式、线缆规格型号、根数、敷设方法要求，管路或线槽安装方式及走向。

（3）电门锁系统中控制盘、摄像头、电门锁安装位置标高、安装方式及要求，管线敷设方法及要求、走向，终端监视器及电话安装位置方法。

（4）对照系统图核对回路编号、数量、元件编

号。

（5）同火灾系统平面图的（6）和（7）。

8. 阅读微机监控平面图时的注意事项

（1）机房（计算机中心）平面布置及位置，CPU 主机、打印机、监视器、终端机、模拟信号装置的规格型号、台数及安装位置，电源装置及 UPS、接线箱规格型号及安装位置，引入信号回路个数、编号、房号、引入方式、线缆规格型号，机房铜排接地网布置及其结构型式。

（2）各房间、监控区域内，数据采集器、传感器、探测器、执行器的回路编号、房号、安装方式及位置标高，管线槽架布置方式及走向、安装方式，竖井及槽架位置及其内部线槽排列方式、密封隔离要求，线缆管槽上下引入方式及要求。线缆槽架规格型号、根数、敷设要求。各元件电源管路布置走向及线缆规格型号、安装敷设方式等。

（3）消防中心、保安中心、通信广播机房、电缆电视机房，电气及仪表控制室与计算机中心联络的管线槽架规格型号、安装方式、敷设要及走向。

（4）对照系统图核对回路编号、房号，上下穿越及接地要求等。

9. 阅读自动化仪表平面布置图时的注意事项

（1）仪表控制室（机房）平面布置及位置、仪表柜、操作台、模拟盘、电源柜及 UPS 安装位置、排列方式、安装方式，线缆管架敷设位置标高、安装方式，引入引出管线规格型号、根数，电缆沟、竖井位置，电源引入方式及线缆规格型号。

（2）不同标高下，一次仪表及取样元件或传感器、变送器、就地仪表、执行器及非仪表元件（截止阀、针形阀、冷凝器、平衡器、保温箱等）的规格型号、个数、安装位置标高及方法，管线缆架规格型号、敷设方式及走向、回路编号、用途名称、上引下引位置及方式。

（3）各类仪表电源装置及其管线缆架平面布置、规格型号、走向、安装敷设方式等。

（五）控制原理图（包括二次回路、自动装置）

1. 阅读动力（主要指电动机）控制原理图时的注意事项

（1）电动机及起动柜的规格型号、电压等级、起动方式（直接、串联阻抗、自耦变压器、星角、延边三角等），被拖负载的机械特性（恒转矩、恒功率、反抗性通风机）、冷却方式（风冷、油循环、水循环）、油路水路提供的检测信号型式（压力、温度、流速），被拖负载的运行方式（连续、间断、周期性间断），电动机及设备的基础是否与电动机容量及转速相符等。

（2）开关（断路器、接触器、胶盖手动刀开关）的规格型号及台数、用途（起动、运转、切换），保护方式（熔断器、热继电器、断路器延时脱扣器、过电流继电器、电压继电器、差动保护）及其保护元件的规格型号、功能作用，切换方式及切换元件（时间继电器、速度继电器、电流继电器）的规格型号、功能作用。

（3）电子调节及控制设备的双向晶闸管、触发电路、电源装置、保护元件及其他形式电子电路元件的规格型号、功能作用。

（4）调速方式（变极、调压、调频）及其控制电路中各个元件的规格型号、功能及调速要求。非电类信号或触点的位置和功能。

（5）系统报警指示元件的规格型号、功能，系统联锁装置的功能及各继电器触点的分布、通断后的功能作用及对电路的影响。

2. 阅读断路器控制及信号回路的原理时的注意事项

（1）断路器规格型号、操作机构的类别（手力操作机构、电磁操作机构、电动操作机构、重锤操作机构、压缩空气操作机构、液压传动操作机构）及规格型号，机构内熔断器、继电器、信号灯、操作转换开关、接触器、小型电动机、各类线圈、整流器件（二极管）的规格型号及作用功能。

（2）操作电源类别（交流、直流）、名称及电压，各开关辅助触点和继电器触点的分布位置及其作用功能，保护回路的作用功能及其来自继电保护回路的触点编号、位置、接入方式。

（3）断路器事故跳闸后，中央事故音响信号回路的工作状态。

（4）继电保护回路动作后，断路器跳闸过程及信号系统的工作状态。

（5）继电保护回路与断路器控制回路的连接方式、接点编号。

3. 阅读接地信号监察装置原理图时的注意事项

（1）电压互感器、继电器的规格型号及各继电器的功能作用。

（2）继电器触点分布情况。

4. 阅读操作电源原理图时的注意事项

（1）操作电源的类别（交流、直流）、元件规格型号及功能作用。

（2）直流操作电源的类别（电容储能、镉镍蓄电池组、复式整流），整流器、继电器、闪光装置、绝缘监察装置、蓄电池组的规格型号及功能作用。

（3）各组操作电源的形成及作用。

5. 阅读备用电源自动投入装置的原理图时的注意事项

（1）自投开关的类别（断路器、接触器）及继电器的规格型号、功能作用。

（2）继电器及自投开关辅助触点的分布情况，其动作后对电路所产生的影响。

6. 阅读自动重合闸装置的原理图时的注意事项

（1）重合闸继电器工作原理、功能作用、规格型号，各继电器的功能作用、触点分布，转换开关的规格型号及功能作用。

（2）自动重合闸回路与断路器控制回路及保护回路的关系和控制功能。

（3）重合闸装置的电源回路。

7. 阅读电力变压器继电保护控制原理图时的注意事项

（1）变压器规格型号、继电保护的方式（差动保护、气体保护、过电流保护、低电压保护、过负荷保护、温度保护、低压侧单相接地保护）、各继电器规格型号及功能作用、继电器触点分布以及触点动后对电路所产生的影响、电流互感器规格型号及装设位置。

（2）继电保护回路与控制掉闸回路的连接方式、信号系统功能作用。

8. 阅读电力线路继电保护原理图时的注意事项

（1）线路电压等级、继电保护方式（电流速断保护、过电流保护、单相接地保护、距离保护、横差保护）、各继电器规格型号及功能作用，继电器触点分布、电流互感器规格型号及装设位置。

（2）保护回路与控制掉闸回路的连接方式，信号系统的功能作用。

9. 母线继电保护同电力线路继电保护。

10. 阅读电力电容器组继电保护原理图时的注意事项

（1）电力电容器规格型号及数量、继电保护方式（过电流保护、横联差动保护、过电压保护、单相接地保护）、各继电器规格型号及功能作用、继电器触点分布、电流互感器规格型号及装设位置。

（2）保护回路与控制掉闸回路的连接方式，信号系统的功能作用。

11. 阅读开关柜控制原理图时的注意事项

（1）开关柜规格型号、电压等级、功能作用及所控设备采用的继电保护方式（短路保护、过电流保护、断相保护、温度保护等）、控制开关作用功能、继电器触点分布、电流互感器规格型号及装设位置。

（2）保护回路与控制掉闸回路的连接方式，信号系统的功能作用。

12. 阅读火灾自动报警装置的控制原理图时的注意事项

（1）报警控制器、探测器的规格型号及工作原理、线制（多线制、两线制）、编码方式，联动系统的功能作用。

（2）探测器的分布、区域报警控制器与集中报警控制器（消防中心）联络方式。

13. 阅读电梯控制原理图时的注意事项

（1）继电器逻辑控制原理图

1）电动机调速原理（变极、调压），系统保护装置（极限、行程、超重、断绳、错相、过电流、超速、短路、欠电压、弱磁、断相等）工作原理，元件规格型号及安装位置、触点分布、功能作用，与机械配合的各种安全装置（选层器钢带张紧轮、限速器、超重装置、门关闭或门锁、安全绳等）的工作原理及与电气保护的配合、安装位置、功能作用。

2）各接触器、继电器的功能作用、触点分布及通断后对电路的影响。

3）电动机主回路、主操作回路、呼梯召唤回路、开门机回路、平层回路、信号回路、各保护回路的功能作用及工作原理。

（2）微机控制原理图

1）微机控制分微机、可编程序控制器、微处理器、单片机等几种，一般情况下，这些部件的主控板和控制板是为电梯专门设计生产的，为了调速的方便通常配用变频器与曳引电动机连接，同时设置旋转编码器与主机同轴，记录层站位置，进而准确减速、平层、停梯。开关门机构有采用变频门机系统的，与主控板配合使用。微机控制电梯也都配置一些接触器、继电器、行程开关、按钮、信号装置、速度信号感应器等，有些设置与继电器梯相同。

2）主控板规格型号、电源型式及电压，主控板与接触器、继电器、按钮、行程限位开关、楼层显示器、信号装置、感应器、指令控制信号等器件端子的连接方式。

3）主回路元器件及变频器规格型号、连接方式、主回路控制及保护方式，主机与编码器连接方式，变频器与主控板指令控制信号的连接方式，主机及主回路的保护方式及元件的规格型号。

4）系统保护回路中运行计数器、急停继电器、门联锁继电器的保护方式、保护内容以及元器件的连接方式，与主控板、主电路的联系方式。

5）门机系统采用的门机型式及与主控板的联系方式。

6）掌握系统与继电器控制方式的相同之处，对继电器控制系统的理解有助于对微机控制系统的理解。

7）上述继电器梯的相关内容。

8）接线图有助于对整机的理解。

14. 阅读自动化仪表调节控制原理图时的注意事项

（1）调节框图，变送器、调节器、伺服放大器、执行器、操作器的规格型号及功能作用，反馈回路的作用功能。

（2）调节参数、各元件之间的接线方式。

15. 阅读其他控制、调整原理图

对于这类图主要是掌握元件的功能作用、辅助触点分布、接线方式、工艺系统要求、信号指示系统的功能作用等。

（六）安装接线图

阅读接线图必须对照上述各类原理图，弄清元件型号规格及接线端子是否一致，要正确区分哪些接线已在设备本身或元件内部接好，哪些接线应另用导线或电缆进行重新接线；必须正确掌握每段导线的头和尾与设备或元件的连接点；当标有引至×××或来自×××时，应立即找出×××的位置或其接线端子板，认真核对线芯数和接线点位置；当读较为复杂的安装接线图时，应将其分割为几部分；连接导线或电缆的线芯数必须满足接线端子的数量；要弄清楚元件或设备安装位置及端子板安装位置。

（七）电缆清册

阅读电缆清册时，应注意并掌握以下内容：

安装单位名称（指使用这条电缆的设备，如风机、水泵、压力变送器等），电缆编号、电缆类别（电力电缆、信号或控制电缆，交流电缆、直流电缆）、电压等级、规格型号芯数、电缆走向及起止位置地点、电缆计算长度（这个数值只作为参考数值，不作为割锯电缆的凭证，割锯电缆一般应实测实量）、电缆的用途。核对电缆清册上的电缆应与平面图和接线图上的编号、规格型号、芯数是否相等。

（八）大样图

阅读大样图时，应注意并掌握以下内容：

材料及材质要求，几何尺寸、加工要求、焊接防腐要求、安装具体位置、内部结构型式、元件规格型号及功能作用、具体接线部位及接线方式、元件排列安装位置、制作比例、开孔要求及其部位尺寸、螺纹加工要求、安装操作程序及要求、组装程序、与其他图样的联系及要求等。

（九）架空线路施工图

阅读架空线路施工图时，应注意并掌握以下内容：

（1）电压等级、输送距离及容量、线路型式（单杆、双杆、铁塔、混合）、起止地点及主要路径。

（2）杆塔编号、杆塔型式（直线、转角、耐张、终端）、标志高、档距、耐张段长度、转角角度、跨越物（河、渠、树林、道路、田地、土梗、草坪、碱滩、砂丘、山坡等）。

（3）杆塔型式的结构、主要材料、数量，拉线结构、主要材料、数量，三盘（底盘、卡盘、拉线盘）的规格数量，各类金具、横担、抱箍、栏杆、叉梁、支撑、拉板、垫板、垫块、拉环等零件加工大样图，杆头及整杆、绝缘子串组装图等。

（4）线路始端从变配电所引出示意图，末端引入变配电所示意图，引入引出装置的结构、材料、加工图。

（5）避雷线接地要求、接地杆数量及具体接地部位、连接方式、接地要求，大跨越具体安装技术要求等。

（十）设备材料表

阅读设备材料表时，主要是掌握工程中的设备、材料、元件的规格型号、数量或质量、有无指定厂家供货，并应与前述各图相符。需要说明的是，设备材料表中的内容不作为工程施工备料或安装的依据。施工备料的依据，必须是经过会审后的施工图、会签的设计变更、现场实际发生的经甲方或监理或设计签发的技术文件。

三、读图步骤及方法

阅读电气工程施工图时，一般可分三个步骤：

（一）粗读

所谓粗读就是将施工图从头到尾大概浏览一遍，主要了解工程的概况，做到心中有数。粗读应掌握工程所包含的项目内容（变配电、动力、照明、架空线路或电缆、电动起重机械、电梯、通信、广播、电缆电视、火灾报警、保安防盗、微机监控、自动化仪表等项目）、电压等级、变压器容量及台数、大电动机容量和电压及起动方式、系统工艺要求、输电距离、厂区负荷及单元分布、弱电设施及系统要求、主要设备材料和元件的规格型号、联锁或调节功能作用、厂区平面布置、防爆防火及特殊环境的要求及措施、负荷级别、有无自备发电机组及 UPS 及其规格型号与容量、土建工程要求及其他专业要求等。粗读除浏览外，主要是阅读电气总平面图、电气系统图、设备材

料表和设计说明。

（二）细读

所谓细读就是按本节的读图程序和读图要点即每项应注意并掌握的内容，仔细阅读每一张施工图，达到读图要点中的要求，并对以下内容做到了如指掌：

（1）每台设备和元件的安装位置及要求；

（2）每条管线缆的走向、布置及敷设要求；

（3）所有线缆的连接部位及接线要求；

（4）所有控制、调节、信号、报警的工作原理及参数；

（5）系统图、平面图及关联图样标注一致，无差错；

（6）系统层次清楚、关联部位或复杂部位清楚；

（7）土建、设备、采暖、通风等其他专业分工协作明确。

（三）精读

所谓精读就是将施工图中的关键部位及设备、贵重设备及元件、电力变压器、大型电动机及机房设施、复杂控制装置的施工图重新仔细阅读，系统掌握中心作业内容和施工图要求。

对于一般小型且较简单或项目单一的工程，在读图时可直接进行精读，而对大、中型且项目较多的工程，在读图时应按粗读—细读—精读的步骤进行。通过这三个步骤后，我们心中便会有一个“活地图”，就像录了像一样，随时脑海里都会浮现任何一个部位的图样。当然，读图过程中，有时对某一部分还要进行复读或翻来复去地阅读，除了正确理解图样外，主要目的是为了加强对施工图的印象，这样对编制预算、编制设备材料清单、编制施工组织设计、进行安装调试是有绝大益处的，常言道，磨刀不误砍柴工就是这个道理。当然，每个人都有自己读图的习惯和方法，与他人不尽相同，但是其目的是一样的，只要能做到上述几点，其目的是会达到的。

四、读图注意事项

（1）读图切忌粗糙，而应精细；读图忌讳囫囵吞枣，而应细嚼慢咽。我们说的粗读，是读图的一个步骤，粗读而不粗，必须掌握一定的内容，了解工程的概况，做到心中有数。如果按前述的三个步骤读图，那么就应按其要求，扎扎实实地一步一个脚印读下去，掌握全部内容。如果不按前述的三个步骤读图，那么一开始便应进行细读，细读而要精，并按其要求掌握施工图的全部内容。

（2）读图时要准备好记录，要做到边读边记。做好读图记录，一方面是帮助记忆，另一方面为了便于携带，以便随时查阅及会审图样时提出。记录的主要内容有：主要设备规格型号及台数、变压器控制及保护方式、大型电动机起动方式、机房设施平面布置及引入引出管线缆的分布走向和编号、管线缆及设备与其他专业交叉打架部位、标注前后不符、图样前后不符、缺项或漏项、图样表达不清或不齐全而不能施工部位、图样有误或功能不能实现、图样与标准不符或经核算后设备材料规格有较大出入者、图样与国家政策有较大误差及偏离者、读图者认为图样有误或不清疑问等部位。除记录上述内容外，还应记录图号并在该图上用铅笔标注，以便核查。

（3）读图切忌无头无绪，杂乱无章。一般应按房号、回路、车间、某一子系统、某一子项为单位，按读图程序一一阅读。每张图全部读完后再读下一张图，如读该图中间，遇有与另外图有关联或标注说明时，应找出另张图，但只读到关联部位了解连接方式即可，然后返回来再继续读完原图。

（4）读图时，对图中所有设备、元件、材料的规格、型号、数量、备注要求准确掌握。其中材料的数量要按工程预算的规则计算，图中列出的材料数量只是一个概算估计数，不以此为准。同时手头应有常用电气设备及材料手册，以便及时查阅。

（5）读图时，凡遇到涉及土建、设备、暖通、空调等其他专业的问题时要及时翻阅对应的其他专业的图样。读图后除详细记录外，还应与其他专业技术负责人取得联系，对其中交叉跨越、并行打架或其他需要互相配合的问题要取得共识，并且在会审图样纪要上写明责任范围，共同遵守。

（6）读图时要尊重原设计，不得随意更改图中的任何内容，因为施工图的设计者是负有法律责任的。对于图中确为不妥之处须经有经验的第三人证实后且应做好笔录，以便在图样会审时提出；对于图中确为错误部分除经第三人证实外，还应进行核算。经核算证实为错误时，应与设计者进行商榷，由设计者提出设计变更。当设计者不能接纳时，可在会审图样时提出，由设计者回复。所谓不妥，是指按图中的要求和方法去施工将会浪费大量原材料、增加施工工期、有碍安全施工或有碍于工程质量。对于那些这样做也行、那样做也行，对工程质量、安全、工期、投资没有什么太大影响，只是个人意见不统一的地方，不得按不妥处理。所谓错误，是指按图中的要求和方法去施工将会造成电气功能不能实现、酿成施工事故或发生危险、对生产工艺有不良影响或对投入使用后的运行有不良影响。不妥和错误要严格区分，但无论怎样都要妥善解决，对

图样提出疑义时必须有足够的证据，要讲究方法，一是要以理服人，二是要感情上过得去。这里举几个这方面的例子，供读者参考。

某煤气站工程，电源容量为两台 10/0.4kV、800kVA 变压器，4 台 380V、240kW 加压机，原设计采用 DW10－1500 空气断路器直接起动。当时看过图样后，觉得空压机直接起动有问题，应采用减压起动，便与另外一电气技术人员商讨，他也觉得直接起动有问题。这样，这个问题拿到了图样会审会上。当场设计人员一口认为没问题，说电源容量够，距离很近，能起动。工程按设计进行，但是等到试车时便出现了问题：一是起车时间太长，电动机发热，起不了车，如坚持起动就有烧电动机的可能，谁也不敢起车；二是一起车其他接触器掉闸，电压降太大。这时建设单位找安装单位，安装单位说是设计原因，最后只能修改设计，改原设计为补偿起动。但是在原柜上加补偿器已没有空间，最后只能将自耦变压器装在地下的通道里。修改后的起动柜，起动时间为 18s，一起就成功，对系统没任何影响，至今运行良好。

华北某电厂起动锅炉房炉排电动机为一台三速笼型电动机，在看控制原理图时，发现主回路接线有错误，照此接线安装电动机不会起动。图中主要错误是三条横向的三相回路与三条竖向的三相回交叉处没有涂上圆点“ ”，导致主回路不能正确接通。通过建设单位找到原设计本人，当即承认图中有误，出据变更后进行安装接线，试车时电动机调速正常，运行良好。

某厂锅炉房 55kW 引风机电动机原设计为(-△起动，读图时觉得不妥，建议改为减压补偿器起动。但原设计人认为没有改的必要，坚决不改，照图施工后勉强起动，有时很困难，起动时间长、电流大。交工后在系统试运行时，便出现接触器烧坏、起动困难、引起其他设备跳闸等故障，最后电动机绕组被烧。建设单位提出索赔，安装单位推到设计单位，设计单位不服，最终告到法院，对簿公堂，设计单位败诉，不但赔偿建设单位的损失，也失去了自己的市场。更换后的原型号原厂家同批 55kW 电动机采用 75kW 补偿器起动，一次起动成功，至今运行良好。

（7）读图必须弄清各种图形符号和文字符号，弄清各种标注的意义。对于一些不规范或旧标准的符号和标注，应查阅依据或经人旁证，不得随意定义其含义。必要时应询问设计人。

（8）读图时应注意图中采用的比例，特别是图多时，各图上的比例都不同，否则对编制预算和材料单将会有很大影响。导线、电缆、管路、槽钢、防雷线等以长度单位计算工作量的都要用到比例。

（9）读图时应注意图中采用的标准、规范、标准图册或图集，凡是涉及的都应按读图要点的要求仔细阅读，不能漏掉，同时应及早准备图中涉及的标准和图册。

（10）读控制原理时，特别是较复杂的原理图时，必须先弄清图中各种元件（包括继电器、转换开关、机械触点等）的功能及得电、失电后的动作状况，以及每副触点在图上的分布位置，分析操作后或得电、失电后每个回路（指每个继电器及其串接的各种触点与电源形成的回路）的动作情况，然后再分析联动情况。一个回路一个回路地分析，就把一个很复杂的电路分解成了数个简单的回路，同时看该回路涉及的触点所接成的回路动作情况，这样便于分析电路。

（11）读图切忌烦躁、切忌急于求成，对于大型工程或工期很紧的工程，可按子系统分开，分别设人读图、分工协作，有利于取长补短，有利于互相研究探讨。单独一人读较大工程的施工图时，要注意时间上的安排，注意劳逸结合，读图时要精力充沛。读图一定要一张一张、一个回路一个回路、一个子系统一个子系统、一个单元一个单元、一个房号一个房号地逐一阅读，不得求成心切。

（12）读图切忌不懂装懂，切忌只知其一、不知其二，对于图中不懂之处应及时查找资料或咨询他人，要做到不耻下问，以免影响下面的读图。读图如写文章一样，要一气呵成、不留死角、不留尾巴。

（13）读图时要根据电源或变压器的容量、回路个数、负荷分布、线路的距离，考虑末端电压降，必要时要进行核算，以防末端电压太低，造成电动机起动困难或发生其他事故。

（14）读平面图时要考虑管线缆在竖直高度上的敷设情况，多层建筑时，要考虑相同位置上的元件、设备、管路的敷设，考虑标准层和非标准层的区别。对于图中由此穿上 ，由此引下 ，由下经此引上

正确区分哪些线已在柜内接好，哪些线是用电缆或导线重新配线连接，电缆编号、图中所指由×××引来或去×××必须核查，应正确无误。要核对电缆线芯数与端子板数是否适应，要正确区分电力电缆和控制电缆的使用。

（17）读大样图时，几何尺寸的标注与安装位置的具体尺寸应适应，要核查安装位置的图样及尺寸，同时要核查加工件的重量与安装位置的承载能力是否适应。

（18）读控制原理图时要注意控制电源小母线的标注及系统的接线方式，要掌握各类小母线从控制电源引出的方式，一是不要记错，二是要记住它们的作用，三是要记住它们的极性，这样读图会得心应手。

（19）读图时要核对图样目录所列与实际图数是否相符，如漏装或错装要及时与设计单位取得联系，得以更正。工程中应有的图而设计单位没有出图的应经过图样会审向设计单位索取。

（20）读图时要核查施工图的设计与国家有关设计技术规范、规程是否相符；图与图之间有无矛盾或标注编号是否统一；各设备元件之间的联系是否清楚；工程规模及难度与施工队伍的技术水平、技术装备是否适应，能否实现设计要求，如有困难应进行协商解决。

（21）图中的设备、材料、元件规格型号繁多，与市场行情有无矛盾，有无特殊器件，市场难以满足。上述器件能否改为通用器件，加快工程进度。在不影响工程质量且能满足设计要求时，可建议设计单位进行修订，以市场通用器件为主，以降低成本，缩短工期。

（22）对图中交代不明确的地方和疑问点经他人核实且解决不了的，应及时请设计单位解释清楚，需要用图表示的，可向设计单位索取补充图样。对于能降低成本、缩短工期、保证系统功能正常安全使用的合理化建议，应在会审图样时提出，当好建设单位的参谋。

（23）读图时要注意原设计是否符合国家建设方针和政策；设计图样的安全性能是否合理，能否保证今后运行安全；设计与当地的施工条件是否一致；埋地线缆与原地下管道有无矛盾；电气安装与土建施工的配合上存在哪些技术问题及矛盾；安装技术的一些特殊要求，土建施工水平能否达到等。

（24）读图时要特别注重各类机房的设施及布置、40kW 以上的电动机及其控制电路、涉及安全的各类仪表、电子控制设备及大型整流设备或逆变装置、各类高压电气设备及线路、自备发电装置及并网或同期装置、电梯及电动起重机的安全装置及保护系统、火灾自动报警及其联动系统、防盗保安系统及其装置、爆炸火灾环境的电气装置、贵重设备、进口电气设备等，上述问题搞好了、清楚了，该项工程也就有保证了。必要时，上述设备的图样应由专业工程师负责且由两人及两人以上的技师或技术人员读图。

五、分析复杂电路图的方法及技巧

任何复杂的事物都是由简单的事物组成的，在电气工程图中也不例外，这是分析复杂电路图的基本出发点。电气工程及自动化工程中，主要包括发电、电能传输、电能转换、控制技术、电能存储、电能利用六大内容，其中控制技术（包括继电保护）是核心技术，也是难点，有时也很复杂。前述读图步骤及方法、读图注意事项中，对一般的电路图已进行了详尽的讲述，这里就较为复杂的控制电路、继电保护电路、微机控制检测保护电路的分析方法及技巧进行具体的讲述。

（一）分析方法及思路

对于较为复杂的电路，其分析的第一步是将其解剖，解剖成一个单元电路或组件。一般条件下，功能及作用为同一效果的会经常画在一起（但实物却不一定放在一起，这里要注意！）。第二步是确定每个单元或组件中各个元器件的功能和作用。第三步是确定每个元器件的电源设置，如交流、直流、电压等。第四步是确定各个元器件的输入及输出是什么信号，以及信号值或范围，如触点信号（常开、常闭及其在电路中的分布情况）、模拟信号（0～10mA、4～20mA、1～5V）并判断其信号性质［交流（AC）、直流（DC）、脉动］、数字信号（输入点数、输出点数及触点容量，如 DC30V、DC0.1A）、输入或输出阻抗（如 250Ω、75Ω 等）。不要过多考虑或分析各个元器件的内部构造和原理，主要是掌握其功能和输入输出信号，这是分析的关键。第五步是确定单元或组件内各个元器件间的接口元件或电路及其功能，如变送器、转换器、安全栅、配电器及其输入输出信号。第六步是确定单元或组件间的接口元件或电路及其功能。第七步是确定各元器件间、各单元间的反馈回路及其元器件或电路，并确定其反馈信号的性质。第八步是将其上述分析画在一个框图中，并标出元件或电路间的信号。第九步是按框图分析出该电路的功能和作用。第十步是确定上述分析，解剖要细致，不要漏掉任何一个环节。

（二）接触器—继电器控制电路

接触器—继电器配以行程开关、主令电器、按

钮和检测装置或仪表提供的信号接点，可以组成复杂的控制电路，如电梯、电动起重机、大型锅炉风机、给水泵电动机、重要负载的大型电动机及供配电系统的继电保护等。按照上述方法即可进行分析和识读。

1）确定接触器、继电器（包括电流、电压、错相、接地、差动、短路、温度、压力、流量、时间、功率、瓦斯、环流、中间、信号、闪光、重合闸、阻抗、零序、频率等继电器）的功能作用及其触点（常开、常闭、延时等）的分布情况（这个分布很重要，是分析复杂电路的关键，不能漏掉一个）。

2）确定接触器、继电器得电或失电后其触头的动作结果在所在回路里起到的作用，是断开、接通及回路元器件的动作情况。

3）2）中的回路触头的动作引起其他回路的动作情况。

4）其他回路的动作又引起各个回路的动作情况。

5）按1）～4）逐一分析每个回路的动作情况，最后即可分析出整个电路的动作结果。在分析过程中应确定继电器的整定值或动作值。

（三）自动化仪表检测控制电路

自动化仪表检测控制电路是由传感器（如热电偶、热电阻、压力传感器、孔板等）、变送器或转换器或配电器、安全栅、计算器、给定器、调节器、显示器、辅助单元和执行器组成的，除了控制外，该电路还要显示被测量的值或记录累计被测量的值。

1）确定被测量和传感器的输出信号值（mV或mA或Ω），确定被测量的类别和个数。

2）确定各台变送器将被测量或传感器的输出信号变换成统一的标准直流信号值，并确定将标准信号引入显示仪表或调节器的位置及显示仪表或调节器的功能。

3）确定各台转换器将被测量的DC 0～10mA、DC 0～10mV或20～100kPa信号转换后与其他系列仪表的连接方式。

4）确定计算单元各计算器将标准直流信号进行加、减、乘、除、开方、积算等运算后，将其信号与其调节器的连接方式。

5）确定定值器的给定值，将上述计算后的信号与给定值比较得出偏差。

6）确定偏差引入的位置及调节器的性质（比例、积分、微分），运算后发出的调节控制信号给执行器，实现闭环控制。

7）执行器按调节控制信号动作驱动调节机构改变操纵变量，进行自动控制。

8）确定其他装置，如操作器、选择器、阻尼器、限幅器、安全栅的功能及其电源、输入和输出信号等。

9）确定指示、记录、积算、报警等辅助装置的功能和接线。

10）按1）～9）逐一分析每个检测系统及其与其他系统的连接或关系。

11）熟练掌握仪表自检系统所有元器件的功能、作用以及输入和输出信号，其中配电器是连接变送器到微型计算机控制装置的枢纽。实质上它是一个A-D转换器，是把模拟信号转换成数字信号的装置，微型计算机（简称微机）控制装置只识别数字信号，然后根据设定的程序输出相应的信号，通过电动操作器、伺服放大器去驱动执行器。

（四）微机控制、保护、检测电路

微机控制、保护、检测电路是在上述电路上发展起来的，不同的是它简化了电路的结构。如果不考虑微机本身的结构原理和运行程序，微机控制、保护、检测电路则是最简单的电路。

1）确定控制量的性质（是开关量，如断开、闭合；还是数字量，如电压、电流、频率、功率、温度、压力、流量、物位、机械量、成分分析量等）。

2）确定变送器或传感器，它将会把控制量转换成统一的电信号（mA或mV或Ω）。

3）确定A-D转换器，它将会把电信号转换成微机能识别的数字信号。

4）微机控制装置一般都是专门为特定的控制、检测系统而设计制造的，它的程序控制系统是随机配置的，是按控制或检测要求而设计编制的。

5）确定微机的输出信号及与执行装置之间的接口，一般由操作器、放大器构成。

6）确定机房及总线的设置，如打印、显示器及常用操作程序等。

7）微机型继电保护电路系统监控网络是近几年发展起来的新技术，110kV的变电装置均设置微机型继电保护电路，它的实际电路比继电器继保电路简单得多。

①　变压器保护柜的主要元件是测控装置，如变压器差动保护装置、变压器后备保护装置、非电量保护装置。非电量保护装置的信号来自温度、气体、油分析等传感器经转换器引来的信号；差动保护和后备保护装置的信号来自互感器，这与继电器保护是相同的。

②　线路保护柜的主要元件是线路保护装置和线路测控保护装置，它们的信号来自互感器，同样与继

电器保护是相同的。

③ 电能计量装置的信号来自互感器。

④ 上述三种装置的输出分别经过以太网网关装置接至网络交换机，穿过间隔层引至以太网。也就是说将所有的信号都引到了以太网，以太网说得通俗一点就是计算机通信网络的总线。

⑤ 以太网上连接的主要是主控室的设备，如GPS（Global Positioning System，全球定位系统）、运动通信装置、操作人员的计算机，并配有打印机、电话，接受远方调度员的指令，工作人员均在计算机上进行操作。

六、电气工程读图应具备的知识及技能

作为一名优秀的电气安装工作者，阅读建筑电气工程图应具备多方面的知识及技能，才能准确无误地阅读图样，掌握图样。这里用到的不仅仅是电气专业方面的知识及技能，还涉及其他几个专业方面的知识及技能，这与其他电气专业是不同的。阅读电气工程图应具备哪些知识及技能呢？

（一）电气专业方面的知识及技能

（1）熟练掌握电气（包括自动化仪表及弱电工程）图形符号、文字符号、标注方法及其含义，熟悉电气工程制图标准、常用画法及图样类别。

（2）熟悉电气工程经常采用的标准图册图集，电气装置安装工程施工及验收规范、设计规范、安装工程质量验评标准及有关部委标准规范等详见第一章相关内容。

（3）掌握电力变压器、变配电装置的设置及其常用的控制保护电路和方式，掌握各种电动机起动控制电路及保护方式，掌握架空线路和电缆线路常用的安装方法，掌握室内电气线路、电气设备常用的安装方法及设置，掌握防雷接地技术及电气系统常用的保护方式；熟悉特殊环境电气线路及设备的设置，熟悉电梯控制线路及各种保护功能，熟悉火灾自动报警及自动消防、电缆电视、通信广播等弱电技术及线路的设置，熟悉电子技术、微机技术、自动化仪表技术及其线路的设置，能分析电子线路的工作原理及电气系统中常用控制调节原理图。

（4）熟练掌握电气工程中常用的电气设备、元件、材料（如变压器、电动机、开关柜、导线电缆、起动柜、绝缘子、继电器、各类开关和接触器、探测器、传感器、管材、钢材、电气仪表、灯具、信号装置、低压电器、熔断器、避雷器、小五金件、电气控制装置等）的性能作用、工作原理、规格型号，了解其生产厂家和市场价格。

（5）熟悉电气工程有关设计的规程规范及标准，了解设计的一般程序、内容及方法。

（6）熟悉一般电气工程的安装工艺、程序、方法及调试方法，详细内容见本书各章节内容。

有关电气工程读图相关内容详见机工版、白公编著《怎样阅读电气工程图第3版》和《电气工程读图常用技术技能手册》等书。

（二）土建专业方面的知识

熟悉土建工程、装饰工程和混凝土工程施工图中常用的图形符号、文字符号和标注方法；了解土建工程的制图标准及常用画法，了解一般土建工程施工工艺和程序。

（三）工业管道和采暖通风专业方面的知识

熟悉工业管道、采暖卫生、通风空调工程施工图中常用的图形符号、文字符号和标注方法；了解制图标准及常用画法；熟悉工业管道、采暖卫生、通风空调工程的施工工艺和程序，掌握与电气关联部位及其一般要求。

（四）设备安装专业方面的知识

熟悉工业设备、锅炉、破碎粉磨设备、压缩机、风机、泵类设备、起重设备、连续输送设备、制冷空气分离设备、金属切削机床、锻压设备、铸造设备等安装工程施工图的常用图形符号、文字符号和标注方法；了解制图标准及常用画法，熟悉工程施工工艺和程序，掌握与电气关联部位及其一般要求。

综上所述，可以看出一名电气安装工作人员必须具备多方面的知识和技术技能，其中电气专业方面的知识和技能是必须具备的，有关土建、管道、设备等方面的知识和技能是应该具备的。但是，上述各方面的知识和技能对于一个人来讲，不可能同时一下子具备，这是随着时间而积累起来的，这就要求我们在平时要加强这方面的学习，不要等到了读图时才学习，那时已不适应读图的要求了。对于初学者或院校的学生来讲，正值青春时代，风华正茂，精力充沛，正是学习的好机会，为了适应国家经济建设的发展和市场经济的需要，具备多个专业方面知识和技能的人才，才能立足于时代的浪尖风口上，才能使我们的电气工程技术与世界接轨，与世界发达国家同步，才能参与国际市场的竞争。万丈高楼平地起，我们必须扎扎实实地从第一个台阶起步。

第三章　电气工程常用装置及箱柜制作加工技术

在电气安装工程中往往有许多材料、配件及设备需要在安装前进行预制，加工成型后，才能运往安装现场。例如，架空线路的横担、抱箍、拉线底把、变电站的金具、各种预埋铁件、接地极棍、接地引线、避雷针、支架、电缆穿管、标准房间敷设的管路等，还有一些定型或不定型的开关柜（箱）、控制柜（箱）、非标准的接线盒（箱）、配电箱（板）以及其他一些器件等。特别是安装标准化，更有许多材料、设备需要加工预制，进而实现安装工厂化，这样对加快工程进度，提高安装质量都有积极的意义。

第一节　制作加工总则

1）金属构件及箱柜的材料、几何尺寸、数量、功能作用、主要配件元件应符合施工图纸的要求；施工图没有明确时，应符合标准图册或相关标准规范的要求；图册或规范标准无规定时可自行设计，自行设计应保证功能作用，符合相关标准要求。

2）制作加工的工艺过程应符合机械加工工艺过程的要求，要有图样、加工精度、工序检测、整理装配试验程序及要求等。其精度应满足构件图样的要求。

3）加工制作过程如有焊接等特殊工种作业时，其特殊工种人员须有上岗操作证，其操作部位应与其证件相符。

4）加工制作机械化生产并应配备相应的机械、厂地和检测设备，如：车床、钻床、刨床、铣床、剪板机、折边机、折弯机、点焊机各类检测试验仪器仪表及器具等，配备镀锌、喷漆、包装及检测试验设备等设施。

5）预制加工应工厂化，人员应相对稳定，有工艺程序，有设计、技术、检测、试验、管理等部门或专职人员及相应制度。

6）电气开关柜（箱）制作应取得相应等级的资格证书，并符合上述条款要求。

7）预制加工的产品应符合相应标准，规范及规程的要求，企业应有高于国家标准的企业标准。

8）预制加工用到的材料、元件必须有试验报告，试验单位必须有相应的资质条件。

第二节　一般金属构件的制作

一、金属管路的预制加工

预制加工的金属管路主要指变电站（室）或建筑物进出电缆及绝缘导线穿越建筑物的基础或承重墙及道路保护管。例如，电缆直埋敷设穿越道路、穿越建筑物，电缆沿杆引上或引下入地、电缆沿墙明敷穿越楼板或穿墙等都需要有金属管保护。

金属管路预制加工的工艺过程一般可分为以下几个步骤。

（一）保护管统计

根据图样的设计要求确定保护管的材质、管径、长度、根数，大型工程或管较多时应将其编号并填入表格内，以备查找，不易混乱。表格的样式见表 3-1。

表 3-1　保护管统计表

编号	敷设部位	管径	长度	数量	存放地点

（二）选料及调直

在平台上用手锤（规格由管径大小而定）将管调直，弯曲严重的一般不得使用。调直操作时用力要适中，通常不得改变管子直径的 5%。有条件的应使用调直机。手锤调直时应垫以硬木，以防管子损伤。

（三）下料

1）下料的工具有手工铁锯、电动无齿锯、手动或电动切管机等。

2）用石笔在已确定的管子上，按长度在管外皮画出锯割线。一般是用一条形油毡先紧裹在管子的外壁上，然后用石笔沿着油毡的圆周画出锯割线。有时为了保证尺寸的精确，应将石笔磨成楔型，见图 3-1。

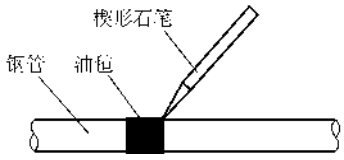


图 3-1　在钢管上划线的方法

3）锯割

① 手工锯割 先将画好线的管子在工作台（一般为现场使用的铁案子）上，用压力钳夹紧固定，通常不用虎钳或台钳夹紧，以免将管子夹扁。管径较大时，应由两人操作，压力由推者掌握。用力不要过猛，速度要适中；更换锯条时，锯齿向前的方向应和推力的方向一致，紧固的元宝螺母要适中，太紧太松都容易使锯条折断；锯割时，锯条应和管轴线垂直，并沿石笔线锯割，必要时可在锯割处加一点机油；锯割时，以右手为主操作的应将左脚放在前面，右脚放在后面，身子稍弯；操作者应带手套；当即将锯完时，应用手将锯下段托住，但不应使锯缝减小，以免夹断锯条；锯完后应用圆锉将管口的毛刺锉掉。

② 电动无齿锯锯割 先将管子依石笔线卡在无齿锯的锯口齿上，按动手把，使锯盘接触管子并调整管子使其正好落在石笔线上，然后再把手把抬起。起动前，先检查一下锯盘的紧锁螺母有无松动、锯盘是否完整及有无裂纹等不妥之处，电源及开关有无漏电、破损或倒转、接地是否良好。起动后，轻轻按动手把，使锯盘接触管子，稍加用力，锯盘沿石笔线切开锯口，然后再缓慢增加按动手把的压力，当锯开到4/5以后应轻轻减小压力，直至锯断为止。将手把抬起并关闭电源。全过程用力不得太大过猛，要注意安全，严禁多根同时切割。管口处理同前。更换锯盘时，应将电源摘除，以免误操作。电动工具的电源线应用四芯线，其中有一根为接地线。

③ 手动切管器切割 先将画好线的管子在工作台上用压力钳夹紧固定，将切管器刀口部位套在管子上，并将刀口对准石笔线，旋转进刀手柄，使切刀夹紧管壁，切刀、手柄及切管器整个中心线应和管子轴线垂直。然后沿着管径的垂直面顺时针旋转切管机的手柄，并且边转边转动进刀手柄，直至切断。进刀手柄应缓慢旋转，刀口吃力要适用，转动切管器时速度要力求均匀。要根据管径大小，适当选择不同规格的切管器，一个切管器一般适用几种不同规格的管子的切割，更换刀片时应按原来刀片的规格更换。手动切管器适用于管径较小的管子，管径较大时应用电动切管机。

④ 电动切管机切割 电动切管机使用基本和手动切管器相同，所不同的是先将管子插入切管机的刀口部位，并用夹具夹紧，然后起动电机，使管子旋转，同时转动进刀手柄，直到切断为止，再停机。注意事项同手动切管器和电动无齿锯。管口处理同上。

电动切管机即能套丝又能削坡口，是工程中常用的三用机。

任何情况及条件下，严禁使用气割切管。

（四）扫管清除毛刺及锈蚀

将金属刷子的两端用铁丝拴好，送入管内，将管子固定在1.4m的高处，然后两人分别从管子两端拉拽铁丝，配合要默契，并不断改变刷子在管内的角度，直到除尽见到金属光泽为止。刷子的选择应使用专用的钢丝刷子，其规格应和管子的规格相符，一般比管内径稍大一些。铁丝的选择应按管子的内径选择，内径小铁丝细一些，内径大铁丝粗一些。

除锈后再用破布用上述方法把其管内的浮锈擦干净。

（五）煨弯

煨弯有两种方法，一种是手工煨制，一种是机械煨制，因为保护管一般管径偏大，用手工煨制时都采用热煨。

1. 手工煨制

1）将管立起，下端用木楔塞好。

2）从上管口灌进干燥的豆砂（必要时要在锅内或铁板上加热烘干），边灌边用铁锤敲打，直至灌满为止，然后用木楔将上管口塞好，并用锤子敲打使其牢固。

3）确定弯曲半径和弯曲部分画线，保护管的弯曲半径 R_W 一般为管子外径的10倍，弯曲部分的长度一般为以弯曲半径为半径的圆的1/4周长，这部分管子应在测量管子尺寸时加进去。AB弧长总要比AB直线长度大一点，但并不影响保护管的敷设，通常不予考虑。并在切点部位和控制点1、2部位用粉笔或细铁丝缠绕标出，见图3-2。

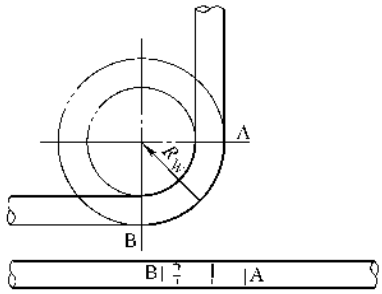


图3-2 钢管弯曲半径和控制点的确定示意图

4）用烘炉或气焊将弯曲部分加热烤红，加热应均匀一致，要随时转动管子，以免加热过度。用气焊加热时可用几个焊把同时加热。

5）将烤红的管子放在平台上，平台上有预焊好的卡具，搬动较长的一端，使管子弯曲，弯曲一点并把管子向前推进一点，直至弯好。见图3-3，控制点越多越好。

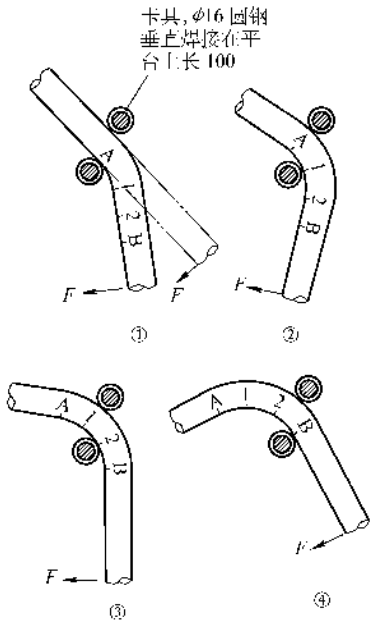


图 3-3　卡具手动煨弯示意图

或者预先做好模子，延着模子的弯曲部分煨弯，见图 3-4。

6）煨好后将木楔取掉，把砂子倒出，再用破布扫管，将内部清扫干净。取掉木楔的办法一般用两把铯头同时从两侧延着和管轴线成 20°角的方向敲打，见图 3-5。砂子应倒在铁板上，以备再用。

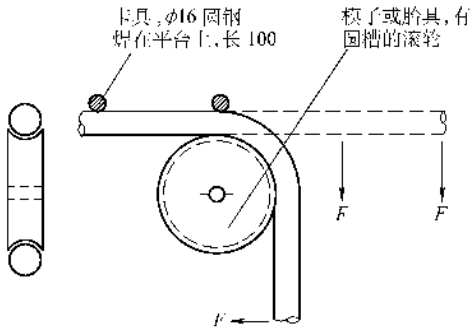


图 3-4　模子（胎具）手动煨弯示意图

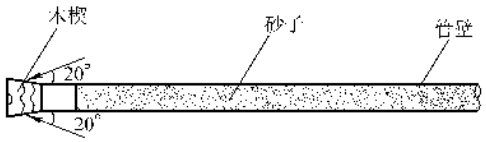


图 3-5　将堵塞管口的木楔取掉

2. 机械煨制

机械煨制和手工煨制基本相同，所不同的是用机械或电动煨弯机。管径小一点的可冷煨，管径大的应该热煨，其加热方法可用上述方法，有条件的可用中频加热煨弯机。

将管子插入煨弯机的滚轮内，起动电动机即可煨制完成。主要是正确选择滚轮，选择滚轮要根据管子外径和煨弯的曲率半径，更换时一定要关掉电源。

3. 弯头的焊接

有些工程中，煨弯采用焊接的方法，也就是用成品弯头和测量好的管子焊接。管子的处理方法同前，成品弯头的弯曲半径应不小于 10 倍管子外径，可自己加工，也可从市场购入。

焊接时先打坡口，焊接可采用电焊或采用气焊，其要求是管内焊口不得有焊碴。电焊时应采用单面焊接、单面成型焊接法。另外对焊工的要求较高，一定是经培训并经考试合格的焊工。操作前应试焊一小段焊口，然后锯开检查，管内焊口无焊碴为合格。焊好后再扫管一次，以防有残碴。

（六）作喇叭口

用烘炉或气焊将管口加热烤红，用手锤敲打管口，使其直径增大，最后形成喇叭口，由内向外 360°内均匀扩大，见图 3-6。注意管子的焊缝部位，不得撕裂，然后用锉将喇叭口修整光滑无毛刺。

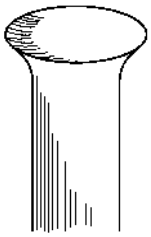


图 3-6　喇叭口示意图

（七）防腐处理

明设的管子应镀锌处理，没有条件的可刷一道防锈漆，安装后再刷一道色漆。暗设的管子应刷沥青防腐漆两道。刷漆应管内外全刷，管内刷油的方法基本同用破布扫管，先用干净破布扫管，然后再更换破布，在更换后新的干净破布上倒上油漆，然后两人在管口两侧拉动，必要时再补倒几次油漆，刷完后将管放在干燥且温度偏高通风的场所自然风干。

（八）整理放好

按管径、长度、敷设部位堆放好，必要时应在喇叭口处用钢字头打好编号，并按表 3-1 填好，避免混乱。

二、金工件的预制加工

金工件主要包括输电线路的横担、抱箍、接户线装置，变电站（室）、室外变台用的金属构件（架）、预埋铁件、电缆或线槽的支架等，另外还有接地系统的地极棒、避雷针、避雷线、接地引线等。一般将与

导线连接的部件一起统称为金具。

金工件预制加工的工艺过程一般可分为以下几个步骤。

（一）金具统计

根据图样或标准图册确定各种金具的所用钢材（一般有角钢、工字钢、槽钢、扁钢、圆钢、钢管、钢板等）的型号、规格、每根长度、根数等。大型工程要填写表格，见表 3-2。

表 3-2 金具统计表

编号	名称	安装地点	规格	数量	存放地点

一个大中型电气工程要用到几千吨、几百吨的钢材，要从施工准备时做到计划管理、严格工艺、节约材料、提高效率。

（二）检验

索取到货钢材的产品合格证和出厂试验报告和材质单，并取样做理化试验。金具加工的钢材必须是合格品，机械强度必须满足设计要求，进一批料化验一批，严禁混料，严禁加工无化验单的材料，以便保证工程质量。特别承受应力较大的横担、支架等更要注意这点。

（三）选料调直

大型加工基地应有调直机，小批量的加工可用手工调直，手工调直和保护管调直方法基本相同。调直机有液压和电动两种，价格较高，但性能好，功能全，用途广，操作简单方便，把要调直的钢材放入调直轨道内，并按钢材型号、规格选择手柄或按钮，起动电动机即可工作，当行程到位时发出声光信号，并自动返回原来位置。一般的调直一次即可，较严重的调直应分别进行数次。通常较严重的调直以后的钢材应降级使用，或用在受力较小的场合。液压或电动调直机的使用应按设备使用说明书进行，并由专人操作，同时应进行正常的维护。

也可以自制小型简单的调直机，一般为手动操作，见图 3-7。其主要部件（丝杆）应进行精确的机加工。

（四）下料

同金属保护管，严禁气割。

（五）开孔

开孔的工具主要有手电钻、台钻、钻床或铣床和

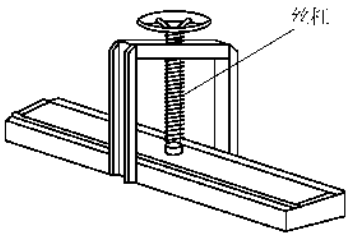


图 3-7 简易调直机示意图

各种规格的钻头。严禁用气割开孔。

1. 划线

在要开孔的部位用划针或石笔划好开孔的位置，通常用十字划出开孔的中心位置，并在十字中心用冲子冲出小坑。但是金具有些除了开圆孔外，有的要开长圆孔，因此应按中心位置其两边分别冲出两个小坑。在角钢、槽钢、工字钢上划线时，应将中心位置划在边宽或腿宽的 1/2 位置上，使用样冲时，应使其垂直工件，见图 3-8。划线力求准确，偏差为 ±1mm。

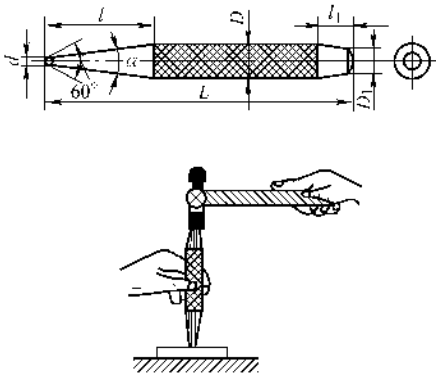


图 3-8 样冲及其正确使用方法

2. 开孔

1）根据图样要求和安装时穿过孔内的螺栓直径适当选用钻头，一般大于穿孔螺栓 2mm，将钻头装在电钻的卡头中并用卡头钥匙卡紧，严禁用铁具敲击卡头。将铁件固定在钻台上，并使钻头对准开孔的中心，一般是调整钻台或铁件的位置。然后按动开关，并压下手柄，使钻头轻轻靠近冲点，如果不正应停车重新调整。对正后缓慢施加手柄压力，直至钻透，当即将钻透时压力不得减小，以免卡住。钻孔过程中，如果发现钻头松动或铁件转动，应停车重新卡紧，以免发生事故。

开长孔时，应分别在轴线钻出两个同径的孔，中间连接部分用铁锯锯掉或用扁铲取掉，形成长孔，必要时应用锉刀修整。开这样的孔时，要钻的两个同径孔的距离不要太近，一般应在 2～3mm 之间，见图 3-9。大量的长孔加工时，应用铣床加工。

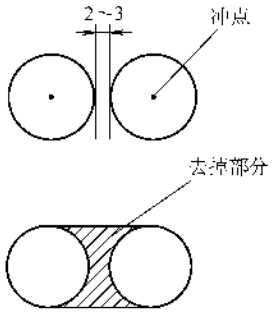


图 3-9　长孔划线示意图

开孔时，除了正确选择钻头外，还要注意磨钻头，这对开孔有很大的意义。

2）磨好的钻头（指麻花钻头）的工作头部有一定的角度，有前角 γ、后角 α、顶角 2ϕ 和横刃角 ψ，见图 3-10。

钻头的顶角有很大作用，钻头的工作状况和效率都取决于顶角。顶角的角度取决于钻削的材料，中等硬度的钢或铁钻孔，顶角应磨成 116°~118°；紫铜钻孔应为 125°；铝钻孔应为 140°；大理石或电木钻孔应为 80°。

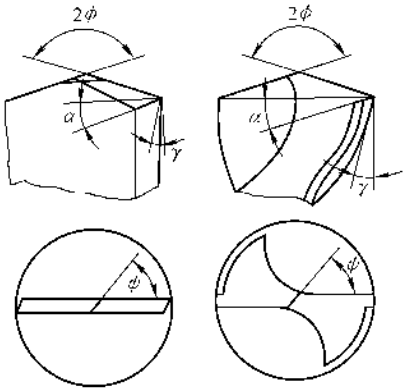


图 3-10　麻花钻头角的位置

前角大，切削阻力小，但刀刃强度较差，在不影响刃口强度的条件下前角愈大愈好。后角大可以减少摩擦，提高刀刃的寿命，如果太大，使钻头强度削弱反而缩短刀尖寿命。钻坚硬工件时，在不影响刀尖硬度下，后角可以增加但不能超过 12°。横刃角小，横刃角度随着增加，将严重增加进刀阻力，横刃角太大使中心附近的后角变成负值，钻头不能钻孔，横刃角一般在 50°~55°范围内。

钻孔过程中，由于钻头钝了或者工件材料不同，经常要在砂轮上磨钻头，方法如下：

①　顶角、后角、横刃角同时磨出。

a. 刃磨部位为两个后刃面，见图 3-11a。

b. 刃磨次序应由锋口开始，见图 3-11a。

c. 钻头与砂轮斜度，开始时应为 1/2 顶角，见图 3-11b。

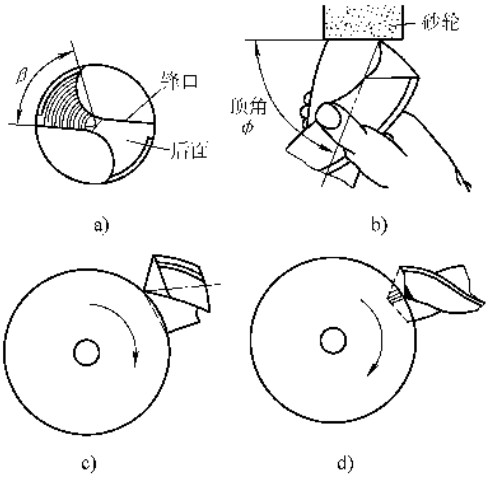


图 3-11　磨修钻头的方法

a）刃磨部位　b）钻头与砂轮的斜度

c）修磨前角　d）磨掉横刃

d. 刃磨痕迹应与圆周平行，见图 3-11a。

②　前角与横刃的修磨。前角磨小和横刃磨短是在砂轮角上进行的，见图 3-11c 和图 3-11d。

（六）锻打

有的金具需要锻打成一定形状，如避雷针顶端要锻成尖状，U 形抱箍半圆部分要锻扁等，因此应先在烘炉上将锻打部位烧红，然后用手锤将其锻打成图样要求的形状。有条件的还应进行退火处理，小批量的锻件也可用气焊烤红锻打。

凡是埋入建筑物用来固定设备或元件、支持电缆、铁管之类的金属构架的埋入部分，要做成鱼尾状，有的也须经锻打而成，见图 3-12。

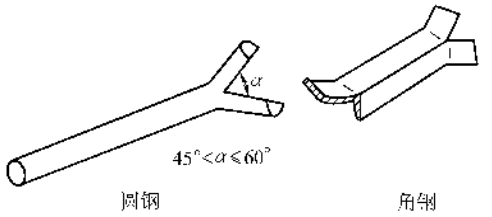


图 3-12　预埋件尾部的鱼尾状

（七）焊接

根据加工图或标准图册，将散件焊接成型，如横担上的铁角、拉线底把的环钩、金属支持构架等。焊接应使用电焊，对焊工应有严格要求，必须是经劳动部门考试合格并取得操作证的才有资格进行金具焊接，严禁无证操作。施焊前应焊接试件，然后进行断拉试验或 X 光拍片、超声波探测等试验，合格者才

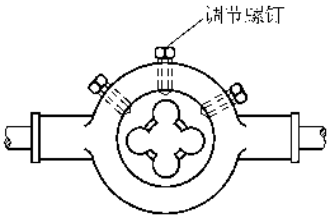
可进行焊接。凡用在架空线路、变配电系统以及承受拉力或压力部位的金具，其焊接部位应打上焊接者的编号钢印，并抽样试验其焊接部的强度，以确保安全可靠。

焊接好的金具应进行外观检查和验收，其焊接表面应光洁，无裂纹、毛刺、砂眼、飞眼、气泡等缺陷。

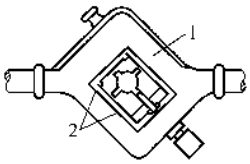
（八）套螺纹

U形抱箍、穿钉螺栓等金具需套丝，以便紧固。套螺纹的主要工具是扳牙，见图3-13。

套螺纹的方法见图3-14，套螺纹前先将圆钢的端头稍微锻成锥形；选择扳牙时应使其螺纹外径大于圆钢直径0.2～0.4mm，否则扳牙有扭裂的可能；套螺纹时扳牙应和圆钢垂直，用力应均匀，向下压着扳把顺时针转动，并在转动时充分注油，一般转动1～2圈时应倒转半圈。每套完一端时，应用对应的螺母试紧一次，不合适时应及时调整扳牙。试螺母时手感应紧密无松动，且拧入、旋出时手感不太费力。套出的丝扣应光洁无毛刺，整齐规则。套好后一般应涂上一层黄油，以免生锈。



a)



b)

图3-13 扳牙

a）整体可调节扳牙 b）活动扳牙

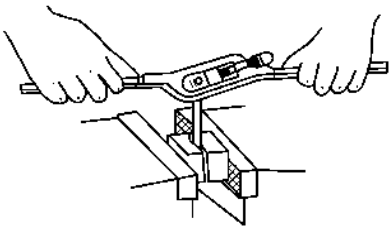


图3-14 套扣操作示意图

大量件套螺纹应使用套螺纹机或专用车床，套螺纹机的使用同电动切管机，丝扣要求同上。

（九）镀锌处理

全部金具应热镀锌处理，一般由专业厂家加工，若自行加工应有专用的设备及整流电源等，操作人员应是专业人员。通常大型的安装企业应有自己的镀锌设备。

（十）整理放好

按类别、规格、安装工位堆放好，堆放时应注意丝扣部分、以免损坏螺纹。

（十一）防雷接地系统金工件的加工制作

地极棍一般用ϕ25mm圆钢、5mm×50mm角钢、D32钢管制作，长均为2～2.5m，其中一端经锻打、车削或锯割成尖状；接地引线常采用ϕ8～12mm圆钢或4mm×40mm扁钢；避雷针的加工一般用ϕ25mm圆钢或D40钢管制作，圆钢顶部锻成尖状，钢管顶部应先锯割，然后再焊接，见图3-15。全长1.6～2m，针尖应光滑尖锐锋利；加工完后，全部镀锌处理。接地引线的圆钢或扁钢应撒开整盘镀锌。

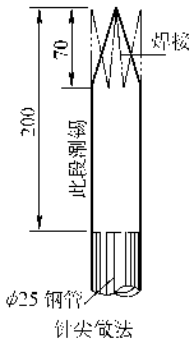


图3-15 避雷针尖的制作示意图

三、架空线路金具的预制加工

架空线路金具的预制加工主要有横担、抱箍、支撑、拉板、连板、立铁、叉架、花梁、顶架、避雷线吊架、拉线棒、地板棍、吊杆、节板、穿钉及螺母等。使用的材料主要有槽钢、角铁、圆钢、扁铁、焊条、钢板等。

架空线路金具的预制加工与前述基本相同，不同的是金具的加工制作必须保其机械强度符合线路运行条件及设计的要求。架空线路在运行中要受到强大的拉力以及风、雨、雪、寒冷、炎热等气候条件下产生的不同应力的制约，因此对其质量则有很高的要求。

金具制作加工除上述要求外，必须做到以下几点：

1）上述使用的材料必须是正规厂家生产的优质产品，有合格证、试验检验报告及生产商生产许可证。

2）上述使用的材料必须经过当地资质相符的质量检验机构检验和试验，材料抽样应符合要求，试验后出具具有法律效力的检验/试验报告。未经检验和

试验或经检验/试验不合格的材料杜绝使用。

3）加工制作应有严格的管理制度和工艺纪律，并配备相应资格的技术管理人员，特别是要严格遵守批次检验/试验、工序检验/试验制度，并有相关记录。

4）制作必须符合图样要求，全部采用机械下料，杜绝手工下料。

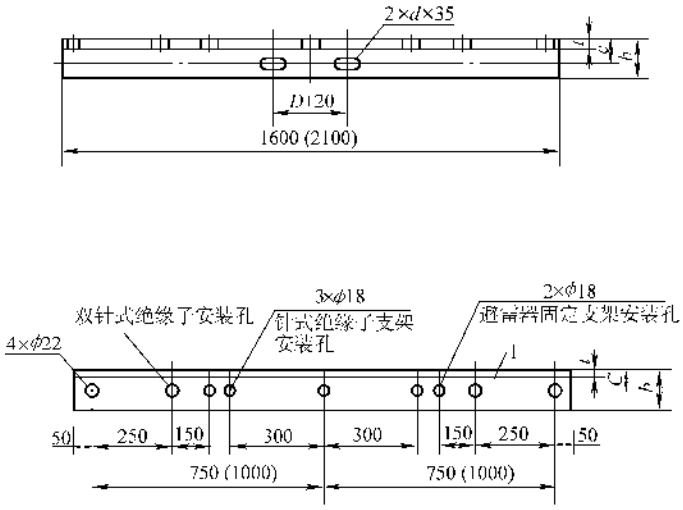
5）开孔必须使用钻床或铣床，杜绝手工开孔。

6）焊接必须是持证合格焊工，焊接前试件必须经检验/试验。未经检验/试验，或检验/试验不合格试件的焊工应进行培训，培训合格后才能上岗，并且重新进行试件检验/试验。

7）镀锌热处理应符合要求，光泽、均匀符合要求。

8）产品成型后应进行破坏性试验，以验证产品的性能和质量。

这里给出部分 10kV 杆上金具的图样，供参考，见图 3-16～图 3-28。



横担尺寸（单位:mm）

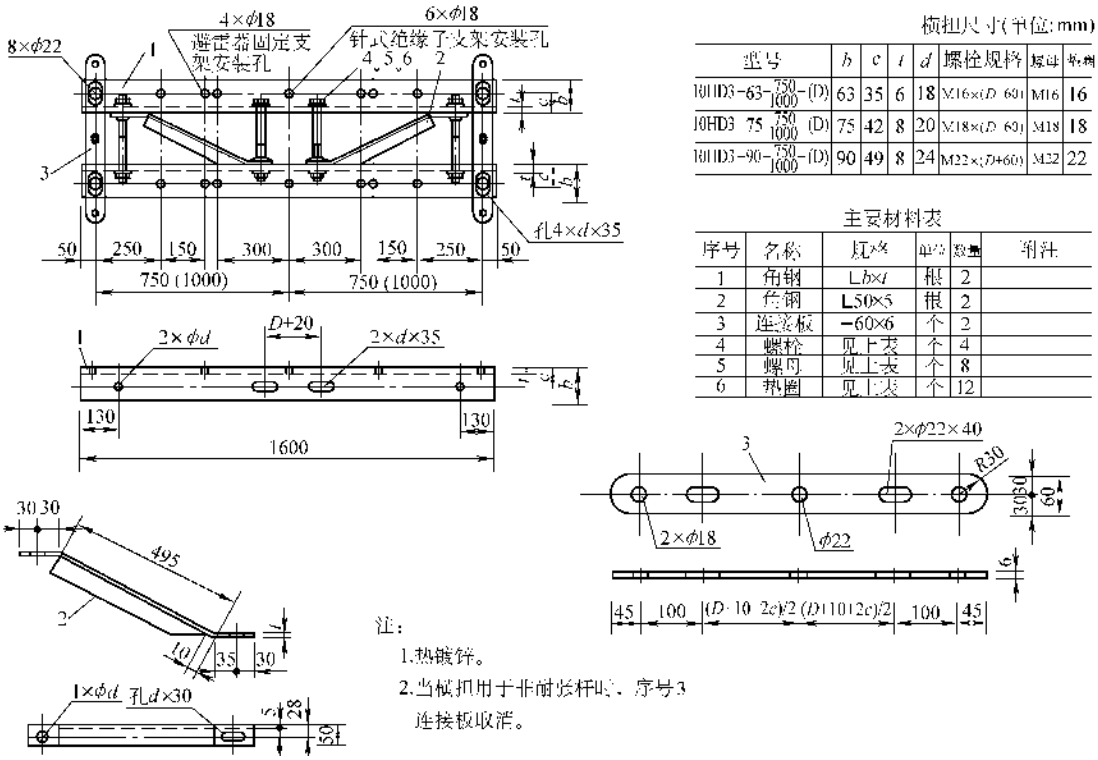
型号	b	t	d	c
10HD1-63-750/1000-(D)	63	6	18	35
10HD1-75-750/1000-(D)	75	8	20	42
10HD1-90-750/1000-(D)	90	8	24	49
10HD1-100-750/1000-(D)	100	10	26	50
10HD1-125-750/1000-(D)	125	10	26	60

主要材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	角钢	L b×t	根	1	

注：热镀锌。

图 3-16　10HD1 10kV 单横担加工图



横担尺寸（单位:mm）

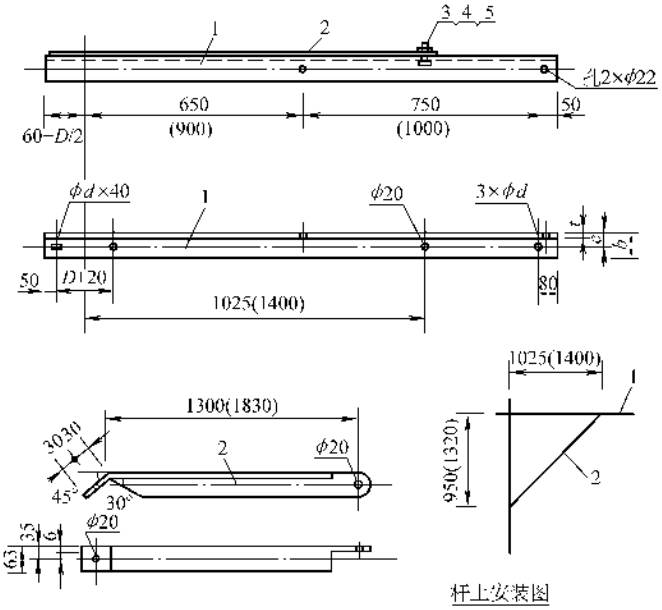
型号	b	c	t	d	螺栓规格	螺母	垫圈
10HD3-63-750/1000-(D)	63	35	6	18	M16×(D+60)	M16	16
10HD3-75-750/1000-(D)	75	42	8	20	M18×(D+60)	M18	18
10HD3-90-750/1000-(D)	90	49	8	24	M22×(D+60)	M22	22

主要材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	角钢	L b×t	根	2	
2	角钢	L50×5	根	2	
3	连接板	-60×6	个	2	
4	螺栓	见上表	个	4	
5	螺母	见上表	个	8	
6	垫圈	见上表	个	12	

注：
1.热镀锌。
2.当横担用于非耐张杆时，序号3连接板取消。

图 3-17　10HD3 10kV 双横担加工图



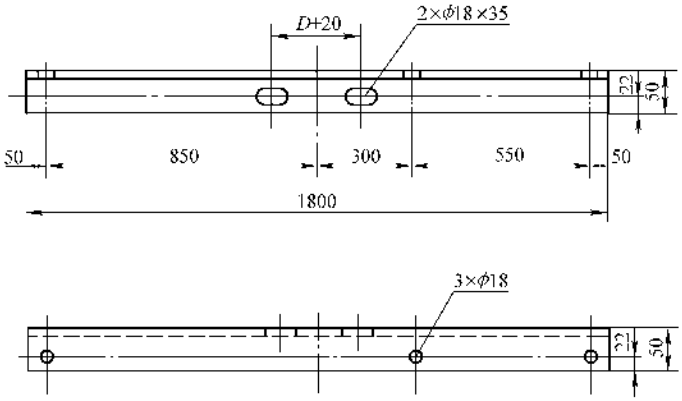
横担尺寸(单位:mm)

型号	b	t	d	c
10HD4-63-$\frac{750}{1000}$-(D)	63	6	18	35
10HD4-75-$\frac{750}{1000}$-(D)	75	8	20	42
10HD4-90-$\frac{750}{1000}$-(D)	90	8	24	49
10HD4-100-$\frac{750}{1000}$-(D)	100	10	26	50
10HD4-125-$\frac{750}{1000}$-(D)	125	10	26	60

主要材料表

型号	序号	名称	规格	单位	数量	附注
10HD4	1	角钢	Lb×t	根	1	
	2	角钢	L63×6	根	1	
	3	螺栓	Md×40	个	1	
	4	螺母	M18	个	1	
	5	垫圈	18	个	2	

图 3-18　10HD4 10kV 单侧横担加工图

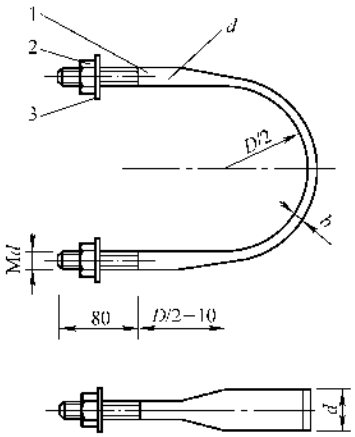


材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	角钢	L50×5×1800	根	1	

注：热镀锌。

图 3-19　10HD1-R 10kV 跌开式熔断器横担加工图



抱箍尺寸(单位:mm)

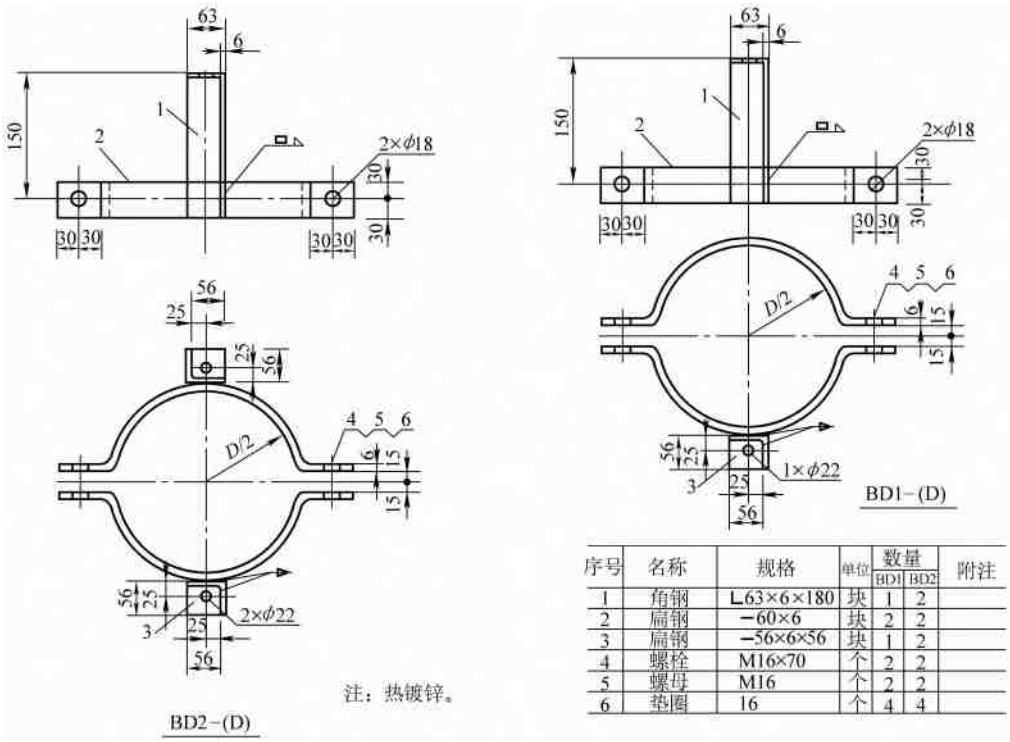
型号	d	t	b	螺母	垫圈
BU16-(D)	16	33.5	6	M16	16
BU18-(D)	18	36.3	7	M18	18
BU22-(D)	22	39.3	8	M22	22
BU24-(D)	24	45.2	10	M24	24

材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	圆钢	ϕd	根	1	
2	六角螺母	见上表	个	2	
3	垫圈	见上表	个	2	

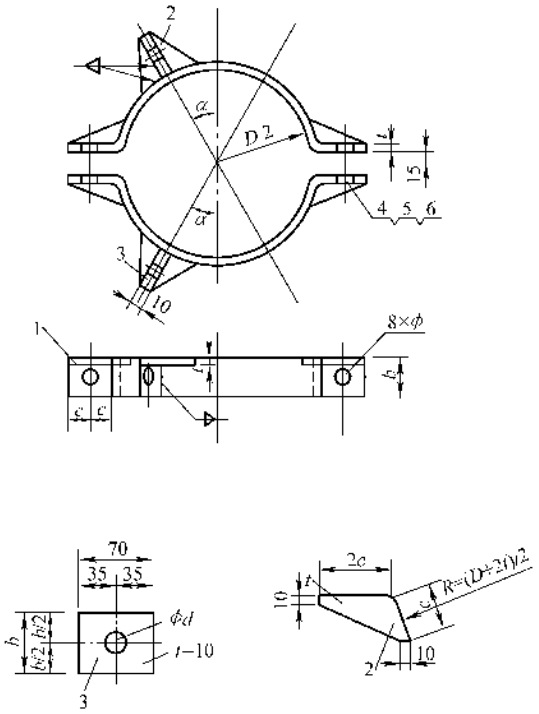
注：1.半圆弧间锻打缩窄。
2.热镀锌。

图 3-20　BU U 形 10kV 单横担抱箍加工图



序号	名称	规格	单位	数量 BD1	数量 BD2	附注
1	角钢	L63×6×180	块	1	2	
2	扁钢	−60×6	块	2	2	
3	扁钢	−56×6×56	块	1	2	
4	螺栓	M16×70	个	2	2	
5	螺母	M16	个	2	2	
6	垫圈	16	个	4	4	

图 3-21　BD1/BD2 10kV 杆顶绝缘子支座及抱箍加工图



抱箍的尺寸(单位:mm)

型号	t	b	c	d	螺栓	螺母	垫圈
BL2/BL3 16 (D)	6	50	30	18	M16×90	M16	16
BL2/BL3 18 (D)	6	60	30	20	M18×90	M18	18
BL2/BL3−22−(D)	8	80	40	24	M22×110	M22	22

材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	扁钢	$-b\times t$	块	2	
2	扁钢	见图	块	8	
3	扁钢	$-b\times10\times70$	块	2	
4	螺栓	见上表	个	2	
5	螺母	见上表	个	2	
6	垫圈	见上表	个	4	

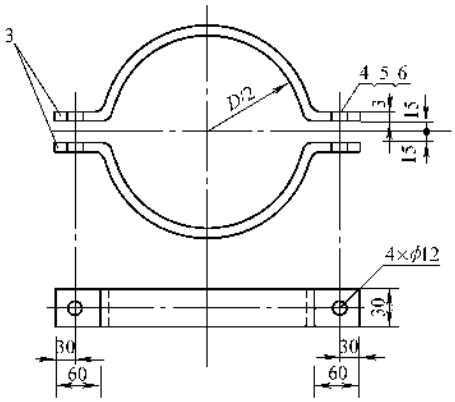
注：1.热镀锌。

2.角度α取值如下：

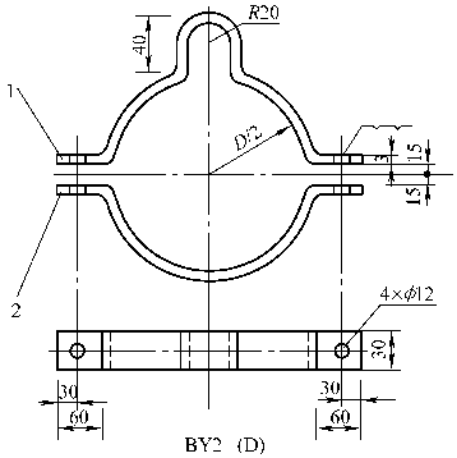
BL2−(d)−(D)：8°用于5°～25°线路转角。

BL3−(d)−(D)：18°用于25°～45°线路转角。

图 3-22　BL2，BL3 拉线抱箍加工图



BY1 (D)



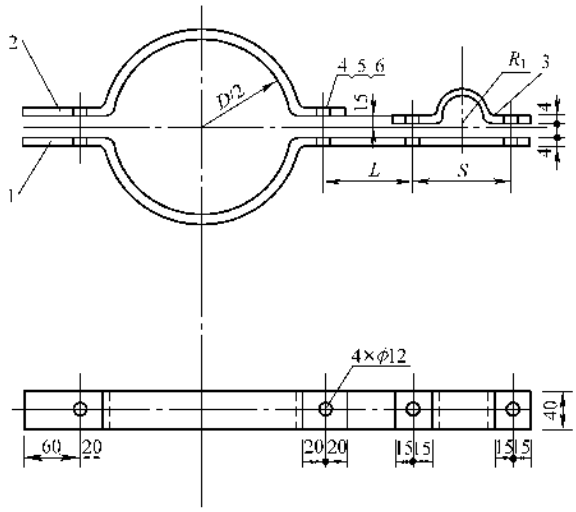
BY2 (D)

材料表

型号	序号	名称	规格	单位	数量	附注
BY2-(D)	1	扁钢	-30×3	块	1	
	2	扁钢	-30×3	块	1	
	4	螺栓	M10×60	个	2	
	5	螺母	M10	个	2	
	6	垫圈	10	个	4	
BY1-(D)	3	扁钢	-30×3	块	2	
	4	螺栓	M10×60	个	2	
	5	螺母	M10	个	2	
	6	垫圈	10	个	4	

注：热镀锌。

图 3-23 BY1 BY2 接地引下线抱箍加工图



抱箍尺寸(单位:mm)

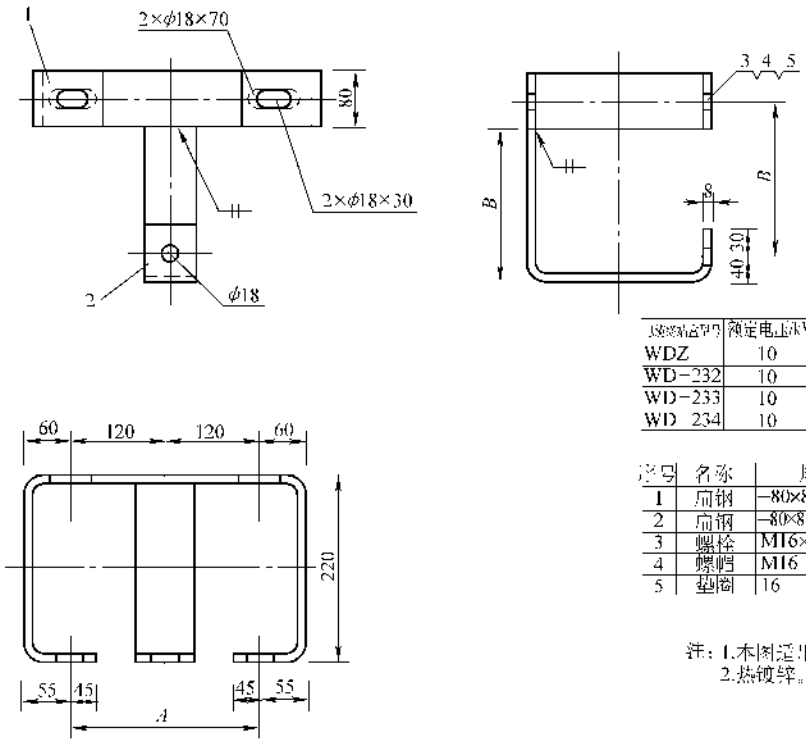
型号	L	S	R_1
BDL1-(D)	210	根据所穿的电缆外径确定	
BDL2-(D)	60		
BDL3-(D)	45		

材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	扁钢	-40×4	块	1	
2	扁钢	-40×4	块	1	
3	扁钢	-40×4	块	1	
4	螺栓	M10×60	个	4	
5	螺母	M10	个	4	
6	垫圈	10	个	8	

注：热镀锌。

图 3-24 BDL1，BDL2，BDL3 电缆固定抱箍加工图



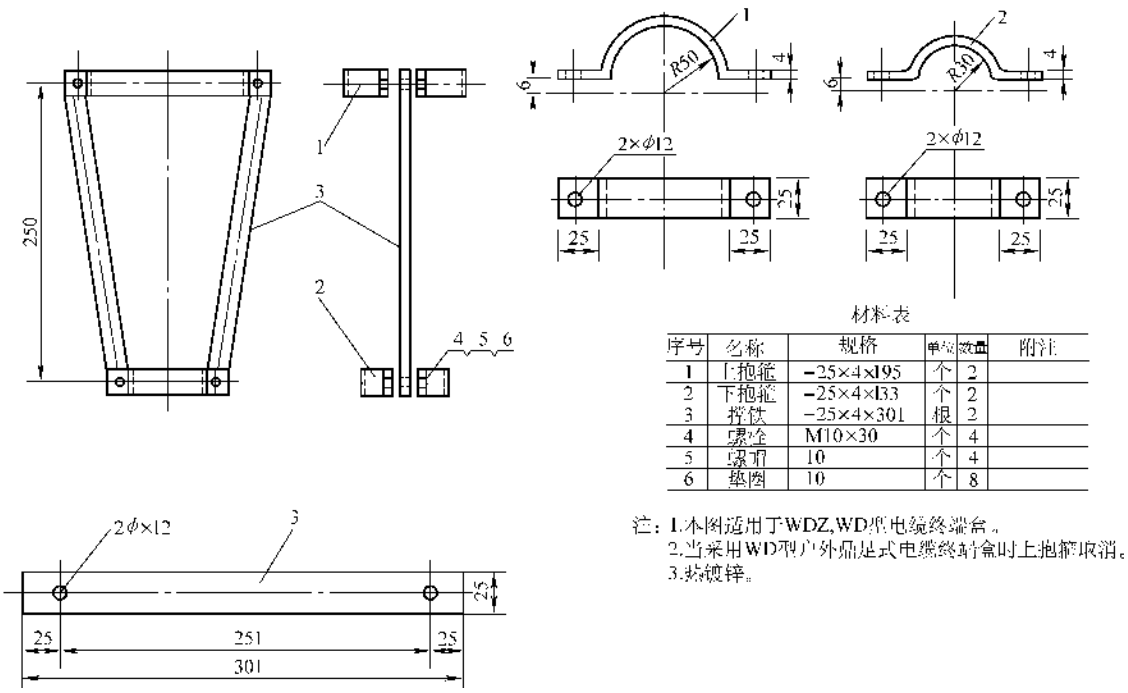
固定支架尺寸表（单位:mm）

适用电缆型号	额定电压/kV	电缆芯线截面积/mm²	A	B	附注
WDZ	10	25 240	220	160	
WD−232	10	25 50	250	125	
WD−233	10	70 150		173	
WD 234	10	185 240			

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	扁钢	−80×8×1000	块	1	
2	扁钢	−80×8×(2901B)	块	1	
3	螺栓	M16×50	个	3	
4	螺帽	M16	个	3	
5	垫圈	16	个	6	

注：1.本图适用于WDZ,WD型电缆终端盒。
2.热镀锌。

图 3-25　JH2 电缆终端盒固定支架加工图（一）

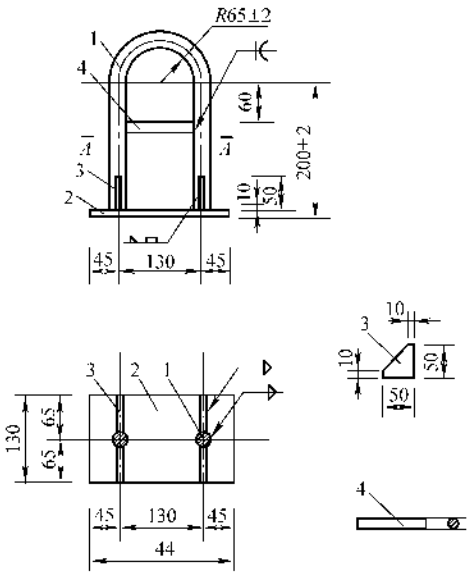


材料表

序号	名称	规格	单位	数量	附注
1	上抱箍	−25×4×195	个	2	
2	下抱箍	−25×4×133	个	2	
3	撑铁	−25×4×301	根	2	
4	螺栓	M10×30	个	4	
5	螺帽	10	个	4	
6	垫圈	10	个	8	

注：1.本图适用于WDZ,WD型电缆终端盒。
2.当采用WD型户外落地式电缆终端盒时上抱箍取消。
3.热镀锌。

图 3-26　JH2 型电缆终端盒固定支架加工图（二）



材料表

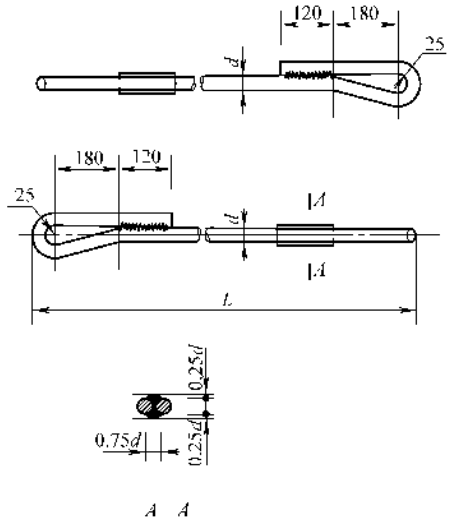
序号	名称	规格	长度/mm	单位	数量	附注
1	拉环	ϕ24	576	根	1	
2	钢板	−130×10	220	块	1	
3	加劲板	−50×6	50	块	4	
4	加强筋	ϕ16	106	根	1	

序号	名称	规格	长度/mm	单位	数量	附注
1	拉环	ϕ28	572	根	1	
2	钢板	−130×12	220	块	1	
3	加劲板	−50×6	50	块	4	
4	加强筋	ϕ20	102	根	1	

序号	名称	规格	长度/mm	单位	数量	附注
1	拉环	ϕ32	568	根	1	
2	钢板	−130×14	220	块	1	
3	加劲板	−50×6	50	块	4	
4	加强筋	ϕ24	98	根	1	

注：1. ϕ32mm拉环配合LP10使用；ϕ28mm拉环配合LP8使用；ϕ24mm拉环配合LP6使用。
2. 拉环在加劲短筋以上要求热镀锌防腐，其他部分要求将铁锈除净。

图 3-27 拉环加工制作图



材料表

型号	序号	名称	规格	单位	数量	附注
LB16 (L)	1	圆钢	ϕ16	根	1	
LB18 (L)	1	圆钢	ϕ18	根	1	
LB20 − (L)	1	圆钢	ϕ20	根	1	
LB22 (L)	1	圆钢	ϕ22	根	1	
LB24 − (L)	1	圆钢	ϕ24	根	1	
LB26 − (L)	1	圆钢	ϕ26	根	1	
LB28 − (L)	1	圆钢	ϕ28	根	1	

构件长度L（单位：mm）

埋深H/m / 线杆直径	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
45	2400	2700	2970	3250	3530
60	1950	2200	2400	2650	2890

图 3-28 LB 拉线棒制作加工图

第三节 电气开关/控制柜（箱）的制作

电气工程中的各类控制柜、开关柜、配电箱（盘）、控钮箱、操作台，电表箱等一般都随设备配套，外观及质量优良，标准化高，性能可靠。但是也有些设备不带控制柜，有的即使有控制柜，但电源部分不完善或容量不够，特别是多台电动联动设备、锅炉的控制柜，回路和容量都不能满足实际需要，仍需增加一台电源柜（箱）；有的设备属非标设备，控制系统复杂，没有定型的控制柜；有的工程项目小，柜的用量少但又是非标；有的照明控制箱标准系列中没有合适的控制回路和容量等。于是施工图样中有时也给出了控制系统的电路、柜的尺寸、盘面布置及主要材料等而有些设计则仅给出了粗略说明或要求。因此，这些柜、箱就需要安装单位自己制作，或者委托有关厂家制作。

一、电气柜（箱）制作应遵循的原则

1）采用现行国家标准，在外形结构、电气性能和机械性能上赶上或超过国内同类定型产品。主要标准有：

GB 7251.1—2005 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：型式试验和部分型式试验 成套设备

GB 7251.2—2006 低压成套开关设备和控制设备 第2部分：对母线干线系统（母线槽）的特殊要求

GB 7251.3—2006 低压成套开关设备和控制设备 第3部分：对非专业人员可进入场地的低压成套开关设备和控制设备　配电板的特殊要求

GB 7251.4—2006 低压成套开关设备和控制设备 第4部分：对建筑工地用成套设备（ACS）的特殊要求

GB/T 3047.1—1995 面板、架和柜的基本尺寸系列电气制图及图形符号国家标准：

GB/T 6988.1—2008、GB/T 6988.5—2006、GB/T 4728.1～5—2005、GB/T 4728.6～8—2008、GB/T 4728.9～10—2008、GB/T 4728.11—2008、GB/T 4728.12～13—2008、GB/T 5094.1—2002、GB/T 5094.2—2003、GB/T 5094.3～4—2005、GB/T 4026—2010、GB 4884—1985 等。

GB/T 4942.1—2006 旋转电机整体结构的防护等级（IP代码）分级

GB/T 10233—2005 低压成套开关设备和电控设备基本试验方法

GB 50254—1996 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范

GB 50255—1996 电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范

GB 50150—2006 电气装置安装工程　电气设备交接试验标准

GB 50171—2012 电气装置安装工程　盘、柜及二次回路结线施工及验收规范

高压柜制作相应标准及规范。

2）所有电气元件均应有产品合格证、说明书、仪表要有检定证书、贵重或关键部件应有产品制造许可证的复印件和型式试验报告，一般应从元件生产厂家直接定货，取消中间环节，避免伪劣产品混入。

3）柜体、外形的加工应机械化、模具化、进而使产品标准化，具有互换性、通用性。主要设备有2.5m剪板机、2.5m折边机、点焊机、检验平台、焊接平台、2.0m角尺、静电喷漆设备、远红外烘干或烤漆设备、冲床及各类模具、胎具、卡具，以及车床、钻床、铣床等。

4）健全试验手段，购置试验设备和测试仪表，按国家标准对产品进行测试。执行的标准主要有GB 7251.1—2005 低压成套开关设备和控制设备第1部分：型式试验和部分型式试验 成套设备，主要设备及仪器有升压源、升流源（5000A）、泄漏仪、标准电压表、电流表，绝缘电阻测试仪，以及电气常用仪器仪表。其中升流源（500A以内）可用电焊机代替。

5）大型安装企业应取得成套电气控制设备制造许可证，中小型安装企业应争取取得不同类别的制造许可证。低压成套开关设备制造许可证分三箱式（黄本）、一般型（绿本）和高级型（红本）三种。另外，还有高压成套开关设备制造许可证。

6）有严格的管理制度和工艺纪律，有电气专业工程师和机械专业工程师，操作工人应经专业技术培训，并有上岗操作证。特别是下料剪板和折边折角的人员应相对稳定，并采用流水作业。应有板材、型材校正加工、焊接、结构组装、元器件安装调整、母线制作安装、二次配线、表面被复层处理、零部加工等工艺守则或工艺卡，有原材料、元器件入厂检验、代用、零部件加工检验、成品检验、包装检验制度。

7）应有独立的检验机构，各工序工位要配备专业的检验人员进行过程检测和控制并有记录；生产过程应实行工程师负责制，工人实行技能工资制。

8）未尽事宜见本章三、电气控制柜的制作的（十）“整机测试”。

二、电气柜（箱）制作通用技术要求

（一）低压电器组成的电气控制设备

1. 工作条件

1）安装使用地点的海拔不超过2000m。

2）周围空气温度不得超过+40℃，且在24h周期内的平均温度不得超过+35℃，周围空气温度的下限为-5℃。

3）空气清洁，其相对湿度在最高温度为+40℃时，不超过50%；在较低温度时，亦允许有较大的相对湿度，+20℃时一般为90%，但是同时应考虑由于温差的变化，可能会产生适度的凝露。

4）设备所接的电源其电压波动范围，一般为设备额定工作电压的95%～105%。

2. 运输与保管过程中的条件

运输与保管过程中的温度，一般为-25～+55℃的范围之内。短时（不大于24h）的温度，最高可达到+70℃，否则应有一定的技术措施。

3. 技术条件

1）柜体应由能承受一定的机械、电气和热应力的材料构成，同时能经受正常使用条件下可能受到的潮湿影响。当设备用于高湿度或温差变化较大的场所时，应在已选定防护等级的基础上，另外增设防止内

部产生异常性凝露的设施，如采用加强通风散热或烘干加热等。

2）设备的结构设计，应保证调试、运行、操作、维修和检查测试时的安全可靠。同时各元件动作时所产生的热量、电弧、冲击、振动、磁场或电场，亦不得对其他元件正常功能的发挥有所影响，以至引起误动作。

3）设备的金属壳体，须焊有接地螺栓或螺母，其规格须满足表 3-37 中保护地线截面积的要求。为了保证使用时接触良好，禁止在螺纹上和导体表面处喷涂覆盖层，一般是焊接好后，即用凡士林油封涂，然后再喷漆。

4）装于柜内的电器元件，应符合本身的标准规定和电气装置安装工程施工及验收规范，同时根据柜体制作设计的图样要求，进行安装和调整。

5）柜内元件的布置、电路的排列（包括一次和二次），应整齐美观、操作方便、工艺合理和维护检修安全。

6）通常地面安装的柜体，其指示仪器仪表的安装高度不得高于柜体安装基础面 2m；操作器件（如手柄、按钮等）应装在便于操作的高度位置上，一般其中心线不高于柜体基础面 1.9m。

7）装于柜体上的电器元件，须保证足够的拆修距离和安全喷弧距离。

8）柜内某些元器件的正常工作温度或湿度，高于或低于设备所所规定的正常工作条件时，应从柜体结构设计方面进行适当的调节，如局部增设加热、通风或冷却设施。

9）设备上的连接导线，应具有与额定绝缘电压相适应的绝缘。

10）各电路所选用的绝缘导线：铜芯绝缘硬导线的截面积不得小于 $0.75mm^2$；铜芯绝缘软导线的截面积不得小于 $0.5mm^2$。

11）主电路接头间的相序和极性排列，应符合表 3-11 的规定。

12）接至各接头上的连接导线端部，应压接铜制或铜铝过渡的端子，每根导线的中间，不得存有插接或焊接的过渡连接。

13）当用黄、绿、红颜色表示主电路的相序时，允许仅在导线的末端标色；保护地线和中性线则须全长标色。二次回路的线号则一般应在导线的末端用特制的线号标注。

14）通常元器件的一个端子只连接一根导线，最多不得超过两根。

15）不同材料的母线或导线间的连接或与元件端子连接，应采用过渡端子，消除可能引起的电化腐蚀现象。

16）布线中使用的绝缘导线，若使用行线槽配线时，应引至线槽内，同时在槽内尽量消除导线的交叉，而行线槽须垂直或水平敷设；若使用导线直接配线时，二次线应捆扎成束，线束应垂直或水平敷设。

17）配线中，母线与电缆，须配备应力相适的支承，并尽量保证母线与电缆垂直或水平敷设。

18）装设一般的电器元件或导线时，应使其与发热件间有一定的隔热间距，以免因过热而影响运行及使用寿命。接于发热体上的导线应采用相应的耐热导线，否则应剥去适当长度的绝缘层，套上耐热瓷珠或瓷套管，此种方法应保证，设备运行时绝缘导线与瓷件接触部位的温度不超过 +65℃。

19）在使用中可能受到应力而弯曲的导线或线束，如过门线，须采用铜芯绝缘软线。引至可动部位的线束，须缠套不自燃的软管，线束的长度应保证足够的受弯半径，一般应大于 10 倍线束外径。

20）设备的引出线，应集中引至接线端子排上引出。大电流的引出线，允许从元件端子上直接引出。

21）设备的金属壳体或可能带电的金属件（包括因绝缘损坏可能带电的金属件）与接地螺栓间，必须保证具有可靠的电气连接，与接地螺栓间的接触电阻，不得超过 $10^{-3}\Omega$。其中，装有电器元件的金属门（盖）与金属壳体间的电气连接，须采用黄绿双色铜软线来进行。

22）电器元件与电器元件之间、导电部件与不同相导电部件之间或与电器元件之间的电气间隙、爬电距离应符合表 3-10 的要求。

23）主电路在额定条件下工作时，导体、母线的连接处、操作手柄和壳体的温升应符合要求。

24）柜中的各个电路在介电试验前或后，其绝缘电阻不得低于 1MΩ。

25）柜中各个电路应能承受交流正弦波介电试验电压，在 1min 的试验时间内无击穿或闪络现象。试验电压见表 3-12 和表 3-13。

（二）装有电子器件的低压电气控制设备

1. 使用条件

1）周围环境温度不超过 +40℃，且 24h 内的平均温度不超过 +35℃，最低环境温度不得低于 -5℃。

2）空气中不得有过量的尘埃、酸、盐、腐蚀性及爆炸性气体。相对湿度在 +40℃ 不超过 50%。在较低温度时，允许有较高的相对湿度，20℃ 以下为

90%，同时应注意由于温度变化可能发生的凝露。

3）海拔不超过1000m。

4）安装地基处允许有，振动频率10～150Hz时，最大振动加速度不超过5m/s^2，如有共振则应有减振装置。

5）交流电源的波形、电压波动范围、频率波动范围，直流电压波动范围均应符合产品的设计要求。

2. 技术条件

1）柜内元器件必须符合该类元器件各自相应的标准及技术条件，不仅要考虑正常工作条件下的使用，而且要考虑设备在最不利条件下的使用。

2）柜内使用的印制电路板，应符合GB 4588.4—1996《多层印制板分规范》的规定；使用的控制单元应符合GB/T 3797—2005《电气控制设备》规定的考核条件，同时应在产品设计中制定该控制单元的有关规定。

3）控制设备可采用自然冷却强迫风冷、水冷。采用自然空气冷却时，散热器周围应有足够的空间；采用强迫风冷，进风入口处应有过滤装置；采用水冷时必须有过滤装置，且冷却系统亦采用塑料，尼龙制件，同时水质应满足表3-30的要求。

4）电气间隙和爬电距离应符合表3-31规定。

5）绝缘电阻不小于1MΩ。

6）介电试验电压应按表3-12和表3-13进行。

7）设备内部各部件的温升，应符合元件的各自标准；低压母线及低压电器端子的最高允许温升：

纯铜无被覆层应≤60℃

纯铜搪锡应　　≤65℃

纯铜镀银应　　≤70℃

铝超声波搪锡应≤55℃

半导体器件及其与母线的连接端子最高允许温升：

纯铜无被覆层应≤45℃

纯铜搪锡应　　≤55℃

纯铜镀银应　　≤70℃

铝超声波搪锡应≤35℃

8）连接到发热元件上的导线，应从侧方或下方引出，并剥去适中的绝缘层，套以耐热小瓷管或瓷珠，使导线绝缘层的端部温度不超过+65℃。

9）设备能承受来自电网或周围环境的电磁干扰。同时设备本身产生的电磁干扰应减小到最低限度。应采用滤波器和延时装置，或者选择一定的功率电平以及合理的布线（如采用绞线、屏蔽线、分束或交叉走线、隔离线或屏蔽技术等），可以避免静电和电磁干扰。

10）柜或台体结构应牢固，应能承受在正常使用条件下可能遇到的机械、电气、热应力以及潮湿等影响。

11）抽屉和插件应很方便地插入或拔出，所有接点、插点均应保证接触可靠。需要更换的抽屉或插件应具有互换性。在正常使用期间如果新更换的插件在投入运行前尚需进行电气性能调试，则应在这种插件上加注明显的标志。不同功能的抽屉或插件应避免插错，必要时应有防止插错的机械或电气连锁装置。

12）印制电路板、插件等部件，在焊装完成后，应进行规定的耐振及温度循环试验，试验后应保证电气性能符合要求，并不得有脱焊、虚焊、元器件松脱或紧固件松动等现象。

13）元器件之间应有足够的空间，以便装配和接线，每个元器件周围应标注醒目的符号或代号。重量小于15g的小型元器件，如果在正常使用和运输中确信不致损坏时，可利用其本身的引出线直接固定在印制电路板上，其他元器件必须用机械方法固定。

14）操作与控制元件应装于易操作的部位，安装高度不得高于操作者所站立的台面以上的2m，不得低于0.4m。

15）导线的连接可采用压接、绕接、焊接或插接，连接必须可靠牢固，两个接线点间的连线不得有接头。

16）在经常移动的地方（如过门处），必须采用软绞线，并且要有足够长的裕量，以免急剧弯曲或产生过大张力。

17）交流电源线、直流电源线及高电平信号线，应与低电平（测量、信号、脉冲等）信号线分束走线，并应有一定的间隔，必要时应采取隔离或屏蔽措施。

18）所有导线端部的标号，应清晰、牢固、完整、不脱色。

19）主电路母线类别的颜色及相序的排列应符合标准，见表3-11。

20）柜中控制电路导线截面积应按规定的载流量选择，但考虑到机械强度的需要，一般应采用截面积不小于0.75mm^{2}的单芯铜绝缘线或不小于0.5mm^{2}的多芯铜绝缘绞合线，对于电流很小的电路（如电子逻辑电路和类似的低电平或信号电路），导线的最小截面积不得小于0.2mm^{2}且必须使用铜芯或镀银绝缘导线。

21）导线的额定绝缘电压与电路的额定工作电压或对地电压相适应。必要时，对于较高工作电压的导线，应采用绝缘措施（如加绝缘套管、用绝缘支架架起悬空等）。

22）所有从外部进入控制柜（箱、台）的电缆或导线必须通过接线座，但对于电流在60A以上的电路接线，允许直接接到元件的端子上。

23）对于断路器、接触器、继电器等大电流器件的安装、布线、连接等要求可参考低压电器组成的电气控制设备设置。

（三）高压电器组成的电气控制设备

高压电气柜通用技术要求与“（一）”和“（二）”基本相同，不同的是高压柜的绝缘程度远远高于低压柜。因此，在柜体尺寸、电气设备尺寸及绝缘性能、柜体结构方式、传动系统等方面比（一）和（二）有着很大的区别，主要有：

1）高压柜绝缘子，母线间距、对地距离、爬电距离应符合相应电压等级的要求。

2）电气开关设备、元件、二次回路、绝缘子的电压等级、耐压试验应符合相应标准的要求。

3）电子器件、模块/模板等弱电系统与高电压大电流的设备元件应有隔离或屏蔽保护。

4）操作系统、继电保护系统、计量仪表系统与高电压、大电流的设备元件应有隔离保护措施。

5）电气设备、元件的试验与低压系统的试验内容和方式有明显不同。

这里将高压开关设备型式试验项目和低压电器试验项目列出，供读者参考，见表3-3和表3-4。型式试验一般由国家电气产品技术监督部门进行，并出具型式试验报告，但一般的生产厂商都具有该试验的能力，本厂试验合格后再交付监督部门进行，以避免出现不合格项。作为安装单位有条件的也应具备型式试验的能力，以便在工程中防止假冒伪劣产品的混入，确保安装工程的质量。

表3-3 高压开关主要型式试验项目

序号	试验项目		适用产品							
	性能	名称	断路器	负荷开关	隔离开关	接地开关	重合器	分段器	接触器	熔断器
1	力学性能	机械操作试验	○	○	○	○	○	○	○	（○）
2		机械特性试验	○	○	（○）	（○）	○	○	○	
3		机械耐久试验	○	○	○	○	○	○	○	
4	载流性能	温升试验	○	○	○		○	○	○	○
5		回路电阻测量	○	○	○		○	○	○	○
6		短时耐受电流试验	○	○	○	○	○	○	○	
7		峰值耐受电流试验	○	○	○	○	○	○	○	
8	开断与关合性能	短路开断能力试验	○				○		（○）	○
9		短路关合能力试验	○	（○）		（○）	○	（○）	（○）	
10		近区故障开断试验	（○）							
11		线路充电电流开合试验	（○）	（○）	（○）		（○）	（○）		
12		电容器组开合试验	（○）	（○）			（○）		（○）	
13		额定关合和开断能力试验		○				（○）	○	
14	绝缘性能	冲击电压试验	○	○	○	○	○	○	○	○
15		工频电压试验	○	○	○	○	○	○	○	○
16		局部放电测量	（○）							
17		无线电干扰电压试验	（○）	（○）	（○）	（○）				

注：○——要做；（○）——有的要做，有的不要做。

表 3-4　低压电器试验项目表

序号	试验项目	试　验　内　容	型式试验	常规（出厂）试验
1	一般检查	检查电器的外形尺寸及安装尺寸、电气间隙与爬电距离、触头开距、超行程、压力、操作力以及安装质量	✓	✓
2	电压降检查	对被试电器通以恒定直流电流，用仪表直接测量被测部分两端的电压降，以了解电器各部位的导电情况	视电器种类而定	✓
3	温升试验	用低压电源进行，测量电器各部件（包括触头、导电部件和易接触的外壳表面及操作手柄）的温升	✓	
4	绝缘电阻测量	用绝缘电阻表测量电器绝缘表面的阻值，在一般条件不得小于 10MΩ	✓	✓
5	介电性能试验	进行工频耐压试验，以考核电器的绝缘水平。在电气间隙小于标准规定时尚须进行脉冲耐压试验	✓	✓
6	耐潮试验	在规定的温度湿度条件下进行，考核在湿热条件下电器的绝缘性能	✓	
7	额定接通与分断能力试验	接通与分断可分别试验，但必须在同一台试品上进行。如果条件具备，则接通与分断应当是一个连续的程序，不应分开。主电路和辅助触头都应进行	✓	
8	短路接通与分断能力试验	在规定的电流、电压、$\cos\varphi$ 或时间常数条件下进行。熔断器只进行分断能力试验	✓	
9	短时耐受电流能力试验	考核短路电流的热效应和电动力效应对电器的影响，一种电器可以有几种（如 1s、0.4s、0.2s 等）短时耐受电流	✓	
10	动作特性试验	确定电器的动作误差和在规定电流作用下的延时值、电流动作值可用低压电流进行	✓	✓
11	操作性能试验	需动作的电器，要进行一定次数的操作性能试验，以检查动作的可靠性	✓	✓
12	寿命试验	分机械寿命和电寿命试验，用闭合断开操作循环的次数表示。有的电器，如断路器要求两者在同一台试品上进行	✓	
13	电磁兼容性（EMC）试验	考核电子电器在电磁干扰作用下工作的可靠性。应进行辐射试验、冲击电压试验、电气快速瞬态/脉冲群试验、振荡波抗扰性试验	✓	

三、电动机起动控制柜的制作

现以一台 130kW 绕线转子电动机频敏起动控制柜的制作为例，详细说明箱、柜的制作工艺和方法。

（一）熟悉设计给出的电路，并分析其工作原理

见图 3-29。由图可知，主电路由断路器 QF 作为电源总开关并兼做短路保护；接触器 KM_1 为起动和运转的主接触器，KM_2 为短接转子电路频敏变阻器 L 的短接接触器；电流互感器 $TA_{1\sim2}$ 有两个作用，一个是为热继电器 FR 提供电流信号，使其实现过载和断相保护，另一个是为电流表 A 测量电流用；电路还采用过电流保护，由过电流继电器 KA 完成。

控制回路有两个时间回路，一个是起动时间控制，由时间继电器 KT_1 完成，另一个是过电流时间控制，由 KT_2 完成，只有 KT_2 的整定值大于 KT_1 的整定值，电路才能正常工作。KT_1 的整定值由负载性质决定，重载起动时间大一点，轻载起动则小一点；KT_2 的整定值由电动机的过载系数决定，一般不得大于起动时间的 1.2～1.5 倍。其他电路功能读者自行分析。

熟悉电路一是要看电路的功能以及电路的功能能否实现，电路设计是否正确；二是要看电气元件选择是否正确，元件能否起到设计要求的作用。如果电路在控制功能和元件选择上有不妥之处，应通过设计变更，任何人不得随意改变设计。如果电路确有错误和不妥，而设计人员难以接受，则应通过技术权威部门的有关专家确认后经建设单位、安装单位和设计单位协商解决。

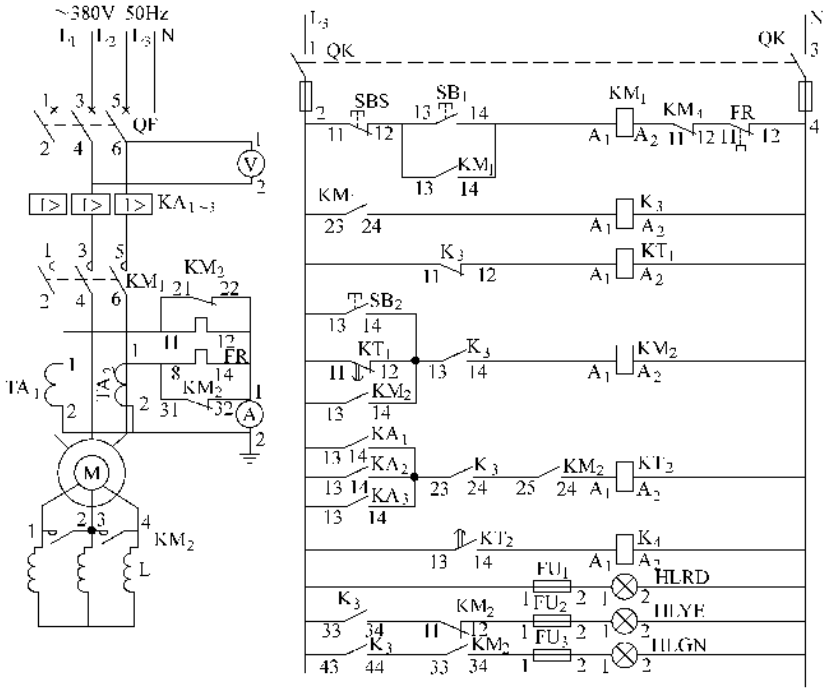


图 3-29 130kW 绕线转子电动机起动控制原理图

（二）确定柜体外型尺寸

控制柜（箱）的元件要固定在柜（箱）内的铁板或绝缘板上，通常把这块板称作面板，其几何尺寸的大小、板厚以及柜（箱）体的几何尺寸、板厚，都是由元件的多少、元件几何尺寸的大小、重量以及元件合理的排列决定的。一般情况下，总开关装在最上方，其次是互感器、接触器，最下部为限流装置，如频敏变阻器，起动电阻、自耦变压器等。继电器宜装在总开关的两侧，但有些继电器为了便于取得信号，应装在总开关和接触器间的主回路中，如电流继电器、热继电器等，而通过互感器的热继电器也宜装在总开关的两侧。接线端子板应装在便于更换和接线的地方，一般宜置于面板的两侧或下方。元件间的排列应整齐、紧凑、并便于接线；元件间的距离，应适于元件的散热和导线的固定排列。元件和元件之间左右的间距一般为 50mm，至少不得小于 30mm，上下的间距应大于 100mm，面板边缘的元件距边至少 50mm，图 3-30a 为由图 3-29 控制原理图作成的控制柜的板面元件布置图。

1）在电气设备手册中或设备说明书中查出元件的几何尺寸，并标注在图上；在实际工作中常常是把元件按规定间距排列在平台上，然后实测实量即可得出面板的尺寸。

2）将排成一行的占满上下整个面板的各个元件的高和各个元件间上下最小允许距离相加，即为面板最小允许高度 H''，如图中断路器 QF、电流继电器 KA、接触器 KM_1、电流互感器 TA、接触器 KM_2 和频敏变阻器 L 上下排成了一行并占满上下整个面板。

$$H'' = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_{QM} + h_{KA} + h_{K1} + h_{TA} + h_{K2} + h_L$$

柜体高度最小允许值 $H' = H'' + 100\text{mm}$。

3）将排成一行的占满左右整个面板的各个元件的宽和各个元件间左右最小允许距离相加，即为面板最小允许宽度 B''，如图中时间继电器 KT_1 和 KT_2、断路器 QF、端子板 XT、中间断电器 K_3 和 K_4 左右排成了一行并占满了左右整个面板。

$$B'' = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 + b_6 + b_7 + b_{XT} + b_{KT_1} + b_{KT_2} + b_{QM} + b_{K_3} + b_{K_4}$$

柜体宽度最小允许值 $B' = B'' + 100\text{mm}$

有时为了缩小柜体的宽度和体积，可将端子板放在柜体的侧面上。

4）同时可将柜（箱）体的最小允许深度确定下来，最小允许深度 D'是按元件中最厚的那件确定的，板前接线 D' = 最厚元件的厚度 + 150mm，板后接线 D' = 最厚元件的厚度 + 300mm。由图 3-30 可知，该柜 $H' = 2150\text{mm}$ $B' = 815\text{mm}$ $D' = 600\text{mm}$

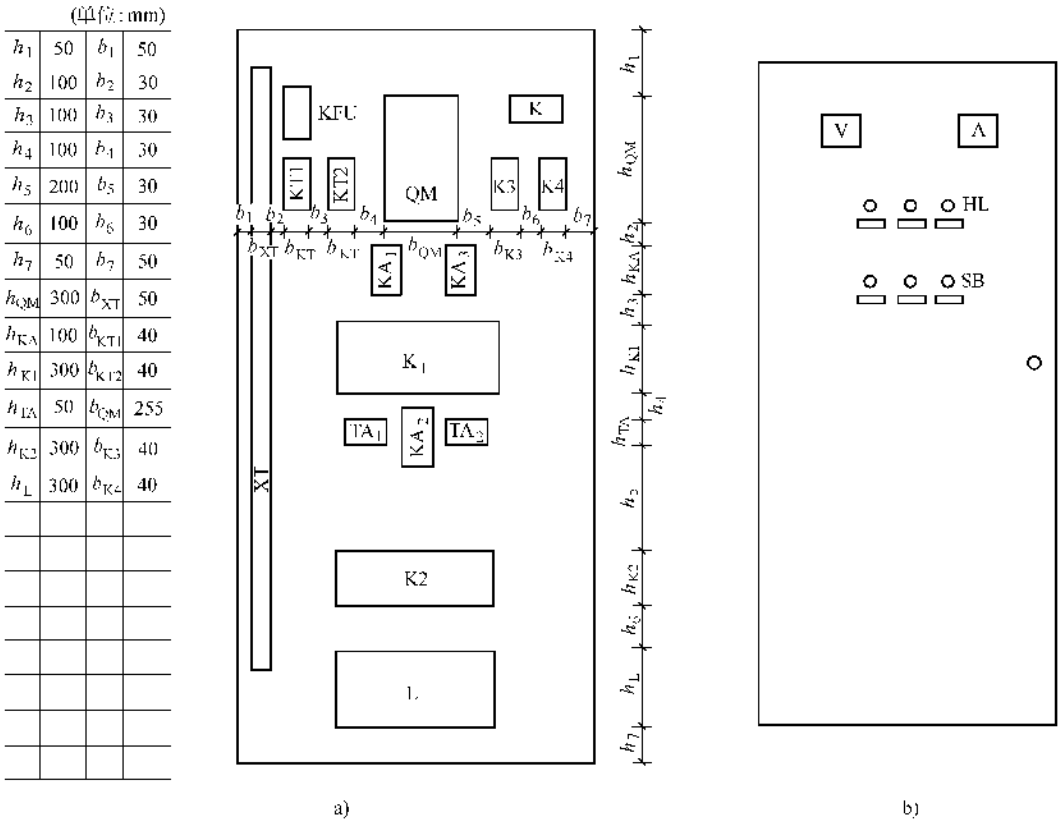


图　3-30

a）板面元件布置图　b）门面元件布置图

5）将 H'、B'、D' 与 GB/T 3047.1—1995《高度进制为 20mm 的面板、架和柜的基本尺寸系列》中，柜的标准尺寸进行比较，选择稍大于并最邻近计算尺寸的标称尺寸 H、B、D 即为控制柜的外型实际的几何尺寸，即 $B=1000$，$H=2200$，$D=700$。标准系列尺寸见表 3-5。

表 3-5　柜体标准尺寸系列表

宽 B/mm	高 H/mm	厚 D/mm
280	800	220
400	1000	280
480	1200	340
520	1400	400
600	1600	460
660	1800	500
800	2000	600
1000	2200	700
1200	2400	800
1400	2600	1000
1600	2800	1200
1800		1600
		2000

6）确定面板、柜体、柜门的板厚见表 3-6。

表 3-6　控制柜（箱）板厚选择表

（单位：mm）

类别	面板厚度	柜体厚度	柜门厚度	柜内骨架
小型箱	1.0～1.5	0.5～1.0	1.0	3×30 角钢
中型柜	1.5～2.0	1.0～1.5	2.0～2.5	4×40 角钢
大型柜	2.0～2.5	1.5～2.0	2.5	5×50 角钢

柜体通常有骨架支撑，其板厚可选的薄一点；面板支撑元件并要钻孔套丝，其板应选厚一点；柜门应大于面板厚度，特别是大中型柜，门偏大，为了增加强度，防止开关时振动，一般选的厚一点，可选 2.5mm。

通常面板用钢板制成，有时也可用各类绝缘板，其厚度一般为 8mm。

开门方式应根据柜的大小、用途、接线方式、功能及安装场所而定。小型柜一般为前开门；中型柜为前后开门，同时侧开门；大型柜前后及两侧均开门，便于接线和修理，为开启式。后开门和侧开门有时做成死门，平时用螺钉固定好，必要时再打开。

7）将信号灯、按钮、表计排列在柜门的板面上。柜门元件的排列一般是表计在上方，其次为信号灯、按钮，最后是锁子开关。排列时距顶、距边的间距一般为100mm，元件少时可为200mm，从上往下排列，见图3-30b，元件少时应先占满上半部。

图3-31和图3-32是该柜的外型和尺寸。

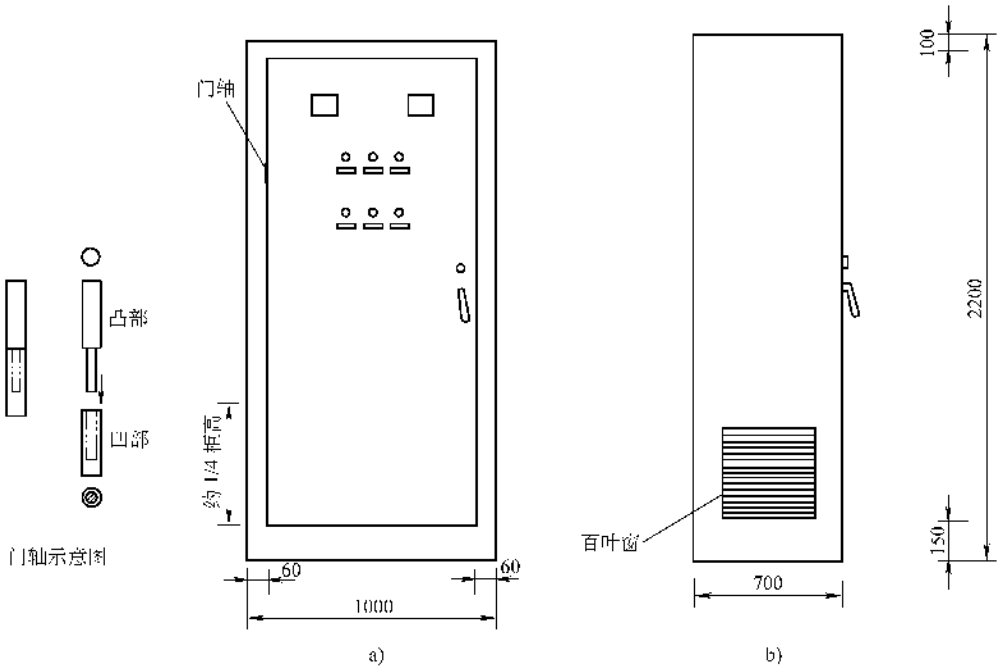


图3-31 平板柜体结构图（一）

a）正面图 b）侧面图

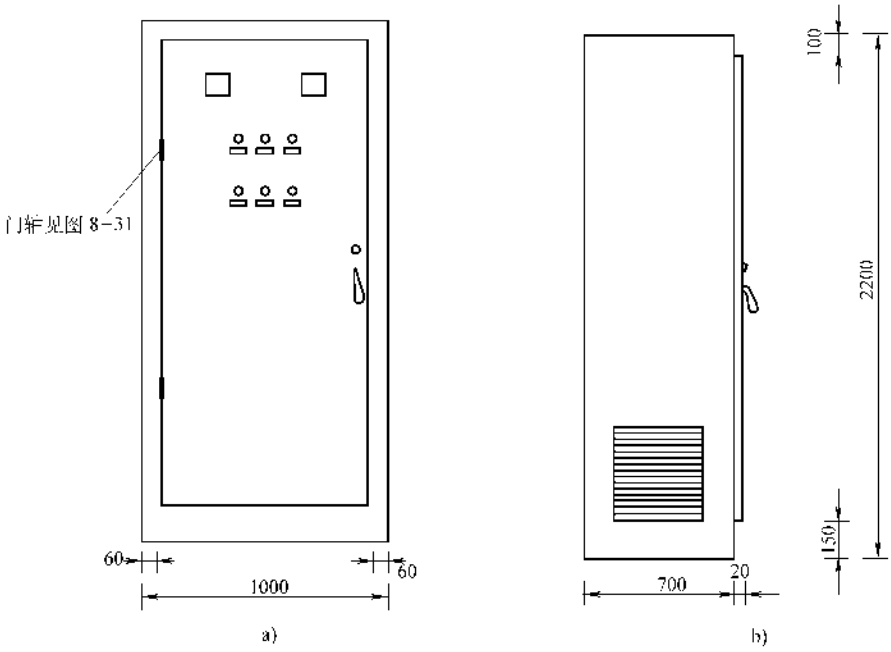


图3-32 凸式柜体外形图及尺寸

a）正面图 b）侧面图

（三）下料划线

柜体的制作是在扳金工、电焊工、机工的配合下，经下料划线、剪板、折边、开孔、焊接、喷漆等工序而完成的。其中下料划线和剪板是关键的一步，几何尺寸必须与计算尺寸相符，否则将造成柜体不规则、元件排列太紧，或浪费钢材，给装配带来很多不利。

1）柜体侧面的下料划线及尺寸　让我们先看一下柜体上下截面的结构形式，一般有两种，柜门平板式和柜门凸出式，见图 3-33a 和图 3-34a。再看一下柜体侧面的展开图，见图 3-33b 和图 3-34b。

柜门平板式柜体侧面的下料尺寸为（H— 柜顶板 t）×（$D+d+e+f+g-4\times0.5t$），其中 $4\times0.5t$ 为折角时钢板变形增加的余量，4 为折角次数，t 为钢板厚度，并按图 3-33b 用划针将虚线画好，图中的虚线就是折角线，$0.5t$ 的折角余量应统一减在虚线的左侧或者右侧，严禁混淆，这样将给折角时带来很大方便。

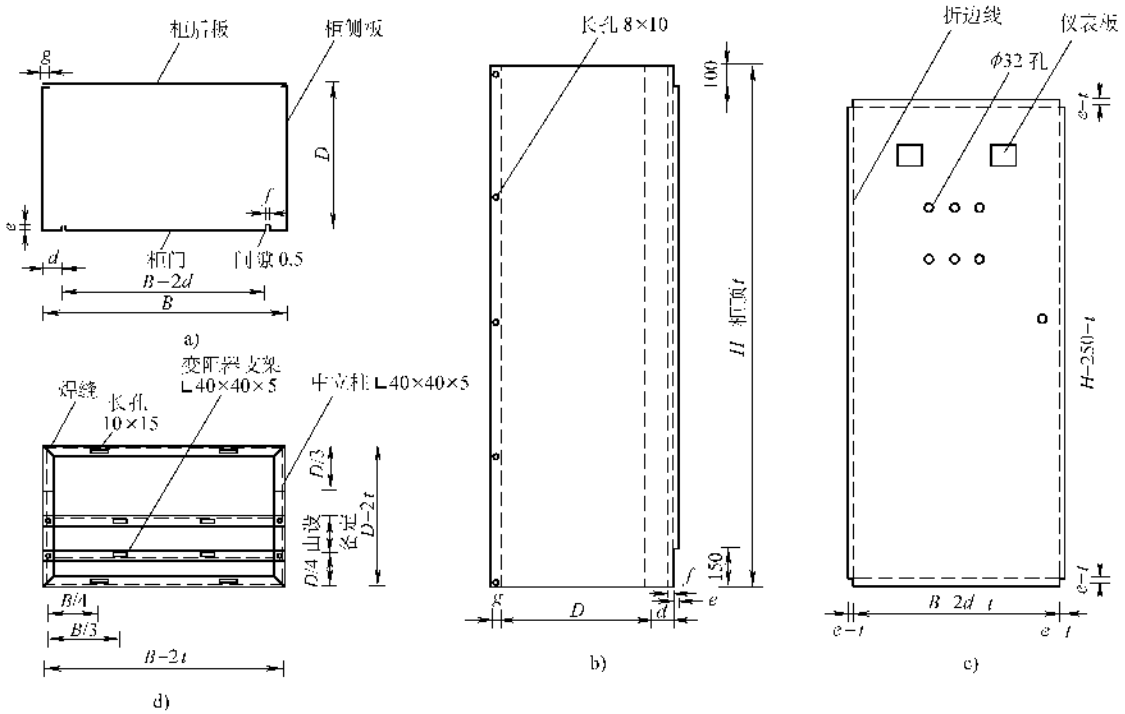


图 3-33　平板柜体结构图（二）

a）柜体截面图（左开门）　b）柜体侧板展开图　c）柜门展开图　d）下框架平面图

柜门凸出式柜体侧面的下料尺寸为（H— 柜顶板 t）×（$D+d+e-t+g-3\times0.5t$）。

2）柜门的下料尺寸　柜门平板式柜门的下料尺寸为〔$H-250-t+2(e-t)-2\times0.5t$〕×〔$B-2d-t+2(e-t)-2\times0.5t$〕其中，250 为上门坎和下门坎的宽度，$-t$ 为门缝间隙系数，$e-t$ 为折角时减去一个板厚，见图 3-33c。

柜门凸出式柜门的下料尺寸为（$H-250+2t+2e-2\times0.5t$）×（$B-2d+2t+2e-2\times0.5t$），没有门缝间系数，做起来较容易，见图 3-34c。

3）面板的下料尺寸　面板的下料尺寸一般为 $H''\times B''$即可，但是因为柜体按标准系列做了调整，有时 $H''\times B''$和柜体相比有些偏小，因此面板也要适当调整。通常面板的安装是从柜顶放进柜内的，因此其高和宽应略小于柜体高度和宽度即可，但频敏变阻器是安装在下框架上的，因此面板高度可减去 300mm，这样平板式和凸式的面板尺寸都可以定为：（$H-300$）×（$B-4t$）

4）柜后板的下料尺寸　活动型柜后板用螺钉和柜体连接，必要时可取下，下料尺寸为（$H-2t$）×（$B-2t$），见图 3-35e 和图 3-36e。

固定型柜后板用电焊机点焊在柜体上，下料尺寸为 $H\times B$。

5）柜顶盖板的下料尺寸为 $D\times B$，见图 3-35d。

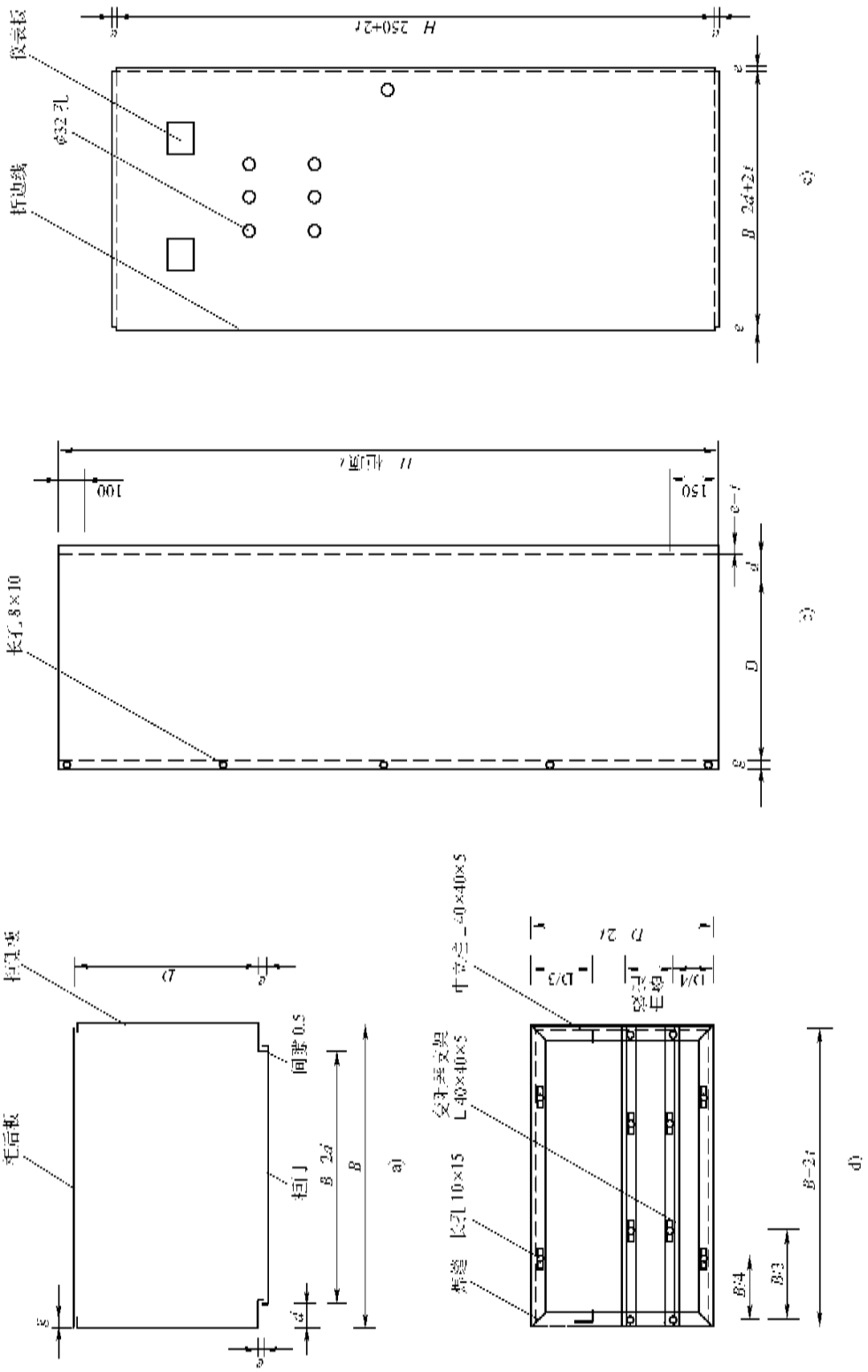
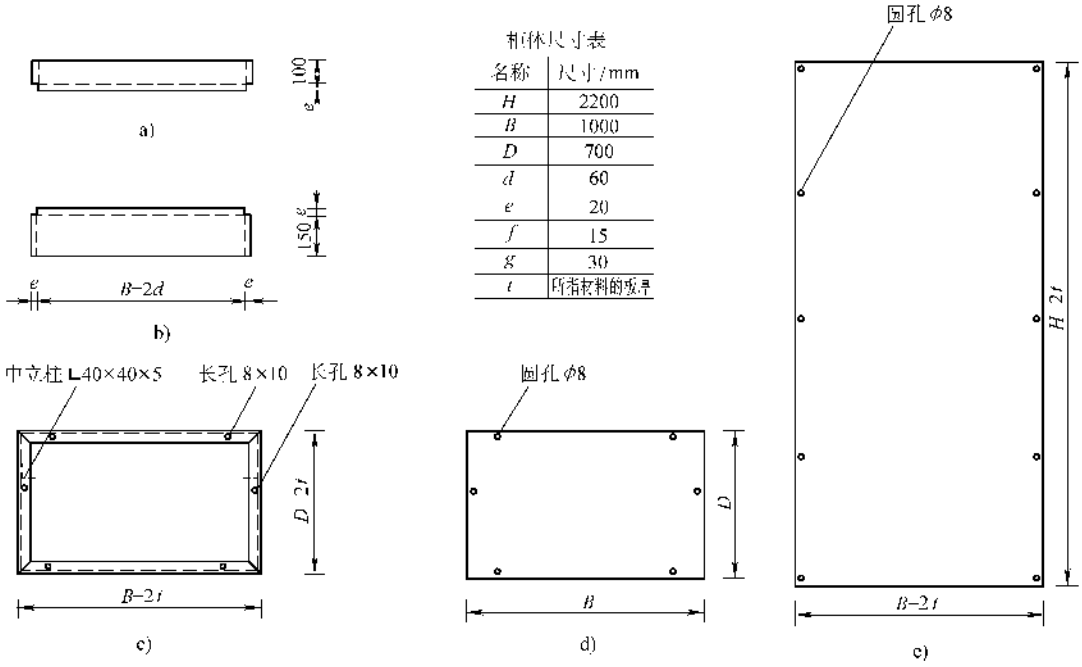


图 3-34 凸式柜体结构图（一）

a）框体截面图 b）柜体侧板展开图 c）柜门展开图 d）下框架平面图



柜体尺寸表

名称	尺寸/mm
H	2200
B	1000
D	700
d	60
e	20
f	15
g	30
t	所指板料的厚度

图 3-35　平板柜体结构图（三）

a）上档板展开图　b）下档板展开图　c）上框架平面图　d）柜顶盖板　e）柜后档板

6）门口上下档板的下料尺寸：

①　上档板　柜门平板式下料尺寸为

$(B-2d+2e-2\times0.5t)\times(100+e-1\times0.5t)$

见图 3-35a。

柜门凸出式下料尺寸为

$(B-2d+2e-2\times0.5t)\times(100+e-t-1\times0.5t)$

见图 3-36a。

②　下档板　柜门平板式下料尺寸为

$(B-2d+2e-2\times0.5t)\times(150+e-1\times0.5t)$

见图 3-35b。

柜门凸出式下料尺寸为

$(B-2d+2e-2\times0.5t)\times(150+e-t-1\times0.5t)$

见图 3-36b。

上档板和下档板的下料尺寸，有时为了准确，等柜体组装时实测尺寸后再下料，但批量生产应整体下料。

7）柜顶和柜底角钢框架的下料用 40mm×40mm×5mm 角钢，其下料尺寸为 $D-2t$ 四根，$B-2t$ 的四根，误差为 ±0.5mm，并将端部锯成 45°角，加工方法见金工件制作。见图 3-33d、图 3-35c、图 3-34d、图 3-36c。

8）中立柱和电气梁用 40mm×40mm×5mm 角钢，中立柱长 $H-$柜顶板 $t-2\times5$，其中 5 为角钢厚，电气梁长 $B-2t-2\times5$；均开长孔 9mm×120mm，间隔 30mm。

9）固定频敏变阻角钢的下料用 40mm×40mm×5mm 角钢，$B-2t$ 两根，见图 3-33d、图 3-34d。开长孔 10mm×15mm。

角钢下料应用手工锯或电动无齿锯，严禁用气割下料。

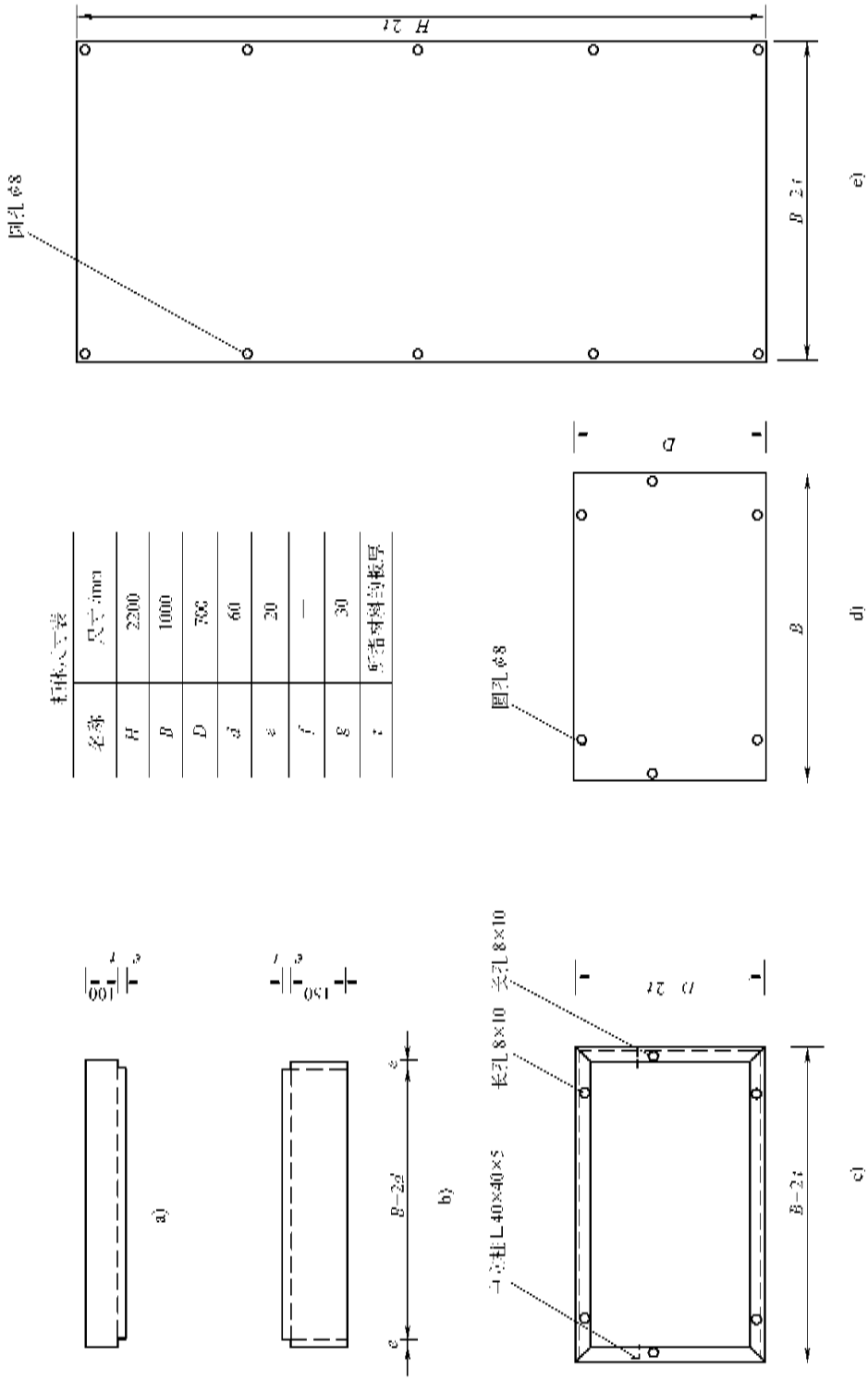
10）下料划线的基本要求：

①　尺寸计算好应经第二人复核，无误后便可在钢板上划线。

②　钢板一般应为冷轧板，板面应平整、光滑、无锈蚀，轻微凹凸应先作平整处理，严重凹凸的钢板不能制作控制柜。

③　划线前应测量准确，使用的量具有钢板尺、盒卷尺、钢角尺，钢角尺应为 2m；划线和测量应在平台上进行；划针应为高碳钢制成尖角为 15°～20°，并经淬火的针，划线的方式见图 3-37。

④　应先在钢板的一端用钢尺划出一个长大于 2m，宽大于 1m 的直角来，见图 3-37，然后以此条线为基准，依次测量并确定各条线的位置，然后依次划出。划好的线应经第二人复核尺寸，下料线用实线表示，折角线用虚线表示，下料线和折角线应同时划出。



柜体尺寸表	
名称	尺寸/mm
H	2200
B	1000
D	700
g	60
e	30
f	—
g	30
t	所有对接板厚

图 3-36 凸式柜体结构图（二）

a）上档板展开图 b）下档板展开图 c）上框架平面图 d）柜顶板尺寸 e）柜后板尺寸

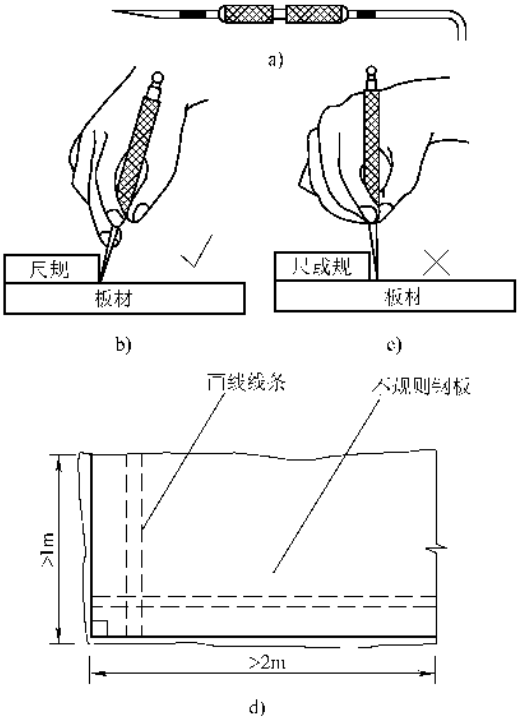


图 3-37　划针及划线方法

a）划线针　b）正确划法　c）错误划法　d）不规则钢板上划线

⑤　线划好后应保证所有横向的线要平行，所有竖向的线也要平行，并测量各个矩形的对角线，应相等。划线是保证柜体质量的第一步。

⑥　如果柜后为开门式，则和前开门相同，见图 3-38。

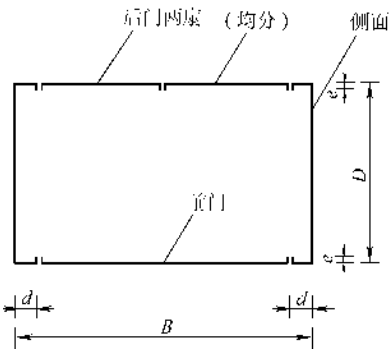


图 3-38　前后开门柜柜体截面图

可以根据前述确定柜体侧面的下料尺寸和展开图，并增加上下门挡板料各一块，柜门板两块（假设后门为双开门，其他不变）。

读者可自行分析大型柜四边全开门的情况，方法同上。

（四）剪板下料

线划好后并经复核无误即可在剪板机上剪板下料，剪板下料就是要把划好四边轮廓线的柜体侧面、柜门、面板、柜顶盖板、柜后板从整块钢板剪下来。

剪板前应先用其他零星废料试剪一次，看其刀口和裁口是否严密，框量是否大，否则需要调整。被剪开的两半板其剪开处应平整，无任何受压的痕迹。通过试剪也能掌握下料线在剪板机平台上放置的位置，力求剪刀对准下料线或前错后错的位置一致。剪板的误差为 ±0.5mm，否则将不能保证柜体的方正及门的严密。剪板操作应由有经验的熟练工人进行，非操作人员不得擅自开动剪板机，剪板时应注意安全，一般由两人作业，脚踩进刀开关时，人体任何部位不得在刀口处。

正式剪板时，先合上电闸使电动机转动起来，然后把钢板置于平台之上，对准剪刀位置，一般可用钢板尺测量，无误后即可脚踩进刀开关，剪刀直下即可把板剪开。每剪一块应测量其尺寸是否和划线相符，剪下的料应用方尺测量是否方正，否则应再次调整剪板机或者更换剪板人员。

小型箱数量极少时，如无剪板机，可人工下料。人工下料就是用铁锯或锯条将钢板沿下料线锯开。不得使用压剪和手剪，压剪或手剪易使钢板变形。

任何时候、任何情况下严禁用气割下料，防止变形及强度减弱，同时不得用手工剪下料，因变形后无法处理。

（五）开孔

（1）开孔位置划线　孔形一般有方形、长方形、圆形、长圆形等，划线方法同前，几何尺寸要准确无误，特别是手工开孔更要准确。仪表孔尺寸应比仪表嵌入尺寸大 1～2mm，按钮孔、信号灯孔的直径应比按钮、信号灯嵌入部分的尺寸大 1mm。

开孔的尺寸最好以实物实测实量，因为手册上提供的是一个厂家的尺寸，同样型号的元件不同生产厂家，其几何尺寸往往不一样。

开孔主要是柜门，这是给使用者的第一印象，因此必须方正、比例合适。

（2）手工开孔　先用手电钻或小台钻在开孔线内侧沿轮廓线钻孔，孔距为 0～0.5mm，钻头一般为 ϕ2～2.5mm，大孔可用 ϕ3～4mm，钻孔方法同前。钻孔后的钢板情况见图 3-39a。

钻好孔后用扁铲将小圆孔和小圆孔间的连接部分切开，然后将小圆孔围成的中间部分取掉，见图 3-39b。

用钢板锉将齿状圆孔或方孔的齿锉掉、锉平，最后成圆弧形和直线形，其大小尺寸要随锉随用实物比

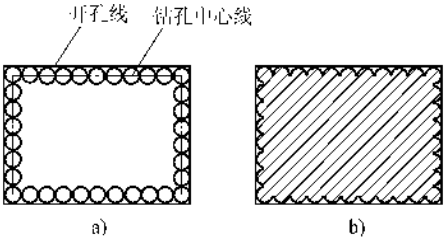


图 3-39 手工开孔示意图

较，当实物能放入孔内，即可停止锉，然把毛刺锉掉即可。直线形孔要求横平竖直。

手工开孔时，严禁用气割开孔。

（3）机械开孔 机械开孔应预先加工需要开孔形状的模具，一般是提供加工尺寸、钢号、精度、画图后由钳工制作，或者由专业厂家制作。

机械开孔应使用冲床，先将模具在冲头上夹紧，用零星废料试冲，并测量开孔的尺寸及形状，应和元件尺寸形状相符，否则应调整。

试好后即可正式冲压，先将要开孔的钢板放在冲床平台上，手盘动冲床飞轮，使模具接触钢板，然后调整钢板的位置，使开孔划线部位和模具对准吻合，并划下钢板在平台上的冲压位置，然后把冲头盘回原来位置，即可开动冲床。

先合上电闸，重新复核钢板在平台上的位置，无误后即可脚踩冲头开关，冲头下降，即可开孔。然后再测量其尺寸和是否方正，否则应重新调整设备。冲床的精度是保证开孔的条件之一，再者是模具的精度。

散热百叶窗的开孔只能在冲床上进行；角钢上的开孔应用钻床或台钻，长圆孔用铣床；进出线的开孔必须用冲床进行，并且使孔在内侧成喇叭口状，必要时可用锉打磨光滑，见图 3-40。

冲床开孔要注意安全，通常由一人操作，踩动脚踏开关时，身体的任何部位应离开冲床。机械开孔必须保证位置的准确和开孔的方正。

（六）折角

折角也称折边，是在折边机上进行的，有些部位折边机难以折到，再用手工修补，最后成型。

折边的质量主要取决于操作人员的熟练、经验、划线的准确及折边机的精度。误差大，制成的柜体其外型尺寸、水平度、垂直度、方正都难以保证，以至成为废品，这是不允许的。折角的成套模具应由专业厂家加工，一般模具的 R 弧应小于 3mm。

1）将零星废钢板放在折边机的平台上试折，看其折角是否规则，框量是否过大，必要时则应调整，折角的误差应掌握在 ±0.25°左右。此外还应检测模

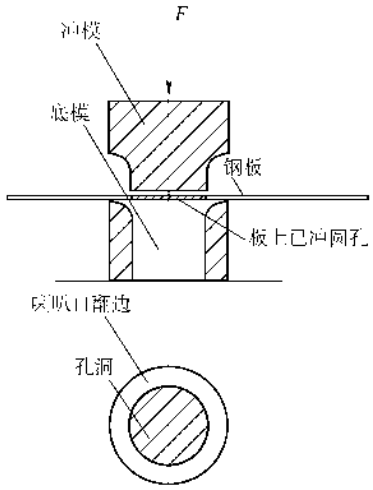


图 3-40 喇叭口形成冲孔示意图

具的折角角度，并把模具取下，放在检测平台上，看其水平度。模具的全长和检测平台的间隙应一致且越小越好。模具包括凸凹两部分。设备和模具检查无误后，重新将模具装好，经复核无误即可正式折角。

2）将划好折角线的钢板放在折边机的平台上，并将折角线对准模具的凹部的中心线，然后将钢板卡紧，使受振动时无位移，否则会跑线。开动折边机，按动或脚踏折边开关，模具凸部下降，将划线部位压入模具凹部，同时应用手将折边的宽边推起，见图 3-41，以免重力将角下弯或不规则。

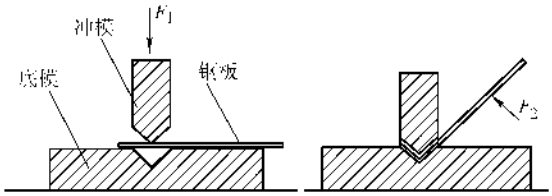


图 3-41 折角工艺过程示意图

3）折好后应用角尺测量折边角度，应符合要求，否则应更换或修理模具，并测量 c、d、e、f、g、B，误差应在 ±0.1mm 以内。

4）每次折角时，模具中心线对准折角线的误差必须保持一致，只有这样，才能在划线准确的条件下，保证折角的一致；如果每次折角误差不一致，必定出现折好角的柜体板有扭筋现象或尺寸不一，造成其中矩形面对角线不相等，最后使柜体不合格。

5）当折柜门一类四边都需折边的板料时，应先将两长边折角，然后再折两端。折两端时如能更换模具最好。更换模具一般有两种情况：一种是更换长度和两端折角长度相等的凸模具，凹模不变，可一次折角成型；另一种是更换成 120°的凸凹模具，折角后

再用木锤在平台上敲打成直角，敲打时应在板下垫上长度为与折角长度相等的硬木或钢板，其厚度应为折角短边的长度，如 e、f、g、k 等。将折角线对准在硬木或钢板的直角棱角上，再用力敲打成型，严禁用铁锤或其他金属物敲打。

如无条件更换模具，直接折两端时，应用手工修补没有折到或没有折好的部分，修补方法同上，但将影响门的质量，在批量生产时是不允许的。

6）全部折边加工都是冷加工，不得加热，以防止板面变形及强度减小。

平板式和凸出式折角后各个板面的剖面见图 3-33a 和图 3-34a。

（七）焊接成型

柜体及角钢骨架的焊接必须在焊接平台上进行。如无平台，可选择一块厚 50mm 以上的平整光洁钢板，面积可为 1000mm × 2000mm，四周和中间用 50# 工字钢支起并用电焊点焊好，焊接时应用水平尺（应大于 2m）或水准仪测量水平，调整好后，即可使用。

（1）柜顶和柜底角钢框架的焊接　将锯成 45°角的角钢放在焊接平台上，使角钢的面朝下，组成矩形，见图 3-35c 和图 3-36c。并测量四角和对角线，角应为 90°，对角线应相等。

将组成矩形的角钢的每一个直角先用电焊点焊起来，点焊时电流应小，焊接应快，点焊时应用手（戴手套）或夹具将四角固定好。点焊应在角钢的内侧焊接。且每条焊缝应点焊三点，见图 3-42。点焊好后应重新测量四角和对角线，每角应为 90° ± 0.10，对角线应相等，误差为 ± 0.5mm，否则应拆开重新组对，再焊接测量，直到在标准之内。

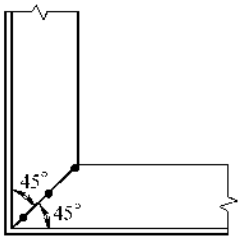


图 3-42　柜体上下框架角结构示意图

经点焊和测量符合要求后，即可正式焊接，焊接应在角钢内侧，并采用单面焊单面成型焊接法，焊工要求基本同金工件制作。正式焊接前应先将电焊机电流调大，然后再焊。焊时应按对角线的顺序焊，且每道焊口应分为几段进行焊接，不应以一道焊口一次焊完，避免焊接变形。焊好后应再次测量四角和对角线，应符合要求，否则焊接有问题。用同样的方法将柜底角钢框架焊好，见图 3-33d 和图 3-34d。

（2）柜体骨架的焊接　柜体骨架的焊接就是将柜顶角钢框架和柜底角钢框架用固定面板的角钢连接起来的焊接，其形状见图 3-43。

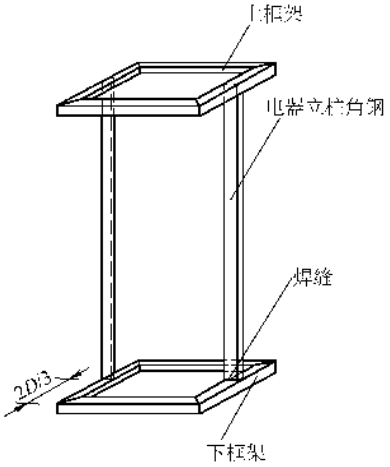


图 3-43　柜体结构图（四）柜体骨架示意图

将柜底角钢框架口朝下面朝上置于平台上，在其侧面 2/3 处，见图 3-34d（这里要注意 2/3 端为柜体前面，1/3 端为柜体后面）。将两根固定面板的角钢垂直置于上面，宽面朝前，口朝里，见图 3-43，再测量其垂直度，直角处应为 90° ± 0.1°，然后用电焊点焊好，至少点三点，要求及方法同前，点好后再测量垂直度。

再将柜顶角钢架口朝上、面朝下置于平台上，然后再把点焊好的柜底框架和面板角钢倒置过来，让柜底框架朝上，两根角钢朝下，同样放置在柜顶框架的 2/3 处，这时可以发现，应将面板角钢的外侧面锯掉一个面宽（50mm）形成缺口，这样才能和框架全面焊接，见图 3-44。

同样，先测垂直度，然后点焊；点焊好后重新测量垂直度和两角钢立柱的对角线，要求同前，最后正式施焊。施焊全部在角钢内侧焊接，焊好后再次测量垂直度和对角线，应符合要求。

焊好后应将框架内外侧的焊碴清除干净，焊好的骨架应坚固方正。

（3）柜体两个侧面的焊接　将骨架垂直置于平台上，柜底角钢架朝下，并测量垂直度。然后把折好边的柜体侧面置于骨架两侧，前后要分清，紧贴骨架，然后用棉绳将其上下的四周各捆起来，并扎紧或用特制的卡子卡紧。再次测量柜体外侧的垂直度和上下四角的角度，应为 90° ± 0.1°，否则应适当调整，即用 0.5mm 厚的薄板补垫，应很容易调整过来，否则证明前段工作有明显的误差。

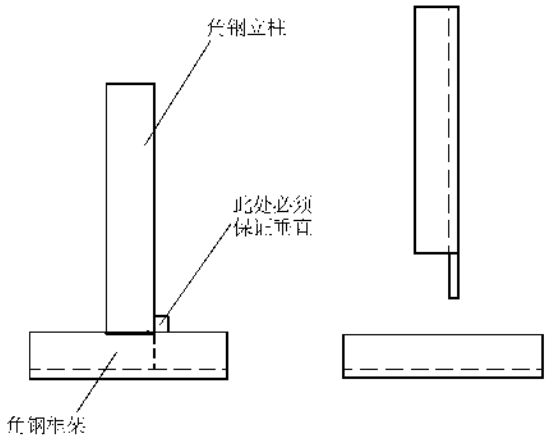


图 3-44 骨架立柱角钢与上下框架角钢的焊接部位示意图

测量好后即可焊接，这时必须用点焊机焊接，如无条件时也可用电焊机，但应用小电流、小焊条，并用操作人员有熟练的点焊技术，否则不能胜任。

凡是紧靠角钢骨架部分的钢板应在柜内每隔150mm 点焊一点，焊好后重新测量一次垂直度，水平度、四角的角度及四面的对角线，应符合要求。

点焊时一是要把调整衬垫的垫片焊牢，再是应试点焊几次，掌握点焊的尺度。点焊后的柜体外面应无明显的焊接痕迹。

两个侧面的焊接是柜体焊接的关键。

（4）柜体其他部件的焊接及装配

1）上档板和下档板的焊接。

复核上门坎和下门坎的尺寸，然后再按前述方法下料、折边。然后将上档板和下档板分别置于上下门坎处，以外侧和柜体前脸平为准，并测量其上下的水平度。然后从内侧点焊，凡和侧面、骨架相接部分每100mm 点焊一点。

2）将柜门板的四角内侧用电焊焊好，并将焊碴清除干净，用锉锉磨平整、光滑，并保证直角。

门轴由凹部和凸部两部分组成，一般由圆钢车制而成凹部和凸部的配合要严密适中。将凹部焊接在柜体上，凸部焊接在柜门上，位置应在柜门全长上下的各 1/4 处。位置应准确、垂直。焊好后应清除焊碴，必要时用手砂轮打磨光滑，见图 3-41。

将柜门上好，开动应自如，开度应大于 160°，关闭后应叩合严密，否则应调整。必要时可在凹部放少许铅笔沫。

3）固定式柜后板置于柜后找正后用点焊机点焊好；活动式柜后板置于柜后找正后，在板上标出和柜体或框架一致位置的孔及孔径、然后开孔即可。

4）柜顶板置于柜顶之上，找正后，并画出和骨架顶部吊钩孔对应的位置和孔径，然后开孔。开孔后重新放于柜顶上面，在柜内用点焊机焊好。

5）上好门把手和门锁，并在骨架底座的前左侧距角 150mm 处焊接一条 M10 的螺钉，做为接地螺钉。

至此，整个柜体已焊接成型，再次测量四面的垂直度、水平度及各面的对角线，应符合要求。

（八）喷漆处理

1）将柜体（包括门、面板、柜后板等）内外的锈迹用砂纸打磨干净，有条件的应进行酸洗处理。

2）用腻子将柜体内外凸凹不平及其他不妥之处腻好，干后再用 0#砂纸打磨光滑。

3）喷防锈漆一道，烘干 4～8h，烘干温度 90℃；再喷色漆一道，烘干 8h。外观颜色一般为天兰、墨绿、大黄、桔红不一，可由设计或甲方决定。批量生产可用静电喷漆或烤漆。

4）喷漆前应用凡士林将门锁、把手涂沫暂时保护起来，喷完漆后再擦掉，或者先拆下来，喷完漆后再装上。另外，喷漆时应将门和后板拆下，分别喷漆，烘干，烘干后再组装起来。烘干后的柜体应做好成品保护，避免碰伤或擦伤。

喷漆处理主要决定于喷漆设备和工艺，如果无条件，也委托专业厂家完成。喷漆处理同样是柜体制作的关键。

（九）电气装配及试验

电气装配及试验分两个阶段，一个是元件装配及装配过程中的试验，另一个是整机测试和试验。

1. 电气元件的测试

为了保证电气装配的质量，所有电气元件在上板前应做必要的检查及试验。内容主要有两方面，力学性能和电气性能。

1）所有元件必须有产品合格证书、使用说明书、接线图，仪表还必须有计量检定部门出示的检定证书。断路器、接触器、频敏变阻器、过电流继电器、热继电器还应有厂家产品制造许可证的复印件。元件的铭牌应清晰、规则。

2）检查外观应无破损和机械损伤，可动部分灵活无卡，附件完整齐全，线圈参数清楚可见，铁件无锈蚀，铁心截面光滑整洁、无毛刺。仪表表门完整，指针可动，接线螺钉坚固。

3）用 500V 绝缘电阻表测试断路器、继电器、接触器等元件的相与相、相与外壳（上下闸口都要测）以及频敏变阻器或元件的线圈等正常工作时通电部件端子对金属外壳的绝缘电阻，其阻值应大于 2MΩ，见表 3-7。

表 3-7　低压电器交接试验

试验内容	试验标准或条件
绝缘电阻	用 500V 兆欧表摇测，绝缘电阻值大于等于≥1MΩ；潮湿场所，绝缘电阻值大于等于≥0.5MΩ
低压电器动作情况	除产品另有规定外，电压、液压或气压在额定值的 85% ~110% 范围内能可靠动作
脱扣器的整定值	整定值误差不得超过产品技术条件的规定
电阻器和变阻器的直流电阻差值	符合产品技术条件规定

4）通电试验。通电试验就是给元件的工作线圈通电，然后测量其触点的开关性能和接触电阻；有时叫做空投试验，然后使用升流源给开关的主触点或电流线圈通以电流，测量触点在额定电流或过载电流下的工作状态，以及电流线圈的工作状态，进而证明元件的可靠性和稳定性，保证柜的质量。

通电试验时，先从电源上引下临时电源，用单相开关接好，并装好熔丝，一般用 1A 的熔丝。电源的电压应和元件的线圈电压相符，通常控制电压选用 220V。

有关接触器、中间继电器、断路器、电流继电器、时间继电器、热继电器、频敏变阻器、按钮、指示灯的试验详见第五章相关内容。

2. 元件在面板上的固定

元件在面板上的固定包括划线、钻孔、套丝、垫绝缘、固定等工序。

（1）划线定位　将面板置于平台之上，把板上的元件（断路器、接触器、继电器、端子板、单相开关、互感器等）按原来排列的位置、间隔、尺寸摆放在面板上，摆放必须方正，并核对间距，见图 3-30a。对原设计有无修正和更变，必须在划线定位前确定下来，划线定位后，不得再进行更改。

（2）划线　按照元件在面板上的排列位置，用划针划出元件底座的轮廓和安装螺钉孔的位置，划线前再次复核元件摆放是否方正。螺钉孔的位置如不易划时，可将少许粉笔沫撒在元件的螺钉孔内，即将元件取掉，便在面板上留下元件的准确的螺钉孔位置，然后再用划针或划规，划出螺钉孔的准确位置。断路器、接触器必须画出 4 个螺钉孔的位置，其他小型元件可画三个或两个。同时将固定面板的螺钉孔位置画出。划好线后，将元件取掉。划线时、断路器、接触器应在面板的中心轴线上。

（3）开孔及攻螺纹　断路器和接触器应用 M8 或 M10 的螺钉固定，开孔则用 ϕ6.7mm 或 ϕ8.4mm 的钻头，然后用 M8 或 M10 的丝锥攻螺纹。螺纹底孔直径选择见表 3-8。

丝锥一组有三个，即头锥、二锥和三锥，攻螺纹时，先将头锥的头部插入孔内，并与面板垂直固定放好，应使丝锥的中心轴线与孔的中心线一致，然后用 150mm 小拔手轻轻按顺时针方向转动丝锥，同时略加压力使丝锥进刀。进刀后不必再加压力，每转动丝锥一次，反转约 45°以割断切屑，以免阻塞。如果丝锥旋转困难，切不可增大旋转力，特别是在厚板或角钢上攻螺纹，否则会将丝锥折断。丝锥旋转困难是因为底孔直径太小或丝锥刀钝，底孔被金属切屑堵塞。经均匀缓慢转动后将板攻透，然后按逆时针方向将丝锥轻轻倒出，再用二锥攻螺纹一次。然后用和丝锥对应的螺钉试拧一下，看是否合适。必要时应用三锥再攻一次。攻螺纹时，为了减小摩擦、使丝锥冷却、提高工件粗糙度和延长丝锥的使用寿命，攻螺纹时应涂润滑剂。钢板攻螺纹应涂菜子油，严禁用机油或其他矿物油，这些油质阻力大，对粗糙度和丝锥却有不良影响。

表 3-8　螺纹底孔直径选择表

（单位：mm）

螺纹直径	钻头直径	
	材　料	
	生铁和青铜	钢和黄铜
3.0	2.5	2.5
3.5	2.9	2.9
4	3.3	3.3
5	4.1	4.2
6	4.9	5.0
7	5.9	6.0
8	6.6	6.7
9	7.6	7.7
10	8.3	8.4
11	9.3	9.4
12	10.0	10.0
14	11.7	11.8
16	13.8	13.9
18	15.1	15.3
20	17.1	17.3
22	19.1	19.3
24	20.6	20.7
27	23.5	23.7
30	26.0	26.2

其他元件应用 M4 或 M3 螺钉固定，应用 ϕ3.3mm 的钻头开孔，用 ϕ4mm 的丝锥攻螺纹，元件直接固定在面板上。

此外，要说明一点，接触器和断路器体积较大，重量也重。因此，除在面板上固定外，其板后应加电

气梁加固。为保证元件的拆卸方便，电气梁应和面板对应开孔攻螺纹，位置必须准确无误。通常是将电气梁和面板在柜内装好，然后再把面板开孔的位置划下电气梁开孔的位置，然后再开孔攻螺纹。

（4）元件的固定　准备0.1～0.2mm厚的青壳纸或玻璃纸和油笔、剪子，将元件放在纸上，然后用油笔沿元件底座的轮廓画出元件的底座轮廓线，并用剪子将其剪下。再用冲子在纸上冲出元件固定的螺钉孔，注意螺丝不宜太长。

由于配线有两种形式，一种是将面板装于柜内再配线，另一种是先在柜外配线，再装于柜内。根据配线形式不同，固定元件时，可将面板和电气梁装于柜内，再固定元件；也可直接在面板上固定元件，配好线后再装于柜内。

选择和攻螺纹相应规格的螺钉，先把剪好的绝缘纸垫好，再把元件紧固好于面板上。螺钉不宜太长，一般穿过面板5mm即可，固定接触器和断路器的应穿过电气梁5mm即可，每条螺钉应套有相应规格的平光垫和弹簧垫各一个。先将弹垫、平垫套在螺钉上，然后插进元件孔内，对准锥钉孔，紧固螺钉时应用扳手或套筒（适用于六方平头螺钉）、十字旋具或一字旋具（适用于十字螺钉或一字螺钉），严禁用钳子紧固螺钉，禁止用一字旋具紧固十字螺钉。紧固螺钉时，应再次复核元件的方正，如果歪斜，应做必要的调整。

元件全部装好后，应用500V绝缘电阻表，再次测量元件正常工作时带电部分及不带电部件、底座与面板的绝缘电阻，应分别大于2MΩ及0.5MΩ。

3. 配制主回路母线

主回路母线常用铝母带、铜母带制作，也有用铜导线制作的。

（1）铝（铜）母线的制作安装　本柜系130kW电机起动柜，母线可选用25mm×3mm的铝母带制作。大型或重型母线的制作，将在变配电装置中讲述。

1）母线模型的制作。可用单根独股2.5～4mm^{2}的导线线芯制作。先将导线伸直，并大约估计长度，从长线中截下，然后从两个元件的接线螺栓孔开始比试，再将导线煨成一定的形状，见图3-45a。图中所示为断路器到电流继电器的模型及制成母线的示意图。模型煨制两个，其中一用作模型，比照其制作母线；另一个伸直后作为该段母线长度的下料尺寸。

2）母线的下料。将伸直的模型的长度，再加上两倍的母线厚度（一个弯加一个）即为该段母线的下料尺寸。将尺寸量好，并在母带上划好线。母线要直，否则应进行平整矫正，另外母线的质量要优良，

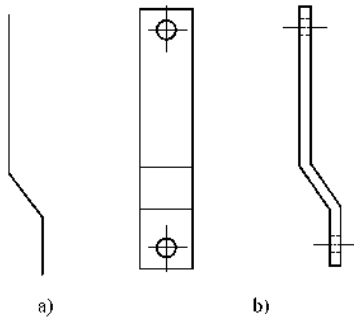


图3-45　母线模型及制作

不得有沙眼、气泡等不妥之处。下料应用手工钢锯锯割，不得用扁铲或气割。

3）煨制成型。将母带夹在台钳口上，台钳口所夹部分的两侧应垫一块20mm厚的硬木板，夹的长度正是图3-45b中煨制的部分，尺寸要卡对，台钳要夹紧。然后用力推母带，同时用木锤敲打所夹的根部，并用另一只模型比试，其弯曲的角度应和模型一致。第一个弯煨好后，再煨另一个弯，煨制的方向要和模型一致。煨好后从台钳上取下，先在两个元件上比对一下，如不合适可做微小的调整，主要是角度。任何时候、任何条件下，不准将煨好的弯平直后，再重新煨弯，特别是小于150°以后是绝对禁止的。因为这样的弯平直后，母线已有损伤，对今后运行是不利的，容易烧断或发热。

4）钻孔。先将煨好的母线在两个元件间的比试，并画出钻孔的位置，然后再在台钻上钻孔。孔径一般应比固定螺栓大1mm即可，切忌将孔钻大和钻歪，因为这样将影响载流能力。钻好孔后将其用螺栓固定在元件之间，再检查一下有无不妥。然后将其拆下，用锉将锯口和钻孔部位的毛刺、棱角锉光，使其行成圆弧状、避免尖端放电。

5）刷漆。将煨制好的母线两面，按A、B、C相序分别刷上黄、绿、红色的调合漆，其端部和元件接触部分不刷，应留出30mm（一个板宽）。也可用彩色绦纶不干胶带标出相序。相序的排列应符合表3-11的要求。

6）安装。刷漆干后即可安装，应在和元接触部分的两侧抹上导电膏，不要太多，然后用螺栓紧固好，同时应配以平光垫和弹簧垫。紧固时必须用套筒搬子，并用0.05mm×10mm塞尺检查，塞入部分应≤4mm。

7）注意事项：

①　主回路的母线必须悬空安装，距面板之间以及相与相之间最小距离为30mm，距门的距离应大于100mm。

② 主回路母线安装好后，应用500V摇表测量其绝缘电阻，应大于2MΩ。

③ 紧固母线的螺栓其螺母应露扣2～3扣，最多不超过5扣，且应一致。

④ 对应母线的弯曲应一致，力求美观。

4. 配制二次控制回路

二次控制回路应用1.5～2.5mm²、500V的单根塑料铜线配制，一般用黑色导线，不得用铝芯导线配线。如果有电子线路、弱电回路等可用满足电流要求的细塑料铜线配制，但要求正极用棕色，负极用蓝色，接地中线用淡蓝色；晶体管的集电极用红色，基极用黄色，发射极用蓝色；二极管、晶闸管的阳极用蓝色，阴极用红色，控制极用黄色等。

配线前要准备好剥线钳和写好端子号的异型塑料管。异型管一般采用白色管并用医用紫药水来写，按二次线的编号书写。每隔15mm写一组端子的一个号，一组为二个相同编号的端子号。写完后在电炉子上烘烤3～5min即可，永不退色。使用时用剪子剪下，一对一对的使用，分别套在一根导线的两端。电子线路、弱电回路通常不编号，但晶闸管门极等电路，应按设计编号统一编号。写号一般用专用写号笔写。

端子编号方式有时采用成品接线号，主要型号有FH1、FH2、PGH和PKH系列。

FH1和PGH为管状接线号，使用时，应在导线压接端头前套入。FH1系列接线号品种规格见表3-9-1。PGH系列接线号采用热压打印，规格和FH1系列相同。

表3-9-1　FH1系列接线号品种规格

序号	型　　号	适用导线截面积/mm²	标记内容
1	FH1-0.75/□GZ	0.75	本系列接线号均为一字一节，每种规格均具备： 阿拉伯数字：0～9 英文字母：A～Z S～Z 符号：+、-、～、√
2	FH1-1/□GZ	1	
3	FH1-1.5/□GZ	1.5	
4	FH1-2.5/□GZ	2.5	
5	FH1-4/□GZ	4	
6	FH1-6/□GZ	6	
7	FH1-10/□GZ	10	

注：分母中的“□”表示选用符号内容，GZ表示特征代号。

FH2和PKH为开口式接线号，使用时，可在导线压接端头以后，利用引导杆将接线号套入导线上。FH2系列接线号品种规格见表3-9-2。PKH系列接线号字迹凹陷于管座内，规格和FH2系列相同。

（1）配制二次回路的工艺守则　二次回路是电气工程或电气产品中一重要环节，技术性强，技术要求较高。不但要求接线正确可靠，还要求有规则且美观大方，具有艺术性。因此，要制定二次回的工艺守则，进而保证安装质量。

表3-9-2　FH2系列接线号的品种规格

序号	型　　号	适用导线截面积/mm²	标记内容
1	FH2-0.75/□KK	0.75	本系列接线号均为一字一节，每种规格均具备： 阿拉伯数字　0～9 英文字母　A～Z a～Z 符号：+、-、～、√
2	FH2-1/□KK	1	
3	FH2-1.5/□KK	1.5	
4	FH2-2.5/□KK	2.5	
5	FH2-4/□KK	4	
6	FH2-6/□KK	6	

注：分母中的“□”表示选用数字、符号内容，KK为特征代号。

1）应从控制电源的始端开始接线，直至第一个回路接完，并使回路最后回到控制电源的末端。所谓回路是指能够完成元件得电的通路。然后按回路编号再接第二回路、第三回路，直到最后一个回路。如果一个元件有几个得电的通路，应按顺序一一接完，才算完成该回路的接线。

2）每接完一个回路，或者一个回路中的一个通路，应将控制电源的开关合上，使控制回路有电，并操作该回路或通路中的能使回路通电的部件，如按钮、继电器的有关触点等。有时需接临时按钮试验，然后再拆掉。继电器触点的动作可用手压下电磁铁的衔铁，使其触点闭合或打开。然后根据电路的原理，看其动作是否正确。若动作不正确或不动作，则说明接线有错误、导线折断、接线松动或者元件损坏等原因，应立即查出并修复。

3）接往门上各个元件的导线，应将其先接在端子板上，面板上的二次线全部接完以后，再将柜门上各个元件的导线接至柜门上的端子板，然后对照编号用2.5mm²的多股软塑料绝缘铜线将两个端子板上的端子对应连接起来，最后将软铜塑线束用绝缘布包扎起来。接线时同样应按回路进行试验，以避错误。

4）每接一根导线时，无论接到任何部件上，都应套上接线号，一端一个，最后把接线号固定在元件的端子一端，字符朝外。任何导线中间不得有接头。端子板或元件的接线端子一般接一根导线，最多不得超过两根。

5）每个接线端子都应有平光垫或瓦形片及弹簧垫。用瓦形片压接的接线螺钉处，导线剥掉绝缘直接插入瓦片下，用螺钉紧固即可，如π形线；用圆形垫片压接的接线螺钉处，导线剥掉绝缘后需弯制顺时

针的小圆环，直径略大于螺钉直径，穿在有平垫的螺钉上，拧紧即可，见图 3-46。

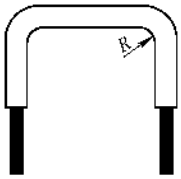


图 3-46　导线在端子上的固定

6）二次导线应从元件的接线螺钉接出，然后拐弯至面板并沿着板面走竖直或水平直线到另一元件的接线螺钉，用上述方法接到另一元件的端子上，一般不悬空走线。但同一元件的接点连接，或者相邻很近的元件之间的连接可以悬空接线。二次线应横平竖直，避免交叉，拐弯处应为 90°角，但应用足够的 R 弧，以免折断导线，见图 3-46。

7）二次线应从元件的下侧走线，送至端子板或其他元件，并尽力使两列元件之间（上下之间、左右之间）的导线走同一路径，并用线卡或捆线带捆紧，使其成为一束，不得用金属线捆扎。一束导线的截面应为长方形、正方线、三角形、梯形等规则图形，见图 3-47，线束横向 300mm、纵向 400mm，应有一固定点，不能晃动。二次线在上述条件的约束下，应尽可能地走捷径。

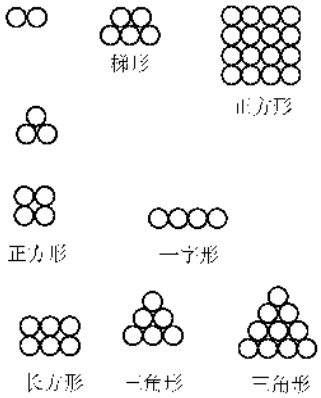


图 3-47　导线束的截面图

8）控制电源应从总开关的上闸口取得，这样可在总开关不合闸的状态下，也就是电动机不转的情况下，控制回路仍然有电，以便测试控制回路动作是否正确，这对运行、修理和安装有很大的方便。

9）接线前应将整盘的导线用放线架放开，每 2m 截下一节，然后用钳子夹住端部，把导线伸直，不得有任何死弯。打扭的线伸直后不得再用。

10）在绝缘导线可能遭到油类腐蚀的地方，应采用耐油的绝缘导线、或采取防油措施。

（2）配线工艺　以图 3-29 和图 3-48 为例，说明按电气原理图配制二次回路的配线工艺，其中端子板接线图以图 3-49 为准。

1）从断路器 QF 的 L_3 相上闸口接出一电源线，接在刀开关 QK 的上闸口 1#端子上；

2）从刀开关 QK 的下闸口接出一控制电源线，经①线束接至 1#端子板，线号 QK2-X_{1-1}；

3）将端子板 X_{1-2} 至 X_{13-2} 共 13 个端子用导线并接起来，形成⑦线束，作为每个回路的电源始端子，联接线作成 π 形，插接在端子的瓦形垫下，见图 3-46。此线可不标注线号；

4）将端子板 X_{17-2} 至 X_{26-2} 共 9 个端子用 π 形线接起来，形线束⑧，作为每个回路的电源末端子，也就是零线端子。然后将 X_{17-1} 端子板接线并经⑥、①线束接至 QK 的下闸口 4 号端子线号 X_{17-1}-QK_4；

5）将 QK 的上闸口 QK_3 经线束①、⑥接在端子板 X_{45} 上，X_{45} 是电源的零线端子，线号 QK3-X_{45-1}，使用时将三相四线的电源零线接在 X_{45-2} 上；

6）以 X_{13-2} 上先接出一临时线，接至按钮 SBS_{11} 上，再将 SBS_{12} 接在 X_{14-2} 上，同时用 π 形线将 X_{14-2} 和 X_{15-2} 连起来；

7）从 X_{15-2} 上再接出一临时线，接至按钮 SB_{1-13} 上，再将 SB_{1-14} 接在 X_{16-2} 上；

8）从 X_{16-1} 接线经⑥、③线束接至接触器 KM_1 线圈的 A_1 端，线号 X_{16-1}-KM_1A_1；

9）从 KM_1A_2 接线经线束③、⑥、②接至中间继电器的 K_{4-11} 端，线号 KM_1A_2-K_{4-11}；

10）从 K_{4-12} 接线经②、⑨线束接至热继电器 K_{11} 端，线号 $K_{4-12}-K_{11}$；

11）从 K_{12} 接线经⑨、②、⑥线束接至 X_{23-1}，线号 K_{12}-X_{23-1}；这时控制回路已接完第一个通路。

【试验一】　先将接好的 QK 上闸口的线摘掉，接上临时的 220V 电源，这里要注意区分相线和零线，相线应接在 1 号端子上，零线接在 3 号端子上、不能接错。开关中的熔断器应接上 1A 的熔丝，不宜过大。然后用万用表的交流电压档测量上闸口的电压，应为 220V。

把 QK 合上，按下按钮 SB_1（不松手），接触器 KM_1 的线圈有电，KM_1 应吸合，同时再按下按钮 SBS，KM_1 应掉闸释放；当按下 SB_1 时，KM_1 吸合，松手后应立即释放；按下 SB_1（不松手），同时按下中间继电器 K_4 的衔铁，KM_1 应释放；否则有错误，应查出故障点，一般是虚接或接错端子。如有熔丝熔断，则是回路有短路的地方，应查出。试验完后，将 QK 拉闸。

12）从 X_{15-1} 接出线经⑥、③束接到 KM_1 常开触

点 KM_{1-13}上，线号 X_{15-1}-KM_{1-13}；

13）将 KM_{1-14}接至 KM_1 线圈 A_1 端子上，完成自保回路；

【试验二】　将 QK 合上，按下 SB_1，KM_1 有电吸合，当松开 SB_1 时 KM_1 不释放，实现自保；按下 SBS 或按下 K_4 的衔铁，KM_1 释放。否则接线有错误，应查出修复，记住拉闸。

14）从 X_{1-1}接出线经⑥、③线束，接在 KM_1 的第二副常开点 KM_{1-23}上，线号 X_{1-1}-KM_{1-23}；

15）从 KM_{1-24}上接线经③、⑥、②线束接在中间继电器 K_3 线圈的 A_1 端子上，线号 KM_{1-24}-K_3A_1；

16）从 K_3A_2 接线经②、⑥线束接到 X_{18-1}上，线号 K_3A_2-X_{18-1}；这时已接完了第二个道路。

【试验三】　合上 QK，按下 SB_1，K_3 应和 KM_1 同时吸合，按下 SBS 应同时释放；否则有错，及时修复，注意拉闸。

17）从 X_{2-1}接线经⑥、②线束接至 K_3 的第一副常闭触点的 K_{3-11}上，线号 X_{2-1}-K_{3-11}；

18）从 K_{3-12}接线经②线束接到时间继电器 KT_1 的线圈首端 A_1，线号 K_{3-12}-KT_1A_1；

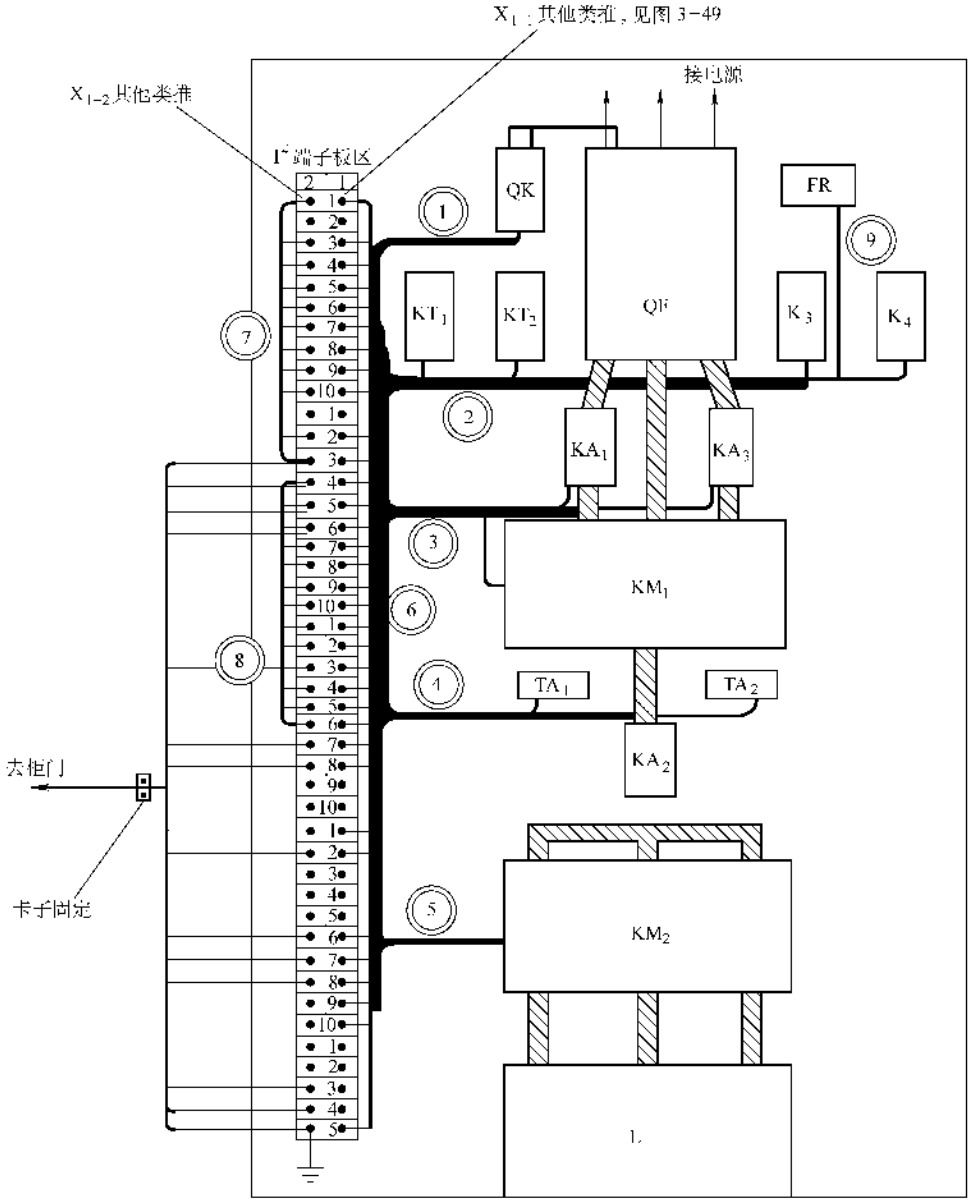


图 3-48　130kW 绕线转子电动机起动柜板面接线图

19）从 KT_1A_2 端接线经线束②、⑥接到 X_{19-1} 上，线号 KT_1A_2-X_{19-1}；这时已接完了第三个通路。

【试验四】 将闸合上，时间继电器应得电吸合，按下 SB_1、KM_1 和 K_3 同时吸合，且 KT_1 失电，同时可用万用表测量 KT_1 接点延时或试听接点动作时的声音。按下 SBS，KM_1 和 K_3 同时失电，KT_1 重新得电吸合，接点复位。否则接点有误，注意试完拉闸。

20）从 X_{3-1} 接出线经⑥线束接在 X_{27-1} 上，线号 X_{3-1}-X_{27-1}；

21）从 X_{28-1} 接出拉经⑥、②线束接在 KT_{1-12} 上，线号 X_{28-1}-KT_{1-12}；并用临时线将 SB_2 接在 X_{27-1} 和 X_{28-1} 上；

22）从 KT_{1-12} 接出线②线束，接至 K_3 的 K_{3-13} 常开点上，线号 KT_{1-12}-K_{3-13}；

23）从 K_3 的 K_{3-14} 点接线经②、⑥、⑤线束，接在接触器 KM_2 的线圈 A_1 端上，线号 K_{3-14}-KM_2A_1；

24）从 K_2A_2 点接线经线束⑤、⑥接在 X_{20-1} 端子上，线号 K_2A_2-X_{20-1}；这样接完了第四个通路。

【试验五】 将控制电源的刀闸合上，这时 KT_1 得电吸合，应听见吸合的声音，然后再进行试验操作。按下 SB_1，KM_1、K_3 吸合，KT_1 断电，按下 SB_2，KM_2 得电吸合，再按下 SBS，KM_1、K_3、KM_2 失电释放，KT_1 得电吸合。将电源拉闸，KT_1 失电。

25）从 X_{4-1} 接线经⑥、②线束接到时间继电器 KT_1 常闭点的 KT_{1-11} 上，线号 X_{4-1}-KT_{1-11}；

这里要注意，从 KT_{1-12} 到 K_{3-13} 的线已经在 22）中接好，线号 KT_{1-12}-K_{3-13}，不必再接；这样接完了第五个通路。

【试验六】 合上 QK，KT_1 得电吸合，先按下 SB_2，KM_2 不能得电吸合；按下 SB_1，KM_2、K_3 得电吸合，KT_1 失电，其延时常闭触点延时闭合后，KM_2 得吸合，再按下 SBS，KM_1、K_3、KM_2 失电释放，KT_1 得电吸合，将闸拉掉，KT_1 失电。

26）从 X_{5-1} 接线经⑥、⑤线束接到 KM_2 第一副常开点的 KM_{2-13} 上，线号 X_{5-1}-KM_{2-13}；

27）从 K_{2-14} 上接线经⑤、⑥、②线束接到中间继电器 K_3 第一副常开点的 K_{3-13} 端，线号 K_{2-14}-K_{3-13}，完成了 KM_2 的自保回路。

【试验七】 方法基本同试验六，最后可用手按下时间继电器 KT_1 的衔铁，其常闭点 KT_1（11-12）瞬时断开，这时 KM_2 仍保持吸合状态，其常开点 KM_2（13-14）闭合，实现了自保。否则有结线错误，仔细检查，及时修复。

28）从 X_{6-1}、X_{7-1}、X_{8-1} 分别接线经⑥、③、④线束接到过流继电器 KA_1、KA_2、KA_3 的常开点 KA_{1-13}、KA_{2-13}、KA_{3-13}，线号分别为 X_{6-1}-KA_{1-13}、X_{7-1}-KA_{2-13}、X_{8-1}-KA_{3-13}；

29）从 KA_{1-14} 接线经⑨线束接到 KA_{3-14} 上，线号 KM_{1-14}-KA_{3-14}；并将 KA_{3-14} 用线接引经③、⑥、②接到 K_3 第二副常开点的 K_{3-23} 上，线号 KA_{3-14}-K_{3-23}；同时将 KA_{2-14} 用线接引经④、⑥、②线束，也接在 K_{3-23} 上，线号 KA_{2-14}-K_{3-23}；

30）从 K_{3-24} 接线经②、⑥、⑤线束接到接触器 KM_2 第二副常开点的 KM_{2-23} 上，线号 K_{3-24}-KM_{2-23}；同时将 K_{2-24} 接线经⑤、⑥、②接到时间继电器 KT_2 线圈的 A_1 上，线号 K_{2-24}-KT_2A_1；

31）从 KT_2 的 A_2 接线，经②、⑥线束接到 X_{21-1} 上；线号 KT_2-A_2-X_{21-1}；这样接完了六、七、八三个通路。

【试验八】 合闸、操作程序同试验六，KM_2 得电吸合后，分别用手按动过流继电器 KA_1、KA_2、KA_3 的衔铁，KT_2 应得电吸合，否则有错误。

32）从 X_{9-1} 接线经⑥、②线束接到时间继电器 KT_2 第一副常开点上 KT_{2-13}，线号 $X_{9-1}KT_{2-13}$；

33）从 KT_{2-14} 接线经②线束接到中间继电器 K_4 的线圈 A_1 上，线号 KT_{2-14}-K_4-A_1；

34）从 K_4-A_2 接线经②、⑥线束接到 X_{22-1} 上，线号 K_4-A_2-X_{22-1}；这时接完了第九个通路。

【试验九】 合闸操作同试验八，分别用手按动 KA_1、KA_2、KA_3 的衔铁且不松手，KT_2 得电吸合，其常开接点 KT_2（13-14）应延时闭合，使 K_4 得电吸合，其常闭点 K_4（11-12）应打开，使 KM_1 回路失电，进而使 KM_1、K_3、KM_2 失电释放，最后 K_4 失电，KT_1 得电吸合，其常闭点 KT_1（11-12）打开；否则接线有误。

35）从 X_{10-1} 接线经线束⑥接在熔断器 FU_1 接线端子上 FU_{1-1}，线号 $X_{10-1}FU_{1-1}$；

36）从 X_{11-1} 接线经线束⑥、②接到 K_{3-33} 上，线号 X_{11-1}-K_{3-33}；同时从 K_{3-34} 接线经②、⑥、⑤接在 K_{2-11} 上，线号 K_{3-34}-K_{2-11}；再从 K_{2-12} 接线经线束⑤、⑥接在熔断器 FU_{2-1} 上，线号 K_{2-12}－FU_{2-1}；

37）从 X_{12-1} 接线经线束⑥、②接到 K_{3-43} 上，线号 X_{12-1}-K_{3-43}；同时从 K_{3-44} 接线经②、⑥、⑤接在 K_{2-33} 上，线号 K_{3-44}-K_{2-33}；再从 K_{2-34} 接线经线束⑤、⑥接在熔断器 FU_{3-1} 上，线号 K_{2-34}-FU_{3-1}；

前面已将控制回路的线全部接完，现在说明主回路中的二次线接线工艺方法。

38）从 QF 下闸口 4、6 上接线经②、⑥线束接在 X_{31-1} 和 X_{32-1} 上，线号分别为 QF_4-X_{31-1}，QF_4-X_{32-1}；

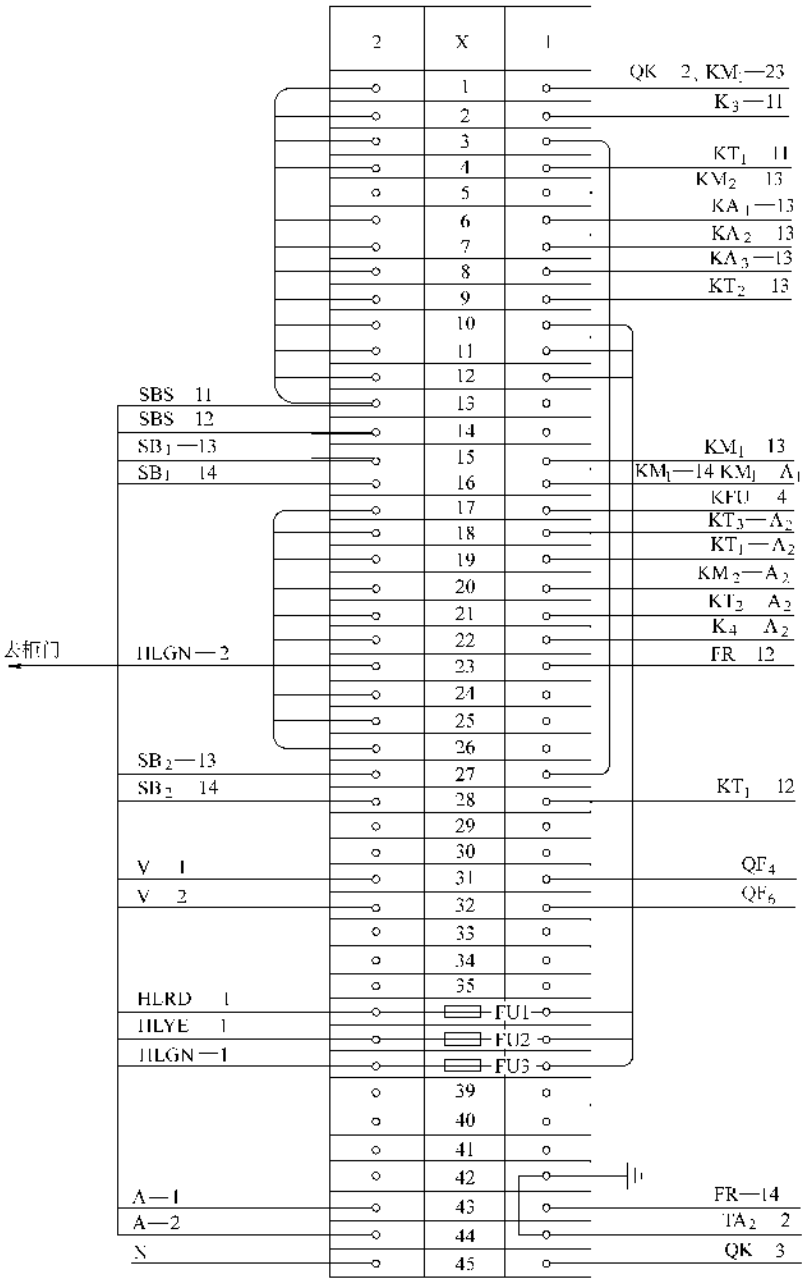


图 3-49　端子板接线图（对应图 3-29）

39）从电流互感器 TA_1 和 TA_2 的二次接点 TA_{1-1} 和 TA_{2-1} 分别接线经线束④、⑥、②、⑨分别接到热继电器 FR 的 FR_{11} 和 FR_{13} 端，线号为 TA_{1-1}-FR_{11} 和 TA_{2-1}-FR_{13}；

40）从 FR_{12} 接线至 FR_{14} 端，同时从 FR_{14} 端接线经线束②、⑥接到 X_{43-1} 上，线号为 FR_{12}-FR_{14} 和 FR_{14}-X_{43-1}；

41）从 FR_{11} 和 FR_{13} 分别接线经线束⑨、②、⑥、⑤接到 KM_{2-21} 和 KM_{2-31} 上，同时从 KM_{2-22} 和 KM_{2-32} 分别接线经⑤、⑥、②、⑨分别接到 FR_{12} 和 FR_{14} 上，线号分别为 FR_{11}-KM_{2-21}、FR_{13}-KM_{2-31}、KM_{2-22}-FR_{12}、KM_{2-32}-FR_{14}；

42）从 TA_{1-2} 接线经④束接到 TA_{2-2} 上，线号 TA_{1-2}-TA_{2-2}；同时从 TA_{2-2} 接线经④、⑥线束接到 X_{44-1} 上，线号 TA_{2-2}-X_{44-1}；图 3-49 是柜内面板上的端子板接线图，该图与图 3-29、图 3-48 是对应的。

再看门上二次线的接线方法。

43）将门上元件安装在柜门上，要牢固可靠，仪表要正、平，并将门上元件在面板接线端子上的编号 X_{13-2}、X_{14-2}、X_{15-2}、X_{16-2}、X_{27-2}、X_{28-2}、X_{31-2}、X_{32-2}、X_{43-2}、X_{44-2} 以及端子熔断器 FU_{1-2}、FU_{2-2} FU_{3-2} 分别写在柜门的端子板上，然后用 2.5mm² 的软塑铜线分别对应接好，线号即为端子号；见图 3-49。

44）用前述方法按图 3-50，将门上元件一一对应接好在门上的端子板上。同时从信号灯 HLRD-2 接线到信号灯 HLYE-2 上，再从 HLYE-2 上接线到信号灯 HLGN-2 上，然后接到柜门端子 X'_{14} 上；再用 2.5mm² 软铜线接到面板端子板的 X_{23} 上，线号 X'_{14}-X_{23}；

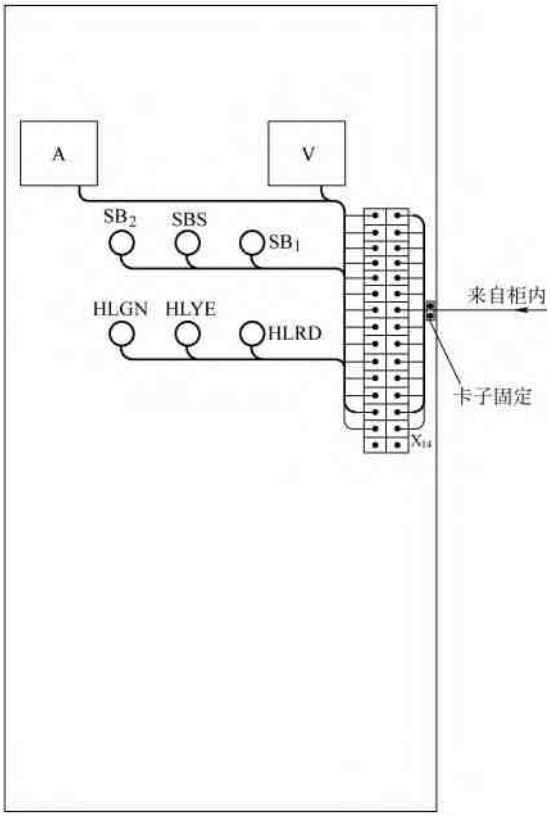


图 3-50 柜门板端子接线图（对应图 3-29）

45）将 X_{44-1} 用 16mm² 软铜线接到柜体角钢底座的接地螺栓上，螺栓处应有接地标志。最后将电源零线接在 X_{45-1} 上，X_{45-2} 接在 QK_3 上，见图 3-49，至此接线完毕。

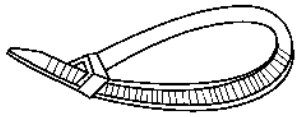
【试验十】 试验前应按指示灯的规格型号和控制回路电压，查对灯泡和指示灯熔断器的规格、型号。

将控制电路的电源开关 QK 合上，控制电源指示灯 HLRD 应点亮，同时 KT_1，得电吸合；按动 SB_1、KM_1、K_3 得电吸合，起动指示灯 HLYE 应点亮；同时 KT_1 失电，其接点 KT_1（11-12）延时闭合，KM_2 有电吸合，HLYE 熄灭，运行指示灯 HLGN 应点亮。

其他试验同前，动作应正确。采用上述方法装配和试验，一般情况下会一次成功。

（3）修整 装配好的控制柜应进行修整，修整的内容主要有捆扎线束、紧固螺钉、过门软线处理及其他不妥之处等。

1）捆扎线束。捆扎线束主要是线束的拐角处和中间段，捆扎长度一般为 10～20mm，方法有两种，一种是用塑料或尼纶小绳，另一种是用专用的成品件，型号 PKD1 系列捆线带，见图 3-51。一般不得使用金属性的扎头、如钢精扎头等。



（单位:mm）

序　号	代　号	长	宽×厚
1	PKD1 50	50	3×1.2
2	PKD1 100	100	3×1.2
3	PKD1 180	180	4×1.2
4	PKD1 250	250	4×1.2

图 3-51 PKD1 型捆线带

采用塑料或尼纶小绳捆扎，具体方法见图 3-52，先在捆扎处包一层薄塑带，长度应略大于捆扎长度，小绳的尾端要穿入小尾首端做成的底圈内，而小绳首端做成的圈是压在小绳捆扎线的下面的，捆扎时要紧密，捆完后将尾端穿入底圈内，然后用力将首端抽紧，底圈即将尾端锁紧。最后把多余部分剪掉，留下端头的长度要一致，一般不超过 2mm。

采用捆线带时方便较为简便，将捆线带缠在线束的捆扎处，用力抽紧可，和紧皮带一样。

2）过门软线的处理。过门软线的处理主要是增加过门软线的强度和韧性，增加绝缘强度，通常有两种方法。一种是先用小绳隔段捆扎，然后再用塑料带统包二层，最后用卡子将过门软线的两端分别固定在柜侧和柜门上，见图 3-48、图 3-50。另一种办法是采用 PQG 缠绕管，将过门线先用小绳扎住几道，然后将 PQG 缠绕管包在外面。PQG 缠绕管见图 3-53。规格按直径分有 4mm、6mm、10mm、12mm、16mm、20mm 六种。

3）紧固螺钉。将柜内主回路、二次回路所有的螺钉紧固一遍，并将漏装平垫和弹垫的螺钉补装相应规格的平垫和弹热。

4）修整其他不妥之处。

（4）用行线槽配线的工艺方法 线槽顾名思义

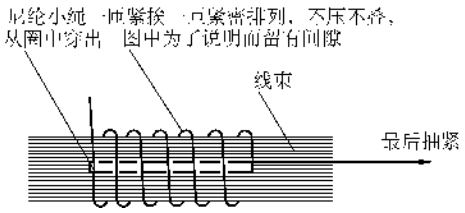


图 3-52　捆扎线束示意图

就是把导线放在槽子里，市场上出售的主要有 TC 系列行线槽。行线槽配线从柜内结构看比上述配线方法简单，现在就和上述配线方法不同的地方讲述几点。

1）柜内元件固定方式：

①　大型或较重的元件固定在角钢架上，把角钢架叫做电器梁。

②　小型元件固定在钢板做成的电器横板上。

③　把行线槽固定在电器板、梁架的后面、元件的下边或端子板的侧面。

上述 130kW 绕线转子电动机起动柜的行线槽配线元件布置见图 3-54。

2）行线槽配线。

①　接线顺序，方法和前述相同。

②　从元件上接线后，沿着梁板爬下拐活直角弯直接送入线槽，然后沿着线槽送到导线另一端的接线元件处，从槽中穿出，拐活直角弯沿梁、板爬上接在元件的端子上，见图 3-54 和图 3-55。线接完后检查无误，并接一通路，试一通路。将所有线接完后将槽盖盖好即可。

（5）电气接线图　接线圈通常应由设计给出，但是有时候设计不出接线图，有时虽然出示的接线图由于元件的变更，原理图的变更等原因也不能使用，这样需安装人员在接线时绘制接线图。

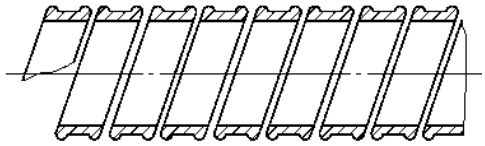


图 3-53　PQG 缠绕管

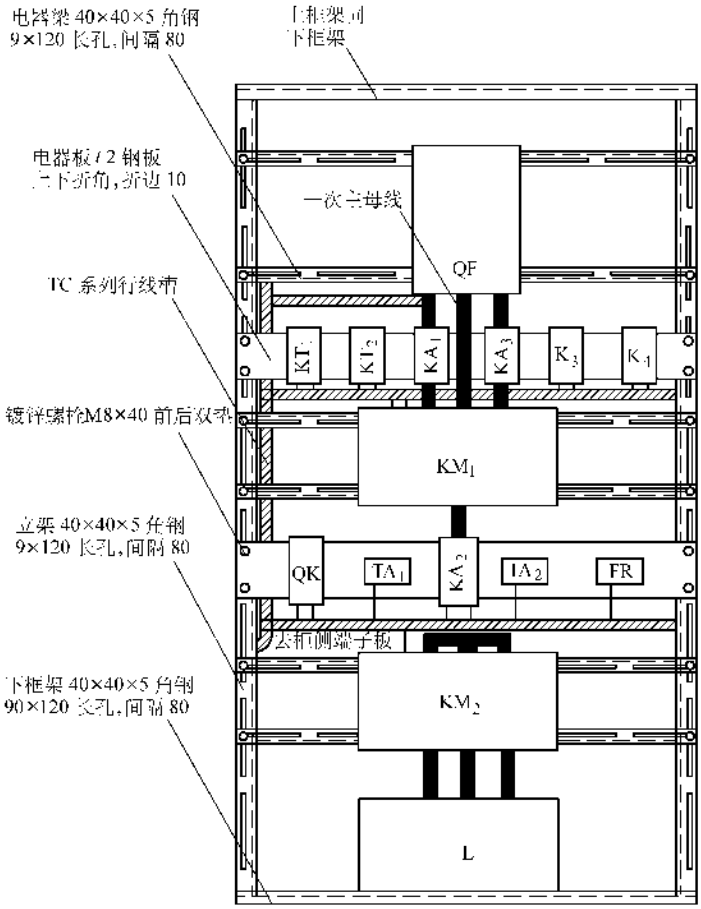


图 3-54　行线槽配线元件布置图（正面）

接线图主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。实际上接线图就是表示配线走向的示意图，在接线时，我们常用从某某元件接线经线束某某接到某某元件，这个线束的走向，布置就是接线图。见图 3-48 和图 3-54，都是接线图。这个图，我们在接线前可根据元件布置图和电气原理画出，画的方法正是接线的方法，也就是先在图上完成一次“接线”，特别是端子板的接线，必须画出，否则由于线多，就要出现混乱，这个图就是接线图。电气安装人员必须学会接线图的画法，将会给工作带来极大益处和方便。具体画法可参照“（2）配线工艺”一步一步练习，这里不再重复。

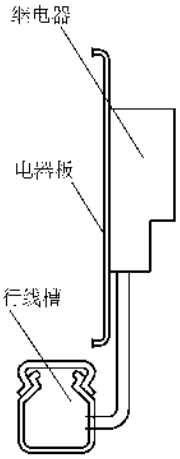


图 3-55 行线槽配线示意图

（十）整机测试

电气控制柜（箱）装配完后应进行出厂试验（或使用前的试验），批量生产或专业厂家的定型产品必须进行型式试验，这是取得生产制造许可证的条件之一。

1. 型式试验

型式试验的目的是验证电气装置的电气性能和机械性能是否达到 GB 7251.1～5 标准的要求，型式试验由国家机电总局指定的部门进行。

型式试验的项目包括温升试验、介电强度试验、短路强度试验、保护电路连续性试验、测量电气间隙和爬电距离、机械操作试验、防护等级试验。

2. 出厂试验

出厂试验是为了检查材料和制造上的缺陷，出厂试验包括一般检查、通电操作试验、介电强度试验、保护措施和保护电路的检查。

（1）一般检查

1）外观检查。外观检查主要检查电气控制柜（箱）的外观质量、装配质量、通常为目测或使用简单的工具。

① 柜内所装元件应和设计要求相符；检查主回路和二次回路的接线应正确，导线及母带的截面积和颜色应分别符合设计和标准的要求。

② 检查电气间隙和爬电距离。电气间隙是指两个导电部分间的最短直线距离；爬电距离是指在两个导电部分之间沿绝缘材料表面的最短距离。柜内电器元件应符合各自有关规定并在正常使用条件下也应保持其电气间隙和爬电距离。装置内不同极性的裸露带电导体之间以及它们与外壳之间的电气间隙和爬电距离应不小于表 3-10 中的规定。

表 3-10 导电部件间的电气间隙和爬电距离

额定绝缘电压/V	电气间隙/mm	爬电距离/mm
≤300	6	10
>300～660	8	14
>600～800	10	20
>800～1500	14	28

③ 电气元件之间的间隔应符合设计要求。

④ 外形尺寸的检查。外形尺寸的检查应将柜体置于检测平台上进行。其高、宽、厚及门的高宽应符合设计要求，其误差应为 ±1.0mm。四面的垂直度（每米）允许偏差 1.0mm；四面柜顶的水平度允许偏差 1.0mm；柜体各个部件之间（如门缝、上下档板和侧面板间）的间隙不大于 1.0mm。

2）外接导线端子的检查。外接导线端子包括电源、负载、零线和接地线的接线端子，接线端子应可靠、牢固、并有满足最大负载容量的载面积；应有明显的接地标记；从端子板上接地端到骨架的接地线应为铜质软导线，连接应可靠。

柜体两侧的下部及顶部应有进出线孔且在电缆正式安装后应能达到规定的防护等级，其他应符合 GB 7251.1～5 的要求。

3）元件安装的检查

① 元件的选择。元件的额定电压、额定电流、使用寿命、接通和分断能力、短路强度等方面应适合于控制柜的指定要求和用途；元件应符合自身的有关标准。

② 元件的安装。元件应按照制造厂商的说明书（使用条件、飞弧间距、拆卸灭弧栅需要的空间等）进行安装；元件在柜内、柜门上的安装不得有肉眼能感到的不平和歪斜；安装在同一支架上的电器、功能单元的外部接线端子应使其在安装、接线、维修和更

换时易于接近，尤其是外部接线端子应安装在柜体基础面上方至少 0.2m 的高度处，并且应为连接电缆或导线提供一定的空间。有关要求见通用技术要求。

③　固定式部件的拆卸和安装只有当柜内不带电时才能进行，在有些场合，拆卸固定式部件时可只让部分断开电源，但必须有足够的安全措施。

④　可移式部件和抽出式部件必须有联锁机构，以保证只有当主电路被分断后才能抽出或重新插入；为了防止误操作，应有挂锁，以保证开关在规定的位置上，且应有明显的试验位置（主触头不带电）、分离位置和合闸位置的标志；抽出和插入时，只要按操作规程操作，应无阻无卡。

⑤　母线相序的排列，从柜体正面观察应符合表 3-11 的规定。

⑥　开关电器操作机构的操作方向与指示应与其使用说明书中规定的操作方向和指示相一致，并和实际一致。

⑦　指示灯和按钮的安装位置应对应，颜色应符合 GB 2682—1981 的规定。

表 3-11　电气装置母线相序排列规定

类　别		垂直排列	水平排列	上下排列
交流	A 相 L_1	左	内	上
	B 相 L_2	中	中	中
	C 相 L_3	右	外	下
	中性线、中性保护线	最右	最外	最下
直流	正极 +	左	内	上
	负极 -	右	外	下

注：中性线、保护线在柜内设置时，应在柜的最下部。

4）接线的可靠性检查。

①　母线的连接应保证足够和持久的压力，但不应使母线产生永久性变形，可用相应的力矩扳手检查螺母是否拧紧，有否平垫和弹垫。

②　母线和导线除必须承载的电流外，还应考虑到承受的机械应力、敷设方法、绝缘类别以及所连接元件的种类等因素的影响。绝缘导线的电压等级应和控制装置的电压等级相符。

③　绝缘导线的敷设和连接　绝缘导线不应贴近具有不同电位的裸露带电部件或贴近带有尖角的边缘敷设，应使用线夹固定在骨架或支架上，也可装在行线槽内；绝缘导线穿越金属构件或面板时，应有护圈，使导线不受损伤。

5）结构、镀层和被复层的质量检查。

①　柜体所有焊接点应牢固可靠，焊缝和焊点光洁均匀，焊药清除干净，无焊穿、裂纹、咬边、溅渣、气孔、砂眼等现象，点焊点应焊接适中，板面不得有变形现象；吊装钩应由双螺母紧固、吊杆螺栓的直径应由控制柜总重量决定。

②　电镀件的镀层（包括元件和紧固件）不允许有起皮、脱落、发黑、发霉、生锈等缺陷。

③　黑色金属表面的喷涂漆层应有良好的附着力并有检验报告；正面和侧面的喷涂层，不允许有皱纹、流痕、针孔、起泡、透底等缺陷；色泽应均匀，在阳光不直接照射下，距柜体 1m 处目测不到刷痕、伤痕、机械杂质和修整痕迹，且不应有明显的色差和反光；其他部分的喷涂层不允许有皱纹、流痕、起泡、透底色等缺陷，但允许有少量的机械杂质和防浊；母线的涂漆应均匀、无流痕、刷痕、起泡、皱纹等缺陷，搭接面不得粘漆。同端两侧漆线应一致。

（2）通电操作试验　根据控制柜的复杂程度，可进行通电操作试验。试验前，须认真检查装置内部接线，一般应由二人进行，确认无误后方可进行通电操作试验。先测量绝缘电阻，可用500V 绝缘电阻表，绝缘电阻值应大于 2MΩ。应按设计规定的电压进行试验，试验结果所有的电器元件的动作顺序、电气功能、信号系统应符合电气原理图的要求。操作次数应不少于 5 次，必要时应对元件进行单体试验，方法同电气元件的测试。

（3）介电强度的试验

1）试验电压值应符合表 3-12 和表 3-13 的规定，但如果包括在被试主电路和辅助电路中的电器已在电气元件的测试中经过介电试验，则试验电压应降低到表 3-12、表 3-13 规定值的 85%，同时试验时间降到 1s。

表 3-12　主电路及与主电路直接连接的辅助电路介电强度试验电压值

额定绝缘电压 U_i/V	试验电压/V
$U_i \leqslant 60$	1000
$60 < U_i \leqslant 300$	2000
$300 < U_i \leqslant 660$	2500
$660 < U_i \leqslant 800$	3000
$800 < U_i \leqslant 1000$	3500
$1000 < U_i \leqslant 1500$（直流）	3500

表 3-13 不与主电路直接连接的辅助电路介电强度试验电压值

额定绝缘电压 U_i/V	试验电压/V
$U_i \leqslant 12$	250
$12 < U_i \leqslant 60$	500
$U_i > 60$	$2U_i + 1000$ 最低 1500

2）试验电压的施加部位。

① 带电部位与地（框架）之间。

② 主电路相间。

3）试验电压的要求。试验电源的电压应当是正弦波，f 在 45～62Hz 之间，当其输出端短路时，电流不应小于 0.5A。

4）试验方法。先测量绝缘电阻，只有在绝缘电阻合格时，才能进行介电强度试验。将升压源和被试部位接好后，应先按表 3-12 和表 3-13 中的试验电压值的 30%～50% 试验，然后在 10～30s 内将试验电压逐渐升到规定值，并在该值下维持 1min，应无击穿或放电现象。然后降压，直到 0 位再切除电源。

试验时应将不能耐受试验电压的电器元件（如电子设备、电容器等弱电器件）从电路中暂时拆除。

（4）保护措施和保护电路的检查　直观检查装置的防护等级是否达到设计要求，见表 3-56。

检查保护电路连接处的接触情况是否良好，并有连续性，应采用直接连接或利用保护导体连接，并有明显的接地保护点及标志。

用抽查的办法，使用双臂电桥或 μΩ 计，对保护端子进行接触电阻的测量，每台抽查不得少于 5 点，保护电路上任何一点与主接地端子之间的直流电阻应 ≤10mΩ，否则应调整合格。

其他未尽事宜参见 GB 7251.1—2005。

（5）必要时应进行温升试验和短路强度试验，应按 GB 7251.1—2005 执行。

（十一）固定标志牌

固定标志牌通常在整机测试前进行，但是有时为了避免修复测试时出现的缺陷而引起的不必要麻烦，将固定标志牌放在整机测试后进行。

1. 标志牌的种类

（1）铭牌　说明电气控制设备规格型号、基本参数和制造厂名、生产日期的标牌，通常固定在设备的明显之处。铭牌的大小由设备固定铭牌的板面面积和标牌的内容决定。铭牌一般用铝片制成，应由专业厂家加工制作。

铭牌应给出以下内容：制造厂厂名或商标、产品型号、制造年月、出厂编号、标准代号（GB 7251.1—2005）、电流类型（交流还应标出频率）、额定工作电压、额定工作电流、额定绝缘电压*、辅助电路的额定电压*、使用条件*、每个电路的额定电流*、短路强度*、防护等级、防止触电的措施*、工作范围*、接地类型及接地装置*、外形尺寸及安装尺寸、重量。其中带 * 号者可在技术文件中给出。

（2）电器元件的标牌　标注电器元件名称或和原理图、接线图相一致的符号的标牌，固定在元件安装位置的一侧，大小和种类繁多。

1）铝片条型标牌。上面印制好元件的文字或符号，大小为 10mm×（40～50）mm。

2）标签框　由金属、塑料、有机玻璃制成，一般由专业厂家生产，也可以自制。固定好后用硬质白纸写上或印上元件的名称或符号，然后剪成条型并用玻璃纸裹好插入标签框即可。

3）不干胶带　上面印制元件的文字或符号，贴于板面上即可。

（3）导线的接线号　见配制二次控制回路。

2. 标志牌的固定方法及要求

（1）铝铆钉固定法　应在柜体制作时，按规定位置用 ϕ1.5～2.0mm 的钻头开好孔；电气元件在板面上固定前应先将标志牌铆固好，以防止振动元件松脱。铝铆钉应采用成品件，也可用铝丝代替。铆固时先将铆钉或铝丝穿入标牌和板面的孔内，两端预留长度分别为 2mm，然后用铆冲子将铆钉或铝丝顶好，用锯头敲击即可，用力应适中，敲击次数一般不超过 5 次。铆好后两端应形成半圆弧状，整洁美观。

（2）胶粘法　可在整机测试完后进行，先将标牌安放在应固定的位置，然后在面板上轻轻划出标牌的位置，位置应准确方正，尔后在划出的位置轮廓内缩进 1mm，再划一个位置轮廓，用小刀将这个二次画好的轮廓内的油漆刮掉并露出金属光泽，涂上 502 胶，片刻后即可将标牌按第一个轮廓线贴上去粘好。胶不宜太厚，但应涂满，特别是边角位置必须有胶。

（3）固定要求

1）标志牌的固定应方正不歪斜，且应牢固。

2）铭牌应固定在设备的前面容易观察的地方，标高不宜超过 1.6～1.8m。

3）电器元件的标牌应尽可能靠近元件的上方固定，如果有困难则可固定在元件的左、右侧或下侧，

但所有的标牌位置应一致；距元件的距离应在 20～25mm 之间，且应一致。标牌不得固定在元件的外壳上。

4）导线的线号应固定在导线和端子的连接处，距端子的距离宜小于 10mm，但必须统一。

5）所有文字符号必须与图样相一致。

6）文字符号的书写应工整、完善、清晰、牢固，一般应使用工程字的标注和书写方法，切忌了草或自行标注，严禁混乱。

3. 标签框的制作　标签框可用有机玻璃或透明塑料刻制，制作的工具为小型仪表台钳、刻章小刀数把。先将材料锯成小条夹在台钳上，按尺寸用小刀刻制即可。刻好后用细砂布磨光，其外形尺寸和示意图见图 3-56。

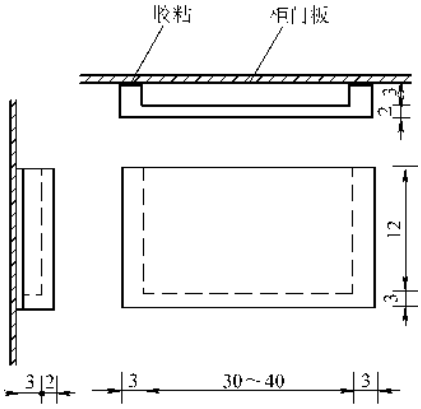


图 3-56　有机玻璃标签框

标签框也可用镀锌钢板或铝板冲压制成，但需开模具，其外形尺寸和示意图见图 3-57。

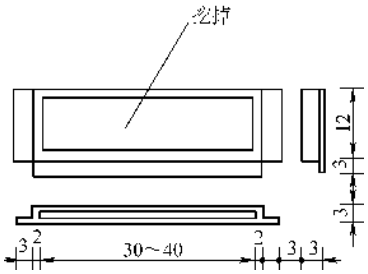


图 3-57　金属标签框

（十二）包装及运输

产品的包装应有足够的强度，产品应与包装箱底盘固定，产品的上部壳体与包装之间（或包装箱骨架）应有固定保护措施。产品中可动部件应固定牢靠，包装应有防雨措施，采用塑料制品防雨时应在箱内放置防潮剂。任何包装都应保证柜体不受到人为以外的机械损伤和自然损伤，应保证运到现场后是合格品。

装箱时应随附下列文件资料：装箱文件资料清单、安装使用说明书、电气原理图或接线图、产品合格证明书（包括元件自身的合格证）、出厂检验记录、安装时必要的图样资料、装箱清单等。

包装箱外应有下列标志：产品名称和型号、合同或出厂编号、收发地址单位、到站（港）、外型尺寸和毛重、起吊部位、运输标志等。

四、新型电气控制柜的制作要点

前面我们以 130kW 绕绕转子电动机频敏起动控制柜的全部制作过程和试验方法讲述了传统电气控制柜的制作方法，这种柜在实际生产当中仍然有相当大的用途，在近十几年内仍不会为淘汰产品。但是随着工业控制技术和电气传动技术的发展，特别是电子技术和微机技术的发展，上述产品已不适应现代控制技术的需要。因此，专家们和有关制造厂家研制新型电气-电子控制柜，从结构、外型、尺寸都加强了标准化，制作方法基本同前。这里作一简要介绍，其中印制板的制作作了详细讲述，供读者参考。

（一）铝型材轻型柜

铝型材轻型柜是由外骨架和内骨架组合而成的，外骨架为铝型材，内骨架为钢板弯制而成，然后用螺栓连接。可分有前门、后门、仪表板门和可拆卸的侧壁。该柜可装纳电子控制单元、PLC 等。其外形结构和尺寸见图 3-58 和表 3-14。

表 3-14　铝型材轻型柜的系列尺寸

（单位：mm）

序号	*H*	*B*	*D*
1	1800	600	600
2			700
3		660	600
4			700
5	1600	600	600
6			700
7		660	600
8			700
9	1400	520	500
10			600
11		600	500
12			600
13	1200	520	500

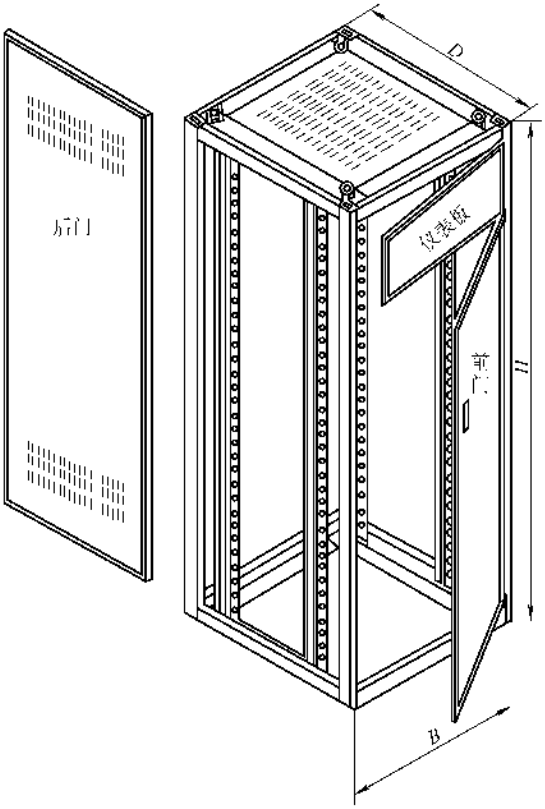


图 3-58 铝型材轻型柜外形

（二）ZG 型电控设备通用柜

ZG 型柜有单门、双门、防护式和防护密封式以及带摇门之分，骨架和面板均为钢板弯制成型，并用螺钉连接。一般可做为功率柜、调节柜，控制柜及低压电器控制柜。ZG 型柜可分 A、B、C、D、E、F 六个类别。其外形结构和尺寸见图 3-59 ~ 图 3-64 和表 3-15 ~ 表 3-20。

表 3-15 ZGA 型单门防护式柜系列尺寸

（单位：mm）

型号	*H*	*B*	*D*	*h*
ZGA8620	2000	600	800	400
ZGA10620			1000	
ZGA8820		800	800	
ZGA10820			1000	
ZGA8622	2200	600	800	500
ZGA10622			1000	
ZGA12622			1200	
ZGA8822		800	800	
ZGA10822			1000	
ZGA12822			1200	

表 3-16 ZGB 型单门防护密封式柜

（单位：mm）

型号	*H*	*B*	*D*	*h*
ZGB8620	2000	600	800	400
ZGB10620			1000	
ZGB8820		800	800	
ZGB10820			1000	
ZGB8622	2200	600	800	
ZGB10622			1000	500
ZGB12622			1200	
ZGB8822		800	800	
ZGB10822			1000	
ZGB12822			1200	

表 3-17 ZGC 型双门防护式柜系列尺寸

（单位：mm）

型号	*H*	*B*	*D*	*h*
ZGC81020	2000	1000	800	400
ZGC101020			1000	
ZGC81220		1200	800	
ZGC101220			1000	
ZGC81022	2200	1000	800	500
ZGC101022			1000	
ZGC121022			1200	
ZGC81222		1200	800	
ZGC101222			1000	
ZGC121222			1200	

表 3-18 ZGD 型双门防护密封式柜系列尺寸

（单位：mm）

型号	*H*	*B*	*D*	*h*
ZGD81020	2000	1000	800	400
ZGD101020			1000	
ZGD81220		1200	800	
ZGD101220			1000	
ZGD81022	2200	1000	800	500
ZGD101022			1000	
ZGD121022			1200	
ZGD81222		1200	800	
ZGD101222			1000	
ZGD121222			1200	

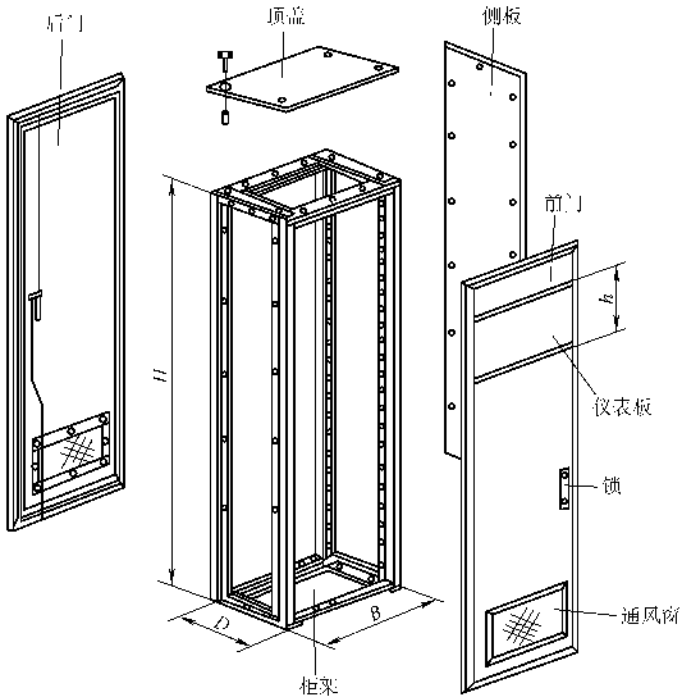


图 3-59　ZGA 型单门防护式柜

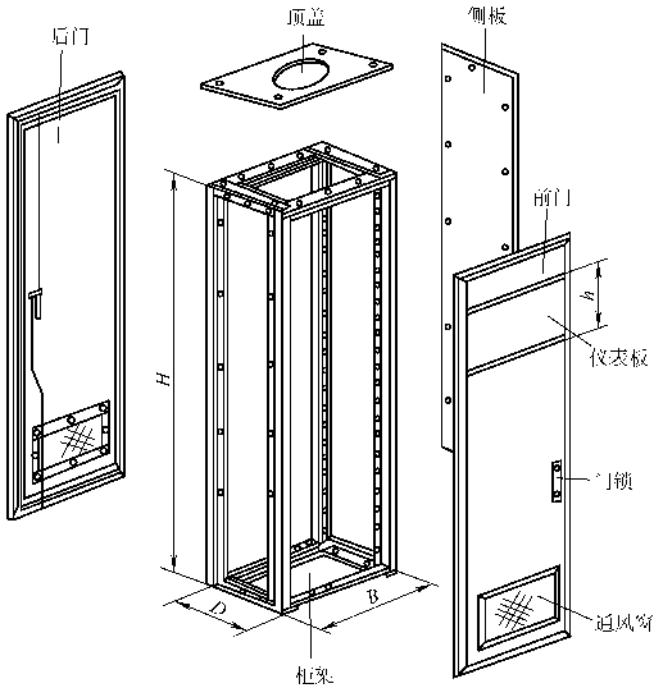


图 3-60　ZGB 型单门防护密封式柜

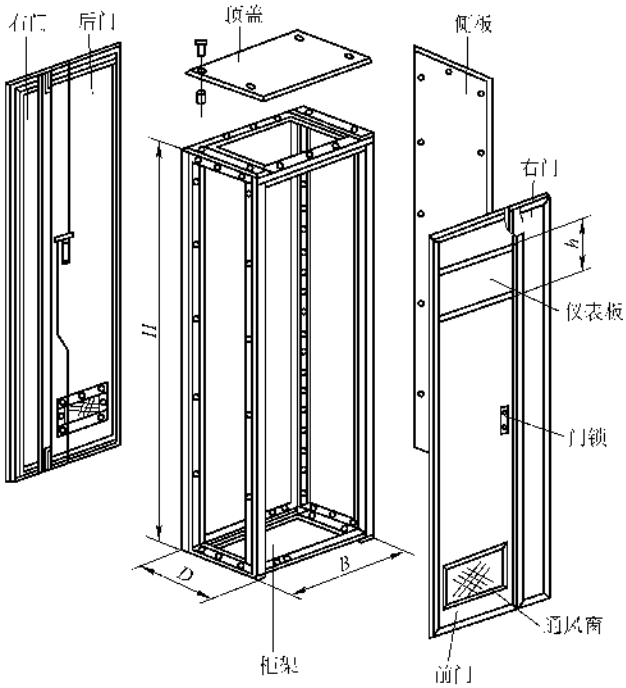


图 3-61 ZGC 型双门防护式柜

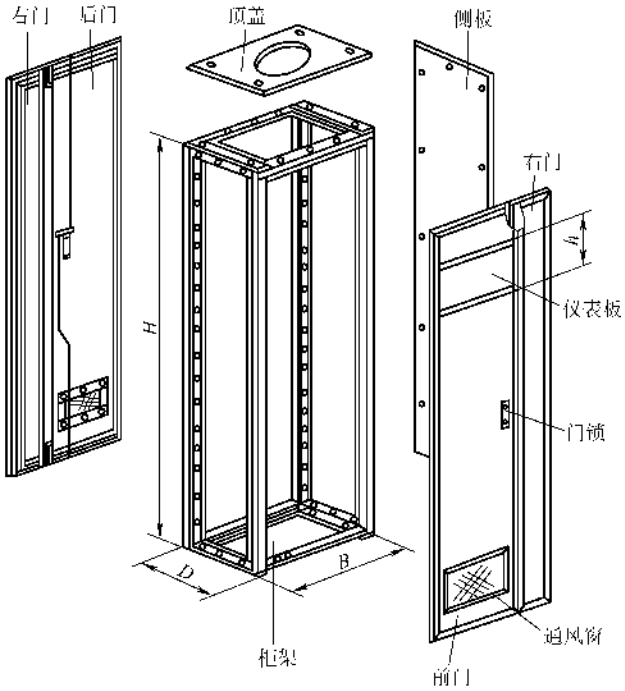


图 3-62 ZGD 型双门防护密封式柜

表 3-19　ZGE 型单门防护式摇门柜系列尺寸　（单位：mm）

型　号	H	B	D	h
ZGE8820	2000		800	400
ZGE10820			1000	
ZGE8822	2200		800	500
ZGE10822			1000	

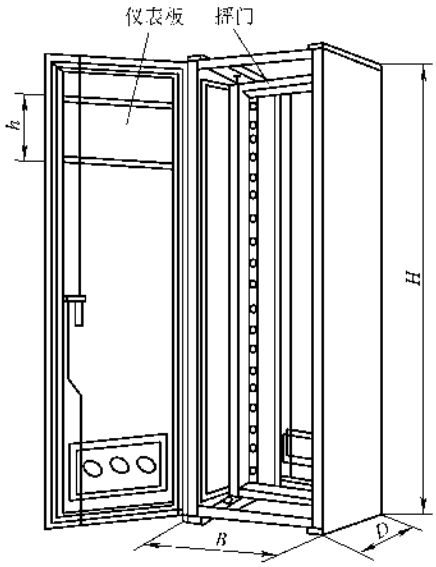


图 3-63　ZGE 型单门防护式摇门柜

表 3-20　ZGF 双门防护式摇门柜系列尺寸　（单位：mm）

型　号	H	B	D	h
ZGF81020	2000	1000	800	400
ZGF101020			1000	
ZGF81022	2200		800	500
ZGF101022			1000	

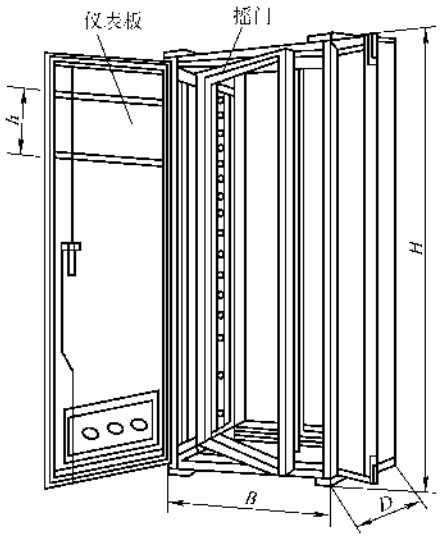


图 3-64　ZGF 型双门防护式摇门柜

（三）311 型柜

311 型柜与 130 型 NIM 插箱配套使用，可做调节柜、电子控制柜。全部由钢板弯制成型焊接而成，其外形结构和尺寸见图 3-65 和表 3-21。

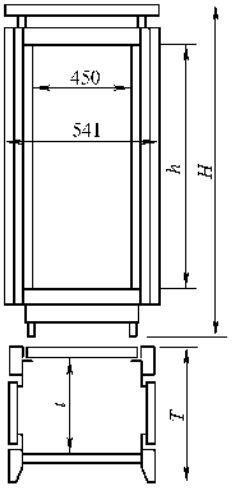


图 3-65　311 型柜外形

表 3-21　311 型柜尺寸　（单位：mm）

型　号	H	h	T	t
311.425	1384	1111	525	450
311.625			725	650
311.430	1607	1334	525	450
311.630			725	650
311.435	1829	1556	525	450
311.635			725	650
311.735			825	750
311.440	2051	1778	525	450
311.640			725	650
311.740			825	750
311.445	2273	2000	525	450
311.645			725	650
311.745			825	750

（四）无底板式控制屏

在环境允许的条件下可将柜作成屏式，图 3-66 为条架式控制屏的结构图，其框架，由角钢焊接而成，其尺寸系列见表 3-22。

条架式控制屏的罩板，其宽度 B 与屏宽相同；其高 H 有 100mm、150mm 两种；T 有 100mm、160mm、198mm 三种。

仪表装在仪表面板上，其宽度与屏宽 B 相同，其高 H 和 C 分别有 139mm、125mm；183mm、100mm；226mm、75mm 三种。普通面板可安装操作元件，其宽与屏宽 B 相同，其高 H 有 80mm、150mm、200mm、250mm 四种。

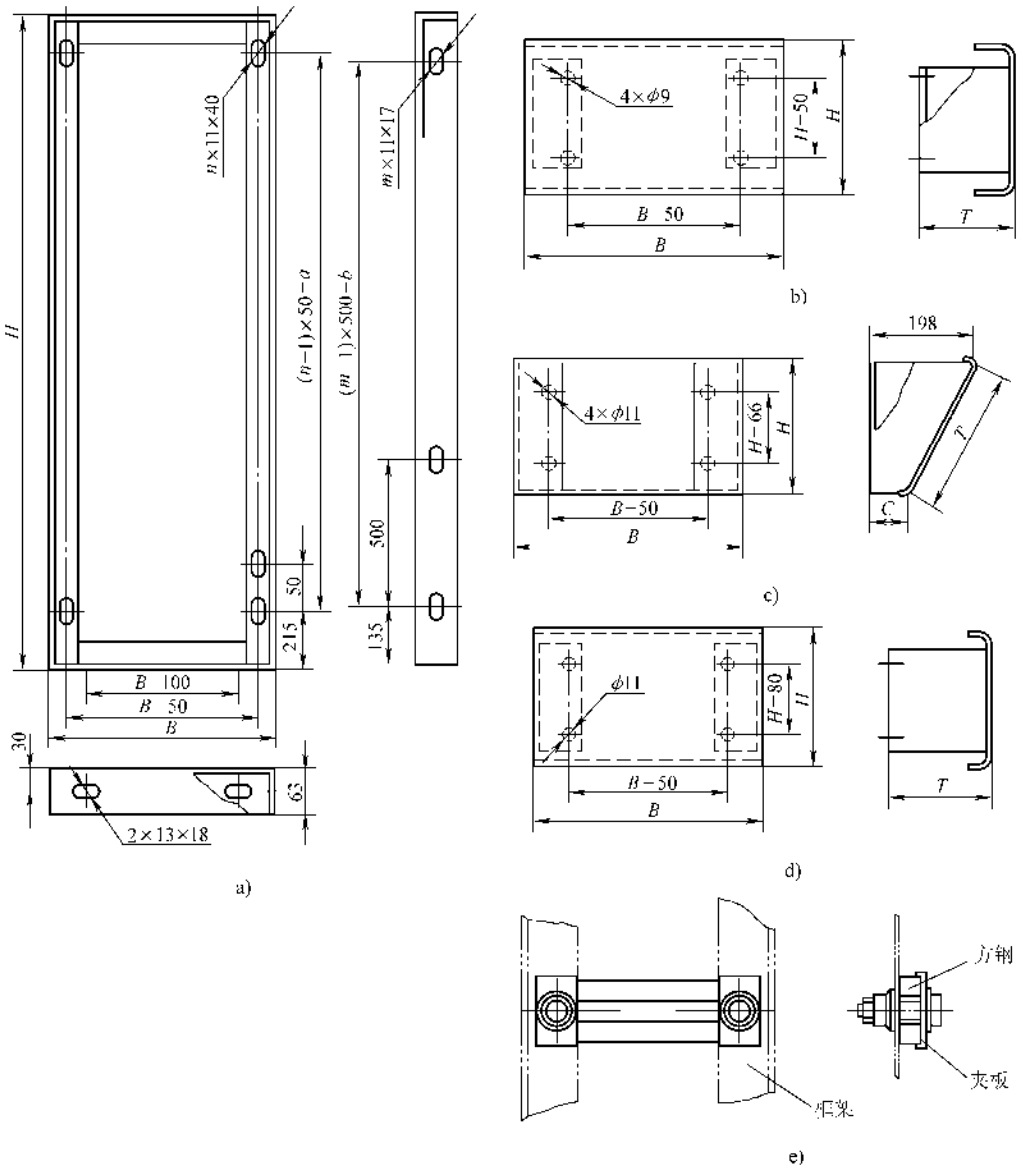


图 3-66 条架式控制屏结构示意图

a）条架屏柜框架 b）罩板 c）仪表面板 d）普通面板 e）条件架的安装

表 3-22 条架屏尺寸 （单位：mm）

H	B	a	b	n	m
2300	400 500 600 700 800 900 1000 1200	2050	2000	42	5

（续）

H	B	a	b	n	m
1800	400 500 600 700 800 900 1000 1200	1550	1500	32	4

电器元件安装在条架上的方钢上，方钢采用8mm×8mm、12mm×12mm、16mm×16mm三种规格。

罩板、仪表面板，普通面板由1.5～2.5mm厚的钢板折边焊接而成，由螺钉固定在条架上。

（五）TT型控制台

对于一些复杂的控制系统，有时为了便于观察和操作，宜将柜体做成台式。TT型控制台选用铝合金材料作屏面板，自制时全部采用钢板折边。采用组装和组焊混合结构。下台两侧各有抽屉，上台面板能开启和拆卸，台体外露部分无孔同、无螺钉、无螺母，造形考究典雅。电气元件装于下台，且台后开门，便于维修、安装。仪表和操作元件装于上台。元件布置、配线和前述相同。其外形及尺寸见图3-67、图3-68、表3-23、表3-24，可在这些图形及尺寸上进行改进扩展。

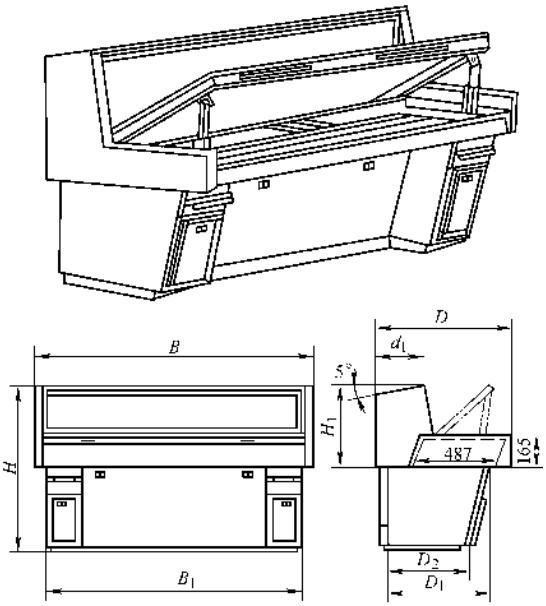


图3-67　TT_1型控制台

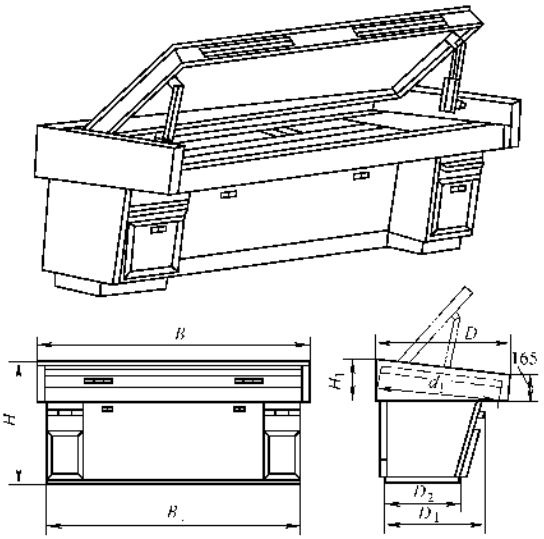


图3-68　TT_2型控制台

表3-23　TT_1型控制台系列尺寸

（单位：mm）

型　　号	H	B	D	H_1	B_1	D_1	D_2	d_1
$TT_1$10.65107	1065	1000	700	465	920	520	400	200
$TT_1$10.65127		1200			1120			
$TT_1$10.65147		1400			1320			
$TT_1$10.65167		1600			1520			
$TT_1$11.15108	1115	1000	800	515	920	620	500	300
$TT_1$11.15128		1200			1120			
$TT_1$11.15148		1400			1320			
$TT_1$11.15168		1600			1520			

表3-24　TT_2型控制台系列尺寸

（单位：mm）

型　　号	H	B	D	H_1	B_1	D_1	D_2	d_1
$TT_2$8.26107	826	1000	700	226	920	520	400	645
$TT_2$8.26127		1200			1120			
$TT_2$8.26147		1400			1320			
$TT_2$8.35108	835	1000	800	235	920	620	500	745
$TT_2$8.35128		1200			1120			
$TT_2$8.35148		1400			1320			

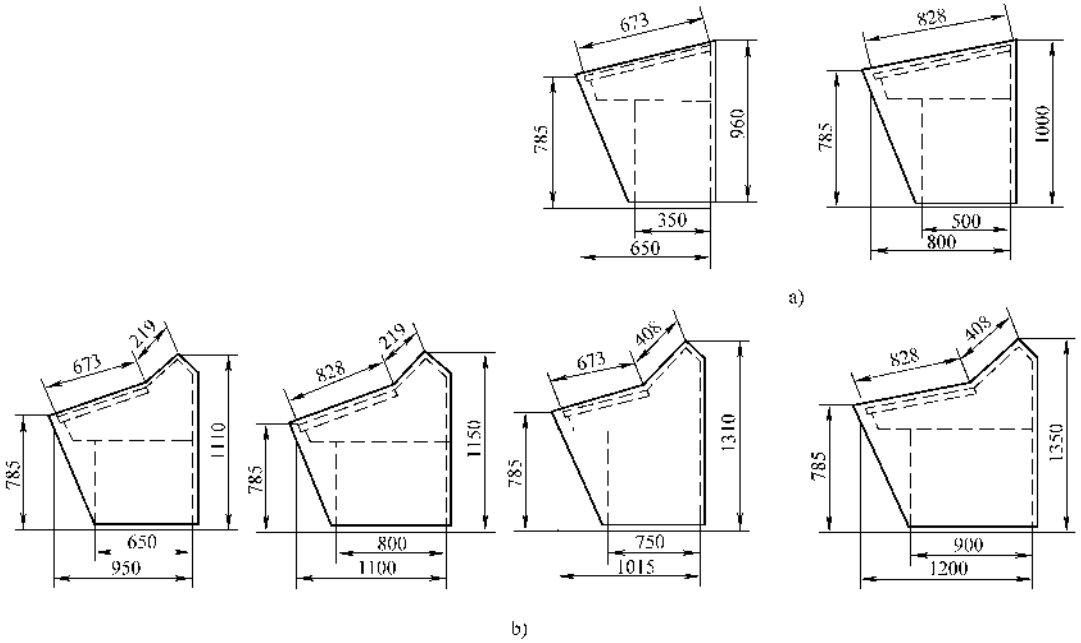


图 3-69 DAB 台式控制台外形尺寸

a）只有台面板 b）台面板加仪表板

DAB 控制台外型见图 3-69，台宽有 500mm、600mm、700mm、800mm、900mm、1000mm 七种。前后左右板面均可拆卸，底部可装配 100mm 高的槽钢底座。其他同 TT 型。

（六）插箱

插箱是安装控制单元插件的箱体，一般用钢板折边焊制而成，装在控制柜体内。

（1）LT 型插箱　外形结构和箱体尺寸见图 3-70 和表 3-25。插箱体由前后横梁及左右侧板构成、用来安装 LC1 和 LC2 型插件的导轨、插座等。箱体前端横梁开有安装导轨的螺孔，间距为 12.5mm，后侧有配线槽。

（2）$1TGKJ_A$ 型插箱　外型结构见图 3-71，尺寸系列见表 3-26，也可做成双层、三层。

（3）$1TGKJ_B$ 型插箱　外形结构见图 3-72，也可做成双层、三层。尺寸系列同 $1TGKJ_A$ 型。

1TGKJ 插箱可与 LC1 和 LC2 插件配合使用。

（4）130NIM 型插箱　外形结构见图 3-73。130NIM 型插箱一般和 311 型柜套配使用，插箱有 12 组导轨，可装设单位宽度为 34.3mm 的标准插件 12 个，也可用 2mm × 34.2mm、3mm × 34.2mm 的标准插件。

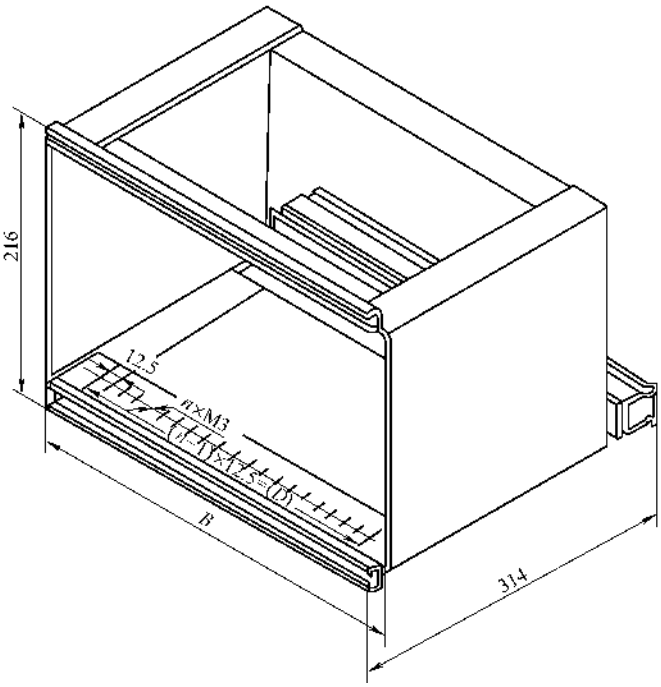


图 3-70 LT 型插箱外形

表 3-25　LT 型插箱尺寸　（单位：mm）

型　　号	B	n	D
LT-1	300	21	250
LT-2	400	29	350
LT-3	500	37	450
LT-4	600	45	550
LT-5	700	53	650
LT-6	800	61	750

表 3-26　$1TGKJ_A$ 型插箱尺寸　（单位：mm）

型　　号	B_1	B_2	B_3	层数
$1TGKJ_A$-1/1	400	480	516	1
$1TGKJ_A$-2/1	500	580	616	
$1TGKJ_A$-3/1	600	680	716	
$1TGKJ_A$-4/1	700	780	816	
$1TGKJ_A$-5/1	800	880	916	
$1TGKJ_A$-1/2	400	480	516	2
$1TGKJ_A$-2/2	500	580	616	
$1TGKJ_A$-3/2	600	680	716	
$1TGKJ_A$-4/2	700	780	816	
$1TGKJ_A$-5/2	800	880	916	
$1TGKJ_A$-1/3	400	480	516	3
$1TGKJ_A$-2/3	500	580	616	
$1TGKJ_A$-3/3	600	680	716	
$1TGKJ_A$-4/3	700	780	816	
$1TGKJ_A$-5/3	800	880	916	

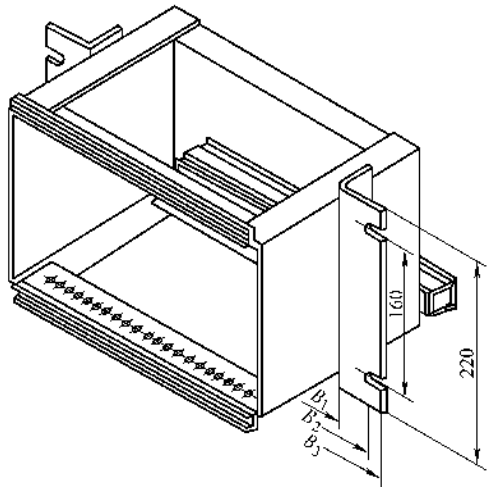


图 3-71　$1TGKJ_A$-□/1 单层插箱外形

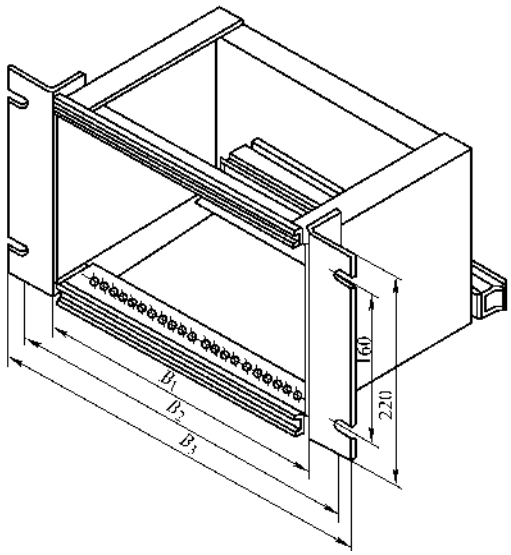


图 3-72　$1TGKJ_B$ 型插箱外形

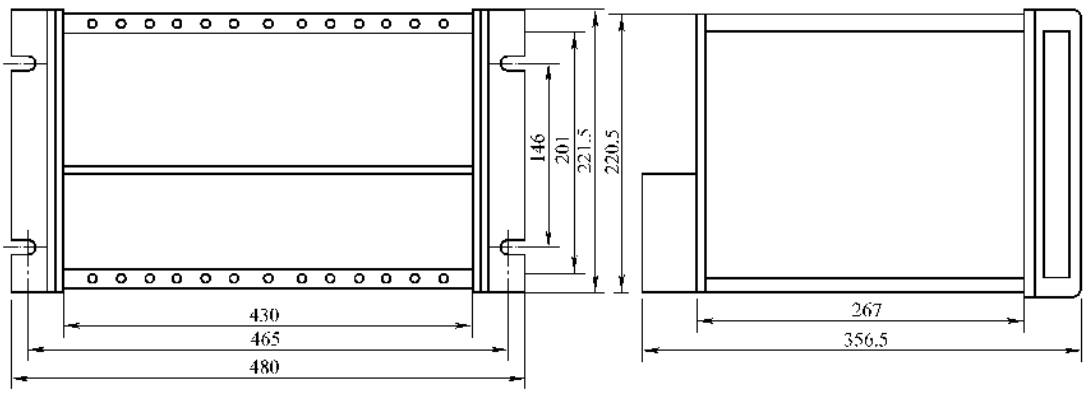
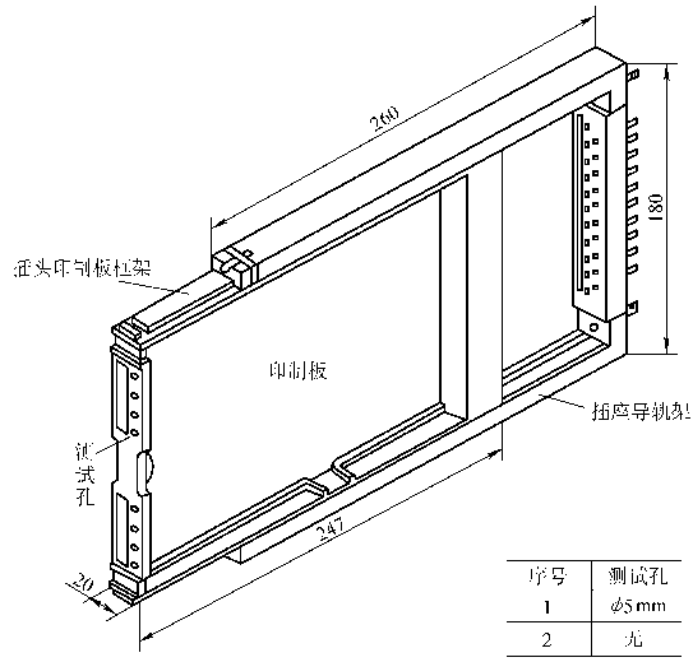


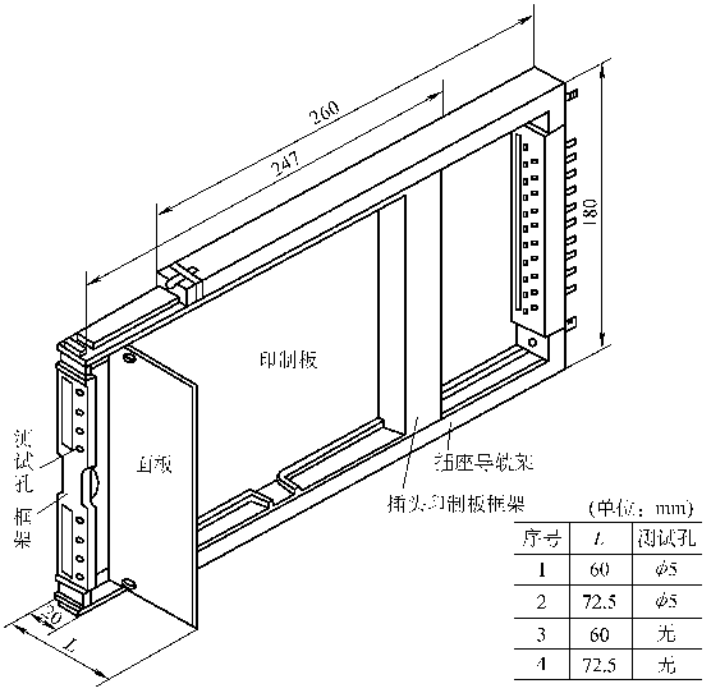
图 3-73　130NIM 型插箱外形尺寸

（5）插件　LC1 和 LC2 插件由热塑性塑料制成，是专业厂家生产，外形结构见图 3-74 和图 3-75。



序号	测试孔
1	ϕ5mm
2	无

图 3-74　LC1 插件外形及尺寸



（单位：mm）

序号	L	测试孔
1	60	ϕ5
2	72.5	ϕ5
3	60	无
4	72.5	无

图 3-75　LC2 插件外形及尺寸

插件相邻两线插脚间最高电压≤100V，隔线插脚允许最高电压为 380V，每线电流≤3A，每线接触电阻 < 3mΩ，每线触头的拔力为 1.2N，总分离力 30N，绝缘电阻 > 1000MΩ。

插头印制板框架的前端可贴标牌，上部应标出插件型号，下部标出纵横坐标 Y—X。框架的测试孔，可做为测试或信号指示用，其旁边应标出相应的功能。后部有 21 路插接件。

LC1 不带面板，其印制板上可装半导体器件、阻容元件及磁性元件。LC2 有面板，面板上可装小型仪表、指示灯及电位器、钮子开关等小型元件。

印制板一般为 1.5mm 厚的单面或双面敷铜箔环氧玻璃布板，见图 3-76。

图 3-77 为 NIM 型插件的外形尺寸，其宽度 B 有 34.3mm、68.7mm、103.1mm、137.5mm 四种，与 130NIM 型插箱配套使用。

（七）印制板的制作及元器件的装配

印制板一般由专业生产厂加工制作，采用计算机辅助设计，机械化生产，质量高，功能全，寿命长。在实际安装工程中有时也可以手工制作，也能胜任控制系统的需要。

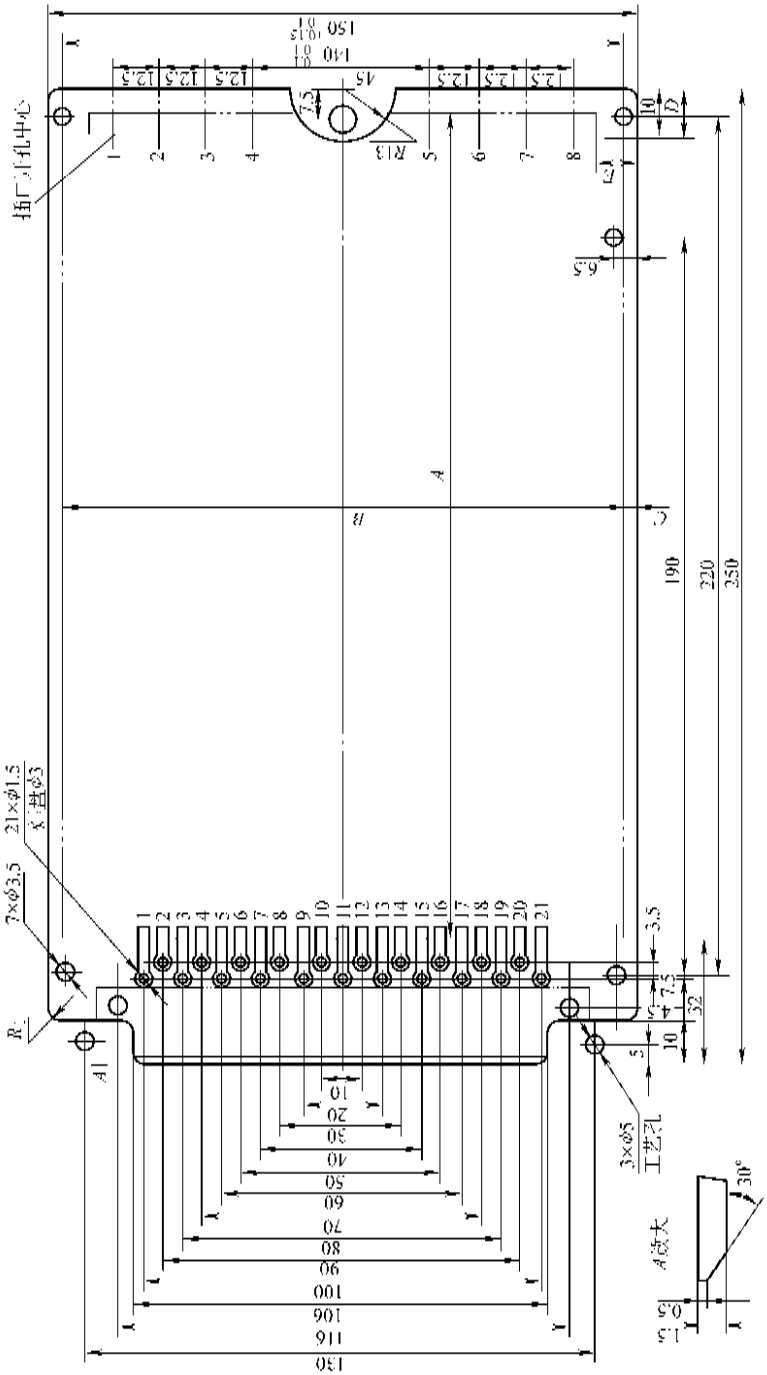
1. 印制板的制作工艺方法

1）按规定的尺寸和形状在覆铜箔环氧玻璃布板上划好线（印制板的尺寸可为 60mm × 40mm，然后以每边递增 20mm 加大，如 80mm × 60mm，100mm × 80mm，最大为 400mm × 320mm）。用手工锯将板锯下，然后用锉将毛刺打磨光。覆铜板的选用应按印制板的要求选择厚度和单面或双面铜箔。

2）根据电路的要求在铜箔上画出电路。

①　印制电路排版的要求

a. 印制电路可以布置成单面或双面的。双面布置时导线宜互相垂直、斜交或弯曲，避免相互平行，减小寄生耦合。



类别	元件有效面积(A×B)					(单位：mm)
	A	B	C	D	E
不宽面板	214	142	4	13	11
宽面板	190①	142	4	30	13

①元件部位可安装开口。

图 3-76　LC1、LC2 插件用印制板外形尺寸

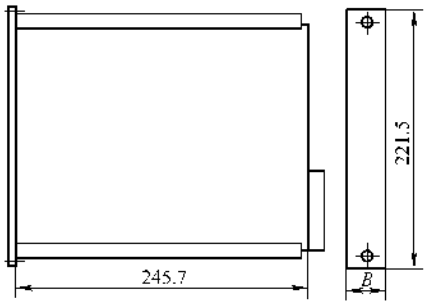


图 3-77　210～214 型 NIM 插件外形尺寸

b. 输入和输出端的印制导线需避免平行，以免发生反馈。

c. 印制导线的布置应尽可能短。引线孔和导电图形与板边缘最小距离应大于板厚。

d. 印制导线的折弯处应制成圆弧形，要避免连接成锐角和大面积铜箔。

e. 印制导线的宽度不应小于 0.5mm。在高精度、高密度的印制电路中，印制导线宽度和间距一般可为 0.2～0.3mm。高低电平相差较大的信号线，应尽可能地加大间距。

f. 在不影响电气性能的基础上，应避免采用大面积铜箔的印制导线。若必须采用时，应开窗口，以免在采用机器锡焊时或长时间受热而引起铜箔膨胀和脱落。

g. 集成电路等双排式元器件，不宜在相邻两引线间穿过导线，可沿集成块两排引线间穿过导线。

h. 元件引线的跨距间所穿过的导线根数可参照表 3-27 所列数据。

表 3-27　元件引线间最多能穿过的导线数

序　　号		1	2	3
焊盘，印制导线尺寸/mm	焊盘直径	1.5	2.0	3.0
	导线宽度	0.5～1.0	1.0	2.0
	导线间距	0.5～1.0	1.0	1.5
元器件跨距/mm	2.5	1	—	—
	5	2、3*	1	1*
	7.5	3、4	2、3*	1、2*
	10	5、6	4	2
	12.5	6、7	5、6	3*
	15	7～9	6、7	3、4
	17.5	9～11	7、8	4
	20	11～13	9	5

注：有 * 者焊盘须作部分切除。

② 对焊盘、印制导线及安装孔的要求。

a. 焊盘的种类。焊盘即焊点及相同焊点的集合，一般分为三种。

岛形焊盘　板上的空余位置尽量由地线覆盖，使其有良好的静电屏蔽，进而抑制焊盘间的寄生耦合和分布电容。采用机器锡焊时，地线宜用阻焊剂涂覆。

圆形焊盘　其印制导线的宽度应小于圆焊点的外径，除电流较大的印制导线外，板上导线宽度应一致。其电感量较岛形稍大，但布线灵活。

方形焊盘　该焊盘面积较大，易受温度过高的影响而使焊盘与基板脱离。为使焊点圆滑，当用机器焊接时，宜用阻焊剂涂覆非焊接部分的导线，或采用手工焊接。焊盘形式见图 3-78。

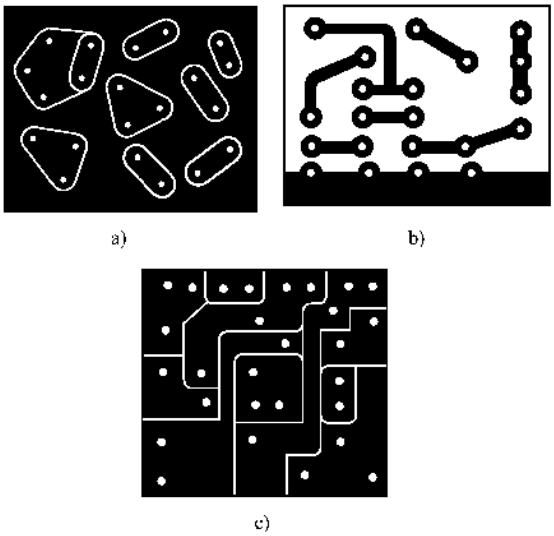


图 3-78　焊盘形式

a）岛形　b）圆形　c）方形

焊盘的径向一般不应小于 0.75mm，最小不得小于 0.2mm。圆形焊盘的盘径可根据引线孔径来决定，一般为 2～4 倍，引线孔径小取上限，引线孔径大取下限，见表 3-28。

表 3-28　圆形焊盘的盘径（单位：mm）

引线孔径		0.5、0.6	0.8、1.0	1.3	1.6	2.0
圆形焊盘盘径	推荐	1.7～2.0	2.3～2.5	2.8～3.0	3.1～3.5	3.5～4.0
	优选	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

注：对焊盘盘径、形状或相对间距有特定要求的印制电路或元器件，不受此限。

b. 焊盘应圆滑，不应有尖角；圆形焊盘的导线和焊盘处的圆角半径不应小于 1～1.5mm；方形焊盘的四角应呈圆弧形，其半径不应小于 1～1.5mm；岛

形焊盘应圆滑，呈圆形或椭圆形。

c. 焊盘应将引线孔全部包围，引线孔也不要在焊盘的边缘和切线上。

d. 对于电源和板上总地线及其他特定的接地点应在穿线孔附近标有等电位标志“↓”或文字说明。

e. 导线在直线行进方向上必须宽度一致，不得有急剧的尖角。

f. 双面印制板的导线需要交叉时，可通过金属化孔，将导线从一面转到另一面；金属化孔可设在元器件引线孔上，也可以不设在元器件的引线孔上。

g. 定位孔直径不宜小于1mm。

h. 印制导线的允许电流由铜箔厚度及其宽度决定，铜箔厚度0.05mm印制导线的最大允许电流见表3-29。

表3-29　印制导线最大允许电流

导线宽度/mm	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
导线面积/mm^2	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2
导线允许电流/A	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4

i. 印制导线沿宽度方向不允许有超出线宽20%的凸缘、缺损；沿长度方向不允许有大于线宽的缺陷，最长缺陷长度应小于5mm。

③　抑制减小干扰的措施。

a. 地线共阻抗干扰的抑制　高频电路的布局应尽量排列紧凑，尽量缩短印制导线的长度；采用一点接地，见图3-79；印制板电路不要做成环形地线；元器件不多时可采用一字形接地，见图3-80。同时要注意一点接地的合理性，见图3-81。

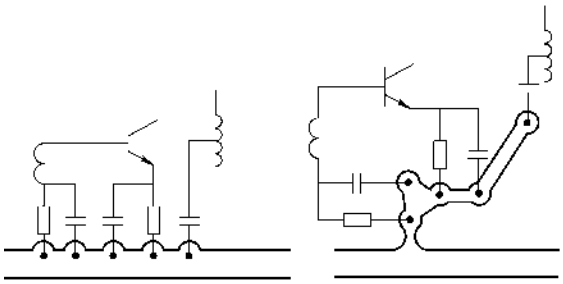


图3-79　一点接地示意图

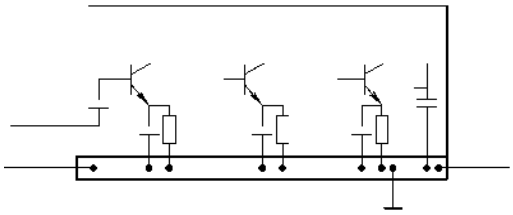


图3-80　一字形接地示意图

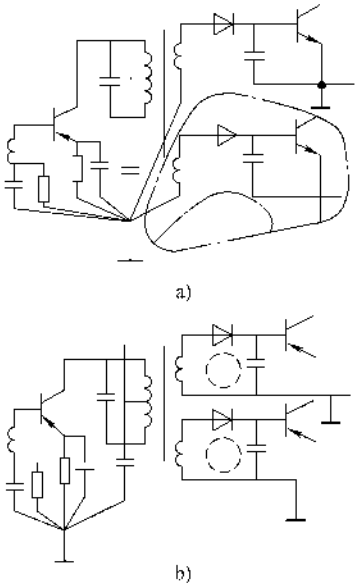


图3-81　多组检波器的一点接地

a）不合理　b）合理

b. 电源干扰的抑制　禁止交流脉动电流流经直流电路和采样电路；总“地”应合理地设在一点上，见图3-82；对于电源阻抗要求严格时，可将电源正负极做成小型母线，见图3-83。

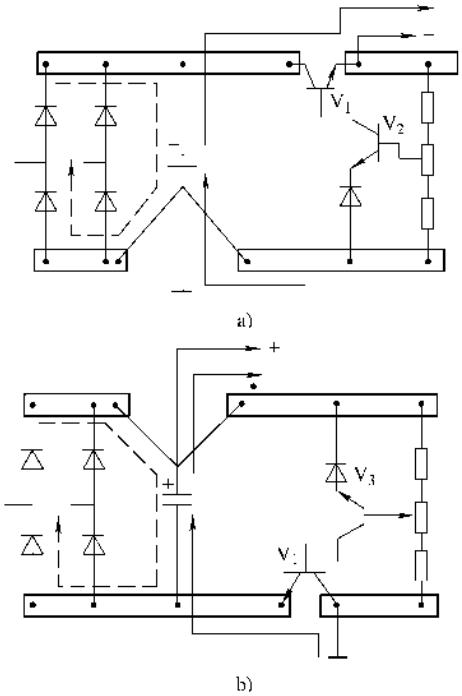


图3-82　稳压电源的两种合理布局

c. 电磁场干扰的抑制　板上导线严禁采用大环形布局；相互易干扰的导线，避免平行布置。各级间

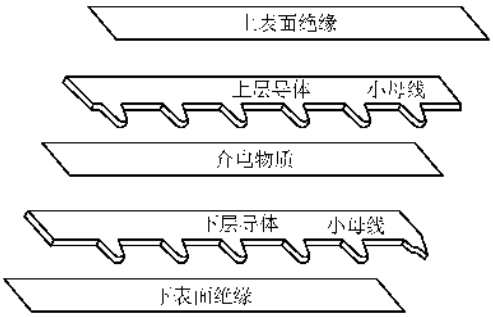


图 3-83 小母线的作法

信号线应尽量短。各级电路在排列时，应按信号顺序排列，不要迂回或越级排列；信号线不要互相靠近或平行；双面板应使两面的导线呈垂直或交叉以减少避免平行；板内需平行的导线，应使其远离或用地线、电源线将其隔开。

④ 按照上述的要求将电路画在覆铜箔板上。画的方法应用鸭嘴笔蘸油漆及圆规和三角板按预先画好的线路临摹；线路较复杂时可在白纸上将线路画好，然后用复写纸和硬笔即可将图画在板上；双面覆铜板都有线路时，应使两面对应。通常是用两张和印制板大小一样的硫酸描图纸，先在一张的正面把图线画好；然后和另一张叠在一起，在另一张的反面对应第一张的正面画好的图的对应位置画出反面的线路。再分别将两张图用复写纸描出，这样即可在板的两面绘出对称的图线。

一般应使用快干漆，漆的浓度应适中，太稠不易干，太稀易流，必须先在板上试画好，再正式画。覆铜板应光洁平整、无起泡、划伤、断裂、分层等缺陷。

⑤ 漆干后将画好线路的覆铜板放入盛有三氯化铁溶液（浓度35%，即一份三氯化铁，二份水）的盘形容器里，室温较低时可略加热到60℃左右；片刻后，即可将没被油漆覆盖的铜箔腐蚀掉，取出后立即用清水洗净，晾干。

⑥ 在涂有油漆的印制导线上涂上酒精或汽油，片刻即用棉球蘸上酒精或汽油将油漆擦掉，露出铜箔的线条；或者将其放在盛有烧碱的溶液里，加热到80℃，也即可除掉。除掉漆后的印制板必须用清水洗净，然后风干或烘干，烘干时应恒温70℃。

⑦ 钻孔。钻孔一般可在腐蚀前进行，也可在腐蚀后进行。钻孔需按图样要求钻孔，必须钻正。钻孔应在仪表小台钻上进行，有时也可用手枪钻。孔径应根据元器件管脚的直径和元器件固定螺孔直径决定，一般为1mm和3～5mm。钻孔要求孔眼光洁、无毛刺。通常小孔应用高速钻孔；大孔则用低速钻孔。双面印制板钻孔时必须对正。

⑧ 刷助焊剂

a. 将钻好孔的印制板放入5%～10%的稀硫酸溶液里浸泡3～5min，取出后用清水洗净。再用去污粉擦拭，一直擦到铜箔表面光洁明亮为止。如有铜丝抛光轮，也可抛光。无论哪种方法见到铜的金属光泽为止，以避免减小铜箔厚度。

b. 用刻字小刀将印刷板上不规则的部分修整好，修整时必须遵守前述的要求，并不得划伤玻璃布板。

c. 用清水冲洗并立即擦干，放入烘箱，恒温70℃，10～15min即可。用电炉子烘烤也可，烘到手感稍烫手为止。

d. 取出烘箱或停止电烤后即可在印制板上涂上一层助焊剂，一般用松香水（20%松香粉末，78%酒精、2%三乙醇铵混合配制）。涂层应均匀，不宜太厚，然后烘干即可，以不粘手为准。

⑨ 元器件的焊接及组装 元器件的焊接和组装是印制板制作的关键一步，操作者应有熟练的焊接技巧技能和对元器件有充分的了解和认识，才能胜任。

a. 焊接使用的工具和材料 焊接时常使用规格不同的电烙铁，一般常使用15W、25W、75W三种规格的电烙铁，根据元器件的大小和腿脚截面积选用。集成电路应使用15W袖珍电烙铁，一般半导体元器件可使用15～25W的电烙铁，大型元器件应使用75W或以上的电烙铁。假如选择不当可造成假焊、虚焊，或者因过热烧坏元器件。使用的焊丝应为空心带焊剂的优质焊丝，其直径应和使用的烙铁对应，用小烙铁、粗焊丝，大烙铁、细焊丝都是不适当的。焊接时应准备两把尖嘴或扁嘴钳子或金属镊子，做为夹住管脚及帮助导热用。另外应有一只烙铁架，作为烙铁的支架，避免乱放热坏其他器件或物品。

b. 元器件在板上放置的要求 印制板上装设的元器件，应排列整齐；元器件的标称值或符号应面向上方以查看方便；对于同类元件，应保持方向一致；元器件引线弯折处与元器件根部的距离、弯折半径、引线的间距见图3-84a；一般元器件采用卧式贴板安装，见图3-84b；发热元器件（如2W以上的电阻）应悬空安装，离开板面应不小于2～5mm；跨接印制导线的元器件，应离板面2～5mm悬空安装；见图3-84c;非发热元器件可套透明绝缘套管贴板安装。

竖直引出管脚的晶体管、二极管、直立电容等立式元器件其管腿应高出板面3～5mm，或采用3～5mm的专用绝缘托垫，将其托住再贴紧印制板。大功率管应装设在散热器上，再将散热器垂直或水平固定在板上，见图3-85。大型晶闸管、功率管、整流管一般应

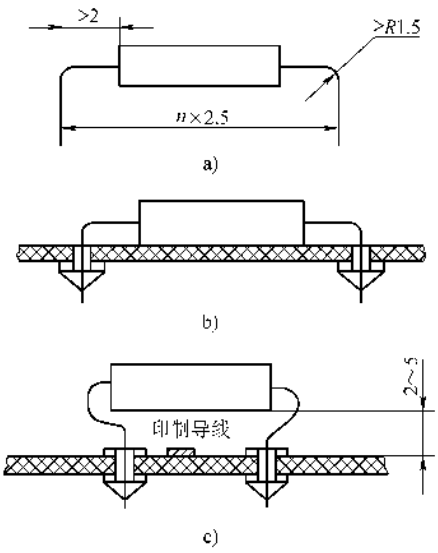


图 3-84　元器件在板上的放置

a）元器件腿的弯折　b）卧式贴板安装

c）发热元器件或跨接印刷导线元器件的安装

装设在柜内的电器梁上。并装有散热器，散热器应通过计算进行选择。

对较重的元器件，应有固定措施，见图 3-86。重量的限制应从多方面因素考虑。

元器件为集成电路时通常有两种在板上放置的形式，一种是用管座插接，一种是直接焊接，见图 3-87。

元器件的引线或壳体至板边缘的距离应≥5mm；元器件互相垂直布置时，元器件的外壳至其他元件引线的距离应大于 1mm；相邻元器件外壳间的距离应大于 0.5mm；紧固安装件边缘至印制导线或焊盘的距离应大于 0.5mm；见图 3-88。

c. 元器件在板上排列规则　分布应均匀、疏密要适当；元件应尽量放置在同一面上；元器件的引线应有单独的穿线孔，严禁两根元器件的引线共用一个穿线孔；不得立体交叉或重叠布置元器件；双面印制板的主元器件面上，要少安排印制导线；印制板垂直地面安装时、对于体积稍大的元器件，应将其轴向与地面垂直。

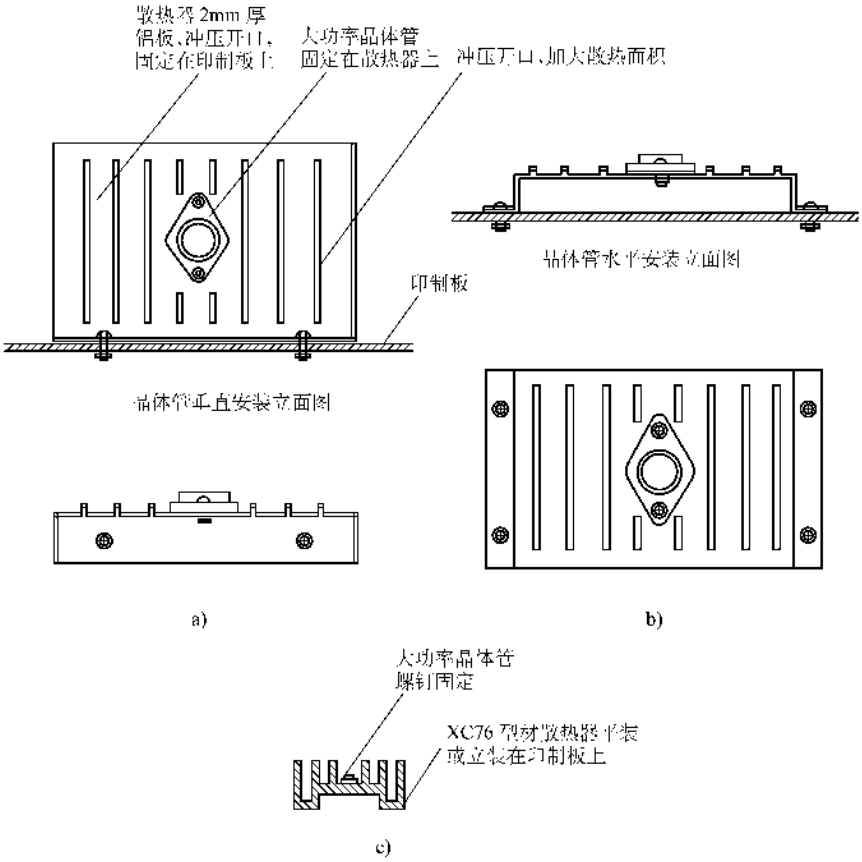


图 3-85　大功率晶体管在印制板上的安装

a）晶体管垂直安装　b）晶体管水平安装　c）晶体管安装在型材散热器上

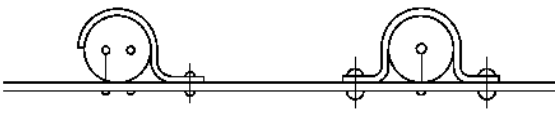


图 3-86 较重元器件的固定

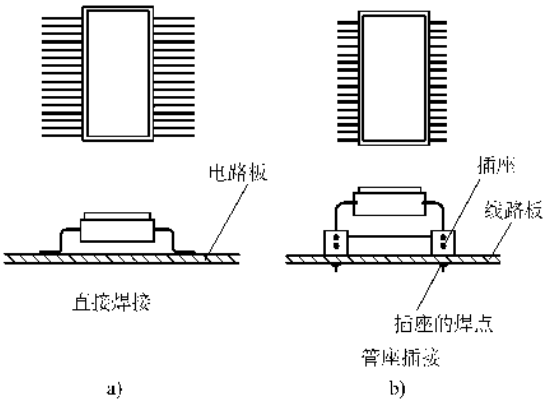


图 3-87 集成电路器件在板上的焊接

a）直接焊接 b）管座插接

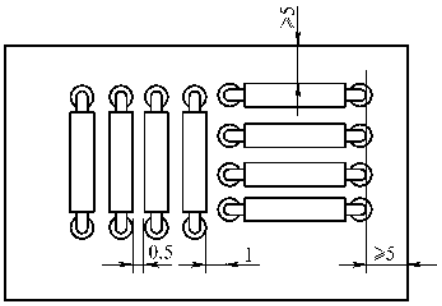


图 3-88 元器件间及元器件与印制板边缘的尺寸

d. 手工焊接工艺方法及要求

a）用铁锉将烙铁头叨锡面锉出金属光泽，然后插上电源，烧热后应在松香上蘸一下，再把焊丝放在叨锡面上熔化，并在盛有松香末的铁盒内来回磨擦，使锡和叨锡面充分摩擦，直至叨锡面整个镀有锡液为止。

b）把元器件的引线、管脚用细砂纸或酒精棉球除去其表面的污物或氧化物，然后用烙铁搪锡，即用叨有锡液的烙铁在引线或管脚上来回滑动一次即可。半导体件或集成电路的引脚应用扁嘴钳子或镊子夹好，帮助其散热。

c）把元器件按放置要求插入焊盘的孔内，并用钳子或镊子夹好引脚，然后用烙铁叨上焊锡，将叨锡面靠紧腿脚的根部并落放在焊盘上，并迅速离开，即可在焊盘上留下丰满圆浑的焊点。叨锡面和焊盘接触的时间由经验和熟练程度决定，通常为 2s 左右。叨锡面和焊盘接触的情况见图 3-89。然后把多余部分的引脚用桃嘴钳子剪掉。有些人焊焊接时先把引脚剪短再焊，效果相同。只是应把图 3-89 中电烙铁转 180°，使锡珠朝下。当烙铁离开焊点的瞬间可用嘴轻轻吹焊点，帮助其迅速凝固。焊点应有金属光泽。产生虚焊或不良焊接的原因主要是元器件引线、导线和焊盘的表面处理不妥，有油迹污物，表面不清洁或焊锡、焊剂质量不好或用量偏少及烙铁温度较低等因素引起。焊接时最好使用有带开关的电烙铁，随时可将电源关掉，使烙铁降低温度，这对连续焊接有极大好处。经验证明，温度过高也不易焊接。

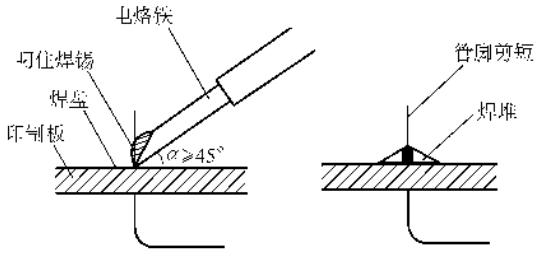


图 3-89 焊接工艺过程示意图

d）集成块的焊接。集成块一般引脚多且密，焊接不宜掌握。通常是把引脚先折成一定的角度，使其和焊盘上的印制导线充分的接触，并且一致，见图 3-87。引脚镀锡同前。然后在集成块下面涂上一小点 502 胶（注意不得涂在引脚上），将其粘固在印制板上，并将引脚和印制导线对齐，印制导线的宽度和密度应和集成块对应。把阻焊剂涂在管脚与印制导线接触部分的导线间隙上，涂阻焊剂是一项仔细的工作，一般借助放大镜进行，应焊接的部位不得涂上一点阻焊剂，不应焊接的部位应涂满阻焊剂。然后用 15W 小电烙铁，叨上锡，按图中所标的方向，叨锡后可在焊接处缓慢移动，其方向应和印制导线的方向平行。焊完后用放大镜仔细检查，凡已宽焊部分应用刻字小刀小心刮掉，刮时不得伤及印制导线和引腿。或者用硬质阻燃纸片刻成图 3-90 形罩在引脚和印刷导线上，再施焊。

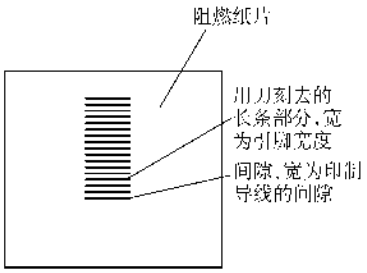


图 3-90 集成电路的焊接

2. 元器件的试验和筛选

印制板上的元器件和低压电器一样，组装前要进行测试。我们把数量不多的元器件测试叫做元器件的试验，而把数量很多的元器件测试叫做筛选，意思是从中选出性能好的元器件。需要说明的是我们这里介绍的仅是批量很小且为手工测试的简单方法，不适用大批量机械化生产。有关电子元器件的测试和仪器的使用详见第二、第五章的相关内容。

（八）电子控制设备的制作要点

装有电子器件的电气控制设备简称电子电控设备，它是由各种电子器件，包括电力电子器件、半导体器件、磁性元件以及其他的静止控制单元或器件，以至低压电器组成的控制系统，主要有功率控制柜、调节控制柜、功率一调节混合控制柜、可编程序控制柜、混合控制柜等，其主要功能是实现对电动机的调速和控制。

1. 功率柜

功率柜一般由晶闸管、大功率晶体管、控制单元、脉冲变压器、放大器、保护器件以及大电流的导线和小电流的控制导线等组成。

（1）元器件的布置　见图 3-91，所有元器件装在电器梁上，自然冷却时，散热器的叶片应垂直于地面，且周围应有足够的空间；采用风冷时，可将散热器以抽屉框架的形式，置于风道中，采用低噪声离心风机。风道出风口一般经过集风器与风机直接连接，进风口设有滤气装置，一般用铜网；采用水冷却时，用不低于 100～200 孔眼/cm^2 的铜网过滤。冷却水循环系统，如管路、阀门等应使用塑料、尼龙制品。热交换器允许采用紫铜管。使用运行时，水质应符合表3-30 的规定，同时系统中有流量计量装置。

保护元件装于功率元件旁侧，愈近愈好，元器件的电气间隙和爬电距离应符合表3-31的规定。

（2）配线　配线应采用线槽配线，配线时的连接应采用压接、焊接和插接。晶闸管的触发脉冲线与

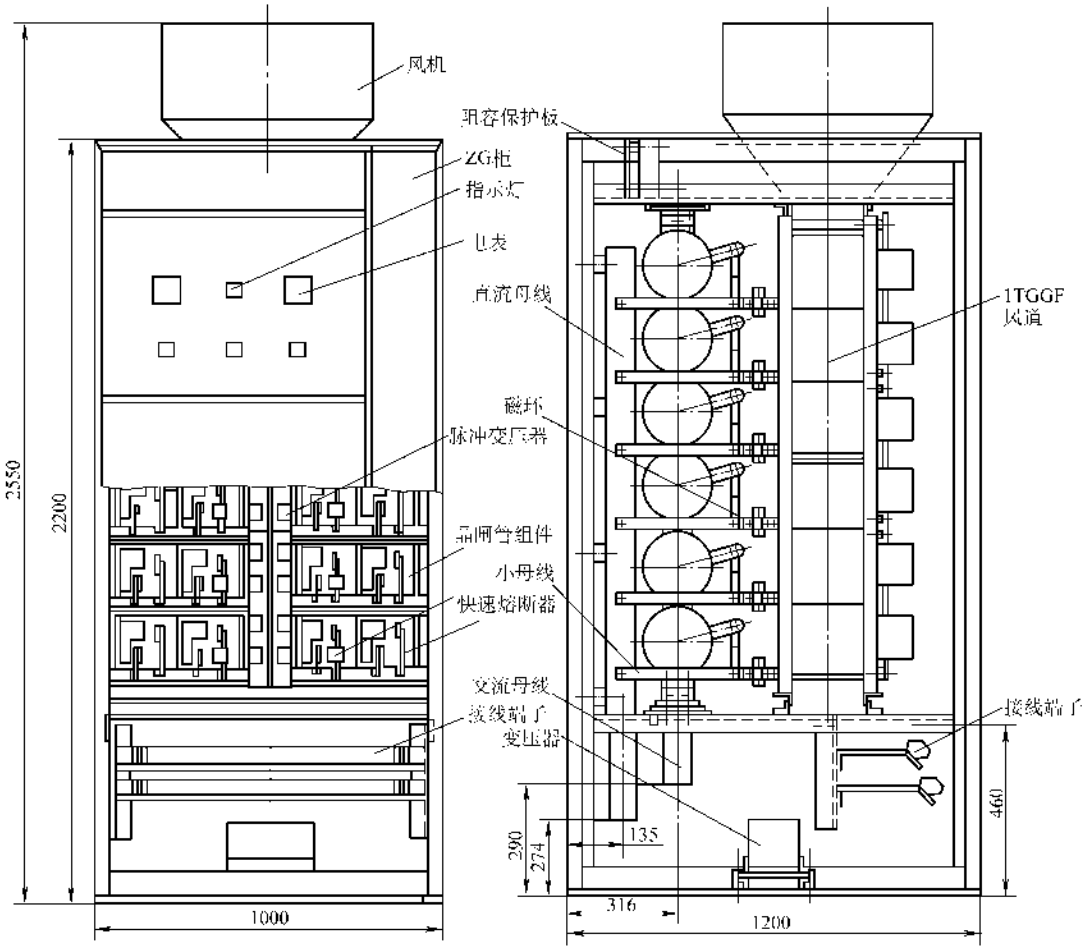


图 3-91　功率柜的元件布置示意图

表 3-30 冷却水的规格要求

流量	进水温度	水质
应符合被冷却元器件标准的规定	35℃①	$p \geqslant 2.5k\Omega \cdot cm$，pH：6～9，硬度＜10μg（当量）/L，氨（$NH_3$）＜1μg/L 无机械混合物。

① 指环境温度为 40℃时的数值，为保证散热器表面不产生凝露，进水温度与环境温度之差，不得大于 5℃。

表 3-31 电气间隙和爬电距离

额定绝缘电压 U_i/V	额定电流≤60A		额定电流＞60A	
	电气间隙/mm	爬电距离/mm	电气间隙/mm	爬电距离/mm
$U_i < 60$	2	3	3	4
$60 < U_i \leqslant 300$	4	6	6	10
$300 < U_i \leqslant 660$	6	12	8	14
$660 < U_i \leqslant 800$	10	14	10	20
$800 < U_i \leqslant 1500$	14	20	14	28

主电路的检测线、阻容保护线必须分开布置。不得采用公共导线，严禁将强电线和弱电线捆绑在一起或置于同一行线槽中。晶闸管供触发用的引线不能借用阴极散热器上的引线。大功率晶闸管应设置专供触发用的门极和阴极连接。

接线端子要分成交流电源端子、有瞬变信号端子、弱电信号端子等端子板，各板之间保持足够的距离。

传输大于 1000A 电流的母线与信号线间的平行布线距离，在柜内应大于 200mm。

脉冲变压器可设置双层屏蔽，一次绕组的屏蔽层应直接接地，二次绕组的屏蔽层应与晶闸管的阴极连接。

与脉冲变压器相连接的导线应单独布线，它与有强干扰的母线或电缆平行布线距离，在柜内应大于 200mm。

导线的颜色一般条件下，交流三相电路 L_1 相黄色，L_2 相绿色，L_3 相红色，零线或中性线淡蓝色，安全用的接地线黄和绿双色；用双芯导线或双根绞线连接的交流电路红黑色并行；直流电路的正极棕色，负极蓝色，接地中线淡蓝色；晶体管集电极红色，基极黄色，发射极蓝色；二极管阳极蓝色，阴极红色；晶闸管阳极蓝色，门极黄色，阴极红色；双向晶闸管门极黄色，主电极白色；整个设备内部二次线布线一般为黑色，半导体电路为白色，如有混淆时容许选指定用色外的其他颜色，如橙、紫、灰、绿蓝、玫瑰红等加以区分。

其他同前。

（3）接地的设置　电子控制设备接地一般有三种。

1）供低电平信号用的零伏系统地接地端子；

2）供多噪声的继电器等用的零伏中性线的接地端子；

3）保护接地端子，应和柜体接地螺栓可靠连接。

三种接地端子应相互独立并绝缘。

（4）元器件的分布区域　以 2.2m 高的控制柜为例，说明元器件的分布区域，见表 3-32。

1）监视器件的布置。

① 控制柜的监视器件均布置在仪表板上。测量仪表一般在仪表板的上部，指示灯一般在下部。无仪表板时，一般装置在门的上部，要求同仪表板。

② 控制屏的测量仪表宜在屏的上部，距地面一般为 1.7～2.2m，指示灯应在 1.2～1.95m 的范围内。电表应装在钢板上。

③ 指示灯、信号灯颜色的选择见表 3-33～表 3-36。

表 3-32 元器件的推荐分布区域

区域	元器件种类 / 推荐安装高度/mm	指示仪表	分压器	指示灯	电铃电笛	刀开关	按钮	转换开关	低压断路器	继电器	手动复位继电器	接触器	电流在800A以上的喷弧元器件	板形电阻	管形电阻	200VA以下单相变压器	电容器	变阻器	电流互感器	熔断器	整流器	可调管形电阻
1	2200	✓	✓	✓	*	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	*	*	✓○	×	×	×	×	×	×
	1950	✓	✓	✓	○	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	*	*	✓*	✓	×	×	✓○	✓*	○
2	1700	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	○	*	✓*	✓	*	*	✓*	✓*	*
	1450	×	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	*	✓*	✓	*	*	✓*	✓*	*
	1200																					
3	950	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	*	✓*	✓	*	*	✓*	✓*	*
	700	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	*	✓*	✓	*	*	✓*	✓*	*
4	450	×	×	×	×	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	*	✓*	✓	×	○	✓*	✓*	*
	200	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	○	✓○	✓	×	×	✓○	✓○	○

注：✓—推荐安装；✓—允许安装；×—避免安装；*—推荐柜后部安装；○—允许柜后部安装。

表 3-33　指示灯选色示例

应用类型	开关		指示灯			
	功能	位置	安装位置	给操作者的光信息	光信息的用途	选用颜色
有易触及带电部件的高低压室或试验区	主电源断路器	闭合	室（区）外的入口处	入内有危险	有触电危险	红
		断开		无电	安全	绿
低压配电设备	电源	闭合	低压配电设备上	支路供电	供电	白
		断开		支路无电	无电	绿
机器的电控设备	各个电动机的电源断路器	断开	操作者的控制台或电控设备上	指示灯不亮：未供电		白
		闭合		供电	正常状态	
	各个电动机的起动器	断开		准备就绪	机器或操作循环系统准备完毕	绿
		闭合		机器运转	确认起动	白
抽出危险气体的通风机	电动机的起动器	闭合	风道口	注意：风机正在运转	注意	黄
			操作者的控制台上和可能聚集有害气体的区域	正在进行抽气	安全	绿
		断开		停止抽气	危险	红
当输送停止时，所输送物料将凝固的输送装置	电动机的起动器	闭合	运输机的近旁	运输机在工作勿触及离开	注意	黄
			操作者的控制台上	正常运行	正常状态	白
				运输机已超载	注意：需降低负载	黄
		断开		超载停机	需立即采取行动或重新启动	红

表 3-34　指示灯的颜色及其含义

颜色	含义	说明	举例
红	危险或告急	有危险或须立即采取行动	润滑系统失压，温度已超（安全）极限，因保护器件动作而停机，有触及带电或运动的部件的危险
黄	注意	情况有变化，或即将发生变化	温度或压力异常 当仅能承受允许的短时过载
绿	安全	正常或允许进行	冷却通风正常 自动控制系统正常 机器准备起动
蓝	按需要指定用意	除红、黄、绿三色之外的任何指定用意	遥控指示 选择开关在设定位置
白	无特定用意	任何用意，例如：不能确切地用红、黄、绿以及用作“执行”时	

表 3-35　按钮的颜色及其含义

颜色	含义	举例
红	处理事故	紧急停机、扑灭燃烧
	“停止”或“断电”	正常停机、停止一台或多台的电动机、装置的局部停机、切断一个开关、带有“停止”或“断电”按钮外的任何功能
黄	参与	防止意外情况，参与抑制反常的状态，避免不需要的变化（事故）
绿	起动或通电	正常起动、起动一台或多台的电动机、装置的局部起动 接通一个开关装置（投入运行）
蓝	上列颜色未包含的任何指定用意	凡红黄和绿色未包含的用意，皆可采用蓝色
黑灰白	无特定用意	除单功能的“停止”或“断电”按钮外的任何功能

表 3-36 灯光按钮的类型

按钮的类型	灯　　灭	灯　　亮
a	颜色不变	
b	无特定颜色（非彩色）	任何一种颜色
c	无特定颜色（非彩色）	不同颜色（每种颜色都有各自的灯）

2）接触器、继电器的布置。应按喷弧距离的长短布置，喷弧距离较长的接触器应布置在屏、柜的上部，距地≥1.7m，并有足够的喷弧距离，必要时要有隔弧板。大型元器件一般装在屏柜的下部。

柜、屏的整个面板上可布置中小型接触器、继电器。手动复位的继电器应在 0.7～1.7m 标高内。接触器、继电器等强电元件的间距（导电部分）应符合表 3-10 的规定。元器件的布置，应考虑配线、接线、维修、换件、调整和测试的空间。接地螺栓的尺寸必须满足表 3-37 中接地导体的要求。

表 3-37 接于柜体接地螺栓上保护地线的最小截面积（单位：mm^2）

设备的相导体截面积（铜）S	相应的保护地线最小截面积（铜）S
$S \leqslant 16$	S
$16 < S \leqslant 35$	16
$S > 35$	$S/2$

注：设备相导体为铝质时，应先换算成铜质截面积再选取。

3）操纵器件的布置。操纵器件包括断路器、转换开关、按钮、按键开关等手动器件。

柜体仪表板上可装小型操纵件。空开要考虑喷弧，操纵件要操作方便，一般在 0.7～1.7m 标高之内，应从左到右、从上到下安装布置。

4）发热器件的布置。板型电阻和管形电阻应装于柜后 1.7m 标高以上区域，考虑发热对其他元件的影响，导线连接发热器件时应采用耐热导线或套小瓷管，具体要求见表 3-38 和表 3-39。

5）其他器件。接线端子板用于相邻柜、屏的使用时应布置于柜的两侧，用于外部接线使用时，应置于柜的下部，一般不低于 300mm。

母线应涂色标出相序、极性，其排列、颜色应符合表 3-11 的要求。

表 3-38 管形电阻安装方位（单位：mm）

间距及长度 / 发热件			推荐电器元件、电子器件等与发热元件间的距离				发热件上导线需剥去的绝缘长度并套以瓷珠
			上方		侧方	下方	
			①	②			
管形电阻发热功率为额定功率不同百分比时	7.5W	≤10%	10	10	10	10	10
		≤30%	20	20	10	10	
		≤50%	30	40	10	10	20
	15W	≤10%	10	10	10	10	10
		≤30%	20	80	10	10	
		≤50%	30	100	10	10	20
	25W	≤10%	10	10	10	10	20
		≤30%	50	100	10	10	
		≤50%	100	200	20	20	40
	50W	≤10%	10	80	10	10	20
		≤30%	50	100	10	10	
		≤50%	100	200	20	20	40
	100W	≤10%	10	80	10	10	20
		≤30%	50	200	20	20	
		≤50%	100	300	30	30	40
	150W	≤10%	10	80	10	10	20
		≤30%	80	200	20	20	
		≤50%	150	300	30	30	40
	200W	≤10%	10	100	10	10	20
		≤30%	80	300	20	20	
		≤50%	150	400	30	30	40

① 安装处空气温升为 +20K 时的数值。

② 安装处空气温升为 +10K 时的数值。

此外，元器件的分布应考虑接线的方便以及元器件的互相干扰。上述原则也并非一程不变，应根据实际需要，特别是运行方面的需要，在标准，规程允许的条件下，进行合理的调整，使之更准确地适合实际的需要。

表 3-39　板形电阻与其他元器件间的最小距离　（单位：mm）

名　　称	推荐的最小间距		
	在电阻之上	在电阻之侧	在电阻之下
绝缘件	50	40	40
导线	50	40	40
板形电阻	40	10	40
管形电阻	50	40	50
指示灯	50	40	50
半导体器件	不推荐安装	40	40

2. 调节柜

调节柜一般由给定、调节、变换、触发、逻辑转换等控制单元及由单片机组成的控制单元共同组成的若干个插件箱，以及控制继电器等低压电器组成。

1）元器件的布置见图 3-92。布置应将高频与低频、数字与模拟、强电与弱电的元器件、信号、线路分开，必要时要屏蔽；

插件箱一般放在柜的中部，插件箱下部装置继电器、低压电器；电源变压器、交流稳压器、电源滤波器等，应放在柜的下部。

各个单元的供电应采用条形母线向各个单元的插件供电。

2）配线、接地、显示器件、操作元件等同功率柜。

3. 功率一调节混合柜

功率器件和控制单元混合布置时，功率器件应放在柜的上部，控制单元的器件放在下部，其他同功率柜、调节柜。实例见图 3-93。

4. PLC 柜的布置

可编程序控制器（PLC）由模板，如电源、控制器和 I/O 及模块架组成。PLC 机抗干扰能力较强，可直接用于现场，并和其他控制部件装于同一柜内。通常风机板布置在柜上部，PLC 机置于中部，稳压电源等放在柜的下部。布置图见图 3-94。

接地应注意以下几点：①避开未接地电源或开路三角形接法的变压器；②避免使用有容抗或阻抗的接地系统；③避免产生接地回路，采用公共接地系统可

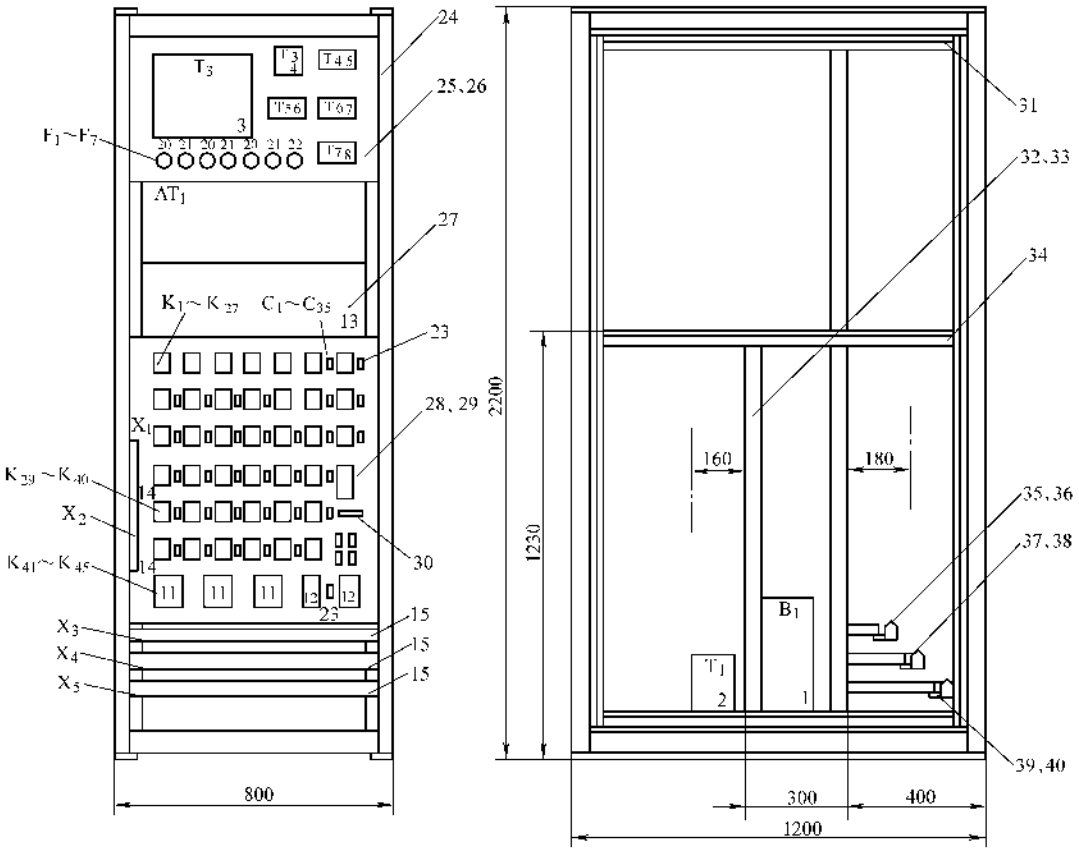


图 3-92　调节柜的元件布置示意图

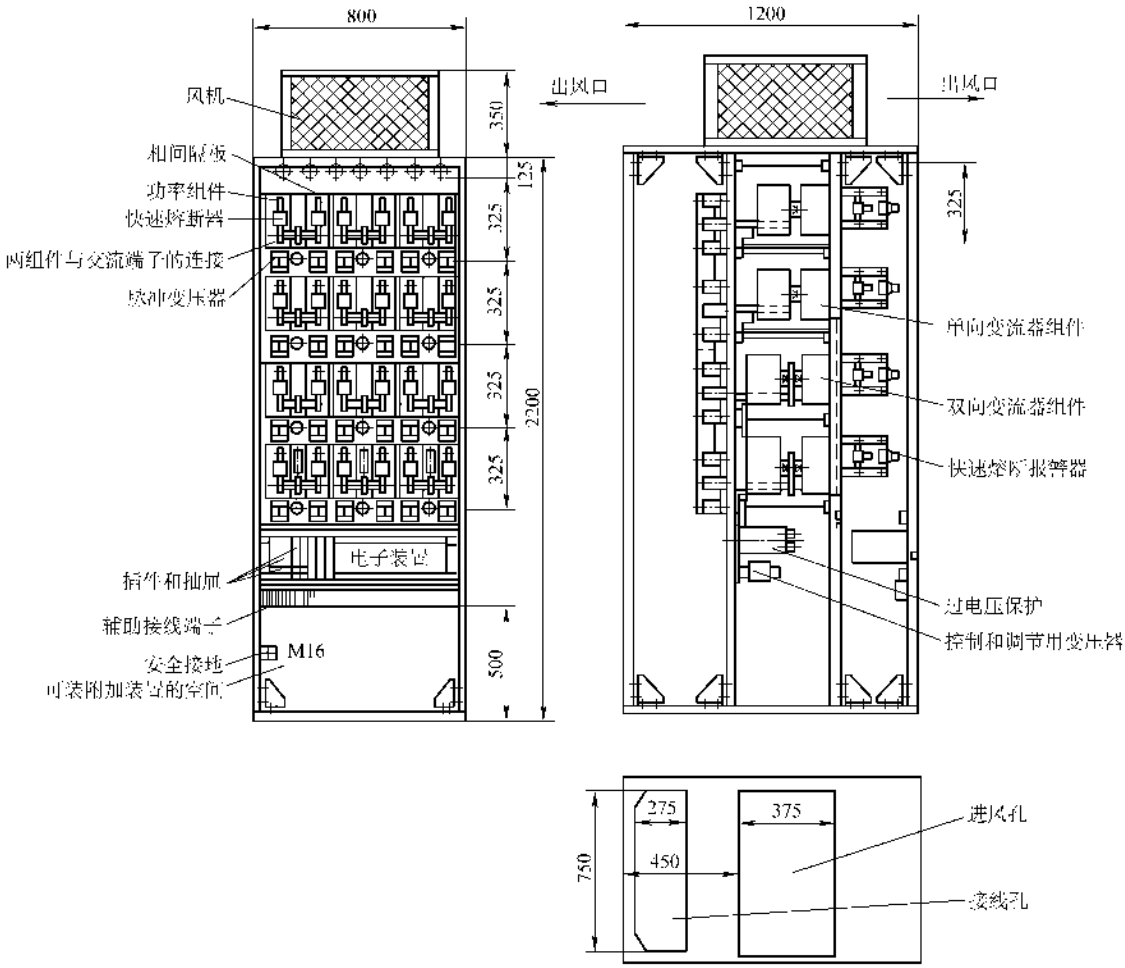


图 3-93 功率—调节混合柜元件布置示意图

使瞬时浪涌的影响减到最小；④两机柜或单柜仪表盘间是分离开的，则应有电气可靠连接。

5. 混合式电气控制设备

混合式电气控制设备简称混合柜，是将低压电气元件、电子器件以及功率器件共装于同一柜体中所组成的设备。

一般将功率单元布置在柜的上部，调节控制单元置于柜子中部，主开关、接触器、继电器置于柜的下部。见图 3-95。12 只晶闸管 V 装于风道之中，控制单元 A 装于右中部，FU 熔断器、KM 接触器、TA 互感器等装于下部，断路器装于柜前，小型变压器 T_3 装在条架上，较大的变压器装于柜底。其他要求如前所述。

6. 台式控制柜

台式控制柜也称控制台或操作台，用于频繁操作的控制系统

1）操作件的布置

① 操作件应布置在仪表板上，没有仪表板可设在台面上。操作件应按操作顺序由左至右、再由上往下布置，或按生产流程程序布置。经常操纵的元器件，应布置在视角左右各 30°的范围以内。其中高精度调节、连续调节、频繁操作件应设在右侧。紧急停车按钮宜选大型的蘑菇头按钮，设置在台上不易碰撞的位置且又便于操作的位置。

② 操作的运动方向，应尽可能和设备的运动方向一致或其效应相适应。表 3-40 列出了操作的方向与其对应的最终效应的关系。

③ 常用按钮、旋钮、小型开关的安装距离见图 3-96。

2）显示器件的布置 测量仪表、数码管应设置在仪表板上部；无仪表板时，可设在台面的较远处。指示灯应设在仪表板的中部或台面的较远处。

3）操作件运动与仪表指针运动的配合关系见图 3-97。

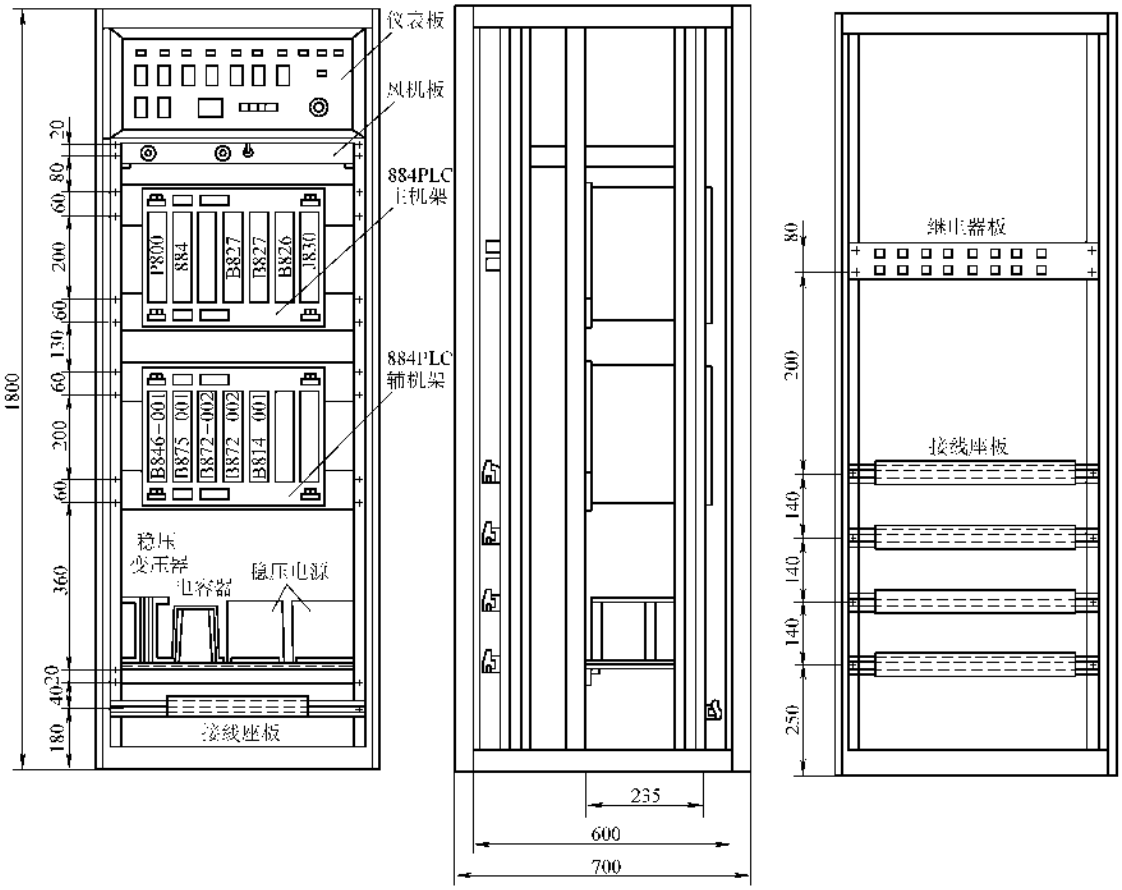


图 3-94　PC 在铝合金轻型柜中的布置示意图

4）其他元件的布置。单板机可设置在台面上，继电器、接触器、熔断器、数字控制单元、变压器、稳压电源、端子板等可设置在台面板下的箱体内。采用面板或电器梁安装，标高应大于 200mm。

配线方法，元器件的固定，按钮、信号灯、导线的颜色要求同前。

控制台的元件布置见图 3-98。

上述电子控制设备柜体的制作基本同前，主要材料是型钢、钢板以及钢板折成一定形状的构件，连接方法主要是焊接和螺钉紧固件连接。近几年又有一种新型电气控制柜，型体结构与上述基本相同，不同的是所有柜体的钢板零部件全为模具压成、组装时不用焊接、全部用可调销钉连接，整体性好，组装方便灵活，结构新颖。

五、低压开关柜的制作

低压开关柜的种类很多，主要的有三种类型：一种是半开启的 PGL 系列低压配电屏；一种是封闭式的 GGL1 系列低压开关柜；另一种是封闭抽屉式 BFC 系列开关柜，其基本骨架都是由钢板及其压制成型的部件和型钢焊接组装而成的。它们的用途主要是作为受电、馈电或控制电动机用的。

（一）PGL 系列低压配电屏的制作

1. 屏体结构

PGL 系列低压配电屏的外形及结构见图 3-99 ~ 图 3-101。柜高一律 2200mm，柜厚一律 600mm，柜宽分 400、600、800、1000mm 四种。

前后立柱、上沿、下坎、仪表门、面板、柜门、侧板、后沿均由薄钢板折边后焊接制成。仪表板是一个能开启的小门，其门轴是上下分别插入上沿和面板右侧折起小边的圆孔内的活动插棍，从前面看不到门轴，只有开启后才能看到。面板的开孔全部冲压；面板是电焊点焊在前立柱上的，焊点在立柱和面板折起的小边上的，只有从板后才能看到，其开孔全部冲压；门一般为双门，也有单门的，门轴结构同仪表板，门档是焊上去的钢板做成的 L 型档板；另外双门时，其中一扇折有通长的门档。侧板是扣进前后立柱中去的，并用螺钉和立柱紧固；上沿和下坎是和前立柱电焊点焊焊接的；在底部有角钢做成的框架，上部

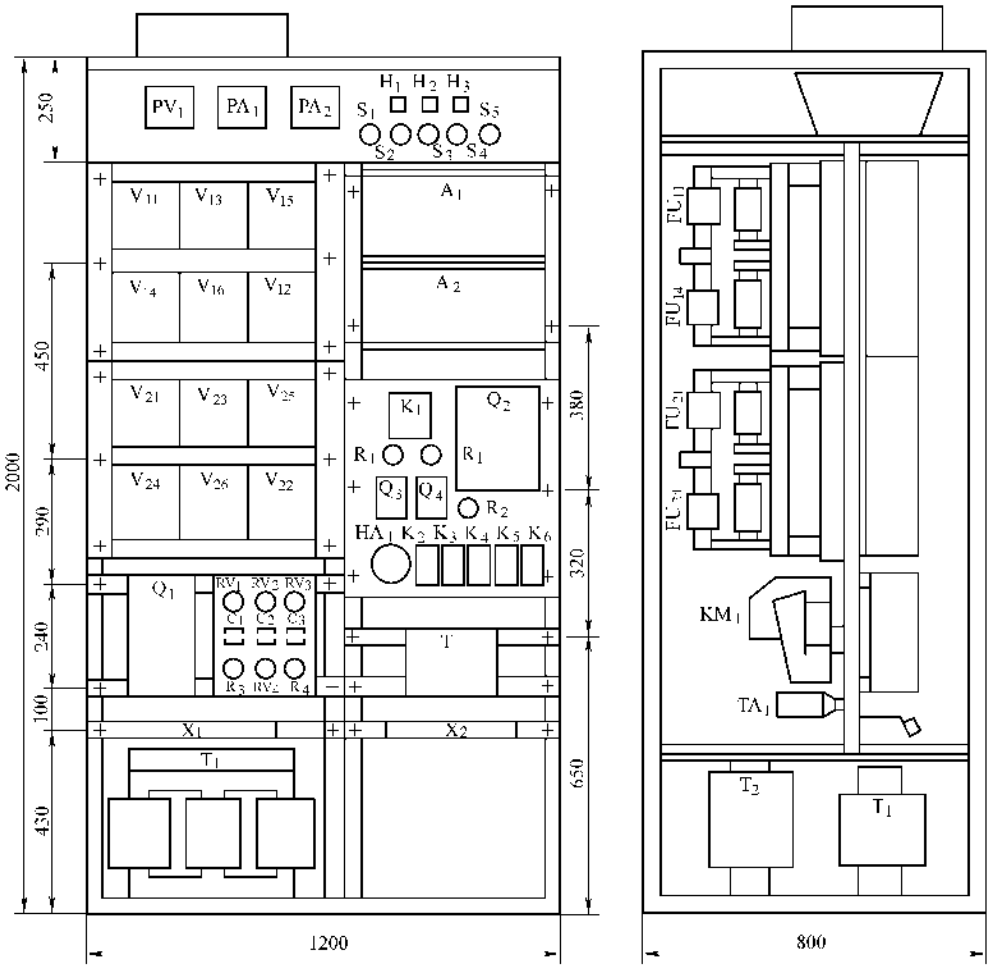


图 3-95 混合柜元器件布置示意图

表 3-40 操作与效应的关系

操作件类型	操作方向	对应的效应
旋转运动：手轮、手柄、旋钮	顺时针旋转↓	物理量①增加、启动、开通
	逆时针旋转↑	物理量减少、停止、断开
直线运动：把手、操作件	向上↑、向右→、向前（离开操作者）⊕	投入运行、启动、加速、闭合电路；执行部件向上运动、向右运动、向前运动
	向下↓、向左←、向后（向着操作者）⊙	退出运行、停止、减速、分断电路；执行部件向下运动、向左运动、向后运动

① 物理量：包括电流、电压、功率、速度、亮度、温度等量。

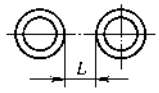
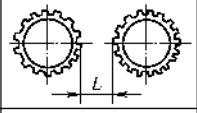
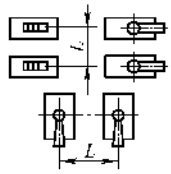
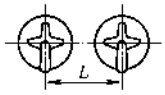
操作件名称	排列方式	安置距离 L/mm		排列特点
		最小	最优	
按钮		6	12.5～25	垂直排列时 L 可适当减小，且易于正确分辨
旋钮		25	>50	
小型开关		12.5	25～50	排列空间较小
十字摇把		50	>100	

图 3-96 常用操作元件的安装距离

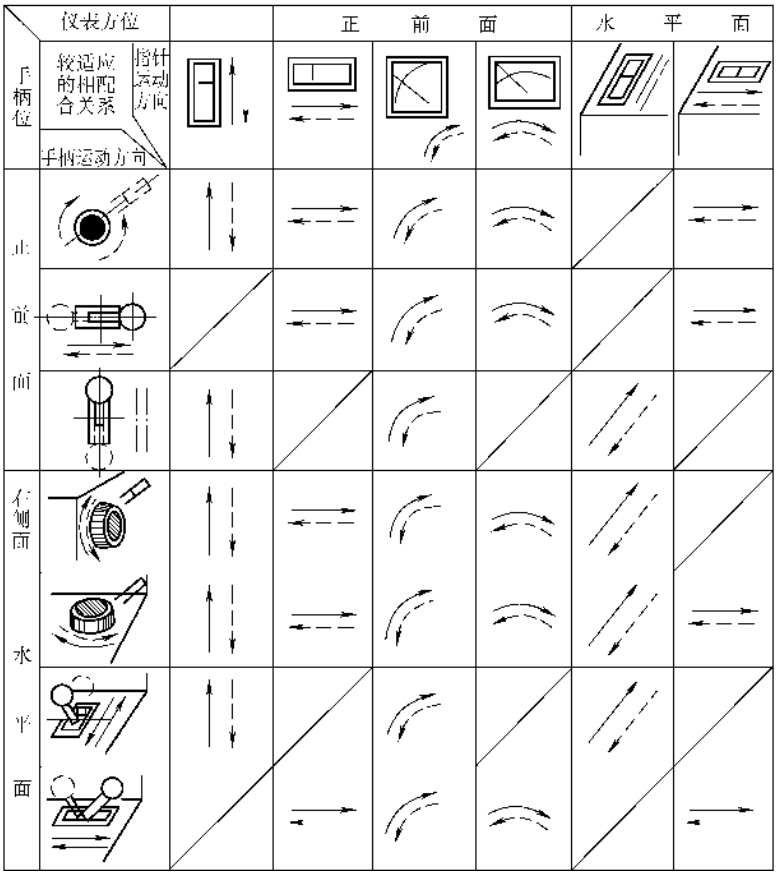


图 3-97　操作元件运动与仪表指针运动的配合关系

有角钢 π 形框架，两个框架是用角钢电器梁电焊连接的，组成框体的骨架，而四根立柱和上下框架是由焊连接的。中立柱和前立柱有拉板电焊连接；母线是由母线支托固定的，而母线支托则是固定在上框架上；后沿是由螺栓固定在上框架上的；在柜顶有盖板，柜顶盖板是用螺栓固定在前沿和后沿上的，盖板和后沿都开有百叶窗。仪表板、面板、测板、柜门、立框、上沿、下坎之间的缝隙均不大于 1mm；连接部位的开孔，除仪表板和柜门外，一般为长孔。

2. PGL 系列低压开关柜的制作工艺及要求

基本同前面的控制柜，下面说明几点不同的地方。

1）柜体焊接装配成型的程序。

①　焊接一律在焊接平台上进行，板材下料一律用剪板机，型钢一律用铁锯或无齿锯，下料尺寸见图 3-99 ~ 图 3-101。

②　上框架和下框结构不同，它是一个 π 形开口架，其开口是和前立柱焊接的，组装焊接时先用一临时角钢和其点焊成口字架，和立柱焊接时再将临时角钢取掉。

③　上下框架和前立柱的焊接。

a. 焊口处角钢和立柱的处理。上框架的侧面是露在外面的，因此外露的端面必须和立柱面焊平，一般是将角钢锯成一个缺口，见图 3-102，然后将其插入立柱窄面锯开的缝内，角钢和立柱内侧接触部位全部用电焊焊好；但上框架的后侧则是包在后立柱内的，则应将立柱顶端的两个窄面锯掉一部分，长度为角钢的宽度见图 3-103。

下框架是包在立柱和侧下坎内部的，角钢必须伸入到立柱的内侧焊接，因此立柱的下端应将两个窄面锯掉一部分，锯掉长度为角钢的厚度，然后将角钢和立柱内侧接触部位全部用电焊焊好，见图 3-103，要求同上框架。

b. 将前立柱无连接长孔的一面朝下放在焊接平台上，间距为柜宽；把下框架置于立柜锯掉的缺口内，垂直放置，并用电焊点焊好；再把上框架置于立柜上并插入缺口内，垂直放置，然后用电焊点焊好。

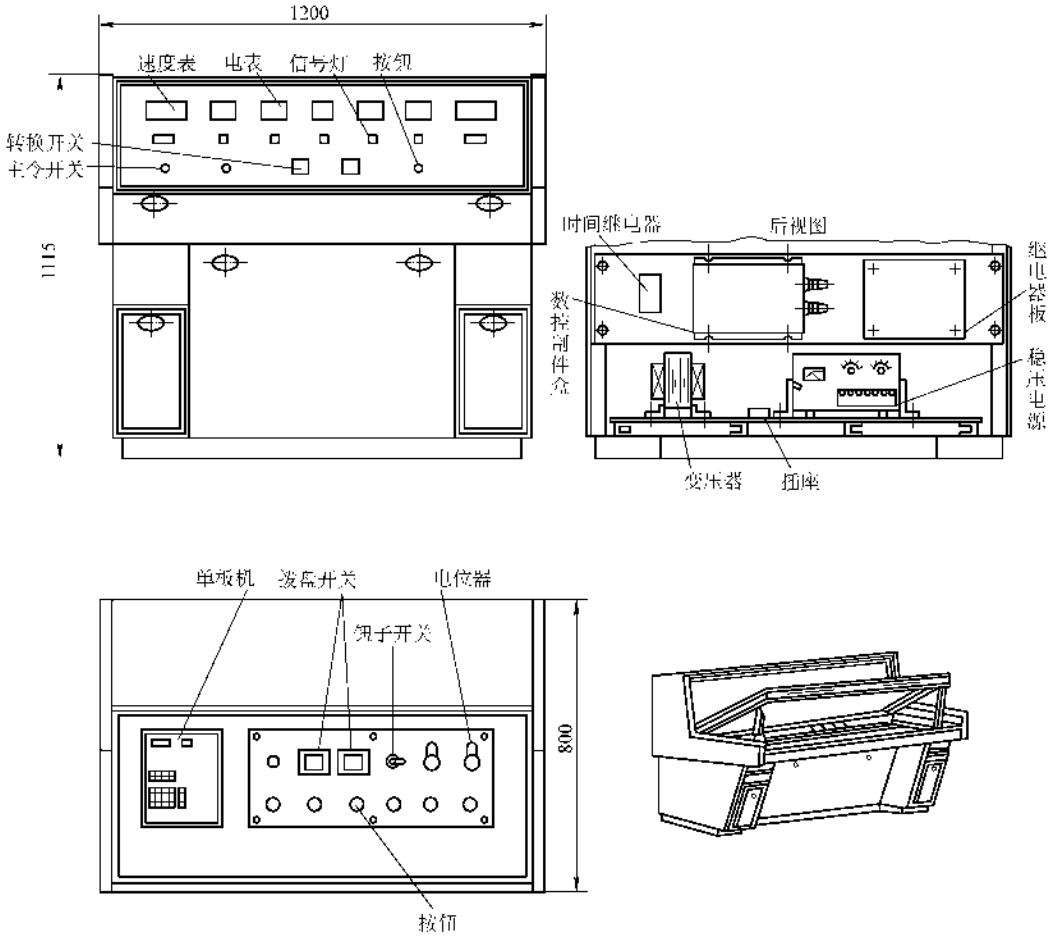


图 3-98 控制台元件布置示意图

批量生产是在平台上焊好卡具，卡具是用角钢作成的，其尺寸是按柜体的尺寸而定的，见图3-104。也可将侧板放在平台上，用前后立柱夹住进行焊接。

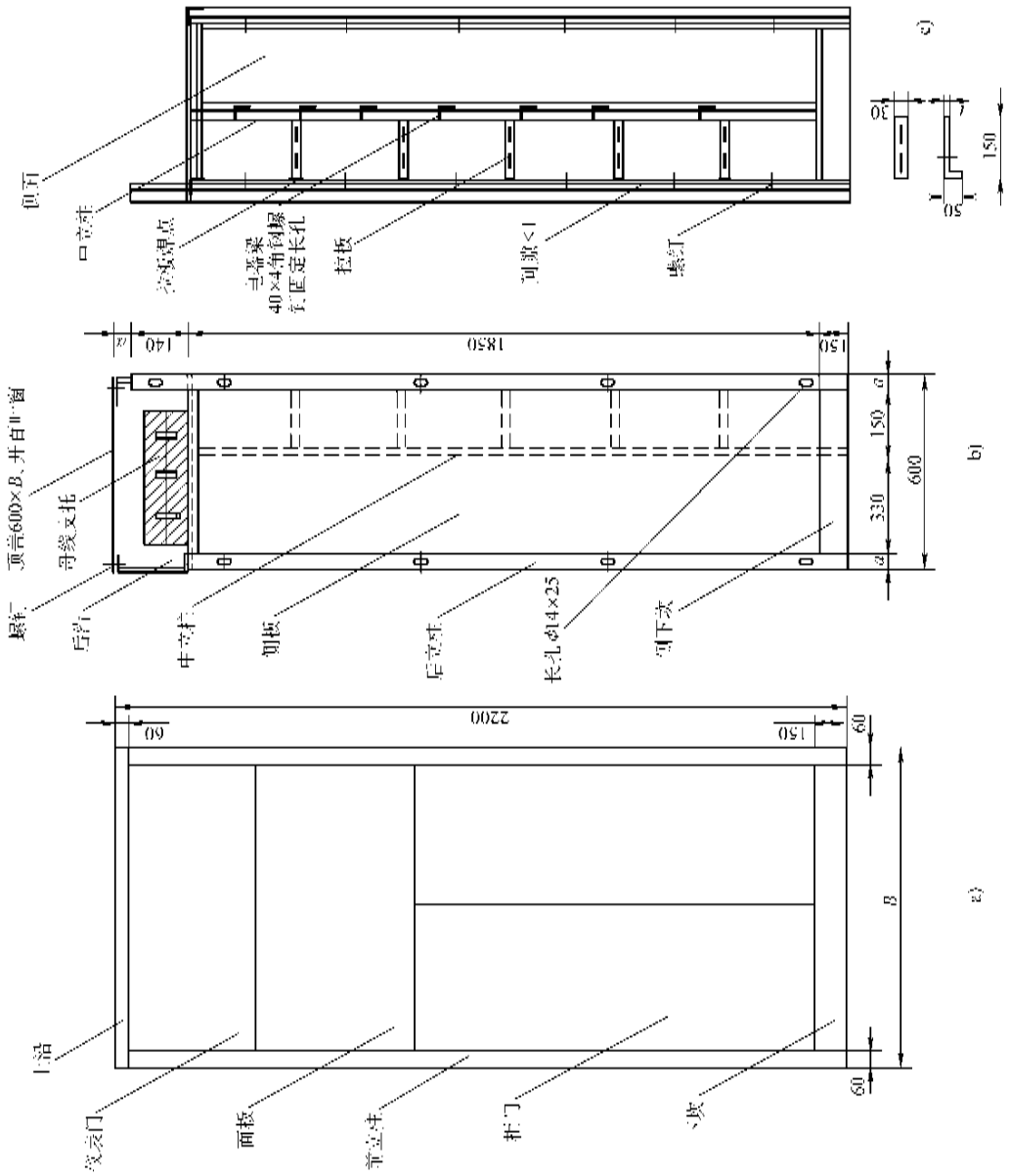
c. 将 b 焊好的半成品构架台起转 180°，然后放在两根后立柱的端头缺口内，方法同 b。点焊好后重新测量垂直度及尺寸，确认无误后即可正式施焊，焊口全部在立柱的内腔里进行。测量时还应测量四个立面的对角线及垂直度。

④ 中立柱的焊接。把骨架放倒在平台上，将中立柱置设于上下框架的侧梁上，距前脸 250mm；将中立柱端部插入时的多余部分锯掉，形成缺口，见图 3-44，然后在角钢内侧先点焊，再测量，然后正式施焊。

⑤ 拉板的焊接。拉板做成 L 型，开长孔，一端和前立柱的窄面焊接，另一端和中立柱焊接，拉板的间距应相等，拉板应和立柱垂直。

⑥ 面板的焊接。将骨架前脸朝下放在平台上，把面板面朝下放在两根前立柱之间，同时把仪表板、上沿、下坎、柜门面朝下也放在前立柱之间，如果下料准确，折边标准，其间的缝隙应小于 1mm，且总长度为 2200mm。否则应进行调整，如间隙太大，应重新丈量尺寸，找出误差大的部位，必要时应重新下料折边。然后将缝隙调整后并把面板的焊接部位作好记号，即可进行焊接。焊接是在面板和立柱折起的小边上进行的，见图 3-100a，应用点焊进行。批量生产其面板的位置应一致，误差不大于 0.5mm。

⑦ 在⑥的基础上将上沿和下坎焊好，焊接全在内侧进行。这里要注意，上沿的面、下坎的面应和前立柱的面平，误差应小于 0.5mm，上沿、面板、下坎应平行。上沿的焊接是在前立柱的内侧进行的，下坎的焊接是在下坎和立柱折起的小边上进行的，见图 3-99c。为了保证焊接质量应先点焊，后测量，再正式施焊，另外必须把平台、面板、上沿、下坎的面清扫平整干净。



名称标号	尺寸/mm
a	60
b	20
c	30
t	钢板厚度
B	柜宽400、600、800、1000
A	安装孔距

图 3-99　PGL 系列低压柜结构示意图（一）

a）正面图　b）侧面图　c）侧面剖面图

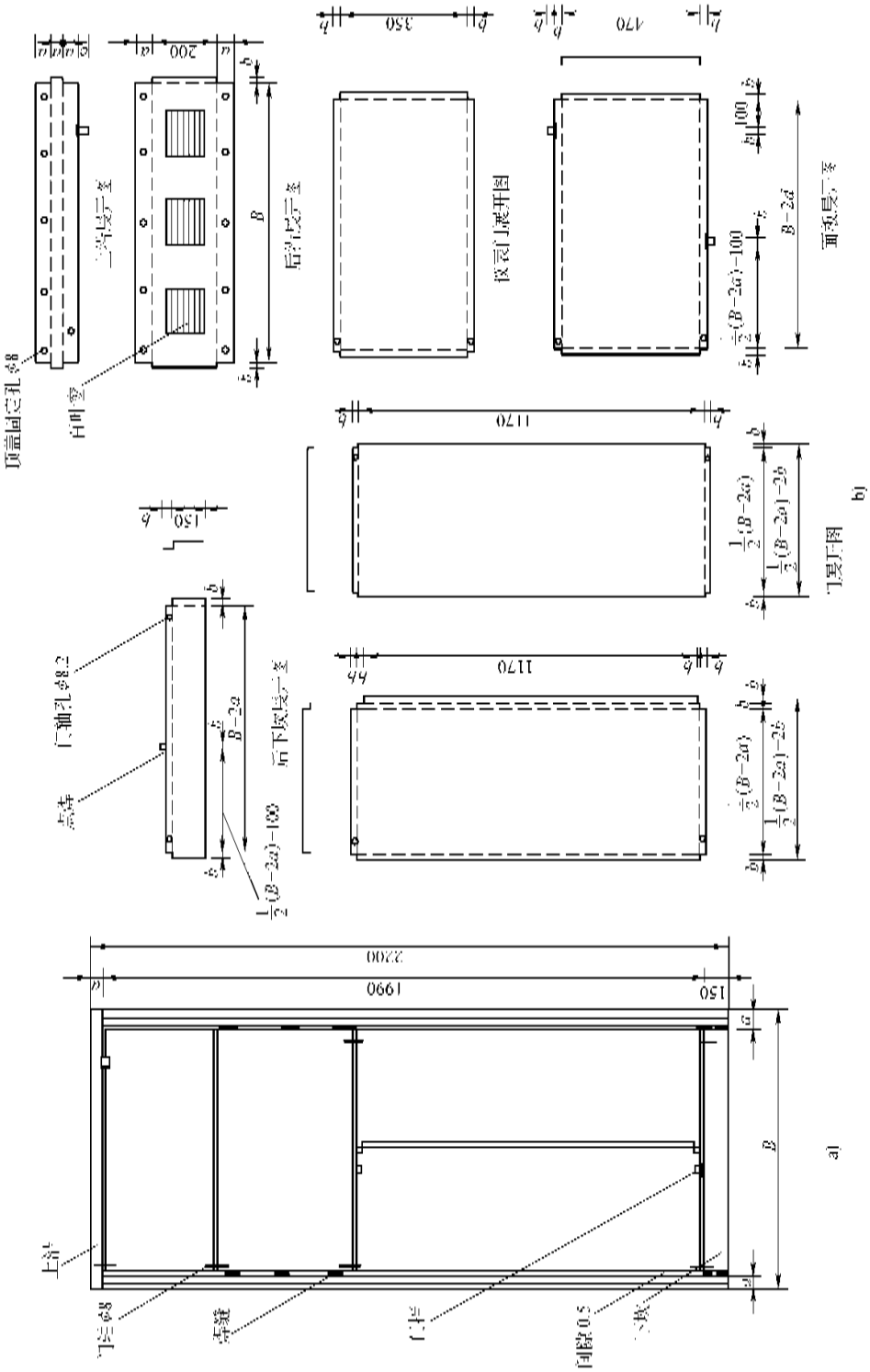


图 3-100 PGL 系列低压柜结构示意图（二）

a）前脸剖面图 b）各部件展开图

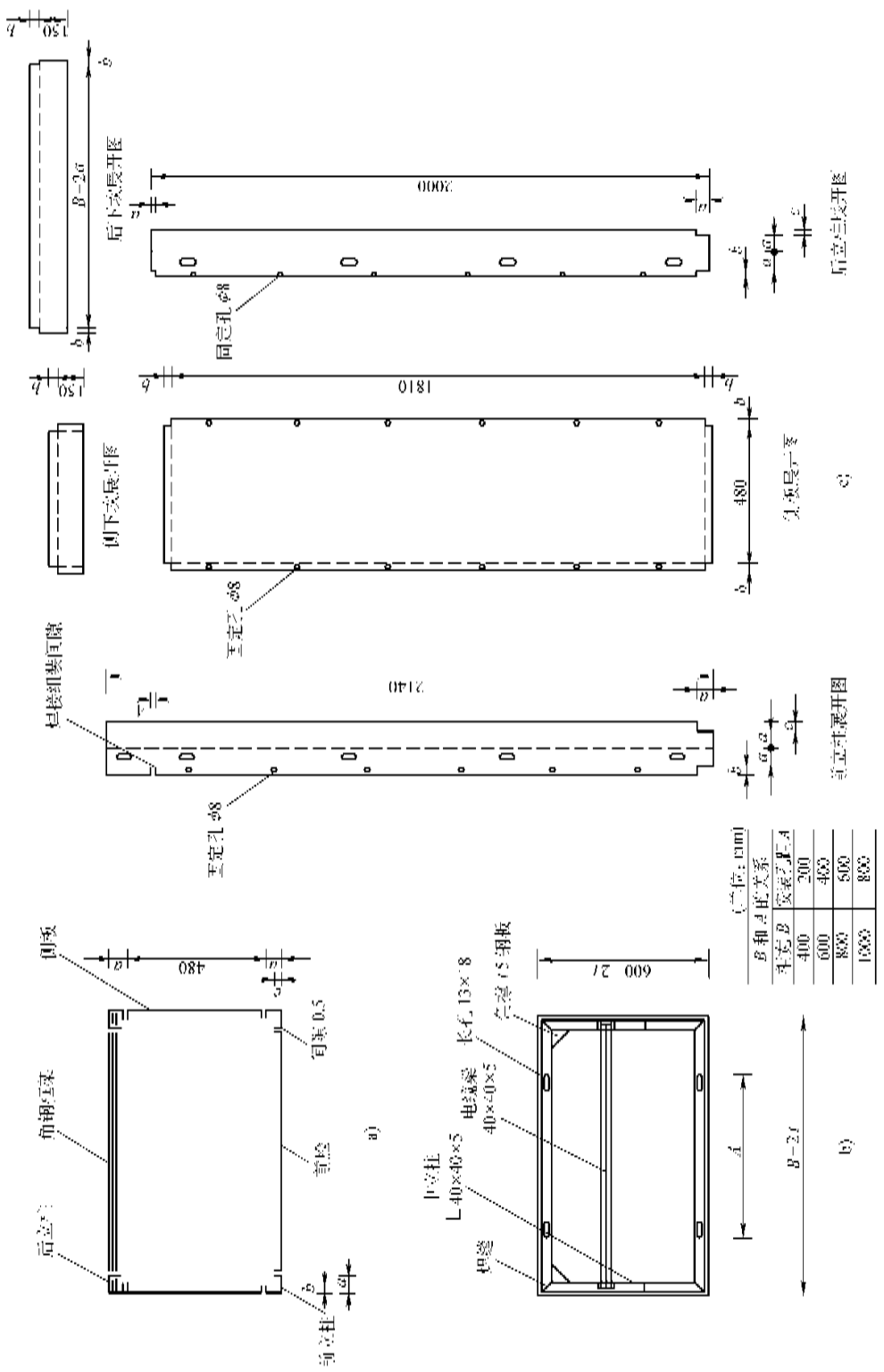


图 3-101　PGL 系列低压柜结构示意图（三）

a）柜体截面图　b）低框架平面结构图　c）各部展开图

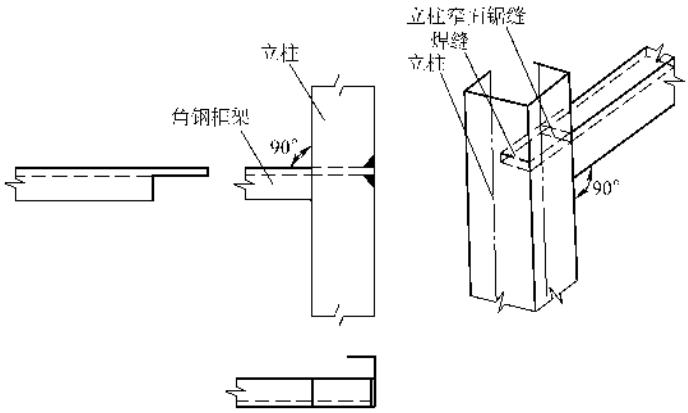


图 3-102 角钢和立柱焊接示意图

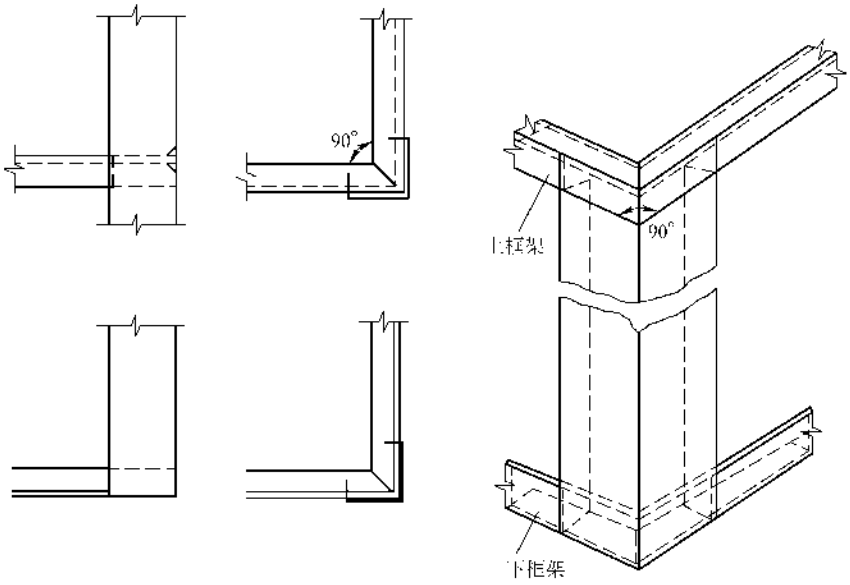


图 3-103 上下框架和立柱连接示意图

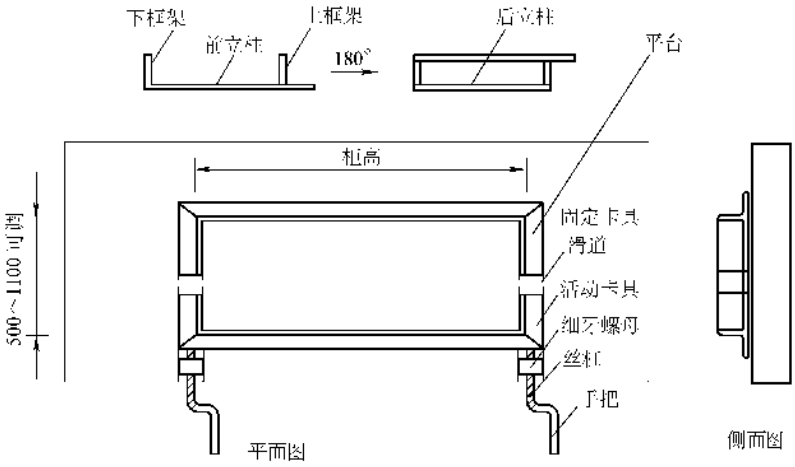


图 3-104 焊接组装卡具示意图

⑧　用同样的方法把侧下坎、后下坎焊接好，要求同上。

2）除锈、喷漆处理同控制柜，将骨架、门板、仪表板，侧板电器梁全部除锈、喷漆、烘干。

3）装配仪表板、柜门和电器梁，并开锁孔、装锁。

4）电气装配及配线同控制柜，成束的总控制线竖直方向应捆扎在拉板上，小型控制熔断器也应装在拉板上。如有 DW15 系列大型断路器，则应根据其安装结构再配置电器梁，有时再增加一根中立柱，这样可将 DW15 型断路器安装在水平的两根电器梁上（槽钢），再进行调整，见图 3-105。如果 DW15 型断路器体积超过允许范围，可增加按系列尺寸柜的宽和深度。

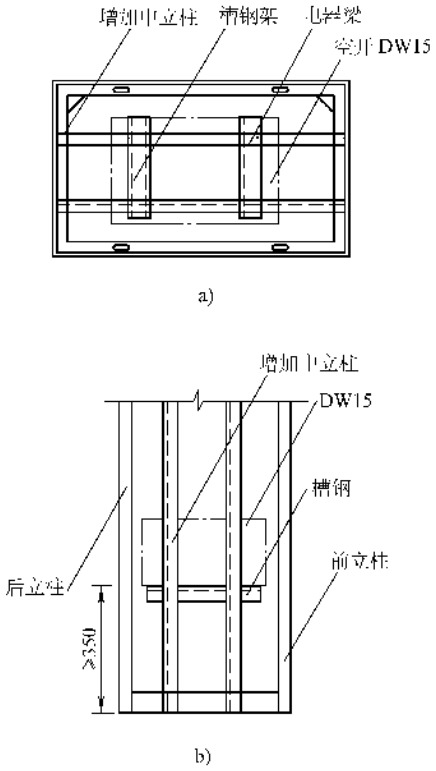


图 3-105　DW 15空气开关安装示意图

a）平面图　b）侧立面图

5）电气调整及试验基本同控制柜，现在只说明一点值得注意的地方。断路器国内生产厂家产品性能符合标准，但有些产品存在电动合闸合不上，手动拉闸拉不开的现象。通常处理的办法是将合闸的电磁铁垫高，使衔铁吸合行程缩短增加吸力，进而保证可靠吸合。具体垫的高度以实测为准，不作规定，一般是将固定电磁铁的螺钉松开，在其下面垫上平光垫，然后再拧紧即可。

手动分闸拉不开时，通常是在传动部位、转轴、拉钩等上面点一点缝纫机油，即可手到病除。

进口产品也有个别的存在上述毛病，即用同样方法处理。

6）将侧板用螺栓固定在柜体两侧，侧板的面应和立柱的面平，因此在内柱和侧板上钻孔时位置必须准确。

7）固定后沿。后沿是由螺栓固定在上框架上的，后面应和后立柱后面平，且垂直于上框架。因此开孔要准确，折边尺寸要卡好。

8）固定母线支托。在上框架的侧梁上开孔要准确一致，否则不能保证母线在一条直线上。母线支托应使用成品件。

9）柜顶盖板固定在前后沿上，通常用螺栓固定，柜顶盖板的下料应为 $A\times600\text{mm}^2$。

10）将门锁及标签框装好。

11）包装及运输同控制柜。

（二）封闭式 GGL1 系列低压开关柜的制作要点

GGL1 系列低压开关柜的外形及外型尺寸见图 3-106和表 3-41。

该柜为全封闭式、前后开单门，柜顶有母线盒，可和母线桥连接。柜内选用 ME 系列开关元件，各种元件安装在模数孔上，采用行线槽配线。

（三）封闭抽屉式 BFC 系列低压开关柜制作要点

（1）BFC-2B 低压抽屉式开关柜　BFC-2B 型低压抽屉式开关柜的主要特点是将各个单元回路的主要电器元件安装在抽屉中或制成手车。主、支母线采用绝缘被覆，支母线间装有绝缘隔板，防止短路事故扩散。开关柜的骨架由钢板弯制件与角钢焊接而成，按其结构可分为 DW 型断路器柜、DW914 型断路器柜、单面抽屉柜和双面抽屉柜四种。

DW 型断路器柜主要安装 DW5 和 DW95 系列断路器，一律制成手车式；手车具有联锁装置，合闸后打不开抽屉，只有分闸后才能打开抽屉，开关的电源采用插接式，省掉刀开关。

DW914 型断路器柜主要安装 DW914 系列断路器，断路器本身为抽屉式，用推进机构推入试验位置或工作位置，并有联锁装置，电源采用插接式。

单面抽屉柜主要安装 DZ10 系列断路器、RT0 系列熔断器和 CJ10 系列接触器，全部制成抽屉式。

双面抽屉柜的前后两面均有抽屉单元，母线立放在柜的中间。

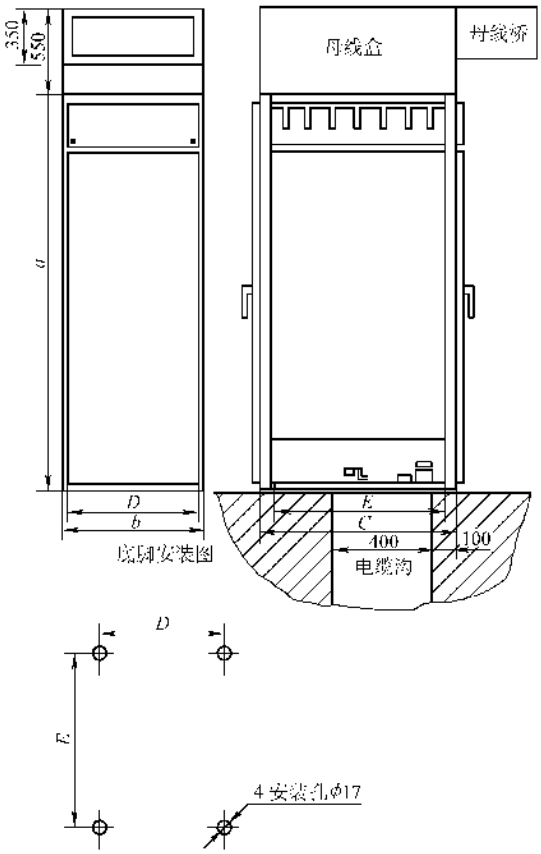


图 3-106 GGL1 固定式低压开关柜外形及安装尺寸

断路器柜及双面抽屉柜的外型尺寸为：2000mm×550mm×900mm（高×宽×深），单面抽屉柜的外型尺寸为：2000mm×550mm×520mm（高×宽×深），其中 DW 型断路器柜外型见图 3-107，DW914（AH）型断路器柜外型见图 3-108。

（2）BFC-20A 低压抽屉式开关柜　BFC-20A 型柜是在 BFC-2B 型柜基础上改进的，柜体由薄钢板冲压成型，整个装置以抽屉和框架等用螺钉组装而成。柜体分前后两大部分，前部为电器区，后部为母线及进出线电缆区，中间有档板间隔。按柜体结构可分为抽屉式、插入式和固定式三种。

动力中心（PC）选用 DWX15C 和 ME 断路器作主开关，均为插入式接线，有机械操作的合闸、试验和分闸位置，并沿导轨抽出或送进。

电动机控制中心（MCC）采用塑壳断路器，制成抽屉式结构，每一电器单元为一抽屉单元。电气设备安装固定在柜体横梁上，每一小室均用托板分隔。

抽屉单元分大中小三种，高度分别为 660mm、440mm、220mm，抽屉小室门与断路器有机械联锁装置。

母排采用三相四线或五线制，三相母线和零线在柜的上方，接地保护线在柜后底部，并与柜体金属构架紧密接触。上进线的开关柜，母排可通过母线槽联接。

外型结构及外型尺寸见图 3-109 和表 3-42。

（3）BFC 系列其他柜型见表 3-43。

表 3-41 GGL1 低压开关柜的外形及安装尺寸

编号	外形尺寸/mm			安装尺寸/mm	
	a 高	b 宽	c 厚	D	E
01	2000	600 800	1000	542 742	820
02					
03					
04		600		542	
05		600 800		542 742	
06		600		542	
07					
08		600 800		542 742	
09					
10		800		742	
11			600		420
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21		600		542	
22		800		742	
23		600		542	
24		800		742	
25		600		542	

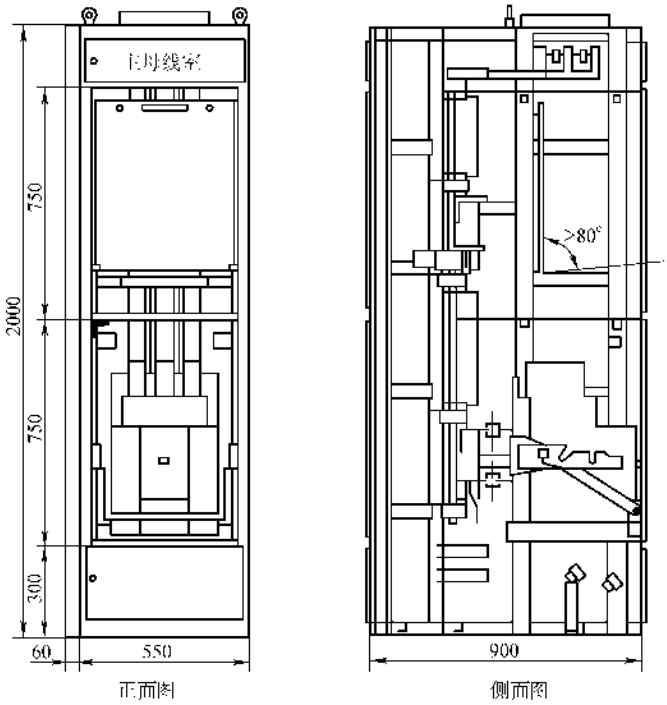


图 3-107　DW 断路器柜的外形尺寸

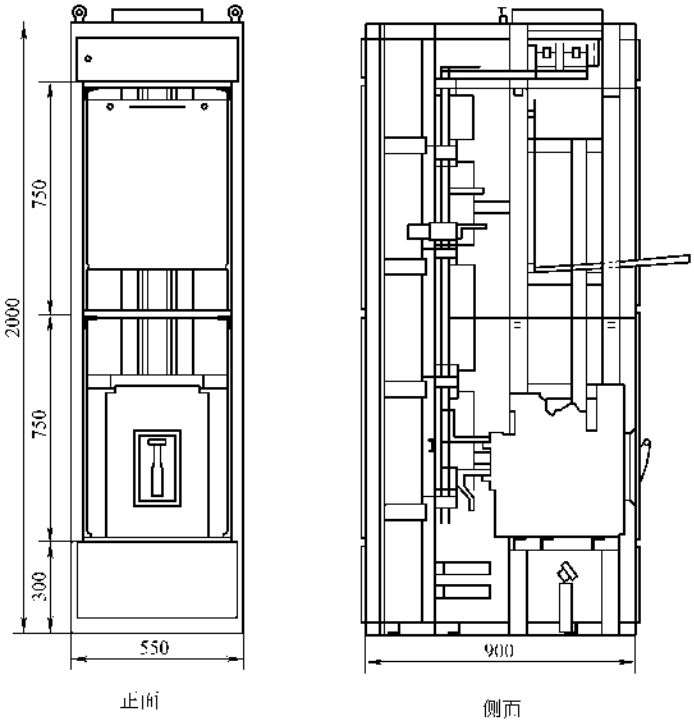


图 3-108　DW914（AH）型断路器柜外形尺寸

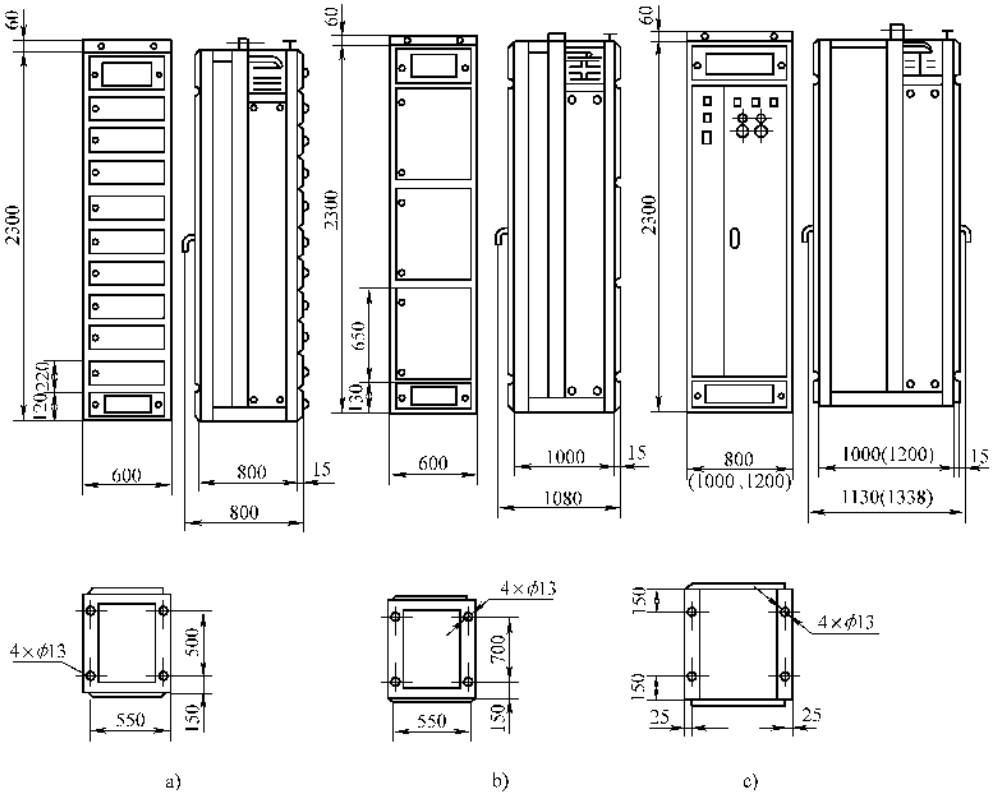


图 3-109 BFC-20A 开关柜外形及安装尺寸

表 3-42 BFC-20A 开关柜柜体外型尺寸

柜类		外型尺寸			见图 3-109	每柜
		深/mm	宽/mm	高/mm		
MCC 柜		1000	600	2360	a	
PLC 柜	DWX15C-400/600	1000	600	2360	b	3
	ME630-1600A	1000	800	2360	c	2
	ME2000/2500A	1000	1000 (1200)①	2360	c	1
	ME3200A	1000	1200	2360	c	1
	ME4000A	1000	1200	2360	c	1

① 联络柜装 ME-2000A、2500A 柜宽 1200mm。

表 3-43　BFC 系列低压开关柜概况

柜　型	内　　容		
	结构特征	技术数据	主要元件
BFC-10A	抽屉结构用万能式 ME 空气断路器，250A 低压断路器 固定结构超过 250A 回路 外形尺寸（宽）×（深）×（高）：600（900）mm×800mm×2000mm	额定电压 500V 以下额定电流 低压断路器 100～1600A 刀熔开关 100～600A 接触器 10～400A	万能式空气断路器ME630～1600 DW94-800～1500 低压断路器 DZ20-100～630 熔断器 RT0 电流互感器 LYM1-0.5、LM-0.5
BFC-12D BFC-12S BFC-12C	外形尺寸（宽）×（深）×（高）： －12D 单面组合柜 800mm×600mm×2300mm －12S 双面组合柜 800mm×1200mm×2300mm －12C 手车柜 800mm×800mm×2300mm	额定电压 380V 额定电流 10～1600A	万能式空气断路器DW15-600～1500 ME-1600A 低压断路器 DZ20-100～250 熔断器 RT0100～600 电流互感器 LM-0.5
BFC-15	外型尺寸（宽）×（深）×（高）： A 型手车柜 700mm×900mm×2100mm B 型抽屉柜 700mm×60mm×2100mm	额定电压 380V 额定电流 A 型 1500A 以下 B 型 600A 以下	万能式空气断路器 DW600～1500 低压断路器 DZ20-100～600 熔断器 RT050～400 电流互感器 LMZJ、LMK
BFC-20B	抽屉结构，抽屉高分 660mm、440mm、220mm 三种 外形尺寸（宽）×（深）×（高）：700mm×800mm×2340mm、1000mm×800mm×2340mm、900mm×800mm×2340mm、1200mm×800mm×2340mm	额定电压 380V 660V 额定电流 20～3200A	万能式空气断路器ME630～3900 DW15C 低压断路器 DZ20-100～600 熔断器RT050～1000、aMgF16～125、NT 型 HRC 熔断器
BFC-21Ⅱ	抽屉式，固定式两种 外形尺寸（宽）×（深）×（高）：600mm×800mm×2360mm、600mm×1000mm×2360mm、800mm×1000mm×2360mm、1000mm×1000mm×2360mm、1200mm×1200mm×2360mm	额定电压 500V 额定电流 10～4000A	万能式空气断路器ME630～4000 DWX15C400～600 低压断路器 DZ20-100～630 刀熔开关 HR3-400 熔断器 NT400、RT0400
BFC-30	抽屉结构，抽屉高分 200mm、400mm、450mm、900mm、1800mm 五种 外形尺寸（宽）×（深）×（高）：600（900）mm×900mm×2200mm	额定电压 380V 额定电流 10～2500A	万能式空气断路器 ME630～2500 低压断路器 DZ20-100～250 刀熔开关 HR5-100～600 熔断器 NT、电流互感器 LMZ1
BFC-50	组合装配抽屉式结构 PC 柜抽屉高度分 900mm、1800mm， MCC 柜抽屉高分 200mm、400mm、600mm 三种 外形尺寸（宽）×（深）×（高）：600（800、1000）mm×800mm×2200mm	额定电压 380V 额定电流 10～2500A	万能式空气断路器ME630～4005 DWX15C400～630 低压断路器DZ20-100～630 DZX-100～630

随着国民经济的发展、技术的进步、生产和生活的需要及计算机技术的发展，各种新型、新款及功能齐全的电气柜层出不穷，这里不能一一介绍。本章本节的编写也只是抛砖引玉，讲述基本制作方法和程序要点，关于新型新款的电气柜读者可参考相关专著。

六、自动化仪表控制柜的制作

自动化仪表控制柜制作遵循的原则、通用技术要求、制作工艺程序、制作要点、电气部分试验与电气箱柜基本相同，不同的内容主要是柜内的仪表、元器件的测试试验及整机试验。

（一）仪表柜

仪表柜从结构上与电气箱柜基本相同，但是工作原理却大不相同。仪表柜上的测量仪表、控制仪表、记录仪表、显示仪表、调节仪表、转换器、微机控制装置等的测量信号、参数的来源都是来自工业生产的现场，这些信号参数是通过管路、导线由现场的一次仪表或变送器送来的。因此仪表柜的接口很多，有温度、压力/差压、流量物位、成分分析或机械量的各不同，这是按这个测量控制系统所有测量控制参数决定的。同时配以一些电气控制元器件开关等。

这里仅以一台 35t/h 蒸汽锅炉仪表柜为例加以说明，见图 16-66，图中设备元件见表 16-15。元件功能作用见第十六章第五节仪表盘、柜、箱的安装规定要求的相关内容。

有关柜体各结构面的尺寸及开孔应以实体测量为准，折边、开孔、组装焊接、喷漆与电气柜相同，不再赘述。

（二）柜上仪表及整机试验要求

主要包括单台仪表及附件的校准及试验、仪表电源设备的试验、综合控制系统的试验和回路的试验等。

1. 一般规定

1）仪表在安装前，应进行检查、校准和试验，确认符合设计文件要求及产品技术文件所规定的技术性能。

2）仪表安装前的校准和试验应在室内进行（方法详见第五章相关内容），试验室应具备下列条件：

① 室内清洁、安静、光线充足，无振动，无对仪表及线路的电磁场干扰。

② 室内温度保持在 10～35℃；

③ 有上下水设施。

3）仪表试验的电源电压应稳定。交流电源及 60V 以上的直流电源电压波动不应超过 ±10%。60V 以下的直流电源电压波动不应超过 ±5%。

4）仪表试验的气源应清洁、干燥，露点比最低环境温度低 10℃以上。气源压力应稳定。

5）仪表工程在系统投用前应进行回路试验。

6）仪表回路试验的电源和气源宜由正式电源和气源供给。

7）仪表校准和试验用的标准仪器仪表应具备有效的计量检定合格证书，其基本误差的绝对值不宜超过被校准仪表基本误差绝对值的 1/3。

8）仪表校准和试验的条件、项目、方法应符合产品技术文件的规定和设计文件要求，并应使用制造厂已提供的专用工具和试验设备。

9）对于施工现场不具备校准条件的仪表，可对检定合格证书的有效性进行验证。

10）设计文件规定禁油和脱脂的仪表在校准和试验时，必须按其规定进行。

11）单台仪表的校准点应在仪表全量程范围内均匀选取，一般不应少于 5 点。回路试验时，仪表校准点不应少于 3 点。

2. 单台仪表的校准和试验

1）指针式显示仪表的校准和试验。

① 面板清洁，刻度和字迹清晰；

② 指针在全标度范围内移动应平稳、灵活。其示值误差、回程误差应符合仪表准确度的规定；

③ 在规定的工作条件下倾斜或轻敲表壳后，指针位移应符合仪表准确度的规定。

2）数字式显示仪表的示值应清晰、稳定，在测量范围内其示值误差应符合仪表准确度的规定。

3）指针式记录仪表的校准和试验。

① 指针在全标度范围内的示值误差和回程误差应符合仪表准确度的规定；

② 记录机构的划线或打印点应清晰，打印纸移动正常；

③ 记录纸上打印的号码或颜色应与切换开关及接线端子上标示的编号一致。

4）积算仪表的准确度应符合产品技术性能要求。

5）变送器、转换器应进行输入输出特性试验和校准，其准确度应符合产品技术性能要求，输入输出信号范围和类型应与铭牌标志、设计文件要求一致，并与显示仪表配套。

6）温度检测仪表的校准试验点不应少于两点。直接显示温度计的示值误差应符合仪表准确度的规定。热电偶和热电阻可在常温下对元器件进行检测，

不进行热电性能试验。

7）压力、差压变送器的校准和试验除应按第五章第十三节自动化仪表的测试和试验的要求外，还应按设计文件和使用要求进行零点、量程调整和零点迁移量调整。

8）对于流量检测仪表，应对制造厂的产品合格证和有效的检定证明进行验证。

9）浮筒式液位计可采用干校法或湿校法校准。干校挂重质量的确定，以及湿校试验介质密度的换算，均应符合产品设计使用状态的要求。

10）贮罐液位计、料面计可在安装完成后直接模拟物位进行就地校准。

11）称重仪表及其传感器可在安装完成后直接均匀加载标准重量进行就地校准。

12）测量位移、振动等机械量的仪表，可使用专用试验设备进行校准和试验。

13）分析仪表的显示仪表部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准。其检测、传感、转换等性能的试验和校准，包括对试验用标准样品的要求，均应符合产品技术文件和设计文件的规定。

14）单元组合仪表、组装式仪表等应对各单元分别进行试验和校准，其性能要求和准确度应符合产品技术文件的规定。

15）控制仪表的显示部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准，仪表的控制点误差，比例、积分、微分作用，信号处理及各项控制、操作性能，均应按照产品技术文件的规定和设计文件要求进行检查、试验、校准和调整，并进行有关组态模式设置和调节参数预整定。

16）控制阀和执行机构的试验应符合下列要求：

①　阀体压力试验和阀座密封试验等项目，可对制造厂出具的产品合格证明和试验报告进行验证，对事故切断阀应进行阀座密封试验，其结果应符合产品技术文件的规定；

②　膜头、缸体泄漏性试验合格，行程试验合格；

③　事故切断阀和设计规定了全行程时间的阀门，必须进行全行程时间试验；

④　执行机构在试验时应调整到设计文件规定的工作状态。

17）单台仪表校准和试验合格后，应及时填写校准和试验记录；仪表上应有合格标志和位号标志；仪表需加封印和漆封的部位应加封印和漆封。

3. 仪表电源设备的试验

1）电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻，用500V绝缘电阻表测量时不应小于5MΩ。当产品说明书另有规定时，应符合其规定。

2）电源的整流和稳压性能试验，应符合产品技术文件的规定。

3）不间断电源应进行自动切换性能试验，切换时间和切换电压值应符合产品技术文件的规定。

4. 综合控制系统的试验

1）综合控制系统应在回路试验和系统试验前对装置本身进行试验。

2）综合控制系统的试验应在本系统安装完毕，供电、照明、空调等有关设施均已投入运行的条件下进行。

3）综合控制系统的硬件试验项目

①　盘柜和仪表装置的绝缘电阻测量；

②　接地系统检查和接地电阻测量；

③　电源设备和电源插卡各种输出电压的测量和调整；

④　系统中全部设备和全部插卡的通电状态检查；

⑤　系统中单独的显示、记录、控制、报警等仪表设备的单台校准和试验；

⑥　通过直接信号显示和软件诊断程序对装置内的插卡、控制和通信设备、操作站、计算机及其外部设备等进行状态检查；

⑦　输入、输出插卡的校准和试验。

4）综合控制系统的软件试验项目

①　系统显示、处理、操作、控制、报警、诊断、通信、冗余、打印、复制等基本功能的检查试验；

②　控制方案、控制和联锁程序的检查。

5）综合控制系统的试验可按产品的技术文件和设计文件的规定安排进行。

5. 回路试验和系统试验

1）回路试验应在系统投入运行前进行，试验前应具备下列条件：

①　回路中的仪表设备、装置和仪表线路、仪表管道安装完毕；

②　组成回路的各仪表的单台试验和校准已经完成；

③　仪表配线和配管经检查确认正确完整，配件附件齐全；

④　回路的电源、气源和液压源已能正常供给并符合仪表运行的要求。

2）回路试验应根据现场情况和回路的复杂程度，按回路位号和信号类型合理安排。回路试验应做好试

验记录。

3）综合控制系统可先在控制室内以与就地线路相连的输入输出端为界进行回路试验，然后再与就地仪表连接进行整个回路的试验。

4）检测回路的试验

① 在检测回路的信号输入端输入模拟被测变量的标准信号，回路的显示仪表部分的示值误差，不应超过回路内各单台仪表允许基本误差平方和的平方根值。

② 温度检测回路可在检测元件的输出端向回路输入电阻值或 mV 值模拟信号。

③ 现场不具备模拟被测变量信号的回路，应在其可模拟输入信号的最前端输入信号进行回路试验。

5）控制回路的试验

① 控制器和执行器的作用方向应符合设计规定。

② 通过控制器或操作站的输出向执行器发送控制信号，检查执行器执行机构的全行程动作方向和位置应正确，执行器带有定位器时应同时试验。

③ 当控制器或操作站上有执行器的开度和起点、终点信号显示时，应同时进行检查和试验。

6）报警系统的试验

① 系统中有报警信号的仪表设备，如各种检测报警开关、仪表的报警输出部件和接点，应根据设计文件规定的设定值进行整定。整定值应由工艺技术人员提供。

② 在报警回路的信号发生端模拟输入信号，检查报警灯光、音响和屏幕显示应正确。报警点整定后宜在调整器件上加封记。

③ 报警的消音、复位和记录功能应正确。

7）程序控制系统和联锁系统

① 程序控制系统和联锁系统有关装置的硬件和软件功能试验已经完成，系统相关的回路试验已经完成。

② 系统中的各有关仪表和部件的动作设定值，应根据设计文件规定或工艺技术人员提供的数据进行整定。

③ 联锁点多、程序复杂的系统，可分项和分段进行试验后，再进行整体检查试验。

④ 程序控制系统的试验应按程序设计的步骤逐步检查试验，其条件判定、逻辑关系、动作时间和输出状态等均应符合设计文件规定。

⑤ 在进行系统功能试验时，可采用已试验整定合格的仪表和检测报警开关的报警输出接点直接发出模拟条件信号。

⑥ 系统试验中应与相关的专业配合，共同确认程序运行和联锁保护条件及功能的正确性，并对试验过程中相关设备和装置的运行状态和安全防护采取必要措施。

七、高压开关柜制作要点及规定

高压开关柜的类型有很多，主要有 KGN 系列铠装固定式户内交流金属封闭开关柜、KYN 系列铠装移开式户内金属封闭开关柜、XGW 系列箱型固定式户外交流金属封闭开关柜、HXGN 系列箱型固定式户内交流金属封闭开关柜、XYN 系列箱型移开式户内交流金属封闭开关柜、JYN 系列间隔移开式户内交流金属封闭开关柜、YB 系列和 YBM 系列高压/低压预装式变电站等。

高压开关柜的制作工艺程序基本与低压开关柜相同，不同的是由于电压等级的增加，在制作工艺、程序、人员技术能力、装备能力及精度、管理机制和人员等方面都有更高的要求，特别是对其设备、元件、材料的质量、测试及试验，成品测试及试验则是制作加工的重中之重，这里着重讲述常用几种高压开关柜的制作要点和开关柜制作的有关规定。

1. KGN5-12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关柜

主要技术参数见表 3-44，一次主接线见表 3-45。

表 3-44 KGN5-12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关柜主要技术参数

项目	单位	参数	项目		单位	参数
额定频率	Hz	50	额定开断电流		kA	31.5
额定电压	kV	10	1min 工频耐受电压	对地	kV	42
额定电流	A	630/2000		隔离断口间		48
额定主母线电流	A	3150	雷电冲击耐受电压	对地	kV	75
额定热稳定电流	kA	31.5		隔离断口间		85
额定动稳定电流(峰值)	kA	80	外形尺寸		mm	2600×1100×1200、2200×1100×1500
额定热稳定时间	s	4				

表 3-45　KGN5-12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关柜一次主接线

编号	01	02	03	04	05	06	07
一次线路图							

编号	08	09	10	11	12	25	26
一次线路图							

编号	27	28	53	54	55	67	68
一次线路图							

编号	75	94	95	101	115	116	117
一次线路图				6个回路			

编号	118	119	120	121	122
一次线路图					

注：额定电压为 3.6kV、7.2kV、12kV。

KGN5-12 型开关柜被接地金属隔板分为互相隔离的上（主母线和母线侧隔离开关）、中（真空断路器）、下（线路侧隔离开关）隔室，结构简单。

该柜可配用真空断路器和操动机构一体的 ZN12、ZN28E 等断路器，也可配用分体式真空断路器，配用分体式断路器时可选用 CT8、CT17、CT19、CD10 等操动机构。

具有可靠的机构闭锁装置（五防装置）：断路器与隔离开关之间设有机械联锁，防止带负载分、合隔离开关；上、下门与隔离开关操动机构之间设有机械联锁，防止误入带电间隔；断路器操作手柄装有红、绿翻牌，防止误分、误合断路器；下门内设有接地装置，防止带电挂接地线，同时防止带接地线合开关。其外形示意如图 3-110 所示。

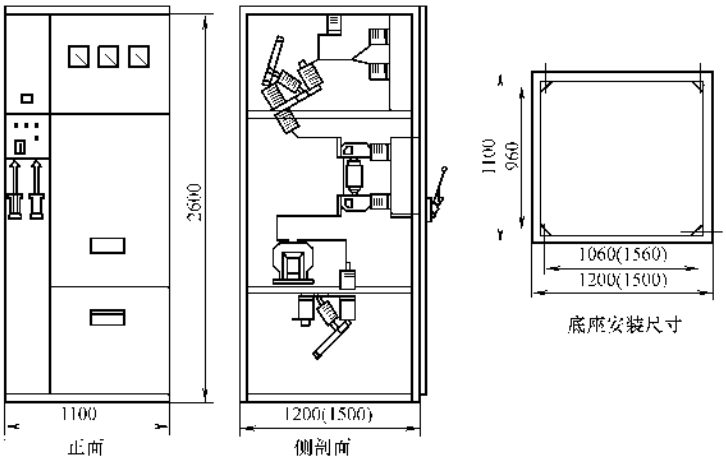


图 3-110　KGN5-12 型铠装固定式户内交流金属封闭开关柜外形示意图

2. KYN9-12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关柜

主要技术参数见表 3-46，一次主接线见表 3-47。

KYN9-12 型开关柜结构采用钢板弯制焊接而成，由固定的柜体和可移开部件两部分组成。柜体用接地的金属板分隔成手车室、母线室、电缆室和继电仪表室，制成金属封闭铠装式开关设备，整柜具有 IP3X 的防护等级。

表 3-46　KYN9-12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关柜主要技术参数

项　　目	单位	参数	项　　目			单位	参数
额定电压	kV	12	额定峰值耐受电流			kA	80、100
额定电流	A	1250、3000	额定绝缘水平	1min 工频耐受电压	断口间	kV	48
额定短路开断电流	kA	31.5、40			相间、相对地		42
4s 额定短时耐受电流	kA	31.5、40		冲击耐受电压	断口间	kV	85
额定短路关合电流(峰值)	kA	80、100			相间、相对的		75
			真空断路器的机械寿命			次	10000

表 3-47　KYN9-12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关柜一次主接线

编号	01	02	03	05	06	07	09
一次线路图							

（续）

编号	10	11	13	14	15	17	18
一次线路图							

编号	19	20	21	23	24	25	27
一次线路图							

编号	28	29	30	31	33、34	35	36
一次线路图							

编号	37	38	39	40	41	42	43
一次线路图							

编号	44	45	46	47	48	51	53～56
一次线路图							

开关架用钢板弯制而成，底部有轮子，其上装有接地触头、导向装置、脚踏锁定装置、蜗轮蜗杆推进机构，进出省力方便。

开关柜可采用 ZN27 及 ZN28 两系列的真空断路器，操动机构可为直流电磁及弹簧操动机构。

柜内采用空气绝缘，不设任何绝缘隔板，相间、相对地空气绝缘距离大于 125mm，柜内有机绝缘件爬距大于 240mm，使手车柜满足全工况的绝缘要求。

其外形结构示意如图 3-111 所示。

3. HXGN2-12 型箱式固定户内交流金属封闭开关柜（环网柜）

主要技术参数见表 3-48，一次主接线见表 3-49。

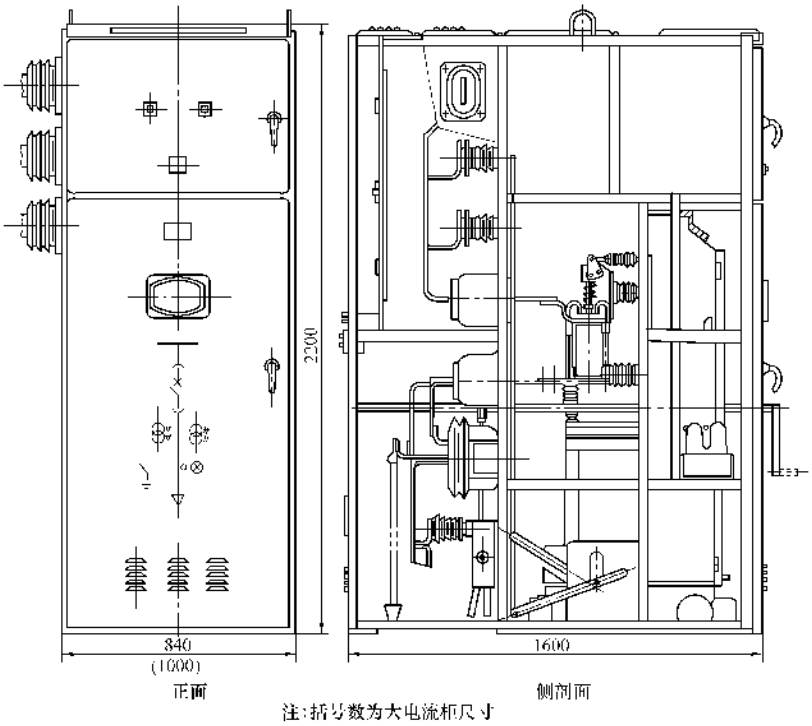


图 3-111 KYN9-12 型铠装移开式户内交流金属封闭开关柜外形示意图

表 3-48 HXGN2-12 型箱式固定户内交流金属封闭开关柜主要技术参数

项目		单位	负荷开关柜	负荷开关熔断器柜
额定电压		kV	10	10
额定电压		kV	12	12
额定频率		Hz	50	50
额定电流	主母线	A	630	630
	负荷开关	A	630	630
熔断器最大额定电流		A		100(125)
额定短路 2s 耐受电流		kA	20	取决于熔断器
额定峰值耐受电流		kA	50	取决于熔断器
额定短路关合电流		kA	50	取决于熔断器
额定开断电流	有功负载电流	A	630	630
	闭环回路电流	A	630	630
	空载变压器	kVA		1250
	电缆充电电流	A	25	25
最大开断电流 ≤		A	5000(10000)	5000(10000)
额定开断转移电流或交接电流		A		2000
额定短路开断电流		kA		31.5
工频耐受电压 相间及对地/断口		kV	42/48	42/48
雷电冲击耐受电压 相间及对地/断口		kV	75/85	75/85
保护等级			IP2X	IP2X

表 3-49　HXGN2-12 环网柜一次主接线

编号	01	02	03	04	05	06	07	08
一次线路图								

编号	09	10	11	12	13	14	15	17
一次线路图								

编号	18	19	20	21	22	23
一次线路图						

HXGN2-12 型环网柜是具有三工位的高压开关设备，即隔离、关合、接地。隔离开关与接地开关具有目视可见的断口，负荷开关是上下直动式，真空负荷开关与隔离开关具有自动联动的功能，即真空负荷开关分断后隔离开关自动断开，以形成可见断口，当负荷开关合闸时，隔离开关自动先行闭合。负荷开关与接地开关具有严格的机械联锁及电气联锁，在结构上保证了两者不可能出现误动作，亦即负荷开关处于合闸位置时，接地开关不可能进行合闸操作，只有负荷开关分断后方可进行合闸操作。反之，当接地开关处于闭合位置时，负荷开关不能合闸。隔离、负荷、接地开关具有相同的动热稳定倍数。其外形示意如图 3-112所示。

4. XYN2-6 型箱式移开户内交流金属封闭开关柜主要技术参数见表 3-50，一次接线见表 3-51。

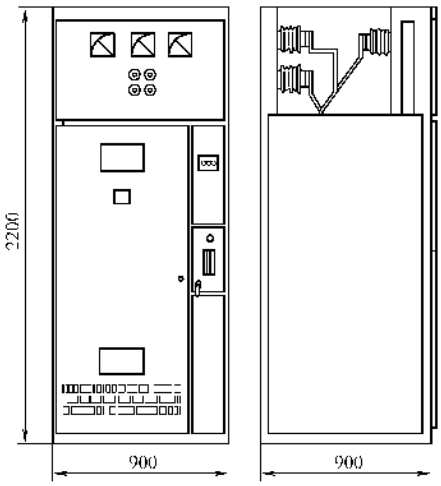
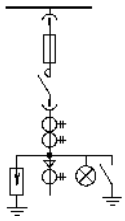
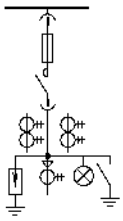
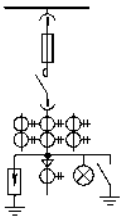
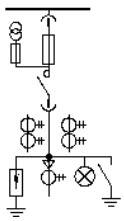
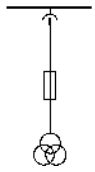
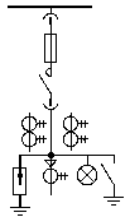
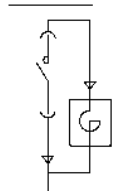


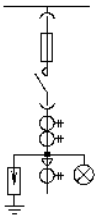
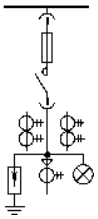
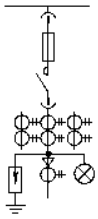
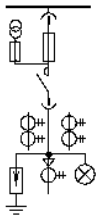
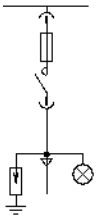
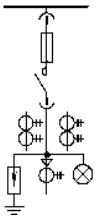
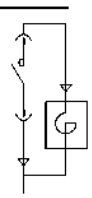
图 3-112　HXGN2-12 型环网柜外形示意图

表 3-50 XYN2-6 型箱式移开户内交流金属封闭开关柜主要技术参数

项目		单位	参数		项目		单位	参数	
额定电压		kV	3.6	7.2	4s 热稳定电流	主母线	kA	50	40
额定电流	主母线	A	1250～3150			(F-C)回路		4	
	(F-C)回路		224		动稳定电流	主母线	kA	100	100
预期极限开断电流		kV	50	40		(F-C)回路		40	
冲击耐受电压		kV	40	60	机械寿命(带闭锁/不带闭锁)		万次	1/25	
工频耐受电压		kV	25	30					

表 3-51 XYN2-6 型箱式移开户内交流金属封闭开关柜一次接线

编号	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
一次线路图											

编号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
一次线路图											

XYN2-6 型开关柜柜体由优质钢板弯制成形后经焊接组合。外表经静电喷漆，美观耐用。柜内分为母线室、手车室、继电器和电缆室，并设有通气道。每个柜内装置两台手车，可分别抽出和投入运行。其外形示意如图 3-113 所示。

5. JYN7-12 型间隔移开式户内交流金属封闭开关柜

主要技术参数见表 3-52，一次主接线见表 3-53，具有防火灾、无爆炸、无噪声、操作过电压低、维修周期长等特点，用于 3～10kV 母线系统作为接受和分配电能之用。

JYN7-12 型开关柜外壳用钢板或绝缘板分隔成手车室、母线室、电缆室和低压室四个部分，制成金属封闭间隔式开关设备。外壳防护等级为 IP3X，当手车处于试验或隔离位置时外壳防护等级为 IP2X。

开关柜的结构用 2.5mm 厚钢板弯制后用螺栓组装而成标准型开关柜。整个柜由固定的外壳和装有滚轮的可移开部件（以下简称手车）两部分组成。①开关柜的宽度尺寸变化有额定电流≤1250A 时宽度为 800mm；额定电流 1600～2500A 时宽度为 1000mm。②带有增大的低压室的开关柜高度为 2200mm。开关柜的深度还可有下列变化：1120mm 为标准型开关柜，1200mm 用于防虫害型开关柜其设计类似于标准开关柜，但向前伸延 80mm 并用门锁住；1270/1350mm、1570/1650mm，标准型开关柜的后部向后扩展 150mm、450mm，为母线室和电缆室提供更多的安装空间；1920～2000mm，标准型开关柜的后部向后扩展 800mm 作为连线计量柜用，也可作为安装较大的设备（如变压器）。其外形示意如图 3-114 所示。

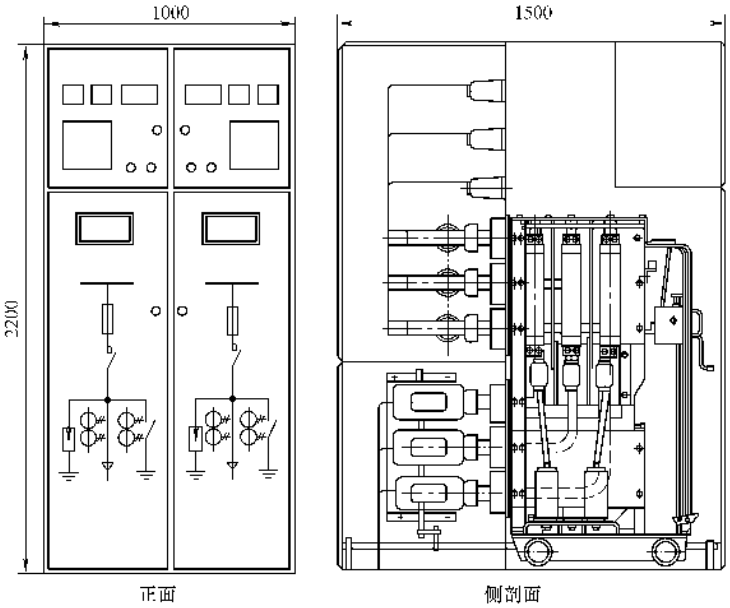


图 3-113　XYN2-6 型箱式移开户内交流金属封闭开关柜外形示意图

表 3-52　JYN7-12 型间隔移开式户内交流金属封闭开关柜主要技术参数

项目			单位	参数								
额定电流			kV	3.6、7.2、12								
额定电流	HB 型断路器		A	1250	1600	2000	2500	1250	1600	2000	2500	3150
	BA/BB 型	标准型		630、1250	1600	2000	2500	1250	1600	2000	2500	
	开关型	防虫类型		630、1250	1000	2000	2500	1250	1600	2000		
	BA/BB	防弧型		630、1250	1000	2000	2500	1250	1000	2000		
	母线			1250～3150								
额定短路开断电流	$U \leqslant 10$kV		kA					43.5				50/7.2
	$U=12$kV			25				40				
关合电流(峰值)	$U \leqslant 10$kV		kA	73				110				128
	$U=12$kV			63				100				
动稳定电流(峰值)			kA	80				110				128/7.2
热稳定电流/时间			kA/s	25/2				43.5/2				50/1
一次母线动稳定电流(峰值)			kA	80				110				125

表 3-53　JYN7-12 型间隔移开式户内交流金属封闭开关柜一次主接线

编号	01	02	03	04	05	06	07	08
一次线路图								

（续）

编号	09	10	11	12	13	14	15	16
一次线路图								

编号	17	18	19	20	21	22	接地手车Ⅰ	接地手车Ⅱ
一次线路图								

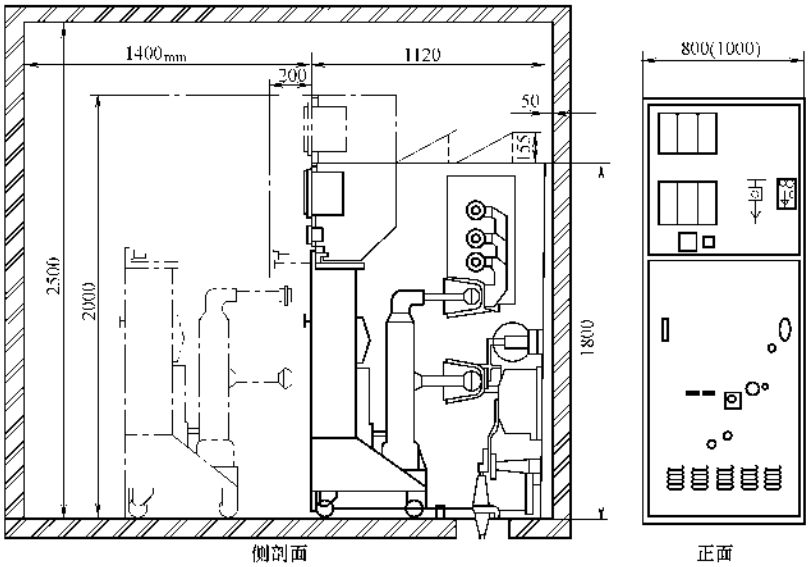


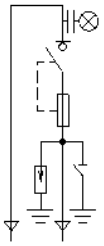
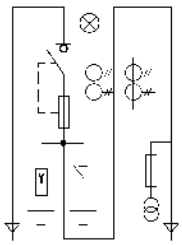
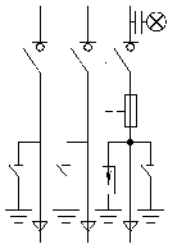
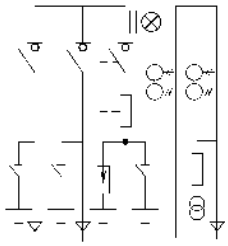
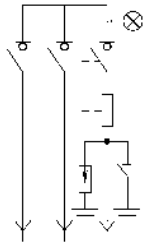
图 3-114　JYN7-12 型间隔移开式户内交流金属封闭开关柜外形示意图

6. YBM(P)23-12/0.4 型高压/低压预装式变电所主要技术参数见表 3-54，一次主接线见表 3-55。用于一般的工业园区、民居小区及商贸集中区域，其中干式变压器是 H 级绝缘产品。

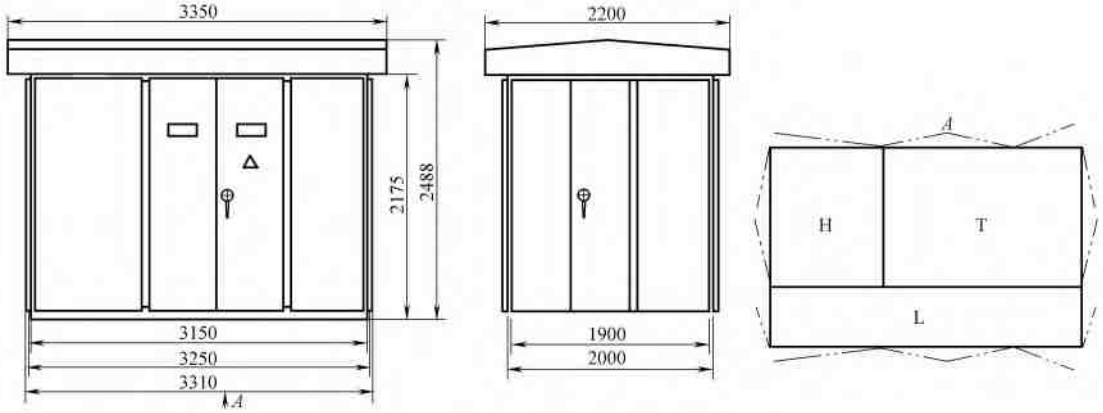
表 3-54　YBM（P）23-12/0.4 型高压/低压预装式变电所主要技术参数

项目		单位	参数		项目		单位	参数
高压单元	额定频率	Hz	50		低压单元	额定电压	V	380/220
	额定电压	kV	7.2	12		主回路额定电流	A	100～5000
	工频耐受电压(对地和相间/隔离断口)	kV	32/36	42/48		额定短时耐受电流	kA	15、30
						额定峰值耐受电流	kA	30、63
						支路电流	A	10～800
	雷电冲击耐受电压(对地和相间/隔离断口)	kV	60/70	75/85		分支回路数	路	1～12
						补偿容量	kvar	50～2000
	额定电流	A	400、630		变压器单元	额定容量	kVA	30～1600
	额定短时耐受电流(2s)	kA	12.5、16			阻抗电压	%	4
						分接范围	%	±2.5
	额定峰值耐受电流	kA	31.5、40			联结组标号		Yyn0

表 3-55　YBM（P）23-12/0.4 型高压/低压预装式变电所一次主接线

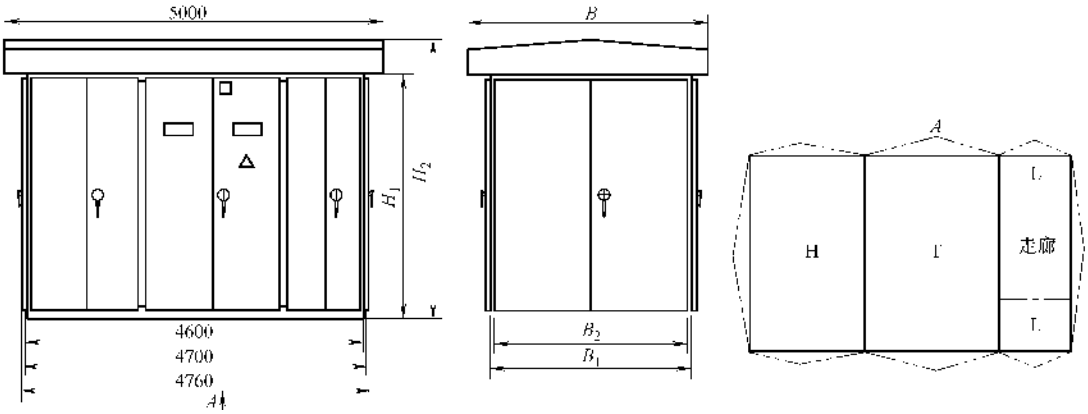
一次线路图					
分类	1. 终端　不带计量	2. 终端　带计量	3. 环网　不带计量	4. 环网　带计量	5. 双电源

YBM（P）23-12/0.4 型高压/低压预装式变电所采用目字型或品字型布局，按要求安装三相或单相变压器，高压环网柜可选用真空、压气式或 SF_6 负荷开关，低压侧可选用塑壳式断路器或万能断路器出线。整体系钢板冲压而成，由绝缘板分隔设备空间，主要用于 7.2～12kV 的环网系统和一般树干及放射系统，可取代传统的户内、外变电所。其外形示意如图 3-115和图 3-116 所示。



设计序号	电器配置范围 6kV、10kV 高压系统
606 YBP23A	变压器型号:SC8、SC9、SH11、S9-M、S8-M、S8、S9 容量:100～500kVA 高压方案:1□～5□高压柜型:VE1、XGN24、KYN28、KYN44 等 低压方案:1□～4□低压柜型:PGL、GGD、XL-21

图 3-115　YBM（P）23-12/0.4 型高压/低压型预装式变电所品字型布置示意图



设计序号	主要尺寸/mm		电器配置范围
	外形	安装	6kV、10kV 高压系统
603 YBM23C	$B=2600$ $B_1=2200$ $H_1=2675$ $H_2=2170$	$B_2=2100$	变压器型号:SC8、SC9、SH11、S9-M、S8-M、S8、S9 容量:500～1000kVA 高压方案:1□～5□高压柜型:VE1、XGN24、KYN28、KYN44 等 低压方案:1□～4□低压柜型:PGL、GGD、XL-21、GCK、GCL
604 YBM23E	$B=2800$ $B_1=2400$ $H_1=2500$ $H_2=2190$	$B_2=2300$	变压器型号:SC8、SC9、SH11、S9-M、S8-M、S8、S9 容量:500～1000kVA 高压方案:1□～4□高压柜型:VE1、XGN24、KYN28、KYN44 等 低压方案:1□～4□低压柜型:PGL、GGD、XL-21、GCK、GCL、BFC

图 3-116 YBM（P）23-12/0.4 型高压/低压型预装式变电所目字形布置示意图（低压走廊式）

7. 控制柜、开关柜制作的特殊规定

控制柜、开关柜、仪表柜作为电气工程、自动化工程中重要的装置，必须适应并符合安装使用的环境条件。因此，在制作的全过程中，从柜体外形制作及防护、开关元件材料及仪表选择、母线配置、二次回路装配、整机测试及试验等环节上必须遵守相应的特殊规定。

（1）电气设备防护等级

在控制柜、开关柜制作时要按其功能进行分类，并按其分类等级进行制作并确保达到分类等级的要求，一般有以下几种分类方式，见表 3-56。

根据对水和异物的侵入的保护程度进行分类。对

表 3-56 防护等级

防护等级	防止固体异物进入	防止接近危险部件
IP1×B	直径 50mm 及以上的物体	防止手指接近(直径 12mm、长 80mm 的试指)
IP2×	直径 12.5mm 及以上的物体	防止手指接近(直径 12mm、长 80mm 的试指)
IP2×C	直径 12.5mm 及以上的物体	防止工具接近(直径 2.5mm、长 100mm 的试棒)
IP2×D	直径 12.5mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0mm、长 100mm 的试验导线)
IP3×	直径 2.5mm 及以上的物体	防止工具接近(直径 2.5mm、长 100mm 的试棒)
IP3×D	直径 2.5mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0mm、长 100mm 的试验导线)
IP4×	直径 1.0mm 及以上的物体	防止导线接近(直径 1.0mm、长 100mm 的试验导线)
IP5×	尘埃 不能完全防止尘埃进入,但尘埃的进入量和位置不得影响设备的正常运行或危及安全	防止导线接近(直径 1.0mm、长 100mm 的试验导线)

水的保护程度分为防滴型、防雨型、防溅型、防喷射型、耐水型、防浸型、水中型、防湿型等，总称为防水型。

从异物侵入的保护程度区分，名称为防尘型和耐尘型。GB 4208—2008 规定了电器的防护等级。分类“IP”为国家防护等级符号，其后有两位数字。“IP”后的第一位数字表示防止人体触及或接近外壳内部的带电部分，防止异物进入外壳内部的防护等级。

“IP”后的第二位特征数字表示外壳防止由于进水而对设备造成有害影响的防护等级。

如只需单独标志一种防护形式的等级，则被略去数字的位置以“X”补充，例如 IPX3 或 IP3X。

（2）爆炸和火灾环境电气设备特殊规定

爆炸和火灾环境是指具有爆炸性气体或可能出现爆炸性气体、具有爆炸性粉尘或可能出现爆炸性粉尘及火灾危险环境或可能出现火灾危险环境（温度、可燃物具备条件时）三种特殊环境。为了保证这些环境电气设备的正常使用及运行，控制柜和开关柜在制作中必须遵守相关规定，以确保特殊环境的安全。这里仅把要点列出，详见第十三章相关内容。

1. 爆炸和火灾环境危险区域的分区。

2. 防爆电气设备的类型和标志。

3. 防爆电气设备安装要求（柜内组装）。

4. 火灾危险环境电气装置安装要求（柜内组装）。

5. 其他相关特殊规定和要求。

第四章　配合土建工程预埋管路及箱盒的施工

现代化建筑的标志之一，就是它的所有的电气线路，包括弱电系统的电气线路全部都是暗装，也就是导线或电缆穿入金属或非金属管内，埋设在建筑物里或者是建筑物特设置的电缆竖井里。在工业建筑里除了上述方法之外，在回路较多的系统中，则是把导线或电缆装设在金属或非金属的线槽中，沿着建筑物的墙壁明装敷设。除此之外，照明电路中的开关、插座，弱电系统的一些装置，以及动力电路中的开关、按钮箱等都是埋设在建筑物的墙壁上。

无论采用哪种方法都必须在土建工程施工中，将管路、接线盒、分线盒、开关箱的外壳、金属支架，铁件等，预埋在建筑物的墙内、地板下或顶棚、电缆竖井内。这个预埋的过程，就是配合土建施工。

第一节　预埋管路总体要求

配合土建施工是电气安装工程施工的第一步，应该在土建工程的土方工程结束后，砌筑基础工程刚开始时，电气安装人员即应进入施工现场，配合土建施工。在配合土建施工时，电气安装人员必须和土建施工人员及其他专业施工人员搞好协作关系，要互相帮助，互相理解，配合默契。只有这样，才能给后段安装打好基础；否则，将会发生堵管、丢盒等事故，会给安装带来极大的困难。这是每一个电气安装人员应该引起高度重视的。

配合土建施工，应充分掌握土建的结构和房间的布置以及装饰的要求，特别是要掌握楼板厚、墙厚、标高、梁和柱的截面、抹灰厚度等土建的基本数据，要做到心中有数，这对配合土建施工是有极大意义的。配合土建施工要随时掌握土建工程的进度，否则要遗漏预埋的项目。

一、准备工作及注意事项

1）开工前应将预埋的金属管路进行调查、除锈、吹除，然后内外刷防锈漆一道、风干，送往现场。如采用电线管可不必刷漆，因为电线管出厂时已内外刷漆。

2）送往现场的管材、盒，箱等材料，应进行外观、质量检查，不得有裂纹、破口、开焊及明显的机械损伤。敷设的管路其规格型号应符合设计要求。

3）配合土建施工的主要机具有电焊机、气焊工具及氧气、乙炔气，煨弯器和煨弯机、烘炉及吹风机、切管机、压力案子等，应随材料运到现场，装车前应检查是否能用。

4）配合土建施工使用的主要图样，如设备平面布置图、动力平面图、照明平面图、配电系统图、电缆清册、弱电系统的平面图以及有关土建结构、建筑的图样，应带到现场。

5）预埋好的管路其管口应包扎严实，以免异物落入；进入箱、盒的管口应清除毛刺，敞口水平放置的管口，应做成喇叭口，并焊好接地螺钉；应随时摆正已下好的竖管及盒，不得由土建工人或他人移位。

管路的材料及敷设方法很多，从材料上可分为电线管（薄壁钢管）、钢管（厚壁钢管）、防爆钢管、硬塑管、半硬塑管（阻燃硫化管）、金属软管等。从敷设方法上可按土建的结构（砖结构、混凝土结构、钢结构等）分明设、暗设等。这里需要说明的是，本书以暗配为主，明设为辅，一般建筑和工业建筑采用钢管，高层建筑采用电线管，其他方法由于篇幅的关系，不再讲述，读者可参照讲述的方法进行安装预埋。

二、具体要求

1）金属管路必须可靠接地（PE）或接零（PEN），镀锌钢管不得熔焊跨接标地线，应用专用接地卡且连线为截面不小于 $4mm^2$ 的铜芯软导线。非镀锌管螺纹连接处应焊接跨接线。

2）金属管严禁对口熔焊连接，镀锌管和壁厚小于等于 2mm 的钢管不得套管熔焊连接。

3）敷设在多尘或潮湿场所的电线保护管，其管口及其连接处均应密封良好。

4）电线保护管不宜穿过设备、建筑物、及构筑物的基础。如必须穿过时，应有保护措施；暗配电线保护管时宜沿最近的线路敷设，并应尽量减少弯曲。埋入建筑物、构筑物内的电线保护管，与其表面的距离不应小于 15mm 且用强度等级不小于 M10 的水泥砂浆抹面保护、保护层厚度应大于 15mm。进入落地式柜、箱的电线保护管，应排列整齐，管口一般宜高出柜箱基础面 50～80mm。

5）电线保护管的弯曲处，不应有折皱、凹陷和裂缝，其弯扁程度不应大于管外径的 10%；电线保护管的弯曲半径应符合以下规定：

① 管路明设时，弯曲半径不宜小于管外径的 6 倍；当两个接线盒间只有一个弯曲时，其弯曲半径不宜小于管外径的 4 倍；

②　管路暗设时，弯曲半径不宜小于管外径的6倍；当管路埋入地下或混凝土内时，其弯曲半径不应小于管外径的10倍。

6）当电线保护管遇下列情况之一时，中间应增设接线盒或拉线盒，其位置应便于穿线：

①　管路长度每超过30m且无弯曲。

②　管路长度每超过20m且有一个弯曲。

③　管路长度每超过15m且有两个弯曲。

④　管路长度每超过8m且有三个弯曲。

7）垂直敷设的电线保护管遇下列情况之一时，应增设固定导线用的拉线盒，其位置应便于拉线：

①　管内导线截面积为50mm^{2}及以下且长度>30m。

②　管内导线截面积为70~95mm^{2}且长度>20m。

③　管内导线截面积为120~240mm^{2}且长度>18m。

8）明设电线保护管，水平或垂直安装的允许偏差为1.5‰，全长偏差不应大于管内径的1/2。管卡设置最大间距见表4-7。

9）在TN-S、TN-C-S系统中，当金属电线保护管、金属盒箱、塑料电线保护管、塑料盒箱混合使用时，金属电线保护管和金属盒箱必须与保护线（PE）有可靠的电气连接。

10）潮湿场所和直埋于地下的电线保护管，应采用厚壁钢管或防液型可挠金属电线保护管。干燥场所的电线保护管宜采用薄壁钢管或可挠金属电线保护管。钢管不应有折扁和裂缝，管内应无铁屑和毛刺，切断口应平整，管口应光滑。

11）钢管的内壁、外壁均应作防腐处理。当埋设于混凝土时，可不作外壁防腐处理；直埋于土层内的钢管外壁应涂两度沥青漆；采用镀锌钢管时，锌层剥落处应涂防腐漆。设计如有特殊要求，则应按设计要求进行防腐处理。

12）钢管的连接应满足下列要求：

①　采用螺纹连接时，管端螺纹长度不应小于管接头长度的1/2；连接后，其螺纹外露宜为2~3扣、螺纹表面应光滑、无缺损。

②　采用套管连接时，套管长度一般为管外径的1.5~3倍，管与管的对口应于套管的中心。套管采用焊接连接时，焊缝应牢固严密；采用紧定螺钉连接时，螺钉应拧紧；在振动的场所，紧定螺钉应有防止松动的措施。

③　镀锌钢管和薄壁钢管应采用螺纹连接或套管紧定螺钉连接，不得采用熔焊连接。

④　钢管连接处的管内表面应平整、光滑。

13）钢管与盒箱或设备的连接应符合下列要求：

①　暗配的黑色钢管与盒箱连接可采用焊接连接，管口宜高出盒箱内壁3~5mm，且焊后应补涂防腐漆；明配钢管或暗配镀锌钢管与盒箱连接应采用锁紧螺母或护圈帽固定，用锁紧螺母固定的管端螺纹宜外露锁紧母2~3扣。

②　当钢管与设备直接连接时，应将钢管敷设到设备的接线盒内。

③　当钢管与设备间接连接时，对室内干燥场所，钢管端部宜增设电线保护软管或可挠金属电线保护管后引入设备的接线盒内，且管口应包扎紧密；对于室外或室内潮湿场所，钢管端部应增设防水弯头，导线应加套保护软管，且经弯成滴水弧状后再引入设备的接线盒。

④　与设备连接的钢管管口与地面的距离宜大于200mm。

14）钢管的接地连接应符合下列要求：

①　黑色钢管螺纹连接时，连接处的两端应焊接跨接接地线或采用专用接地线卡跨接。

②　镀锌钢管或可挠金属电线保护管的跨接地线宜采用专用接地线卡跨接，不应采用熔焊连接。

15）管路敷设时，在安装电器或元件的部位应设置接线盒，接线盒的敷设方式与管路相同，即管路暗设，则盒应暗设；管路明设，盒也应明设。同一建筑物内，同类电气元件及其接线盒的标高必须一致，误差±1.0mm。

16）绝缘导管敷设应符合下列要求：

①　管口平整光滑；管与管、管与盒（箱）等器件采用插入法连接，连接处结合面沫涂专用胶合剂，接口应牢固密封。

②　埋于地下或建筑物内的刚性绝缘导管，在穿出地面或楼板处200m内应用穿钢管保护。

③　埋设在墙内或混凝土内的绝缘导管至少应采用中型以上的导管。

17）其他未尽事宜请详见规范，GB 50303—2002。

第二节　单层变配电间的配合土建预埋管路

变配电间的配合土建主要依据是设备平面布置图、照明平面图、照明系统图、电缆清册和熟悉图样时编制的标高表。下面从最低布设管路的标高开始，按标高（实际是土建的进度）逐步说明配合土建时，各类管路和箱、盒的安装方法及工艺要求。配电室平面布置和照明平面图4-1。

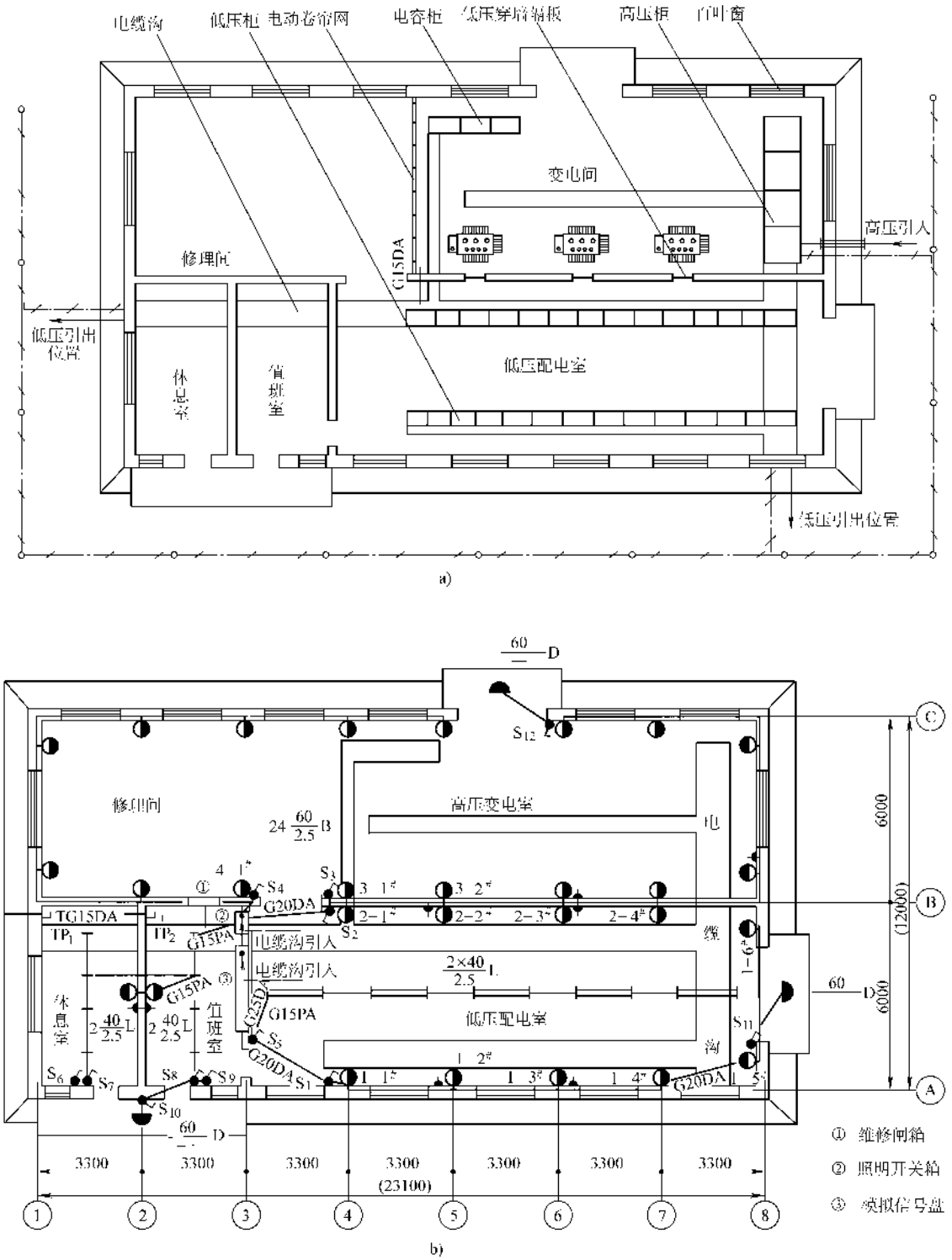


图 4-1 变电室平面布置和照明平面图

a）平面布置图 b）照明平面图

一、电缆引入管的敷设

1. 电缆引入管敷设的标高一般在平面图所标注的进户位置的 -0.8m 处，先弄清引入电缆的根数和规格，并从加工好的电缆管中按编号取来电缆引入管。通常电缆保护管的内径不应小于电缆外径的 2 倍，电缆引入管的长度应为墙厚 + 建筑物散水宽 +300mm。现场制作必须按第八章预制加工中金属管路的预加工的要求进行，主要是调直、除锈和防腐处理。

2. 下管工艺方法及要求。基础或墙砌到标高 -0.8m 时，在已确定的电源进户管的位置上，由室外垂直基础或墙划一条直线，并按线刨一条深 0.8m 的沟，沟宽由管的根数而定，长度为散水宽 +500mm；然后将电缆引入管置于沟内，多根时应并排放置，墙内应出墙 100mm，且偏高一点，坡度为 2%；引入管落在基础或墙的部分要用防水砂浆灌满，使其严实。墙外部分先用水泥袋、塑料布堵好管口，然后填土并夯实。室内的管口也应堵好，以免异物进入。电缆引入管的敷设见图 4-2 ~ 图 4-3。

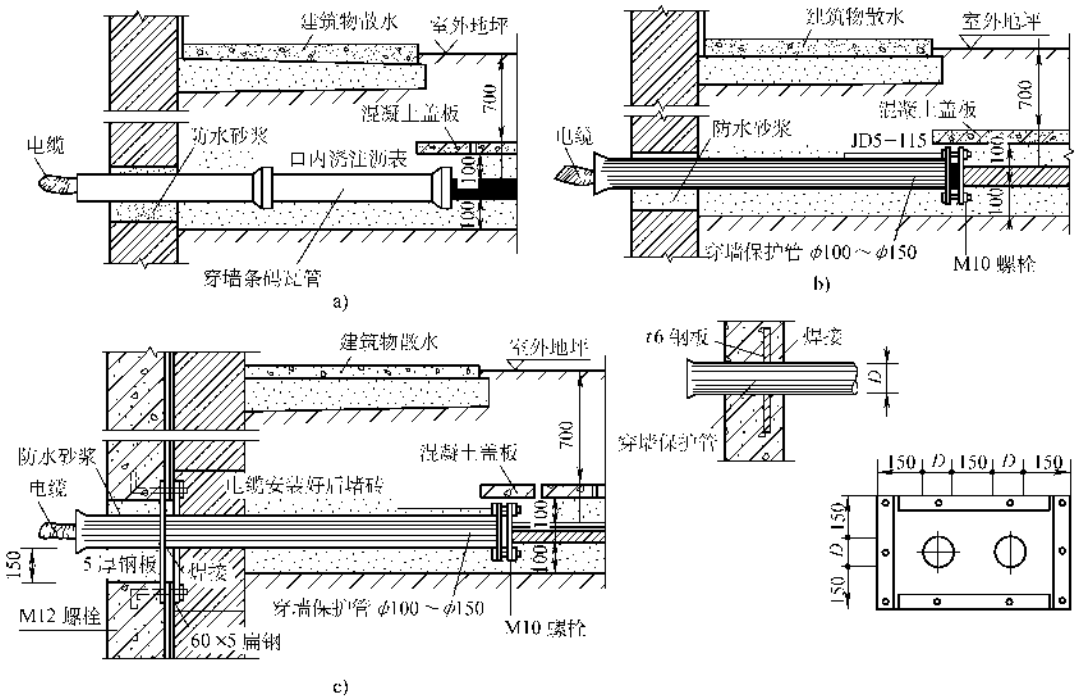


图 4-2　电缆引入管的敷设方式（剖面图）

a）一式剖面　b）二式剖面　c）三式剖面

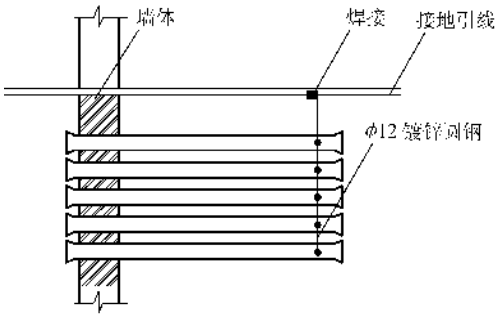


图 4-3　电缆引入管的敷设平面图

二、电缆（导线）引出管的敷设

电缆（导线）引出管的敷设标高、方法、要求与引入管相同，但有几点不同：

1）引出管的位置和引入管的位置一般不同，见平面图 4-1。

如果高压电缆引入后，直接到墙上高压负荷开关的上闸口，其电缆引入管应伸出地平至少 100mm，见图 4-4，这样电缆引入管应有一个 90° 的直角弯。因此要求管口距离墙不应大于 50mm，位置要准确。

2）引出管的根数多，一个回路一根管，大型配电中心（室、间）引出管有时不在同一个位置，而是从两个或三个位置引出，这是由平面图决定的。

三、接地引线的敷设

接地引线的敷设是和引入（出）管同时进行的，标高、位置一致，方法也基本相同，下面说明一下不同点。

1）出墙长度不同，一般墙内预留为 1m，墙外预

留 3～5m。墙外预留长度应根据接地系统平面图，看其接地极位置距基础或墙的距离是 3m 还是 5m，预留时应再附加 100～200mm，留出焊接的长度。

2）接地引线位置和组数可能和引出（入）管的位置和组数相同，也可能不同。相同时可一并敷设，不同时则应按上述方法测位—刨沟—敷设—灌浆—填土夯实进行。

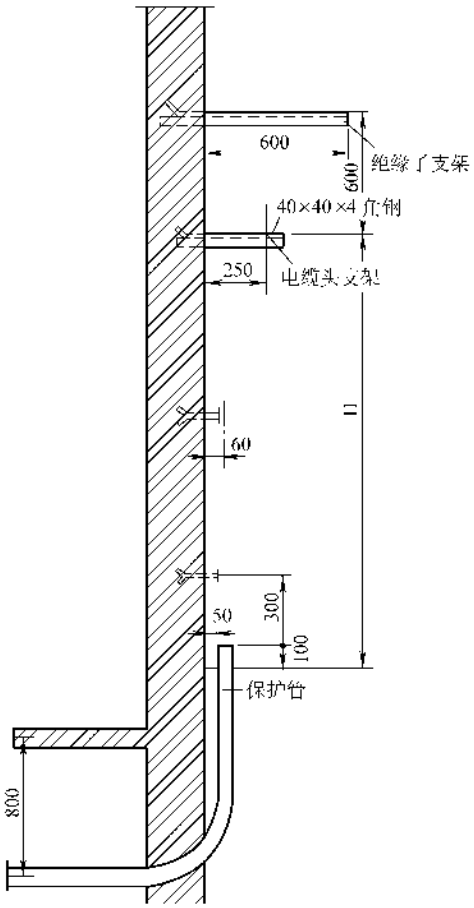


图 4-4 电缆引入管的敷设

四、照明开关箱和维修开关箱电源管的敷设

基础或墙砌到标高 -0.3m 时，从低压电缆沟到照明开关箱②和维修闸箱①的位置之间各预埋一根 ϕ15 的钢管。（通至开关箱的管因是由电缆沟垂直向上引入，图中用符号 表示）。途径地面部分先用土埋好，墙内敷设部分先用木杆三角架支起，管口用塑料布或牛皮纸包扎严实，以免异物入内，发生堵塞。埋入墙或混凝土内的管子，距墙表面的净距离不得小于 15mm。照明开关箱电源管的敷设见示意图 4-5。其中出电缆沟长度一般为 20mm，进箱一般为 10mm；水平距离的长度是用钢卷尺按现场实际距离测量出来的；垂直部分的高度是按闸箱标高（1.4m 或 1.2m）决定的；灯叉弯的有无及角度的大小是由箱体结构和墙的厚度决定的，主要看闸箱底部敲落孔的位置及距后底的距离，箱体的结构和外型见图 4-6。必须把箱体在墙上的位置确定好，才能下管。管的总长度为水平长度 + 垂直高度 + 进箱长度 + 进电缆沟长度 + 灯叉弯和直角弯的弯曲余量。进入电缆沟的管口应先作成喇叭口，然后用锉去除毛刺，再焊接一条 ϕ6 的螺钉，做为接地用。进入箱体的管口应用锉清除毛刺。

开关箱经地面通往室内外别处的负荷管，在下电源管的同时，也要将其预埋好，入墙部分的尺寸、角度应力求一致，和电源管并列成一排，其间距为敲落孔的孔距，不得交叉，然后在两端用 ϕ6 的钢筋棍电焊连接好。按图 4-1 中设计布置可知，有两根管是从电源箱经地面引出，其中一根是 2 路和 3 路壁灯公共使用的电源管，（通往 S_2 的管）另一根是 4 路壁灯的电源管（通往 S_4 的管）；一端进箱，另一端进手动开关盒，标高 1.20m 或 1.40m，按设计标注确定。管煨制好的形式见示意图 4-7，埋地、封口、三角架支起，方法同前。

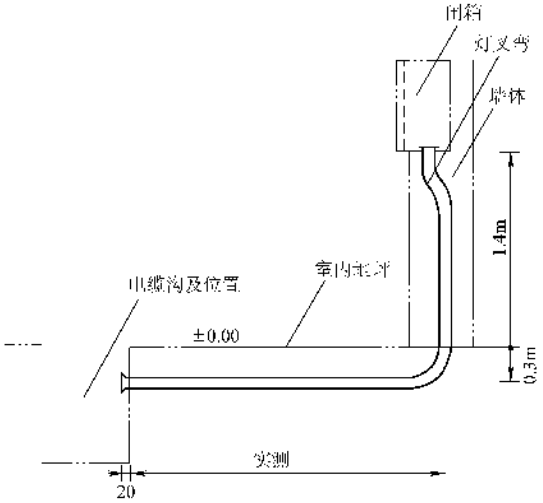


图 4-5 从电缆沟引至照明闸箱的管路

在 -0.3m 处还有六根管需预埋，一根是从电缆沟内到模拟信号盘的信号管 2×ϕ50，作法和电缆沟到开关箱的电源管的作法相同。另两根是手动照明开关 S_1 下面的分线盒到 S_5 和 S_5 到闸箱的电源管，作法见图 4-7。再一根是 1 回路 4～5 号壁灯的负荷管，还有一根是从电缆沟到电动卷帘网的负荷管，标高至 5.00m 处的电动机（见图 4-1），做法同上，只是标高不同，要丈量管的总长度，应该总长度≥2×5mm

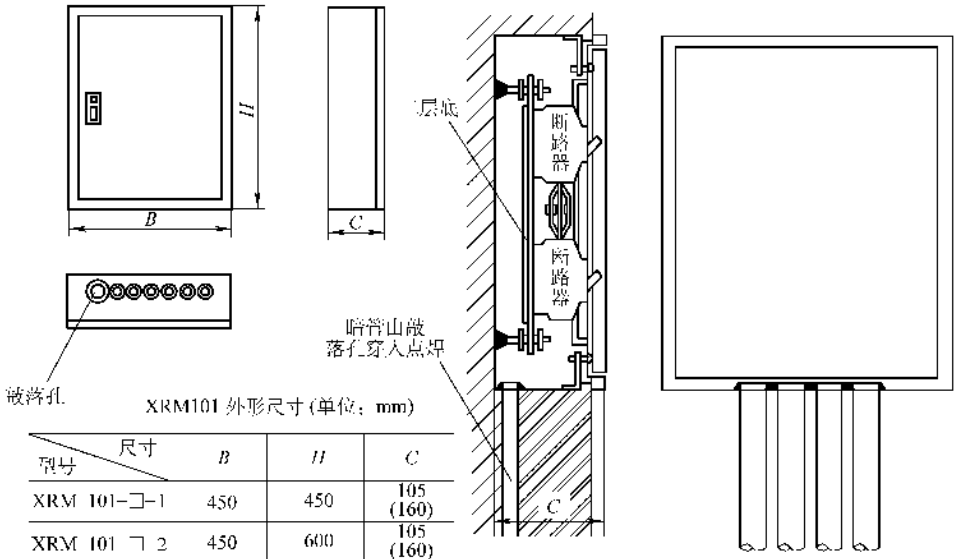
+2×300mm+安装高度及弯曲裕量+水平实测距离，见图4-7。最后一根管是休息室电话插座 TP_1 到值班室 TP_2 的电话管，方法同上。

埋地管因为是在没有砌墙时敷设的，除了上述的要求以外，埋地部分必须先夯实，竖直部分的位置必须在墙基的中心附近，尽量避免歪斜。这里顺便提一下，如果是明装，沿墙敷设这几根出地坪的立管，必须使其尺寸、角度一致，齐刷刷地排成一排，并且和地面垂直。煨弯工艺见下面的第五条。

在-0.3m标高处，直接控制设备应对应其出线的位置在墙上留出孔洞，其截面积一般为200mm×200mm，如果是电缆沟，则按土建图样预留孔洞。

五、插座盒及管路的预埋

为了方便，一般在配电间、变电室、修理间、休息室、值班室等处都装有低压插座，插座的标高一般设在0.3m处。



XRM101 外形尺寸(单位：mm)

型号＼尺寸	B	H	C
XRM 101-□-1	450	450	105 (160)
XRM 101 ┐2	450	600	105 (160)
XRM 101 ┘3	540	750	105 (160)
XRM 101 ┐4	540	850	125 (160)

图4-6　箱体结构外形及在墙中预埋外壳的位置

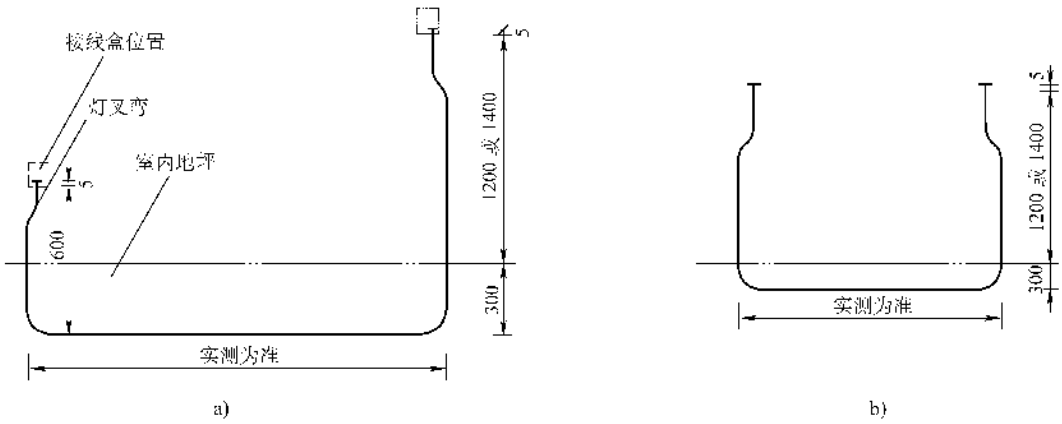


图4-7　煨制好的管的形式示意图

a）管口标高不一致　b）管口标高一致

1. 插座盒的安装

当砖墙砌到0.3m时，按照明平面图中插座设置的位置，将插座盒置于墙上，同时应将盒子通往左侧、右侧及上方向管下好；通往左侧、右侧管子的下料尺寸，见图4-8b，是由相邻盒子的边距+进盒5mm+灯叉弯折角的余量决定的；通往上方的管子的

下料尺寸，见图4-8b，是由上方盒子和该盒的上下边距+进盒5mm+灯叉弯折弯的余量决定的；盒在墙上的位置应使敞口侧凸出墙面10mm，最大不超过15mm，见图4-8a。具体的出墙距离应通过土建人员，或从土建图样上了解墙壁抹灰厚度，另外还和墙的不平度有关。盒应垂直放置，不得歪斜。管进盒的长度不得大于5mm，并用电焊点焊牢固。管和盒的安装示意图见图4-8。管盒放置好后，竖管用三角木架支持固定好，暗盒和水平管即时砌入墙内，灰浆应饱满牢固。

图4-1中有三路插座，一路是休息室和值班室的对应插座，其在墙上安装平面示意图见图4-9。只有其中一只有竖直管，到1.8m或2.0m的壁灯处（由设计标注定）；另一路是配电间A轴上的两个插座、其电源是从壁灯下0.30m标高处的分线盒取得的，见图4-10。再一路是B轴上的三个插座（其中两个为对应安装），形式和A轴相同，电源也是从壁灯下0.30m标高处的接线盒取得的，但是这个盒是为插座单设的，而A轴的分线盒是因为土建结构的关系而为壁灯设置的，这就是为什么要掌握土建结构的原因。这里还要注意⑧轴高压变电室有一插座，预埋盒后竖管通至1.8m壁灯处，可以见到，A轴壁灯的电源管，因窗户口的关系，一般应用图4-10的方法，但这样应在每一壁灯竖管下装一分线盒，分线盒要求同插座盒，管路同前。这样每只分线盒都有一根竖直向上的管，其中1#、5#盒通至标高1.20m或1.40m开关盒处，另外三个盒通至标高1.80m或2.00m壁灯处。同时该分线盒可做为插座盒。

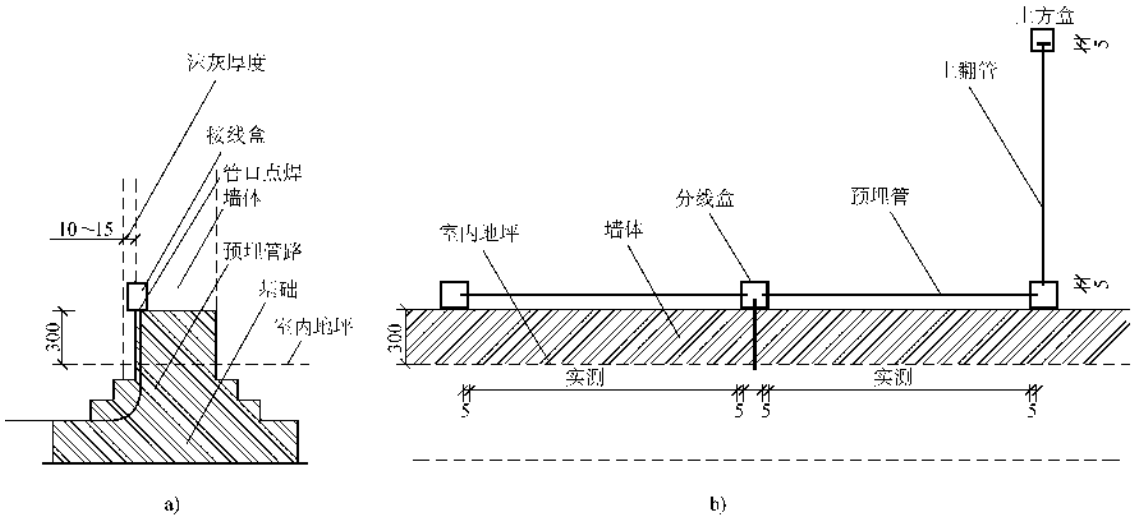


图4-8 盒在墙中的位置及管路布置示意图

2. 钢管的连接

1）暗设钢管的连接一般采用套管连接，套管连接就是在连接处套上内径为被连接管外径钢管短节，长度为被连接管外径的1.5~3倍，小管取1.5，大管取3。连接管的对口处应在套管的中心位置，连接管的管口应齐平，并用锉去掉毛刺，管子的割断必须用锯或切管机，管口用圆锉锉平，严禁用气割。将管和套管放在平整的地方，最好是平台，插好找正后用电焊将套管两端管口和连接管管壁沿外圆周焊好焊牢，见图4-11。

2）钢管明设，电线管明设应采用丝扣连接 丝扣连接就将被连接管的管口套上丝扣，然后再拧入管箍的内螺纹中。套螺纹的工具有电动套螺纹机和手工套螺纹器（俗称带丝），每个套螺纹机或套螺纹器都有三副板牙，以适合套三种不同规格的管子。先将板牙按管子的规格选好，上在套螺纹器上，然后把管子固定在有压力钳的案子上，同时用锉把管口外圆锉成稍有锥形。调整套螺纹器上的活动度盘，使牙与牙之间有适合管子需要的距离，一般应小于管外径，然后用固定螺钉固定好。双手握住套丝器的两只手柄将其套在管子上，并用调节手柄使套螺纹器后面的三个支持脚贴紧管子，保证丝扣不乱。这时用双手推套螺纹器（与管子垂直）并顺时针转动，见图4-12，就可在管子上套出螺纹来。套完后，把套螺纹器取下，并再次调整板牙间距，使之小于第一次的间距一点，再套一次。一般2~3次即可套出合乎要求的螺纹。套螺纹时应充分注油，一般使用菜子油。套螺纹的长度应大于1/2管接头的长度。

电动套螺纹机套螺纹与手工套螺纹基本相同，主要区别是电动机械代替了人力，提高了效率，可参照

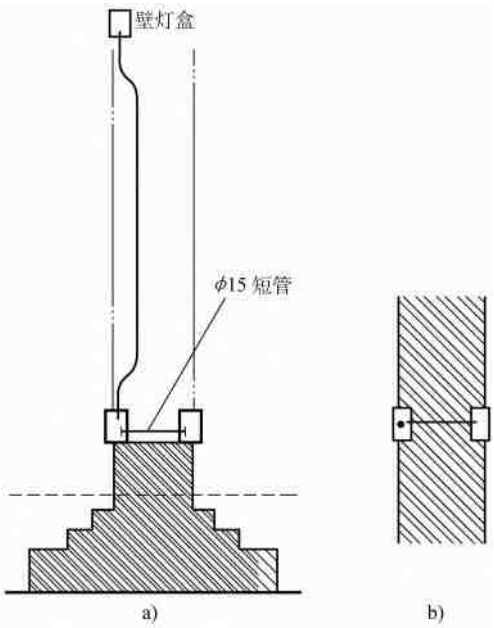


图 4-9　对应插座示意图

a）立面　b）平面

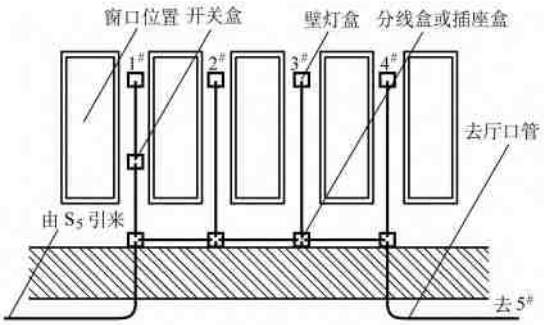


图 4-10　窗口下分线盒与壁灯盒的位置示意图

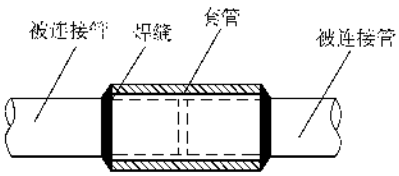


图 4-11　钢管的套管连接示意图

手工套螺纹和电动切管机的操作方法即可。

套好丝后用相应规格的管接头（管箍、有内螺纹）连接，连接时应用管钳子将管和接头拧紧，管插入接前应在螺纹处包扎生料带，保证连接的严密性。连接拧紧后应焊接跨接线，见图 4-13。

管路的连接一般不得用焊接法连接，以免焊碴将导线的绝缘滑伤。

3. 金属管路的弯曲处理

（1）弯曲弧长的计算　见图 4-14。弯曲半径 R 按

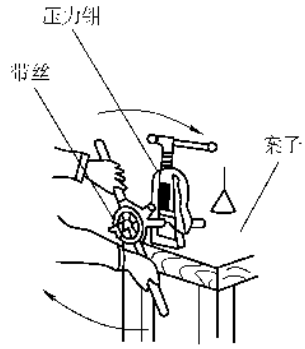


图 4-12　手工套螺纹操作示意图

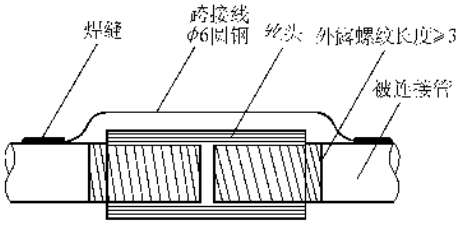


图 4-13　钢管的套螺纹连接

管外径 ϕ 的 6 倍计算，则有

$$R = 6\phi$$

弧长 $L\overset{\frown}{AB}$有：

$$L\overset{\frown}{AB} = \frac{2\pi R}{4} = \frac{2\pi 6\phi}{4} = 3\pi\phi \approx 10\phi$$

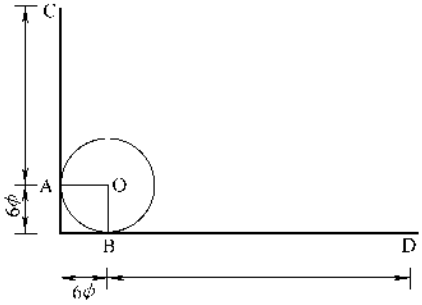


图 4-14　钢管弯曲弧长的计算

图中直角弯曲时管子的总长度 L'为：

$$L' = AC + BD + 6\phi + 6\phi = AC + BD + 12\phi$$

圆弧弯曲后管子的实际总长度 L 为：

$$L = AC + BD + L\overset{\frown}{AB} = AC + BD + 10\phi$$

由计算可知，圆弧弯曲的管子长度比直角弯曲的管子长度少 2ϕ，按 L 长度下料，并在 A、B 两点作好标记。

但是在实际安装过程中，管子的下料尺寸一般不按计算尺寸下料；而是选择比计算尺寸长的整料，把一端的尺寸卡好，并标出煨弯的标记，如在管上量出 AC 的长度，并把 A 点和 B 点标出，AB 的长度为

10ϕ；然后从 A 点开始煨弯，弯曲半径按 6ϕ，直至煨到 B 点，重新丈量尺寸后，把 BD 侧多余部分锯掉。这样就保证了管的实际安装尺寸。有时为了准确，在没有锯掉多余部分前，先将其拿到安装的实际位置比试，然后按实际尺寸再锯掉多余部分。锯掉部分的管子，如果不能做为再次煨弯的管子，一般和其他管子接起来再用。由此可见，计算长度可做为选料的标准，而不做为下料的尺寸。

（2）用弯管器弯管　见图 4-15。把弯曲部分放入弯管器的口内，A 点在前，B 点在后，B 点为支点，用脚踩住管子，手往下扳动弯管器的手柄，缓慢使管子弯曲，并将支点逐点向 A 方向移，边移边扳动手柄，用力不得过猛，避免扳脱，直到移到 A 点完成 90°圆弧的弯曲。煨好后可用角尺检查角度是否准确，或在地面上划出两条垂线，并把管放在上面检查，过煨和欠煨应进行处理，偏差一般不应大于 1/5 管外径。

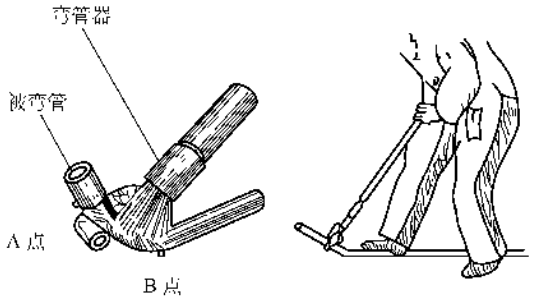


图 4-15　弯管器的使用方法

用弯管器弯管，管子的外径一般不应超过 25mm，最大不超过 32mm；弯管器的规格通常也有大、中、小三种规格。煨弯管径稍大的管子时，可两人扳动手柄，一人在前扳起 AC 部，三人配合默契、步调一致，通常可把管子煨得很好。手工弯管器体积小、重量轻，便于携带，且可在高空作业，是配管时必备而不可少的工具。

（3）机械弯管　机械弯管可分为手动弯管机和电动弯管机，见图 4-16。使用时，按照管子的规格，选择合适的轮子，并将管子放在两个轮子之间，将 B 点放在定轮和动轮的起始点上，扳动手柄或开动电机，使动轮转动，直到 A 点形成 90°。如果煨制大于 90°的灯叉弯，应随时掌握角度，不要过煨。

用弯管机弯管，最大可煨制直径是 100mm 的管子。弯管机一般设在比较固定的地方，是现场制作的必备工具。

（4）火煨法弯管　当管径超过 100mm 时，往往不能进行冷煨，在现场常采用火煨法，具体方法见第三章制作加工第一节。

（5）焊接弯头法　一般大于 80mm 直径的管的弯曲可以采用焊接弯头法。弯头可用电动煨弯机或中频煨弯机加工好的直角弯头，或从市场购置弯头，但其弯曲半径必须符合本章的规定，并且两端至少有 100mm 长的直管段。

使用前先丈量好尺寸，见图 4-17。其中 AC 段、BD 段应用锯将料下好，将其按图在焊接平台上或是平整的地上摆成 L 形或 π 形；其管口必需平整无毛刺，否则应进行修整，使其对好后严密且成 90°，应用方尺测量，然后再进行焊接。

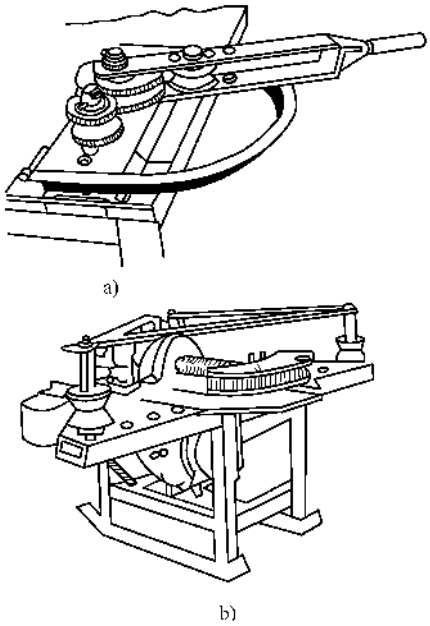


图 4-16　弯管机示意图

a）手动　b）电动

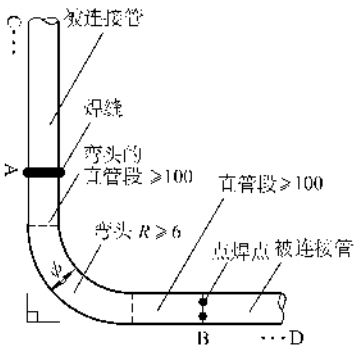


图 4-17　焊接弯头钢管的连接

焊接者必须是经考试合格焊工，具有单面焊单面成型且管内不透瘤的技术，必要时可割开抽查，否则管内有瘤将会滑伤导线或电缆。电焊时，先点焊好，

测其角度合适后再正式施焊，应将整个圆周焊满焊严。然后好应用钢刷扫管，清除余瘤残渣。

有时也采用套管连接法焊接弯头，这样可准确无误地保证管内无焊瘤，具体方法见本节钢管的连接。

弯头焊接法给高空作业配管带来了很大方便。

六、电话插座盒的预埋

当墙砌到0.8m时，按照图中所标的位置，在值班室和休息室预埋电话插座盒，方法同前。所不同的是TP_1上翻竖直的管应送到墙外，送出标高3.0m，并作好防水弯和喇叭口，见图4-18，其中埋地管已预埋好。

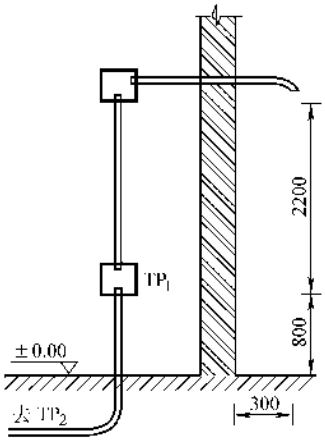


图4-18　电话插座及管路的预埋

七、负荷开关操作手柄构架的预埋

800kVA以下的小型变电室，高压常采用墙上负荷开关控制，低压总开关常采用墙上空气开关控制，这样在工程造价上将有很大的节约。采用这种方式时，其操作手柄的标高为1.0m。

当砖墙砌到1.0m时，按照设备平面布置图中的位置，将操作手柄的角钢构架鱼尾部分置于墙上，入墙部分的净距离不得小于150mm，左右要水平，上下要垂直，在瓦工的配合下，用砖和500#水泥砂浆浇注灌严，见图4-19。图4-1因采用开关柜控制变压器，固没有操作手柄构架的预埋。

八、照明手动开关盒的预埋

照明手动开关包括扳把开关、按键开关、翘板式开关等，一般设在1.20m或1.40m的标高处。当墙砌到图中标注的标高时，按照照明平面图中的开关位置（常设在开门侧），将开关盒及丈量好尺寸并煨制好的管置于墙内，一般为ϕ15的管。配管时，要注意开关和被控灯的位置和顺序必须对应，在同一建筑物中所有的开关盒标高必须一致。

开关盒通往屋顶的管，应通至屋顶下0.3m即可，这个尺寸要卡好，并且所有通往屋顶的管的管口其标高应一致，因为这里有一只接线盒。这里要说明一点，如果采用软质塑料管配管，在屋顶下0.3m处则不要这只接线盒，可把管通至屋顶上的总长度测量精确即可。

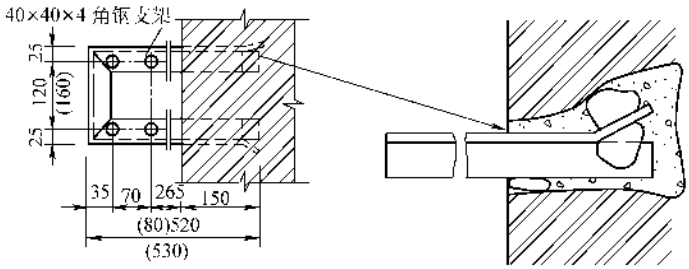


图4-19　角钢构架预埋示意图

照明开关盒的安装，涉及到竖直向上的管和由闸箱经埋地引来的电源管，是联接电源和灯具的枢纽。

图4-1中共有翘板式开关12只，其中S_1、S_2、S_4、S_5的电源管已从开关箱经埋地送到标注的标高（1.20m或1.40m）且灯叉弯都已做好，即可将盒套入管口，出墙距离同插座盒，找平找正，用电焊点焊好即可。然后配竖直向上的管，其中S_1、S_2、S_4向上的管都是通至壁灯盒标高处（1.80～2.00m）；而S_5的竖直向上管则是通至屋顶下－0.3m处，作为屋顶日光灯的电源。S_3和S_2对称安装，可采用图4-9的形式，然后将S_3向上的管引至壁灯盒的标高处。S_6S_7和S_8S_9是双联手动翘板式开关，只有向上的竖管，通至屋顶下－0.3m处，按上述要求配好即可。$S_{10\sim12}$有竖直向上的管，应将管路引至雨篷标高下－0.2m处。其中S_{11}上有壁灯盒，壁灯盒预埋好后，再引至雨篷标高下－0.2m处。

竖直向上的管必须用三角木架支好，并随时观察其在墙中的位置，如有偏移应随时纠正，避免墙砌高后返工处理，这里面有一个和土建瓦工配合、协作的过程，必须处理好。

九、照明开关箱和维修开关箱箱体的预埋

箱体下皮距地的高度一般为1.20m或1.40m，当墙砌到图中标注的高度时，这时闸箱的电源管、从闸箱通往各处1.20m或1.40m标高以下的管及其他1.20m或1.40m标高以下的墙上的管都已砌在墙内。将箱体的外壳（不包括门）下底的敲落孔的堵板取掉和电源管或排管根数相同的个数，并根据箱体在图中标注的位置，置于管口上方，并将管口插入敲落孔内。这时要注意箱体的中线对应的敲落孔应和排管中间的那根对应。如果配管和箱体配合的好，这时箱体前侧应凸出墙面15～20mm，这就需要在下管前应测量敲落孔的位置和了解土建抹灰厚度，以便决定竖管在墙中的位置和尺寸；如果配合不好，就得现场重新开孔，会使箱体变形损伤，或者给施工带来不便。现场开孔必须按“预制加工”中的方法，严禁用气割。箱体和建筑物接触的部分，应刷防腐漆二道，并随着墙体的增高，按标注的高度把通往左右他处的管下好。图4-1中无通往左右的管路。进入箱的管口应用电焊和箱体用电焊点焊好，并用包扎物将所有管口包扎严实。箱体在墙上的安装见示意图4-6。当砖砌至照明开关箱上顶时，应敷一根管，通至屋顶下－0.3m处，做为值班室的电源。

十、壁灯盒的预埋

墙砌到标高1.80～2.00m时（由设计而定），按平面图中壁灯的位置将壁灯盒及管预埋好，要求和开关盒相同。

图4-1中，1回路壁灯1-1#～1-5#的管已经下好，将壁灯盒插入管口，找正找平电焊点焊即可；同时在图中1-6#灯的位置装一只壁灯盒，1-6#和1-5#盒都有一根竖直向上管，其高度由门口高度决定，高于门口过梁之上便可，当砖砌到这个高度时，各装一只分线盒，并用管连接起来，跨过门口。见示意图4-20。同时从分线盒预埋一管到雨篷灯盒处。

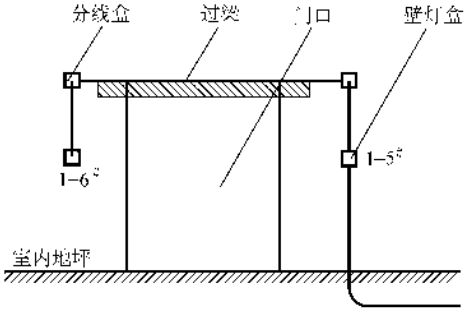


图4-20 过门口管路敷设示意图

2～4路在壁灯处装盒，然后按图将盒连接起来即可，其中2-1#、3-1#、4-1#壁灯盒应插入由下引来的竖直管口上，有插座盒处则应将其插入通往插座盒的管口上，用电焊将全部管口与盒点焊好。这里要注意，在B轴上的壁灯是采用对应安装的。

休息室、值班室的壁灯盒应对应安装，参见其插座盒安装形式。同时在值班室壁灯盒上接一竖直管通至屋顶下－0.3m处。

十一、低压母线支架的预埋

墙砌到2.10～2.20m标高时（按设计标注），应按设备平面图中低压穿墙隔板的位置，将低压母线的π形支架预埋的墙上，方法同高压负荷开关操作手柄的预埋。鱼尾入墙部分不小于150mm，位置要精确，架子要水平，中心位置要和窗口中心位置对正，预埋要牢固坚实。有时在此处预埋两块T形铁，安装时再将π形支架焊接在上面，T形铁见图4-36。T形铁应位于π形架的开口侧，预埋要求同π形架。

十二、低压侧墙上总开关（断路器）架的预埋

墙砌到2.50m时（按设计标注）在和低压母线架对正的位置上，将墙上总开关的两个π形架预埋一个，待墙砌到3.00m时再预埋一个，两个π架要平行，其中心都应和低压母线架、窗口、进线柜的中心对正。作法和要求同高压负荷开关操作手柄。具体见图4-21。

十三、室内高压负荷开关固定螺栓的预埋

墙砌到3.00m时（按设计标注）应开始预埋高压负荷开关固定螺栓。固定螺栓的预埋必须测量准确实物的螺孔距离，一般按照图纸标注的尺寸预埋经常有误。因此有经验的人往往是在进行安装的时候，比照开关本身的尺寸，埋铸螺栓。但这样作需在墙上凿洞，再用水泥砂浆把螺栓铸入孔内，比较费工；如果采用膨胀螺栓固定，造价则偏高。因此螺栓的预埋则根据实际情况进行。如果在配合土建施工时、能测量到该负荷开关的螺孔距离，最好是将螺栓预埋，否则只有凿洞埋铸或膨胀螺栓固定。无论哪种方法，其要求是相同的。见图4-22。

1）从水平上看三行不同标高上螺栓的轴线应平行，从竖直上看二列螺栓应垂直于地坪；

2）中心竖直轴线应和上面的高压穿墙套管窗口的中心对正，并和下面的变压器高压侧中相对正；

3）应用500#水泥砂浆且不宜稀的硬浆浇铸，同时砂浆应加大水泥的比例，一般为1∶1，必须牢固坚实；入墙净距不得小于150mm且有鱼尾，螺栓应和墙的铅垂直面垂直。必要时应用木棍捣铸水泥。

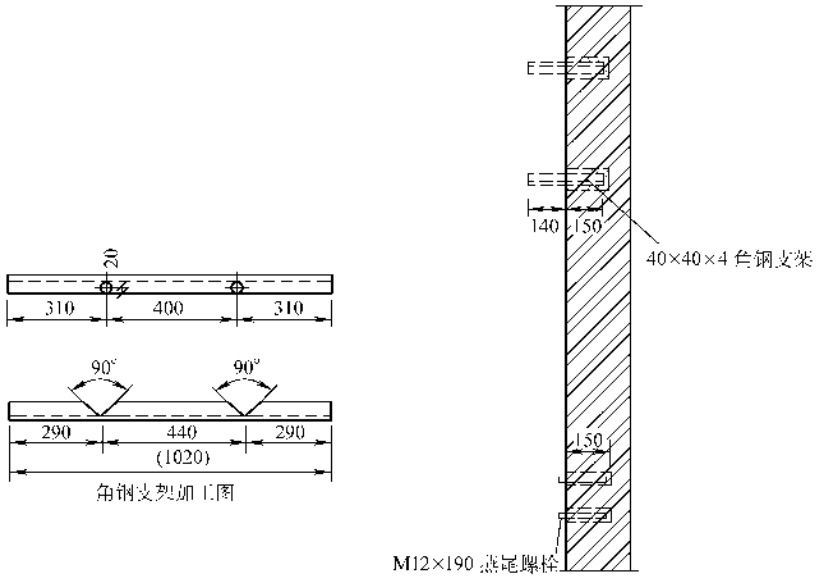


图 4-21　角钢支架的制作和预埋

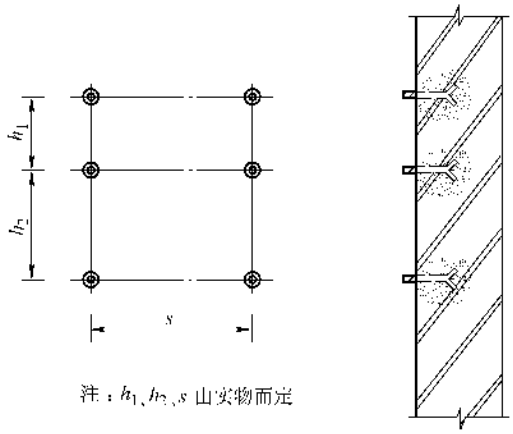


图 4-22　墙上负荷开关固定螺栓预埋示意图

十四、低压母线穿墙隔板框架的预埋

墙砌到标高 3.30m 时（按设计标注）将口字型的穿墙隔板的角钢架预埋在窗口内，框架的中心（也就是窗口的中心）应和墙上空气开关、母线支架的中心对正；框架在墙上的位置应居中，且框架所成的平面应和墙的铅垂面平行，见图 4-23。这里要说明一点，如果没有低压墙上总开关，低压母线穿墙隔板框架（也就是窗口）标高在 2.80m 处（按设计标注），而不在 3.30m 标高处。

十五、10kV 架空线路进户装置金工件的预埋

1）当墙砌到室内地坪 3.5m 时，在室外电源进户处，将避雷器的 π 形角钢架预埋在进户处，其鱼尾入墙距离至少在 240mm，π 形架应和室外地坪平行，中心应和高压窗口中心对正，预埋灌铸方法同前。

2）室内地坪 3.75m 时，在高压窗口处，预埋高压穿墙套管穿墙板口字型架，方法和要求同低压穿墙隔板框架。

3）室内地坪 4.6m 时，将跌落式熔断器的 π 形角钢架预埋在进户处，方法和要求同避雷器的 π 形架。

4）室内地坪 5.0m 处，将进户悬式绝缘子的 π 形角钢架预埋在进户处，方法和要求同避雷器的 π 形架。

上述四种金工件的中心必须和高压窗口对正，水平方向上和地坪平行，灌铸要坚固牢靠。其窗口的中心应和高压柜的中相对正，或和室内墙上高压负荷开关的中相对正。

通常为了保证预埋的质量，避免在安装后遭到各种外力的损坏或丢失，凡是伸出砖墙外的角钢支架，如母线支架、开关支架、电气元件支架等都在安装前再进行埋铸。因此，在配合土建施工中，只需在其入墙部分预留下 100mm×100mm×（规定深度 +5）mm 的孔洞，位置必须准确，水平方向上的必须平行于地坪，竖直方向上的必须垂直于地坪。

进入安装阶段后，应复测一下孔洞的位置、标高，无误后然后用高标号水泥和干净的砂子按 1∶1 的比例活成颗粒状砂浆，再将构件置于孔内，入墙深度同上，找平找正后把颗粒状的砂浆放入孔洞内，边放边用铁棍捣固，最后将孔洞口抹平即可，半日后即可负重安装。

在现场加工制作的构架，必须遵照预制加工一章中的规定进行，其用料规格和加工尺寸可按图 4-24 进行选择。

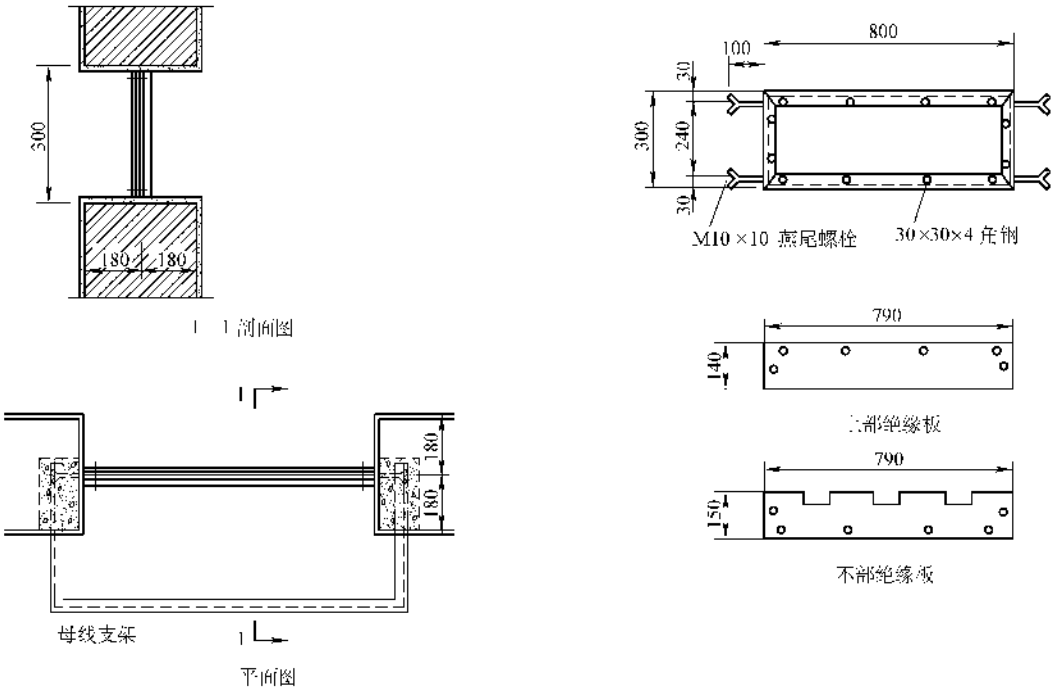


图 4-23 低压母线穿墙隔板框架预埋示意图

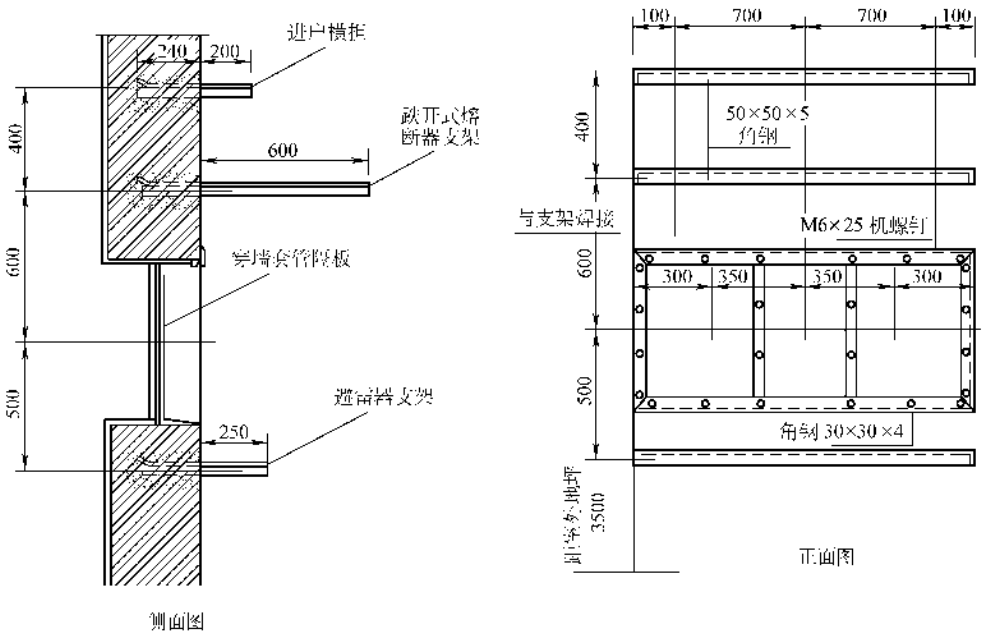


图 4-24 10kV 架空线路进户装置预埋示意图

十六、屋顶灯具的金工件、接线盒及管路的预埋

屋顶灯具的金工件、接线盒及管路的预埋，是根据屋顶结构的不同而分别采用不同的预埋方法，配电间的屋顶一般采用混凝土现浇板和预制混凝土板两种。

1. 屋顶为混凝土现浇板

墙砌到即将封顶标高时，即屋顶板下 -0.3m 时，在由下通至屋顶管的管口处，预埋一只分线盒，方法和要求同前。再往上砌砖时则将这个盒的上方部位留下不砌，形成一个洞。图 4-1 中共有 5 根管通至屋顶，也就是要下五个盒。

当土建工程进行到屋顶绑扎钢筋时，将灯具的接线盒放在平面图标注的位置上（模板上），这个位置应预先按墙内壁测量好。图中标注的是日光灯，因此每只灯应预埋两只盒，一只盒接线、吊灯，另一只盒只起吊灯的作用。

先在土建工程支好的模板上，划出休息室、值班室和配电间的中心轴线 a_1、b_1、c_1，见图 4-25，然后在轴线上标出每只灯的两个线盒的位置，按照线盒间的距离加上灯叉弯及进盒的 5mm 将钢管锯断并煨制好，把 a_1、b_1、c_1 三条轴线上的盒连接起来，管口与盒用电焊点好。再测量竖直引上管的分线盒和接线灯盒的距离，将图中 a、b、c、d、e 五根管煨制好，一端进灯接线盒、另一端由小洞进引上管的分线盒，分别用电焊点好。最后用同样方法将 a_1b_1 轴的联结管 f 做好。

按照测量的位置，将灯的每对盒内堵满水泥袋纸或其他容易撕下废旧物，然后紧贴模板面将盒紧紧固定在模板上，盒内不得有空隙，与模板面尽量无间隙，避免水泥浆液进入盒内，具体作法见图 4-26。

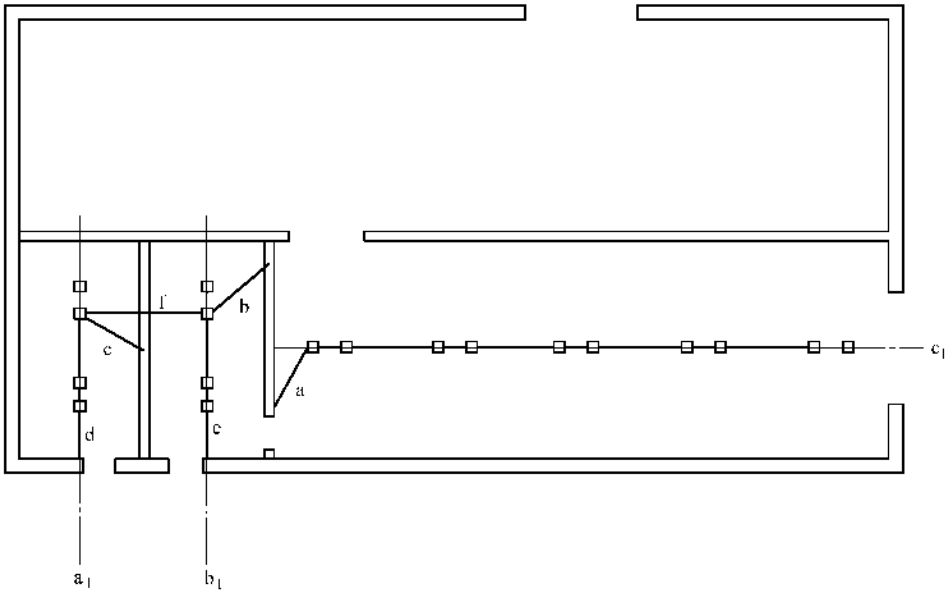


图 4-25　屋顶模板上预埋管盒布置平面图

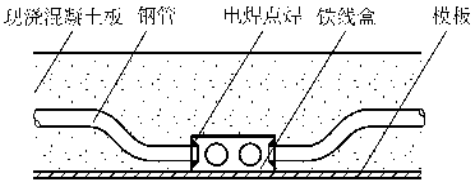


图 4-26　现浇注钢筋混凝土楼板上灯盒预埋示意图

这里要注意几点：

1）和钢筋工、混凝土工、瓦工、木工必须配合好，因为这时是混合交叉同时作业，管要穿入钢筋的套子里，盒又要固定在模板上，又要在墙上留洞，稍有偏差就要给安装带来不便。因此在浇注混凝土时，必须电工在场，随时纠正由于土建施工而造成的管路、线盒的不妥之处。

2）木模板时固定盒较容易，一般是用细铁丝和钉子在木模板上固定；钢模板时，则是在灯盒处可采用一块木模板，或者将铁盒与钢筋电焊点焊牢固。

3）假如是灯具较重，则应在盒内预先插入一根 ϕ6 ~ 10mm 的钢筋，插入时利用敲落孔，一般出盒不超 20mm，这根钢筋的两端最后将浇铸在混凝土内，见图 4-27。

4）同一型号的灯具，其线盒间的距离应相等。

2. 屋顶为混凝土预制板

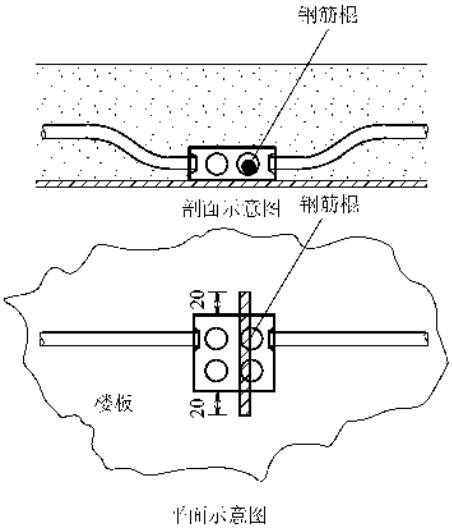


图 4-27 在盒内插入一根钢筋棍

土建工程进行到把预制板吊放在屋顶固定后，先测量灯具位置，然后在确定的位置上将预制板凿一个洞，洞的大小由进入管的数量和盒的大小而定，一般不超过 36cm²，最大不超过 50cm²。凿洞应使用电动凿孔机，也有用手工凿洞的。电动凿孔机使用时应注意施加压力不宜过大，应按其自然往下转动，再是要注意安全。将钢管煨好后一端进入洞内，另一端进入另一个灯具的洞内或墙上屋顶下 -0.3m 处的分线盒内，见图 4-28。管口一般应在板厚的中间和盒焊好，其他和现浇混凝土板预埋相同。土建抹灰时，一般是先把洞用砂浆填平，然后抹灰即可。土建抹地面时，凡是露出砼板的管路，不得悬空放置，必须先用硬灰将管下充填严实且无上下的晃动才能抹灰，否则完工后此处会裂开。

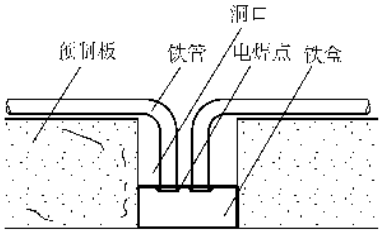


图 4-28 混凝土预制楼板上灯盒安置示意图

至此，墙上、屋顶配合土建已完，当土建进行室内地面工程时，应继续配合土建施工。因此，要及时向土建负责人了解地面施工的精确时间。

十七、电缆沟内电缆支架的预埋

沟内电缆支架，由角钢制成一字型、尾部开鱼尾，前端应翘起，见图 4-29，入墙部分不小于 150mm，角钢的规格由被支电缆外径决定，入墙部分用高标号水泥砂浆浇铸。支架应水平放置。电缆支架预埋时，应遵守以下规定：

1）角钢支架应平直，无明显扭曲，长度误直在 5mm 以内，切口处无卷毛刺；焊接部位应牢固无变形；先涂防腐底漆才能预埋，漆应均匀。

2）电缆支架横档至沟顶、楼板或沟底的距离，应符合表 4-1 的规定。

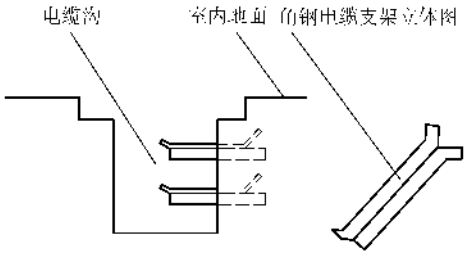


图 4-29 沟内电缆支架预埋示意图

表 4-1 电缆支架最上层及最下层至沟顶、楼板或沟底的距离 （单位：mm）

项目 \ 敷设方式	电缆隧道及夹层	电缆沟	吊架	桥架
最上层横档至沟顶或楼板	300～350	150～200	150～200	350～450
最下层横档至沟底或楼板	100～150	50～100	—	100～150

3）电缆支架层间最小允许垂直净距离，应符合表 4-2 的规定。

表 4-2 电缆支架的层间允许最小距离值

（单位：mm）

电缆类型和敷设特征		支(吊)架	桥架
控制电缆		120	200
电力电缆	10kV 及以下(除 6～10kV 交联聚乙烯绝缘外)	150～200	250
	6～10kV 交联聚乙烯绝缘	250～300	300
	35kV 单芯 66kV 及以上,每层一根	250	
	35kV 三芯 110kV 及以上,每层多于 1 根	300	350
电缆敷设于槽盒内		$h+80$	$h+100$

注：h 表示槽盒外壳高度。

4）电缆支架水平方向及垂直方向上的间隔距离

应符合表 4-3 中的规定。

表 4-3　电缆各支持点间的距离

（单位：mm）

电缆种类		敷设方式	
		水平	垂直
电力电缆	全塑型	400	1000
	除全塑型外的中低压电缆	800	1500
	35kV 及以上高压电缆	1500	2000
控制电缆		800	1000

注：全塑型电力电缆水平敷设沿支架能把电缆固定时，支持点间的距离允许为 800mm。

十八、开关柜、控制柜等柜体底座地脚螺栓的预埋

地脚螺栓用 M12×170 螺栓制成，并将埋入端割成鱼尾，埋入深度 120mm。地脚螺栓是在土建浇注电缆沟沿的时候预先埋入的，见示意图 4-30。

十九、配电室直接控制设备负荷管的埋设

有些设计常把大中型电动机的控制柜设在配电室，在配电室做地面前应将其负荷管埋设。笼型电动机一根负荷管，绕线转子电动机两根管（定子一根，转子一根），另外还有一根操作按钮二次控制线管，有时还有一根电动机运行反馈信号线管。埋设标高 -0.3m，进入电缆沟部分小于 100mm，并作成喇叭口；到设备端直角弯竖起至电动机接线盒处，高度由设计给定或按电动机接线盒高度定，管口套丝，焊接地螺钉；二次线管出地坪 1.40m，进入按钮盒，管路不得交叉；埋设应和该车间的配合土建施工协同进行。见示意图 4-31。

二十、变压器垫铁或导轨的预埋

土建浇注变压器基础梁时，应把垫铁或导轨预埋在基础梁上。垫铁或导轨应平整，下部焊有 J 形铁钩，和基础的钢筋扎好，垫铁或导轨的上平面不得高出基础水泥抹面 1mm，见示意图 4-32。

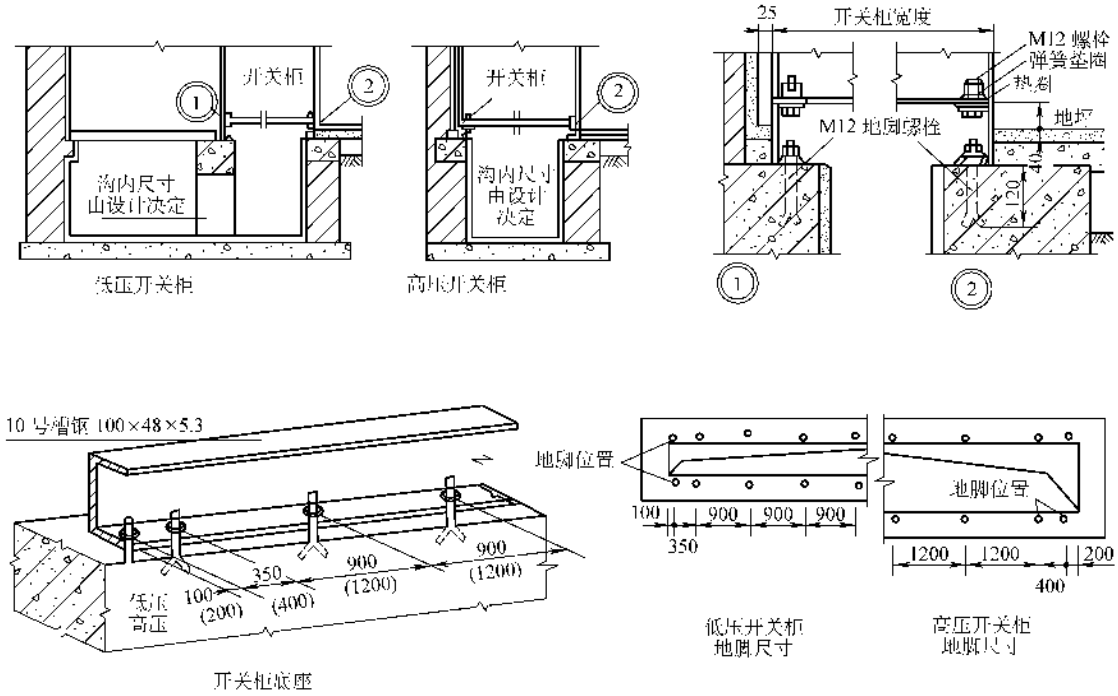


图 4-30　地脚螺栓预埋示意图

二十一、室内接地体的敷设

用 ϕ12 镀锌圆钢或 -4×40 镀锌扁钢将进户的接地引线连接起来引至电缆沟内的两端、变压器及电动机基础旁、墙上开关右侧的下方，分别出地坪 500mm，埋设

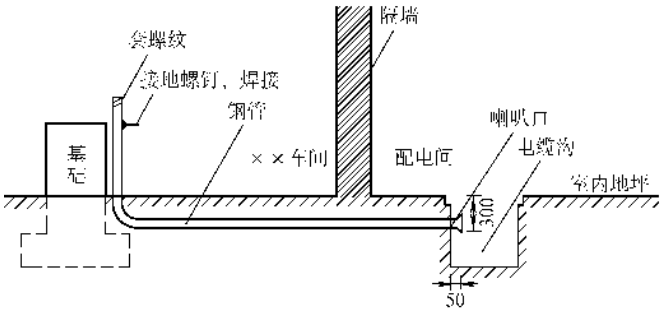


图 4-31 配电室直接控制设备负荷管路的预埋

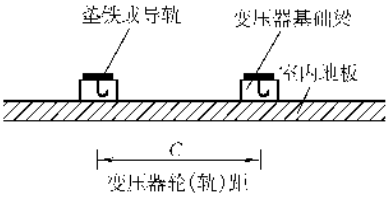


图 4-32 变压器基础垫铁或导轨预埋示意图

标高 -0.3m，连接处用电焊焊好并刷沥青漆。面积较大的变配电间，可在室内增设几组接地极，引成一个接地网。

第三节 工业厂房（生产车间）的配合土建

工业厂房或生产车间是以动力为主的，配合土建时主要依据是动力平面图和系统图、照明平面图和系统图、电缆清册、标高表等。现以某工业厂房电气布置为例，讲述工业厂房配合土建的方法及要求，因为框架结构和砖混结构不同，因而配合土建的内容不尽相同，请读者注意。特别是要正确区分哪些管路应在浇注混凝框架上时预埋，哪些管路应在砌筑围护墙时预埋，并且处理好这两者之间的连接关系。

一、工程概况

某工业厂房单层，局部三层，全部框架结构，地圈梁位于地坪下 1.2m，室外有两台 800kVA 的变压器台，室内主要以大型动力为主，配以中小型动力，并有天车。线路的敷设以电缆沟为主，配以部分管路和槽架；照明系统，低处采用柱上荧光灯照明，高处采用高压钠灯混光照明，详见图 4-33 ~ 图 4-34。

二、混凝土框架的配合土建施工

混凝土框架配合土建的施工主要有柱上日光灯的管盒、天车电源管、吊灯电源管、办公室更衣室变压室的照明管路及接地网的配合施工等。这里要注意图 4-34 中 11 轴、D 轴、F 轴的墙体是等框架施工完毕后砌筑的。

1）基础标高 -0.8m 时敷设接地引线，见图 4-33，共五处。

2）标高 -0.3m 时，土建绑扎柱子钢筋、支柱子模板时，敷设柱上日光灯的管与盒，底部进入电缆沟 50mm，柱上标高 2.50m，见图 4-35，且在 1.90m 和 3.50m 标高处预埋 T 形铁，共 22 处。其中 1.90m 处的支持日光灯架，3.50m 处的支持电缆槽架。同时在 0.5m 标高处预埋 T 形铁并和主筋焊接好，做为防雷引线的焊点。并选定两根主筋作为垂直接地引线，主筋连接处必须焊接良好，直到屋顶引出。另外，选定的主筋应与地梁主筋、圈梁主筋可靠焊接。同样梁内选定的主筋也应可靠连接。接地网的施工应从建筑物的最底部基础铺筋时开始，选定主筋，焊接连接，再与柱内主筋焊接，并办理隐蔽工程的验收手续。

T 形铁一般用 8 ~ 10mm 厚的钢板焊接 ϕ8 ~ 10mm 的圆钢制成。钢板一般为 100mm × 100mm，J 形圆钢 150mm 左右，焊接在钢板的中心，见图 4-36。埋入时，将 J 形圆钢和钢板预埋在建筑物内，J 形圆钢和建筑物内的钢筋绑扎，将钢板面露出在建筑的表面上，见图 4-36，再大面积的钢板，可焊两根或多根 J 形圆钢。

3）标高 4.00m 时，在土建绑扎第一道框架梁的钢筋且支模板时，应开始预埋天车电源的管与盒。在图中标注的位置上，在梁上埋一线盒，下口敷一管到地坪 -0.3m 处引入电缆沟，上口敷一管到 8.00m 处第二道框架梁处，见图 4-37。这里要注意，这两根管在土建没有砌维护墙时，是悬空的。同时到 8m 标高处，应在框架梁上预埋一个线盒。用同样办法预埋钢索吊灯的电源至 10m 标高处。

4）标高 4.00m 时，在土建支配电室、办公间屋顶模板时，应按图中标注将荧光灯的盒（每灯两个盒）与管进行预埋，这里有几点要注意：

① 屋灯吊灯的手动开关下管时，直接从灯盒处

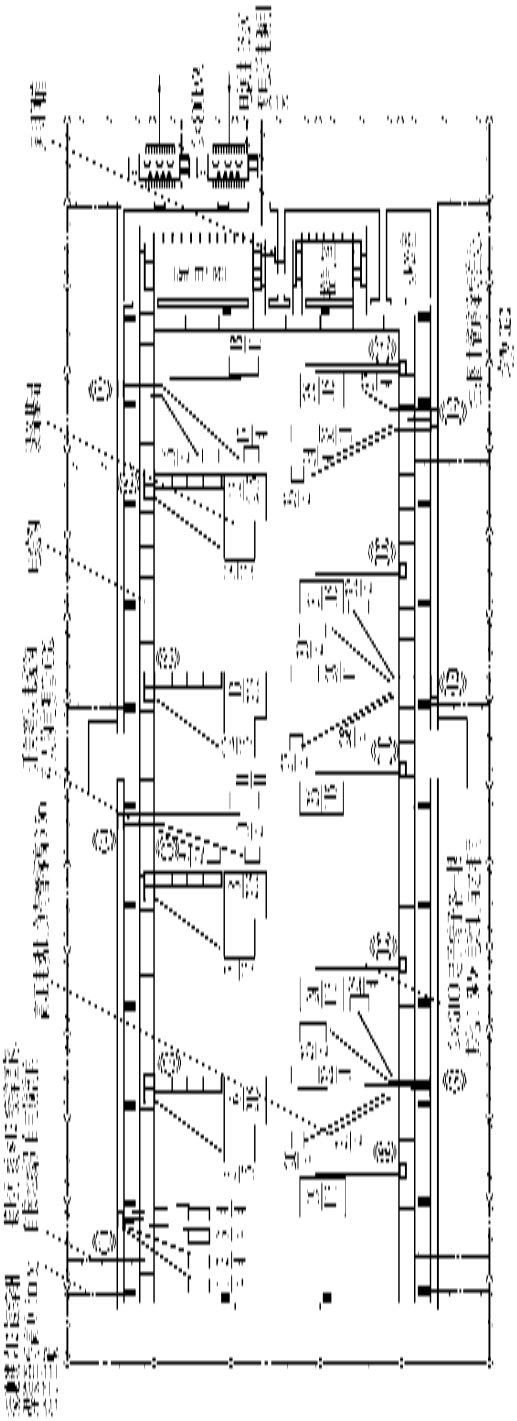


图 4-33　某车间动力平面及设备布置图 1:200

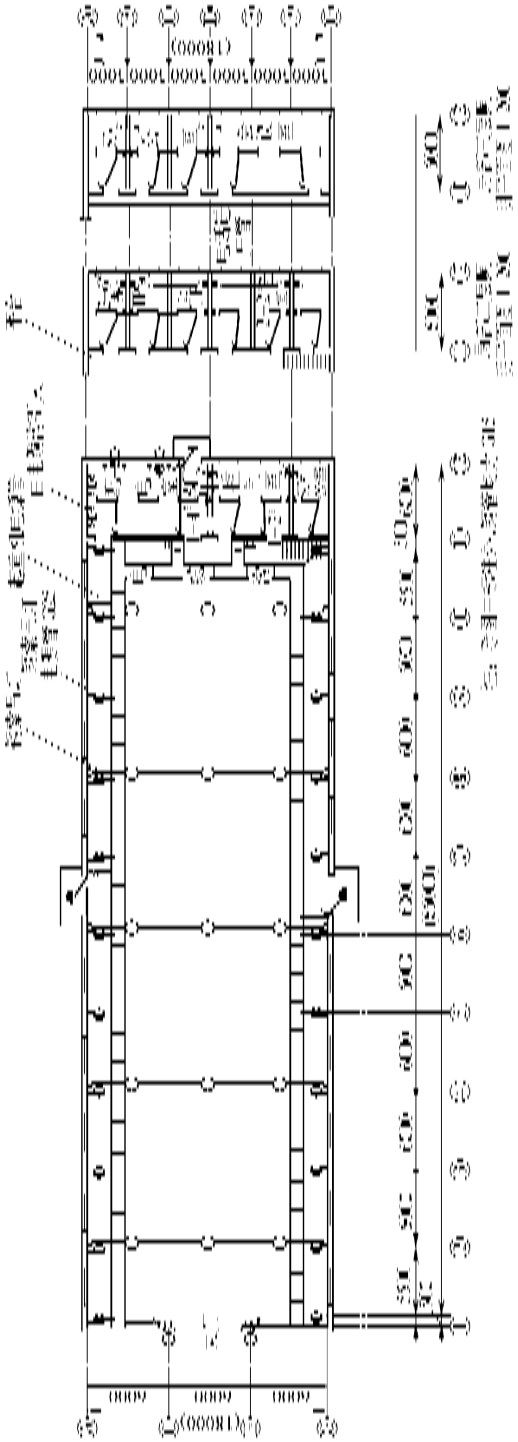


图 4-34　某车间照明平面图

经楼模板翻至标高 1.40m 处，翻下的手动开关管是悬空管，见图 4-38。

② D 轴的电源管处先预埋一短管，其长度为楼板厚 +130mm，管径应能使电源管穿过，一般常用比电源管大一规格的管，并将此短节管内径用车走一刀即可。敷设方法见图 4-39，位置必须准确。使用短节的目的主要是尽量减少悬空管，因为悬空管容易在土建施工时被碰歪或碰断。

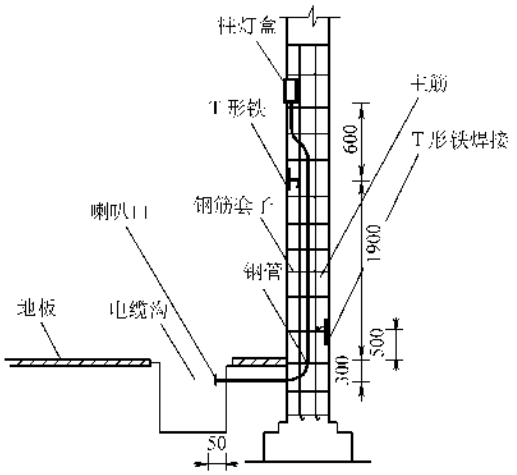
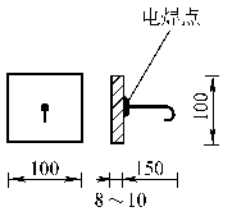


图 4-35 柱体预埋件示意图



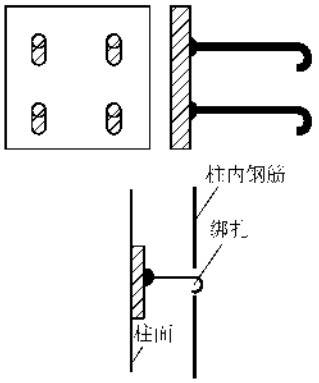


图 4-36 T 形铁及与钢筋绑扎

③ 图中荧光灯的管应经线盒连通，并且从 1-4# 灯盒水平再引出一管并从 D 轴处直接翻下至楼板下 -0.2m 处，这里有一只线盒。这个管口和（2）中短节管口中心的连线应和 D 轴平行，且距 D 轴轴线的距离不应大于 50mm，见图 4-40，这根管是由闸箱引来的日光灯的电源管。

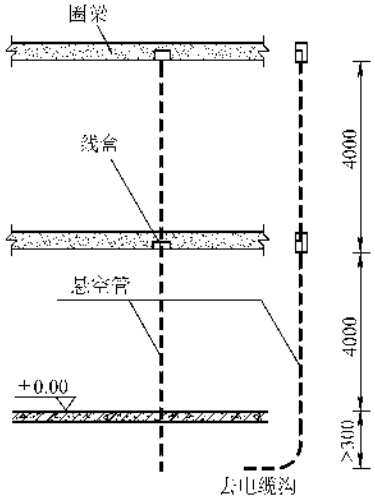


图 4-37 天车电源悬空管的预埋

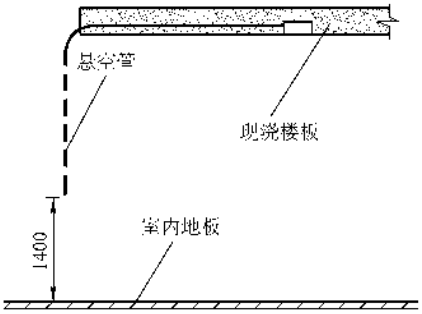


图 4-38 照明开关悬空管的预埋

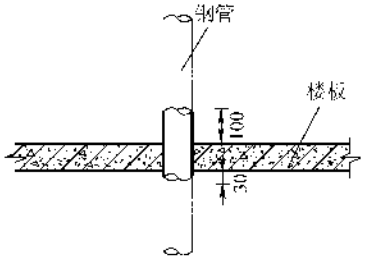


图 4-39 短节管的预埋示意图

④ 从 1-2# 灯盒水平引出一管并从 F 轴处直接翻下至楼板下 -0.2m 处，这里有一只线盒，做法同上。这根管与盒是插座的电源。

⑤ 同时在 D 轴和 F 轴上距⑫轴 800mm 处，同样分别预埋一个短节，做为电话线管的穿管孔，方法同上。

⑥ 从 1-4# 灯盒引一管至配电室外门口处，引下至标高 2.50m 处，做门灯及变压器台的照明管。

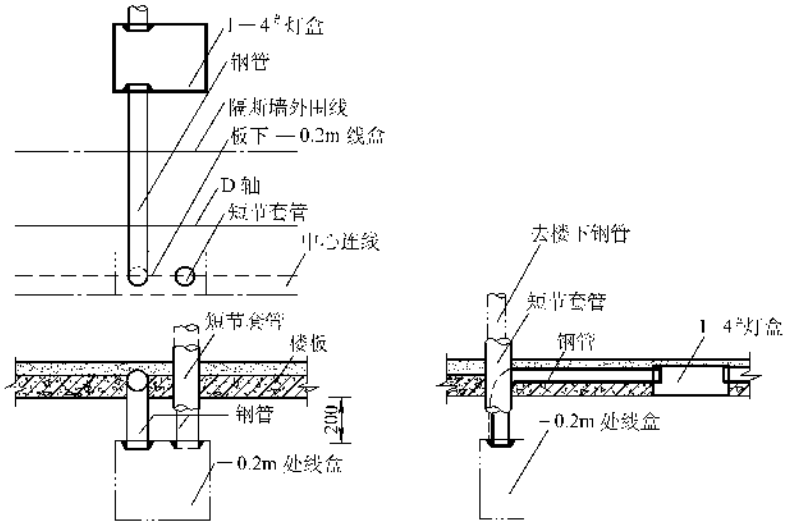


图 4-40　D 轴电源管敷设示意（三视）图

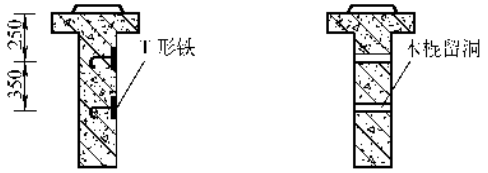


图 4-41　起重机梁滑线架构件预埋示意图

5）在 7.50m 标高时（按设计标注），土建绑扎起重机混凝土梁并支模板时，按图 4-41 的位置预埋 T 形铁，做为滑触线架的焊接点。每根梁上两处，间隔 3.00m，上下各一块。竖向应垂直，横向应平行，标高必须一致。如采用螺栓固定，应在同样位置上预留孔洞。方法是在模板内预埋一圆木，直径 ϕ18mm，拆模板时再取掉，见图 4-41，要求相同。

如果土建采用预制天车梁，然后吊装，则应了解预制的时间，派人到预制现场进行配合，方法同上。

6）标高 8.00m 时，在办公间二层顶埋设管路基本同 4.00m 标高，需要说明的有以下几点：

①　D 轴电源管处预埋的短节应和标高 4.00m 处的短节位置一致，在同一条垂线上。

②　在 B 轴距⑫轴 800mm 处，预埋一个短节，同时 D 轴和 F 轴的电话管路的短节应和标高 4.00m 处的位置一致。同时在楼板上电话的三个短节处，分别预埋一根上翻 800mm，水平距离 6.6m 的管，把三只电话盒准备连接起来。具体作法见图 4-42。

③　除了从 2-2#灯盒引管到 F 轴板下 －0.2m 处作为插座的电源外，还应从 2-6#灯盒引一管到 B 轴板下 －0.2m 处（对应图中插座的位置）作为 B 轴相邻房间的插座的电源。

④　这里要注意，一层的布置和二层的布置不同，但二层的布置和三层的布置基本相同。

7）在 10m 标高处，在 2、4、6、8、10 轴的柱体上各预埋一圆型耳环，做为钢索固定点的拉环，见图 4-43。也可将耳环预埋在柱体旁的墙上。如果柱子伸至墙体，则应在柱体上预埋短节套管，作为 10m 标高处钢索吊灯电源管的穿通管。

8）在屋顶 12.00m 标高处，办公间三层顶埋管路基本同 8.00m 标高处，但不再预埋短节，应检查有否不妥之处。

9）浇注车间顶板时，预埋防雷线支持卡子，并将 1、7、12 轴柱体主筋引至屋顶，详见民用建筑的配合土建。至此，混凝土浇注配合土建施工已经完毕。

三、砌筑框架维护墙的配合土建施工

砌筑框架维护墙的配合土建主要工作内容有部分动力管路、开关箱，壁灯下管下盒、解决悬空管和短节套管的穿管、配电间金工件、架等，配合施工时应对照前段的配合施工。

1）标高 －0.3m 时，预埋墙上开关控制箱的管路。开关控制箱由图 4-33 可知分两类，一类是多回路的，另一类是单回路的，但无论哪种其管路有两种，一种是由电缆沟引入的电源管，另一种是由箱引出并穿过电缆沟的负荷管。开关箱有①、④、⑦、⑨、⑫、⑭和配电室的照明闸箱。敷设时注意以下几点：

①　电源管入电缆沟 50mm，做喇叭口，焊接地螺钉，上墙标高由设计而定（1.20m 或 1.40m）。

②　负荷管从墙上控制箱通至电机接线盒侧，出

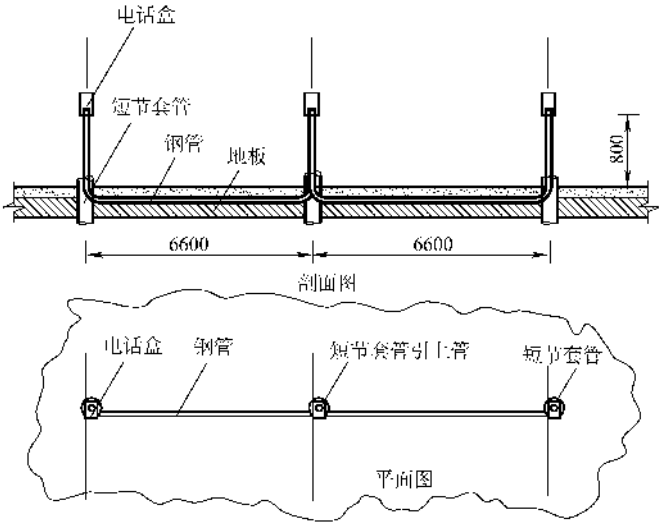


图 4-42 电话盒连通示意管路敷设图

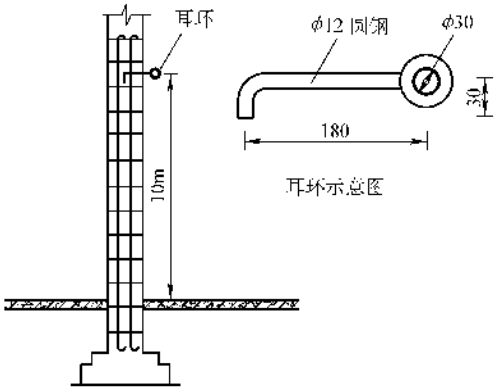


图 4-43 耳环预埋示意图

线口高度不大于接线盒标高，或按设计标注尺寸，上墙部分同电源管，多管排列应整齐，进箱不大于5mm。负荷管的敷设应躲开设备基础，要拐大弯，尽量避免 90°弯，敷设时按现场实际情况，一般不按设计图样的整齐排列。通过电缆沟时，小于 ϕ50mm 的管，在砌筑电缆沟时，应用槽钢置于管下进行保护。槽钢的选择应按穿过电缆沟管的根数来选择，一根或两根管时可选用 5#槽钢，多根管时可选用 10#槽钢或者多根槽钢。槽钢埋入电缆沟墙壁的长度一般为100mm，同时和角钢埋入时一样，做成鱼尾状，见图 3-12。

2）－0.3m 标高时，敷设大门口门灯手动开关管，入沟 50mm，上墙 1.20m 或 1.40m；同时敷设配电间柜后壁灯管至 2.20m 处，其中 1.20m 处应有一个开关盒，0.30m 处有一插座，电源从电缆沟引入。

3）－0.3m 标高处，从电缆沟引一管通至 D 轴＋0.3m 处，并焊插座盒一个，然后从该盒上引管至 1.20m 或 1.40m 标高（按设计标注）处，做为照明闸箱的电源管见图 4-33。D 轴的另侧应对称安装一个插座盒。

4）＋0.3m 标高时，在办公间的 F 轴上的电源插座处，先将一接线盒的上敲落孔套入对应的楼板下－0.2m 处引来的管口内，并用电焊点焊好。然后测量该盒到 0.3m 标高处的距离，确定两盒之间的管长，最后将两盒用管连接起来，电焊点焊好，敷设要求同前。（本条应对照本节二、4）④条）。

5）将上条中的插座盒用一短管引入该墙的另一房间的同一标高处，再预埋一个插座盒，对称安装。

6）＋0.8m 标高时，分别在 D 轴、F 轴将电话盒置于墙上，同时用一根 4m 长的 ϕ15 的管从顶上短节套管穿至二层，下口插入电话盒的上敲落孔，点焊好。（此条应对照本节二、4）⑤条）。同时，在该盒背后穿短管，在该墙另一房间对称安装电话盒。

7）标高 1.20m 或 1.40m 时（按设计标注）将一层办公间和配电室的手动照明开关盒和由上引来的控制管焊接好，置于墙上（此条应对照本节二、4）①条）。

8）在配电室 A 门内侧 1.20m 或 1.40m 标高时，置一开关盒于墙上，然后引管到门口上 2.5m 标高处，和由屋顶引下来的管一致，准备进入门口灯接线盒，见图 4-44。

9）将大门口门灯的两只手动开关盒预埋好，并敷管至标高 3.00m 处。

10）将照明开关箱外壳置于 D 轴变电室侧，下敲落孔插入由电缆沟引来的电源管管口，点焊好。同时用一管将开关箱上敲落孔引至楼板下－0.2m 处，再

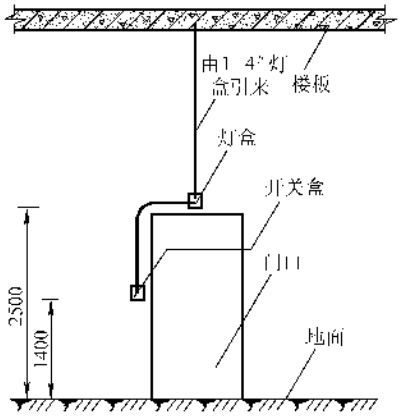


图 4-44　门灯盒及其管路敷设示意图

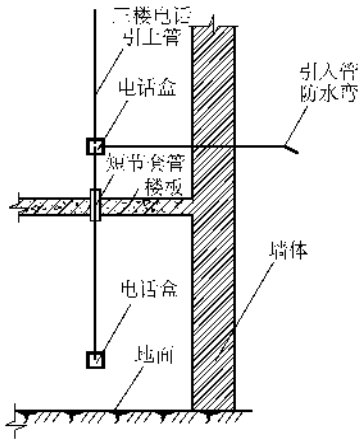


图 4-45　电话电缆引入管敷设示意图

用一盒将此管和由上引下的 -0.2m 处的管连接起来，也就是一层的电源；然后再用一根管将开关箱经楼板上的短节套管引至二层插座 0.3m 标高处，这根管插入开关箱上底的敲落孔应和上一根管插入的敲落孔相邻。（此条应对照本节二、4）②和③条。）同时，将车间内墙上控制箱外壳置于墙内，并与排管对应点焊好。

11）墙砌至标高 2.80m 时，对照动力平面图的位置预埋低压穿墙隔板的框架。3.00m 标高时，预埋大门口室外壁灯盒。在 3.50m 标高时应在两柱之中间预埋一电缆桥架的 T 形铁。

12）墙至二层办公间 0.3m 时，分别在 B 轴和 F 轴的插座位置上，装好插座盒，并用管将其和楼板上引下的插座电源管连接起来，连接处有一接线盒。（此条对应本节二、6）③条。）D 轴插座盒及电源管做法和一层作法相同。

13）二层 0.8m 时，装电话插座盒，作法同一层，并且将 D 轴电话插座用一根有防水弯的管引至室外，见图 4-45，同时将盒用管经短节套管引至三层的 0.8m 处。

14）二层 1.20m 或 1.40m 时装日光灯的手动开关盒。

15）三层 0.3m 时装插座盒，作法同二层。

16）三层 0.8m 时装电话插座盒，但不再向上引管，这里注意盒的下敲落孔有两根管，D 轴的盒有二根管，一根为下引来管，其他为 B、D、F 轴电话的连通管。（此条对照本节二、6）②条。）

17）三层 1.20m 或 1.40m 时装荧光灯的手动开关盒。

18）墙砌至 10m 标高时，则在墙上从 2 轴到 4 轴、4 轴到 6 轴、6 轴到 8 轴、8 轴到 10 轴各预埋一根电源管，并用盒联接起来，该盒就是该轴柱子上钢索吊灯的电源盒。如果柱子伸至墙体，则电源管应从预埋好的短节套管中穿过。其中 10 轴的盒应穿入由电缆沟经框架梁引至 10m 标高处的盒内。

19）雨蓬灯的做法同前变电室，电源由电缆沟中取得。

20）室外变压器台的照明其电源由雨蓬灯开关盒取得，并敷管到室外地坪 2.8m 处，预埋两个接线盒，其位置应和变压器低压穿墙板错开，距离应大于 800mm。

至此，砌框架维护墙的配合土建施工已经完毕。

四、做地面时的配合土建施工

做地面时配合土建的主要作业内容有电缆沟、大负荷的控制管路、柜体地脚螺栓、电缆桥架支柱的地脚螺栓、接地引线等。

1）电缆沟内预埋电缆支架、柜体地脚螺栓的预埋、接地引线的预埋敷设见本章第一节。

2）大负荷控制管的敷设。一些重要设备或大型电动机，常将起动和停止按钮引至设备附近，便于操作。用一 ϕ15 的管，一端对正控制柜位置进入电缆沟，另一端引至设备附近，按设计标注位置，出线口标高一般为 1.20m。

3）电缆桥架引至设备分路支柱的地脚螺栓的预埋。一些重要设备或大型电动机，常将其各种电气信号、运行参数、反馈信号引至控制室监控，这些信号的线路一般是用电缆桥架敷设的。从设备到墙上电缆总桥架的分支桥架，在工业厂房中一般采用支架或支柱敷设，标高一般在 2.50 ~ 2.80m。因此，这时应将支架或支柱的地脚螺栓预埋。

地脚螺栓通常是焊接在钢板上，再将其预埋在混凝土中。钢板一般为 10mm × 400mm × 400mm，焊接 4 条 M16 的螺栓，背后有 J 形圆钢钩，见示意图 4-46。

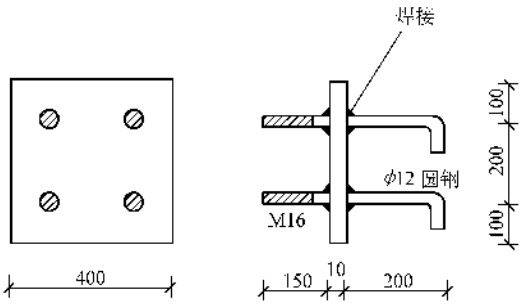


图 4-46 地脚螺栓钢板示意图

选用成品桥架的支柱时，地脚螺栓钢板的螺栓和间距尺寸应与成品架支柱底座尺寸配套。

该项工程中，电缆桥架布置示意图见图 4-47，通往设备的支路分别埋设两组地脚螺栓，螺栓应垂直地坪，出地面一般为 80mm。

在土建抹地面前，应对照图样和标高元件表，仔细检查有否漏掉的预埋件及管路，特别是设计变更部分，更要注意。

至此，全部配合土建施工的工作已经结束。

五、多层工业厂房的配合土建

多层工业厂房一般是将变压器间设置于中间层次上，层数较少的则设在底层或室外。电力线路一般是通过专用的竖井（电缆竖井）敷设，层数很少且容量不大的也有通过金属管路敷设或明设。无论采用哪种方法，主要是解决上下层间的电源衔接问题。

首层布置基本同单层工业厂房。二层以上动力全部采用电缆桥架，且强电弱电分开设置；容量较大的动力，桥架采用悬空敷设，且有钢网或塑网保护。照明电路全部暗装，绝大部分采用荧光灯照明，部分采用混光照明，采用壁装和吸顶安装。竖直方向运输采用电梯。接地引线有的采用框架结构的连成一体的钢筋，有的采用沿 0.3m 标高处明装的接地线，或混合使用。

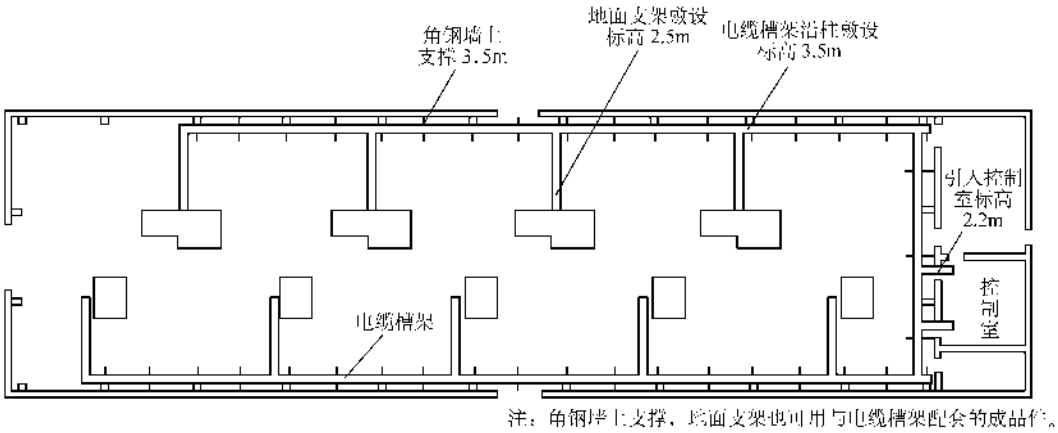


图 4-47 某车间电缆槽架布置示意图

多层工业厂房的配合土建作业，部分同前述的变配电间和单层工业厂房，部分同后述的高层建筑的配合土建。下面讲述上述内容中没有提到的一些问题。

（1）分支桥架悬空安装的配合土建　土建绑扎楼板钢筋和支模板时，在布有桥架线路的上方，则在模板上预埋 T 形铁件，预埋方法见图 4-48，每组间距应由桥架宽度决定，一般为 300mm、400mm、500mm、600mm。

（2）孔洞的预留　层与层之间的电气管路或桥架有时是经过楼板安装的，这样则应在浇注楼板时，在设计标注的路径中所要穿过的楼板的位置留下孔洞，并在其边缘上预埋铁件。

配合混凝土工和钢筋工在规定的位置留下一定形状（长方形、正方形、圆形等）的孔洞，并把 T 形铁的面垂直地坪，紧贴模板，J 形钩和钢筋绑扎好。采用钢模板时，在孔洞位置应使用部分木模板。见示意图 4-49。

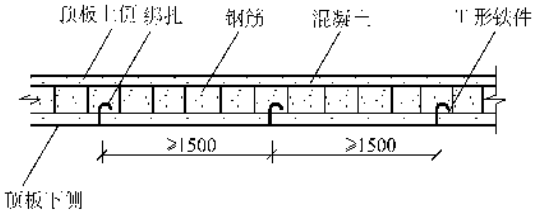


图 4-48 顶板下侧预埋 T 形铁件示意图

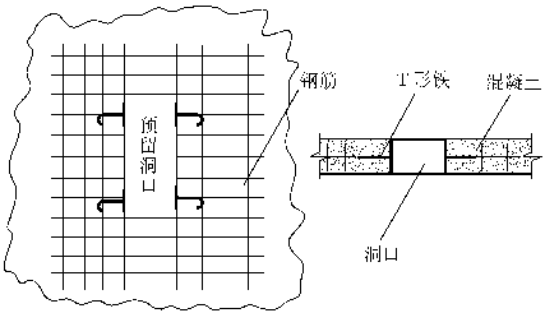
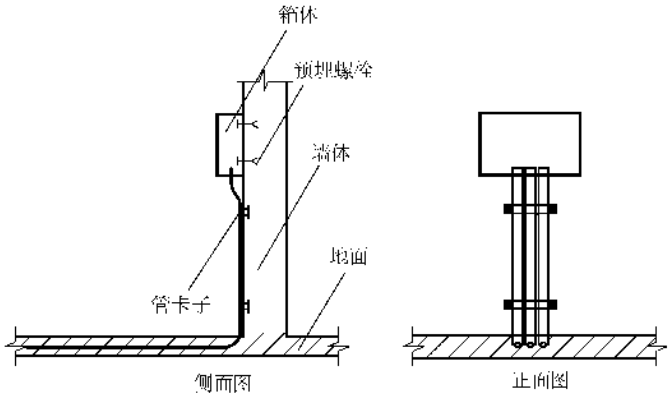


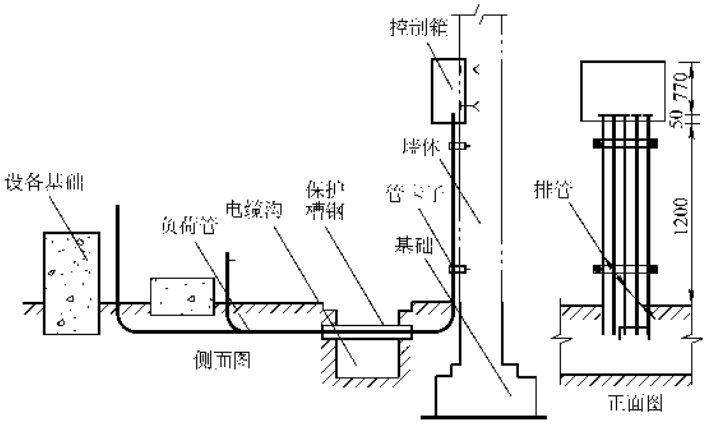
图 4-49　孔洞的预留示意图

在工业厂房中，动力管路的敷设除暗设外，有时常将上墙进入控制箱的管路明设，这样控制箱也是明装，作法是在墙上预埋螺栓，将管用卡子卡好；要求上墙明设管路必须和地坪垂直，多根排列时必须整齐，较粗的管子应放在中间，见图 4-50。

（3）基础接地网的设置　对于多层或单层混凝土框架结构的建筑，在浇注基础时，所有基础梁柱的主筋应焊接并成一体，引上后并与框架的梁、柱主筋焊接在一起，形成一个网，这个网在室外地坪 -0.8m 处应与人工接地极焊接成一体，见图 4-118。



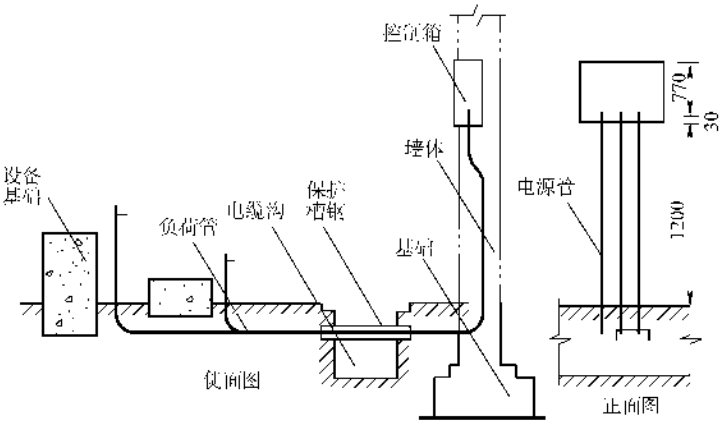
a)



b)

图 4-50　控制箱及其管路的敷设示意图

a）明装箱示意图之一　b）明装箱示意图之二



c)

图 4-50 （续）

c）暗装箱示意图

第四节 民用建筑的配合土建

随着人类社会的进步和物质文明的提高，民用电器越来越多，用电容量日趋增加，电路也走向复杂化，功能增多。除了照明以外，通信、广播、电缆电视、火灾报警及自动消防、防盗报警、电梯、炊事机具、空调及通风、电力驱动、微机联网管理及监控等电气系统已渗透在现代民用建筑之中。这样给施工安装带来了一定的难度，同时对安装行业及其电气设计部门都是一个极好机遇和挑战，也是和国际安装业接轨的前奏。尤其高层建筑的迅速发展，更使这个问题突出。

本节将要讲述普通民用住宅和高层建筑的配合土建施工。

一、普通民用住宅的配合土建

普通民用住宅的电气设施主要有照明、单相动力、电话、电缆电视以及电源管线、开关箱等。普通民用住宅是以户单独计取电费的，因此，配管时的区域性很强，各户之间的管路不得混淆，这是必须注意的。现以某六层住宅楼为例，电气布置图见图 4-51a，讲述配合土建的工艺方法。本图采用一室一路电源，如一户采用两路电源（插座一路、照明一路）时，则应照其分开设置，见图 4-51b。

1）地下室砌墙到楼板下 -0.3m 时下各室拉线开关盒及由照明箱通至地下室的总接线盒，且总线盒应敷管向上通往照明开关箱的下皮，管长为（0.3 +1.4 +2 ×0.005 + 楼板厚度 + 室内外高差）。

2）地下室楼板施工时将地下各室的灯盒及管、走道灯及管下好，并把管连通后送至总接线盒，同时把走道灯盒用管送到入口处并使该管上翻至室外标高 1.40m 处，砖砌到这里时再预埋一只开关盒。

3）墙砌至室内标高 0.30m 时，预埋插座盒并敷管，图中插座、开关、灯具画在一起的管通至顶下 -0.3m 处，这里有一只接线盒；只和灯具画在一起的通至标高 1.85m 处，这里有一只壁灯盒。

同时在 0.3m 处敷设电缆电视用户插座盒，且敷管垂直通至二楼该处的 0.3m 处。

4）墙砌至室内 0.80m 时，下电话插座盒，且敷管垂直通至二楼该处的 0.8m 处。

5）墙砌至室内 1.40m 时，下手动开关盒，且敷管垂直通至屋顶下 -0.2m 处。同时将总照明开关箱的外壳置于引入地下室电源管的上口；待砖砌至闸箱上皮时，从闸箱上皮敲落孔敷 5 根管，分别通至屋顶下 -0.2m 处，其中 3 根是通往本层三户的电源管，1 根是市电供电的总电源管（该管只一层顶有），另一根是通往二层的电源管。因为这里有一只楼道灯，其电源是从这根通往二层电源管的接线盒取得的。

6）墙砌至 1.85m 标高时，下壁灯盒，并敷管至顶 -0.2m 处，墙砌至屋顶下 -0.2m 时，将该标高处的所有接线盒下好。

7）一层楼板施工时，按图 4-51 将各室灯盒、管敷好，并把管的另端和墙上 -0.2m 处的盒点焊好；同时将市电电源引入管室外端套好丝，然后置于墙中间，室内端插入墙上闸箱上方板下的 -0.2m 处的接线盒，室外出墙 800mm；最后将通往上层的电源管插入门庭的接线盒垂直送至第二层的标高 1.40m 处。

至此，第一层的管路和盒全部下好，从第二层起各层的敷设与第一层基本相同，下面讲述不同点。

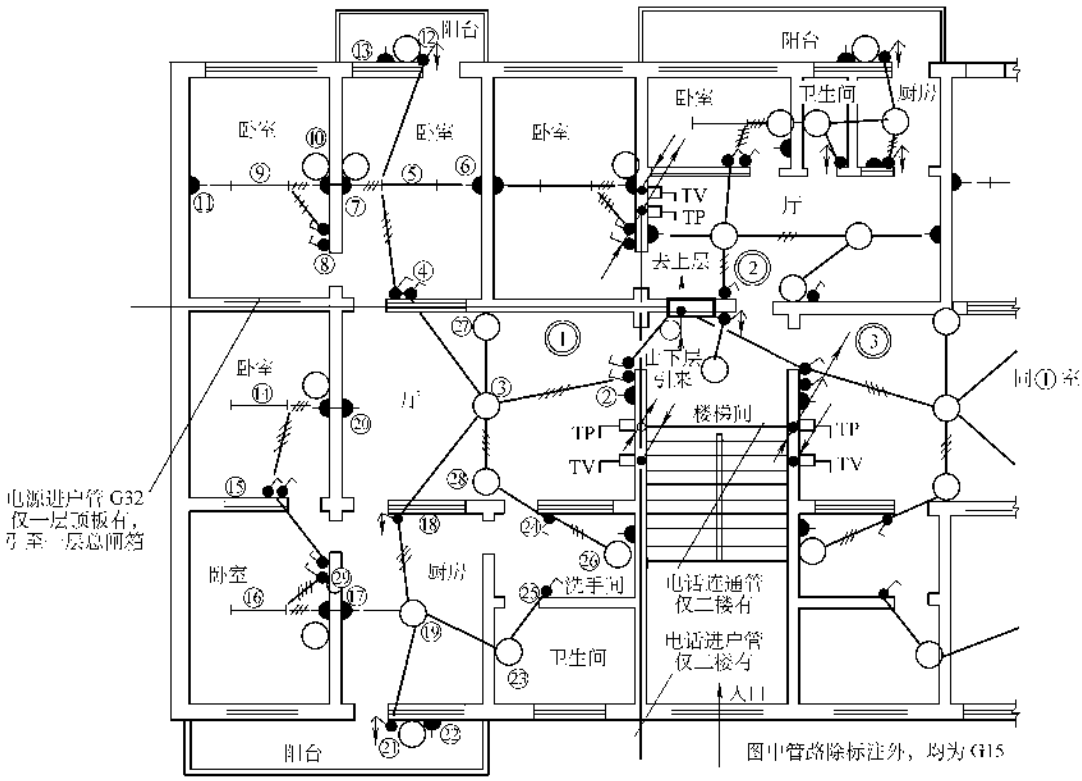


图 4-51　某住宅照明平面图 1:100

8）第二层电话插座盒敷设时，首先是用一管将①室的盒引入室外，并做一个防水弯，出墙不大于600mm，同时在出口处预埋一块 T 形铁，做为电话室外线盒的固定点。然后用两根管将①室和②室、①室和③室的电话盒经地板分别连接起来。第二层设有市电电源管，闸相向上引 4 根管，一直到第六层。

9）层高到第六层时，0.8m 处电话盒不再向上送管，因在二楼已连通；电缆电视继续向上送管至顶板下 -0.2m 处，电源也向上送管至顶下 -0.2m 处，做为电缆电视放大器的电源。

10）标高至顶层板下 -0.2m 时，将图中板下 -0.2m 处的引上管设接线盒。

11）楼顶板施工时，将 10 中的盒用管引自天线处的电缆电视小间处，上翻 0.8m，全部套丝；在小间侧（按设计测定场强的方位处）预埋天线底座，天线底座见示意图 4-52。现浇楼板应和钢筋绑扎好，预制楼板时，此处应改为现浇。同时应将天线的缆风绳地锚预埋好，见图 4-53，方法同底座。在绑扎屋沿钢筋时，应每隔 1m 预埋一扁铁，见图 4-54a 或一圆钢，见图 4-54b，作为屋顶防雷线的支撑物。

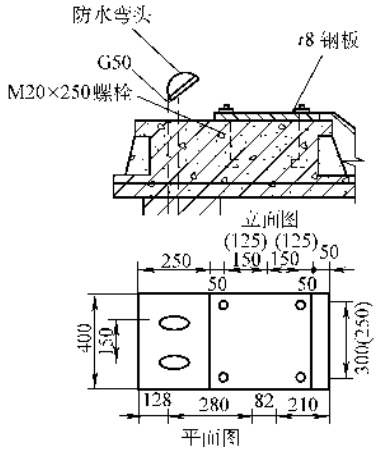


图 4-52　天线底座预埋示意图

12）关于防雷引线的作法说明。

防雷引线的作法应由设计标注而定，采用屋架柱体内主钢筋作为引线时，应在室外地坪标高 1.0m 处，在模板内预埋一 T 形铁，并使其露出柱面，T 形铁则和主筋电焊焊好，然后每次主钢筋连接时，必须

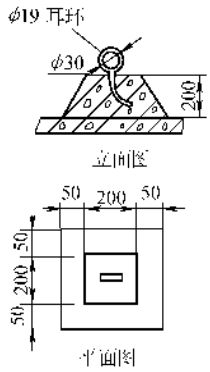
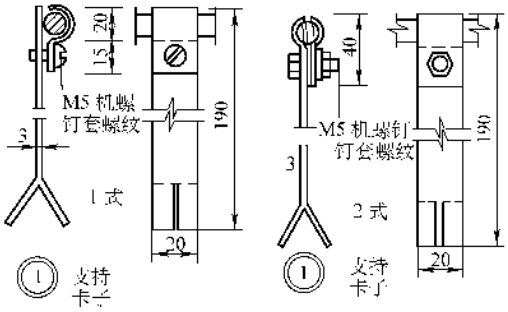


图 4-53 拉线底座示意图



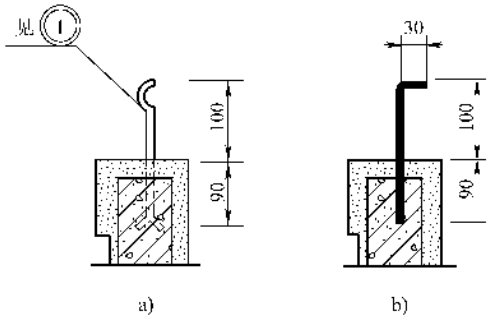


图 4-54 屋顶防雷线支撑预埋示意图

用电焊将接头部位双面焊好，焊缝长度大于 100mm，直到楼顶下一 0.8m 处，再预埋一块 T 形铁，同样电焊焊好。第一块 T 形铁做为和接地极引线联接的部位，第二块 T 形铁做为和屋顶防雷线联接的部位；当采用墙外敷设防雷引线时，则应在下引部位的墙上每隔 1.50m 预埋一块 T 形铁，直至屋顶，做为支撑防雷引线的支撑物的连接点。防雷引线的敷设部位和根数由设计标注。

至此，六层民用住宅楼的配合土建作业全部结束。然后按图样彻底检查一遍，有漏掉的在没有内装修前补设完。补设的办法通常采用在墙上或地面上刨出一深 80mm 的沟，将管置于其内，线盒处应按盒刨一规则的坑，将盒置于其内，并用电焊点好。

这里须要说明一下，室内配管如采用软塑管，则应采用塑料盒。而由墙上引至屋顶的管则在板下 -0.2m 处,不设线盒，先把软管团在这里，盖板或浇注时直接引自灯盒或开关盒内。但为了安全，民用建筑不提倡用软塑管，住户因为往墙上钉钉子、在地面上开凿小沟，为之发生触电的事故已发生不只屡次。这是须电气工作者在从事设计和安装时万万不可忽略的。

13）在多层、高层或大面积平面内配合土建施工，在电气管路超施工验收规定的长度时，中间应加装接线盒或拉线盒，其位置应便于穿线。

垂直敷设的管路时，装设接线盒、拉线盒的距离应按表 4-4 中的数值设置。

表 4-4 垂直管路拉线盒距离表

导线截面积/mm^2	拉线盒距离/m
50 及以下	30
70 ~ 95	20
120 ~ 240	18

14）配合土建时，应使电气管路避开热力管道及其他管道，其最小距离应符合表 4-5 的规定，这也是熟悉其他专业图样的必要性。

15）预埋管路遇建筑物伸缩缝沉降缝时的处理办法。一般是在该处两侧各预埋一个特制的方形接线管，见图 4-55。两边的管路只将管口进入接线管、用电焊点焊牢固。穿线时，导线在该管内内留有充分的预量，有时也可在该管内套上较粗的金属软管。通常分两种情况穿越。

① 管路在楼板上敷设。管路进墙后沿中线上翻到室内地坪 0.3m 处，将方形接线箱置于墙上，箱口朝外，并使管路的管口进入管内 5mm，见图 4-56。

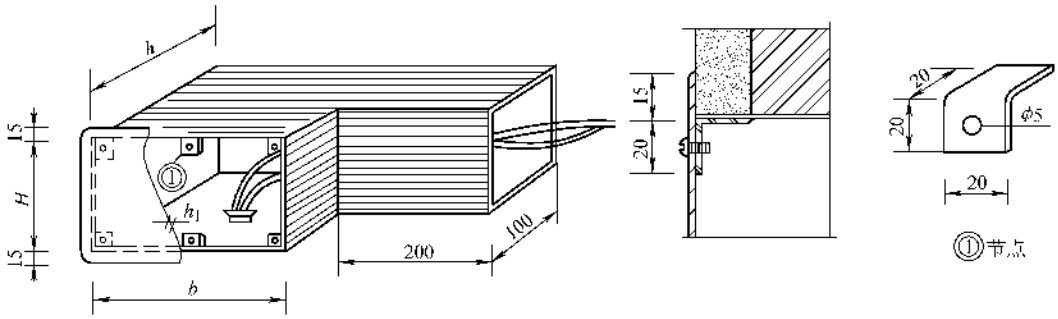
② 管路在墙上敷设时，将箱做成 L 形，平放在伸缩缝处，见图 4-57。

二、高层建筑的配合土建

高层建筑的电气设施很多，几乎包罗了所有现代电器。高层建筑的标志之一就是功能的电气化和自动化，现在以某 36 层综合大厦为例，详细讲述配合土建的工艺方法。

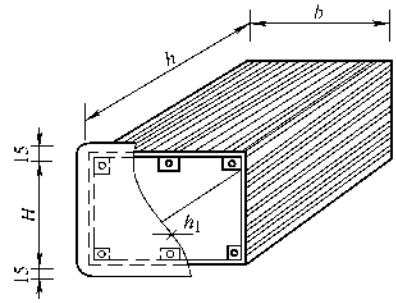
（一）工程概况

1）该项工程从功能上区分有 4 个部分，即商场、办公写字楼、民用住宅及其配套附属工程。地下两层，地上 34 层，现浇混凝土框架结构，外形见图 4-58、图 4-59。



一式接线管做法

接线管与墙交接做法



二式接线管做法

电线管与接线管配用规格尺寸表　(单位:mm)

每侧八根电线管规格和数量		接线箱规格			箱厚	固定盖板螺钉规格数量
		H	b	h	h_1	
一式	40 以下 2 支	150	250	180	1.5	M5×4
	40 以上 2 支	200	300	180	1.5	M5×6
二式	40 以下 2 支	150	200	同墙厚	1.5	M5×4
	40 以上 2 支	200	300	同墙厚	1.5	M5×6

图 4-55　伸缩缝处接线管示意图

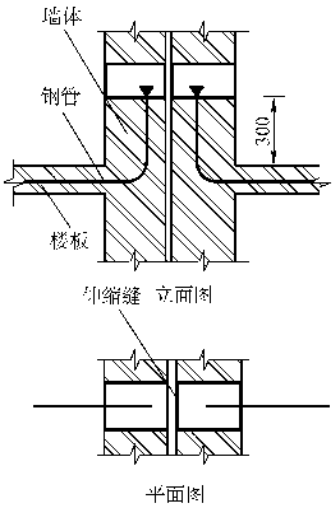


图 4-56　伸缩缝处管路在楼板内时与接线箱的连接

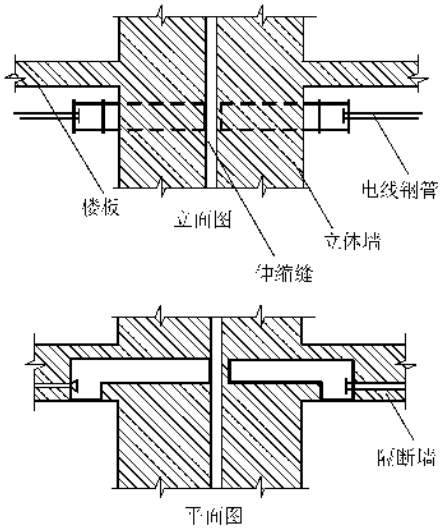


图 4-57　伸缩缝处管路在墙内时与接线箱的连接

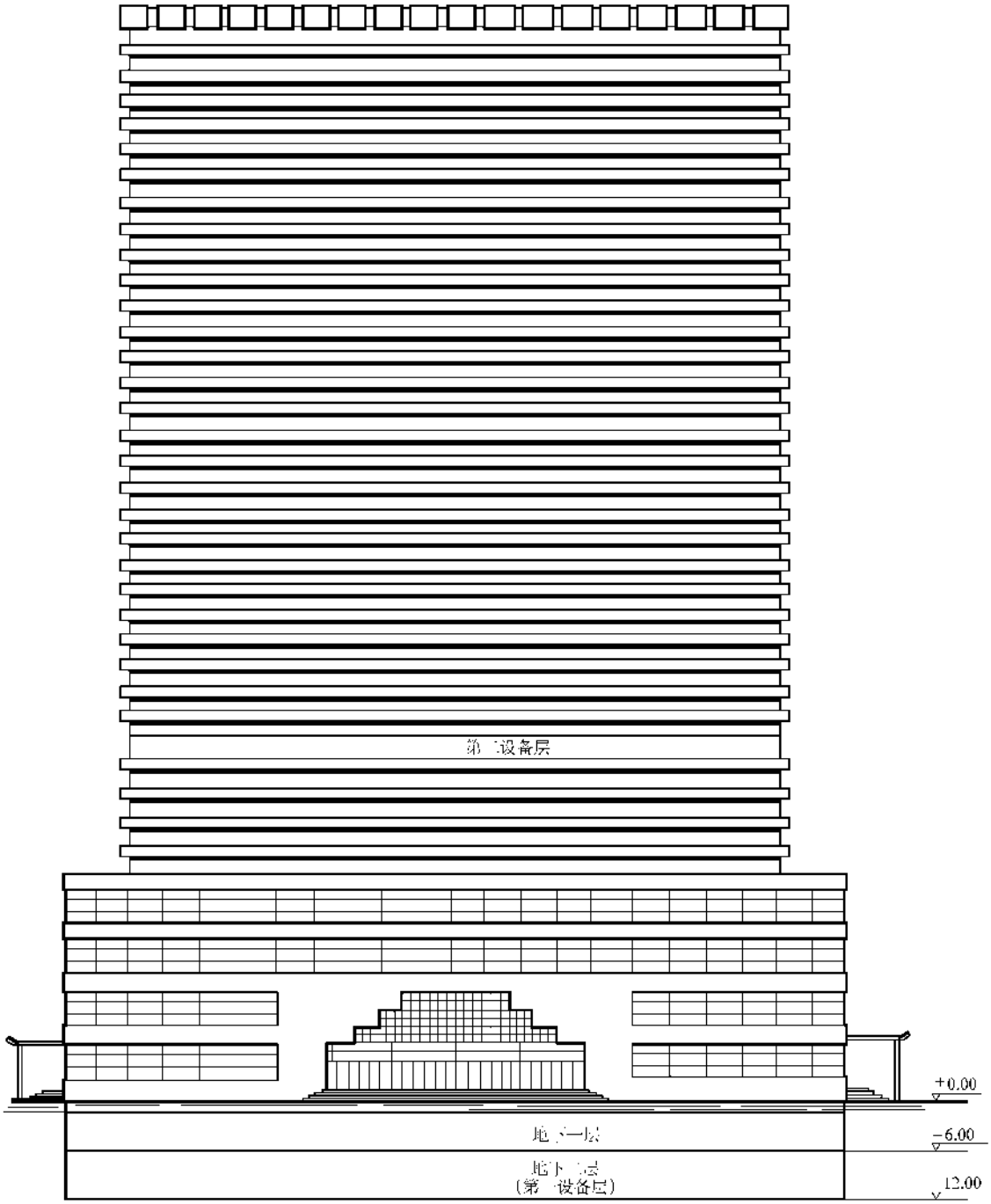


图 4-58 某 36 层综合大厦南立面及地下层外形示意图

2）地下二层为空调机房、消防泵房、给水泵房、修理间、自备发电机组、通风机房、冷冻机房、3×1000kVA 变配电间、冷却水处理系统等，也称做第一设备层，设备层层高 6m，平面布置见图 4-60～图 4-63。

3）地下一层至地上四层为商业中心，除卫生淋浴间外全部吊顶，直梯 6 部（从地下二～九层）、每层有扶梯 8 部，消防梯 3 部，首层有电动卷帘，全部为电动门，除照明（包括装饰照明）外，有火灾报警及自动消防系统、闭路电视及防盗保安系统、个别部位有电缆电视系统、通信广播系统、空调系统、微机管理的监测系统等，层高 6m。平面布置见图 4-60～图 4-68。消防中心和防盗保安中心设在一层。

4）地上五层到九层为办公管理中心，除泵站、变电间、卫生淋浴外全部吊顶，有照明、电话、通信、广播、电动空调机、现代办公设备、火灾自动报警及消防系统、局部有电缆电视。微机管理控制中心、电梯中转站（地下二～九层的电梯机房）、电话总机房、通信广播总机房、电缆电视机房及演播厅、会议厅、加压泵站（包括消防泵）、2×800kVA 变电间设在九层为第二设备层，九层层高 6m，其余净高 3.30m，楼梯间门为电动门。见图 4-69～图 4-76。

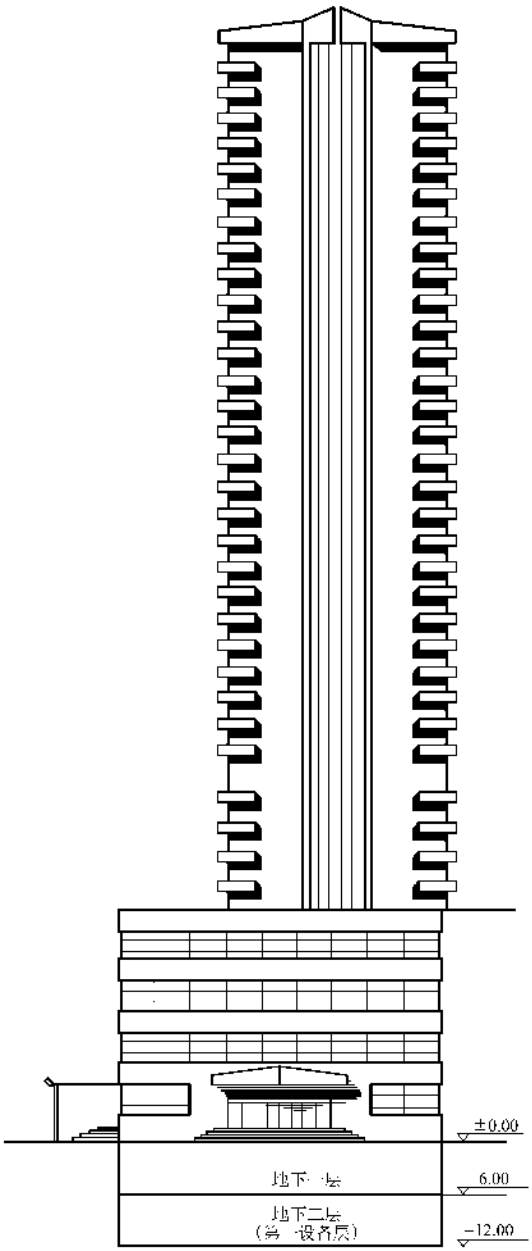


图 4-59　某 36 层综合大厦东立面及地下层外形示意图

表 4-5　配线与管道间最小距离

最小距离/mm　配线方式 / 管道名称		穿管配线	绝缘导线明配线	裸导线配线
蒸汽管	平行	1000（500）	1000（500）	1500
	交叉	300	300	1500
暖、热水管	平行	300（200）	300（200）	1500
	交叉	100	100	1500
通风、上下水压缩空气管	平行	100	200	1500
	交叉	50	100	1500

注：1. 表内有括号者为在管道下边的数据。

2. 在达不到表中距离时，应采取下列措施：

1）蒸汽管——在管外包隔热层后，上下平行净距可减至 200mm。交叉距离须考虑便于维修，但管线周围温度应经常在 35℃以下；

2）暖、热水管——包隔热层；

3）裸导线——在裸导线处加装保护网。

3. 裸导线应敷设在管道的上面。

5）十层到三十六层为居民住宅，有照明、电缆电视、电话、火灾报警系统、电梯、可视—对讲—电门锁防盗保安系统等现代家庭设备。共 3 个单元，一、三单元每层 5 户，二单元每层 7 户、层高 2.80m。见图 4-77～图 4-79。

6）楼顶有电梯机房、卫星抛物面天线、电视共用天线、无线寻呼电话天线塔、防雷设施、航空障碍灯等。见图 4-81～图 4-82。

7）楼前和两侧为停车场，有立面投光照明、广场照明、水下喷泉照明等。楼后为地下一层、地上四层的立体仓库，（图上没有标出）有货梯 8 部，消防梯 2 部，配有照明、火灾自动报警及消防系统、防盗报警保安系统、电动门、电话，层高和主楼对应相等。并有锅炉房（图中没有标出）住宅入口的通道及自行车棚等设施。

8）电气竖井分强电竖井 3 个，弱电竖井两个，变压器采用环氧树脂干式变压器；在客梯机房、电话机房、电视中心、广播机房、消防中心、保安中心、消防电梯机房、调度中心、计算机中心和变电间分别配有不间断电源（UPS）。

9）本建筑物是一模拟建筑物，主要是为了讲述高层建筑的配合土建施工和电气安装，如有与土建结

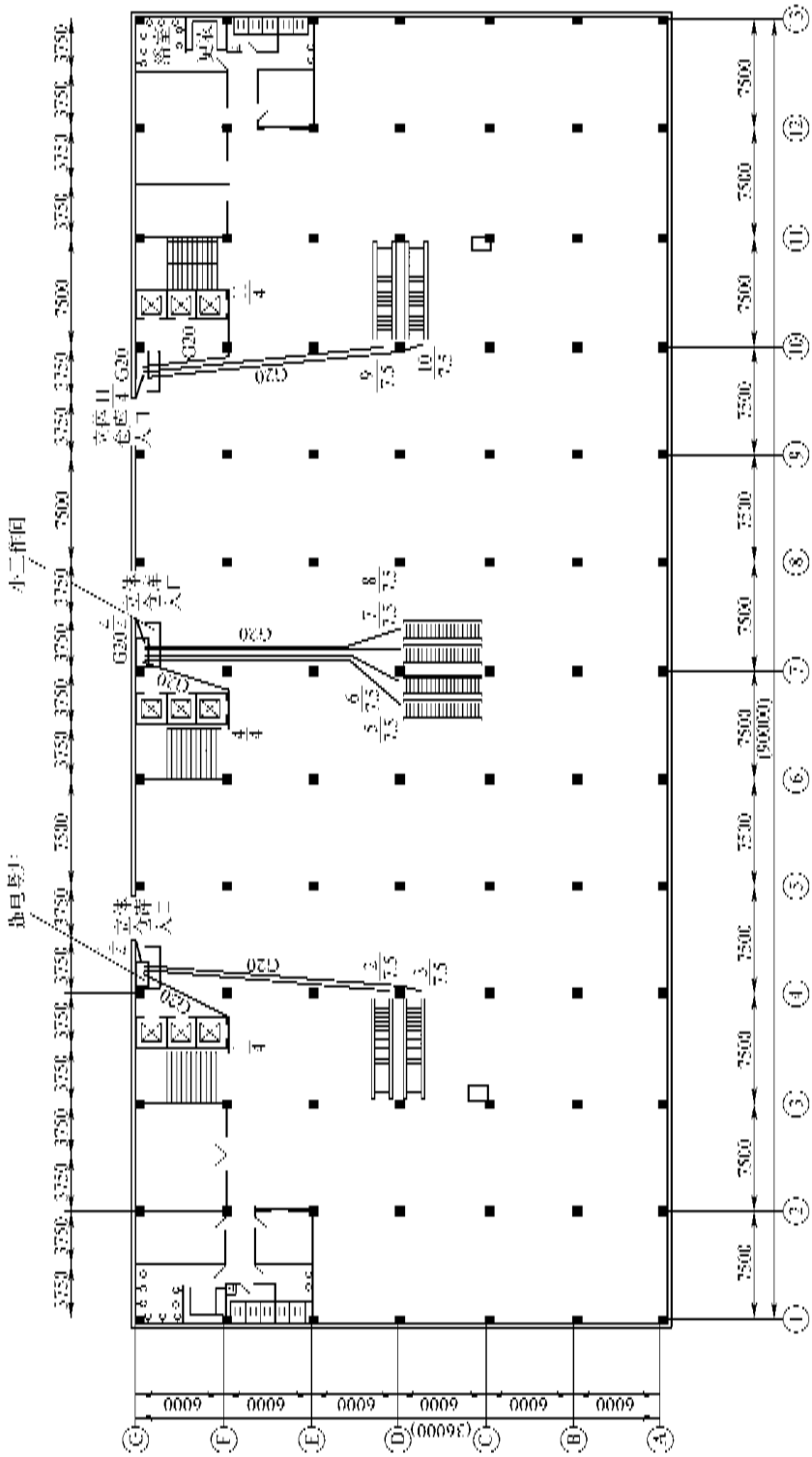


图 4-60 地下一层(地上二~四层)动力平面图

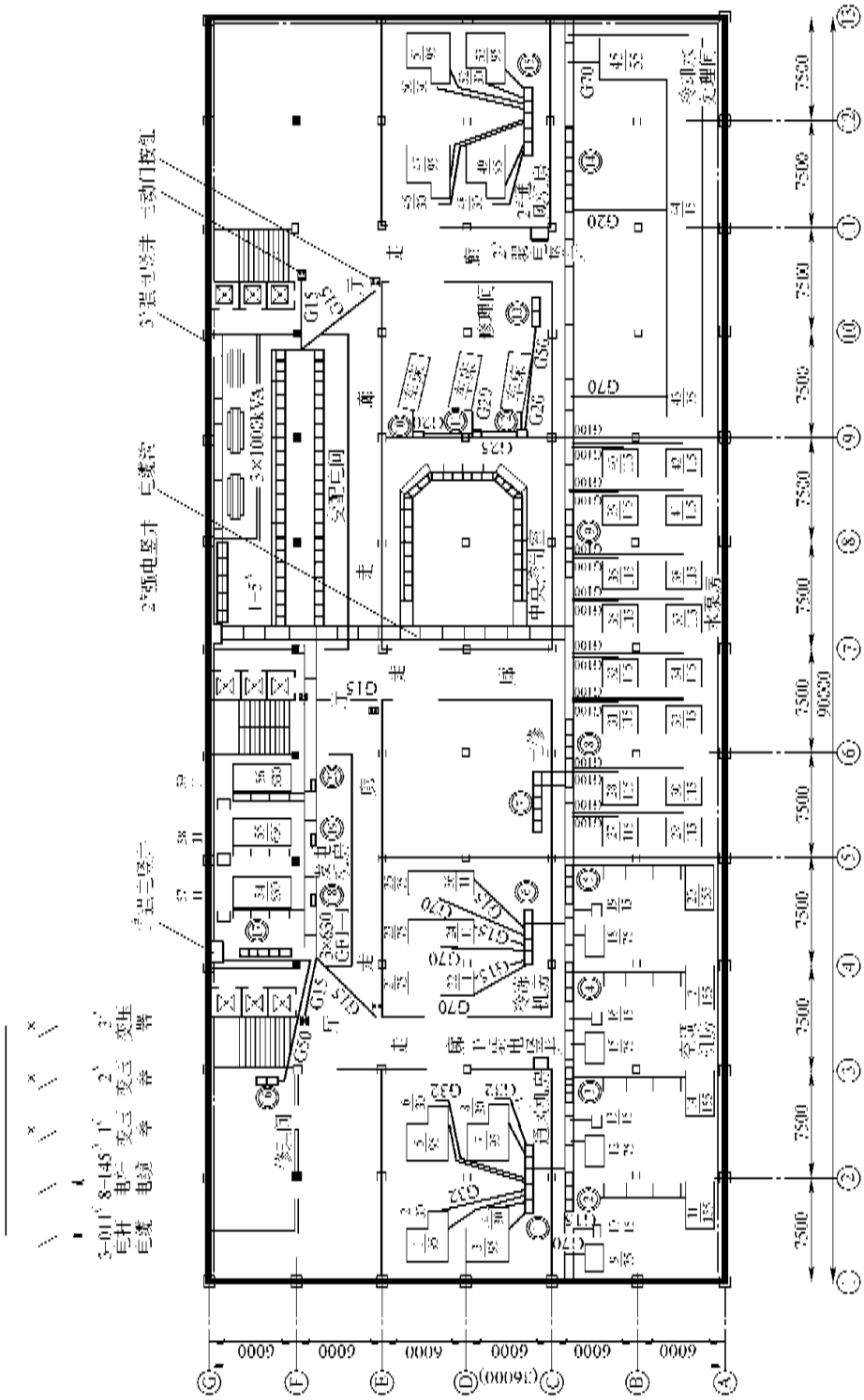
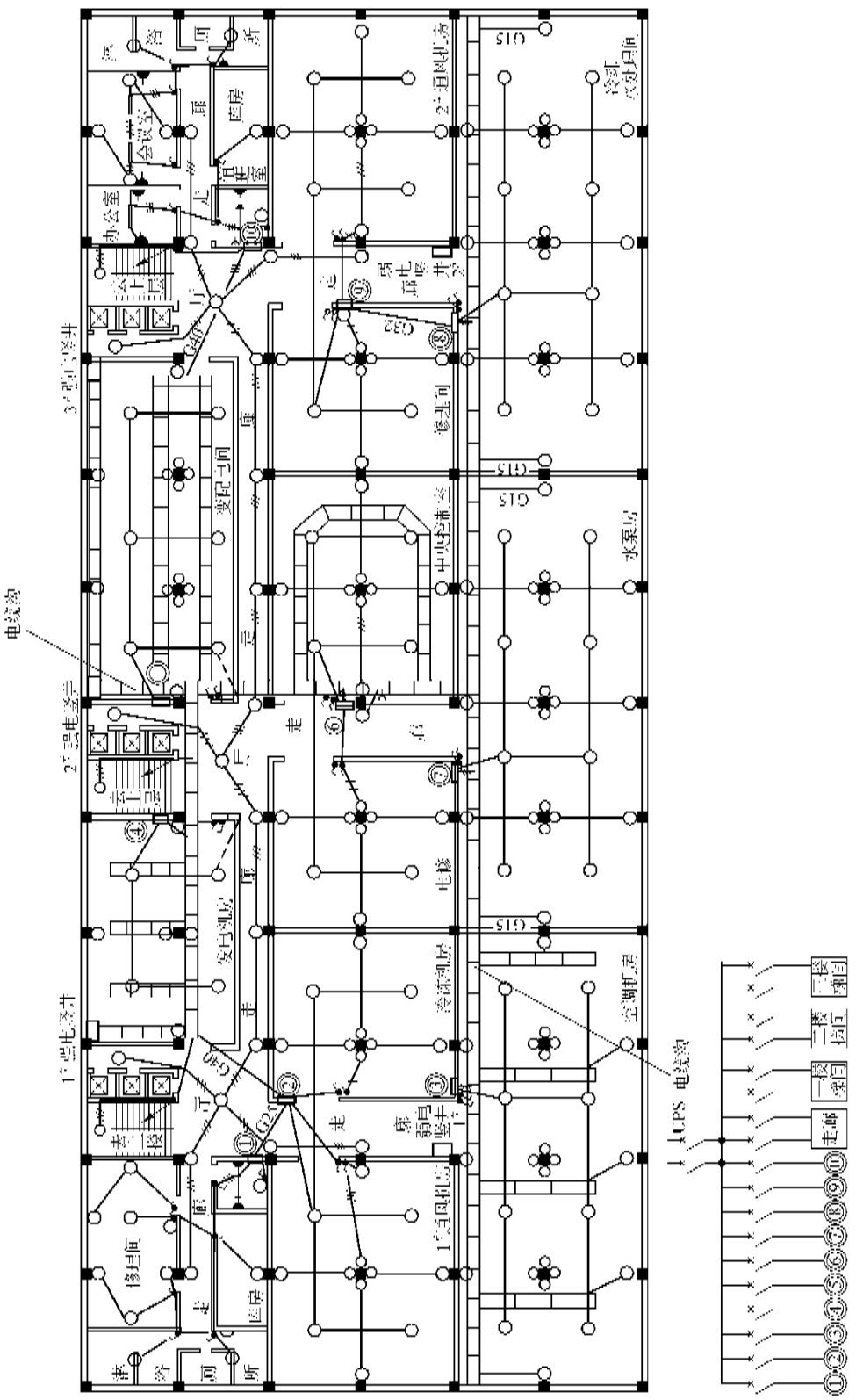


图4-61　地下二层(第一设备层)动力及设备平面布置图



注：系统共布14个回路，其中走廊照明为双控回路，在机房内，盥洗间为照明集中控制，其余为一路控制与单灯灯为一路控制，只靠近电缆沟与其当道电缆沟引入，GIS空间线而留在电缆沟内，自电缆沟引入到相它后调管为G40，其他与本注的均为G20，③、⑩回路空间系统为GIS。

图4-62 地下二层（第一设备层）照明平面图

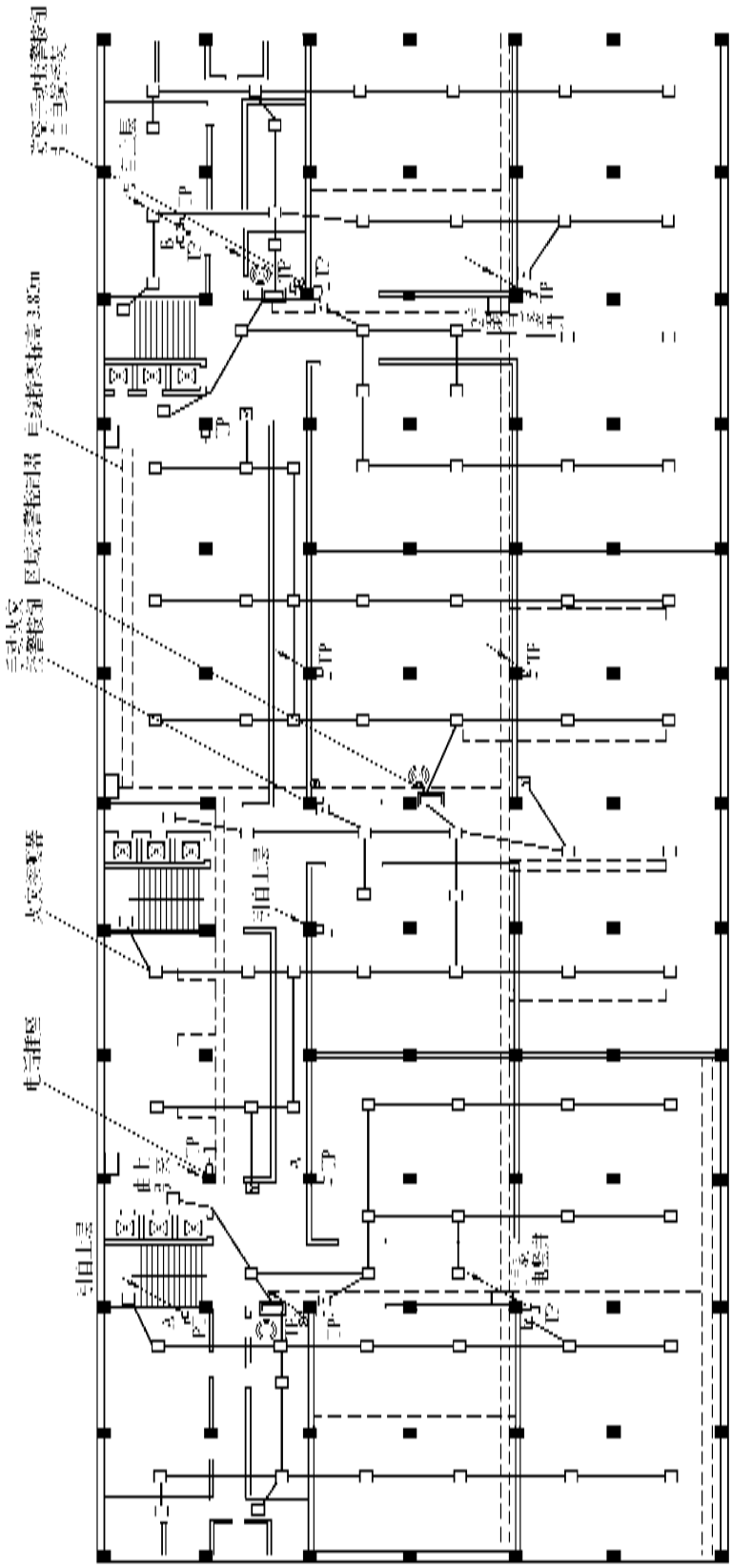


图 4-63　地下二层（第一设备层）弱电平面图

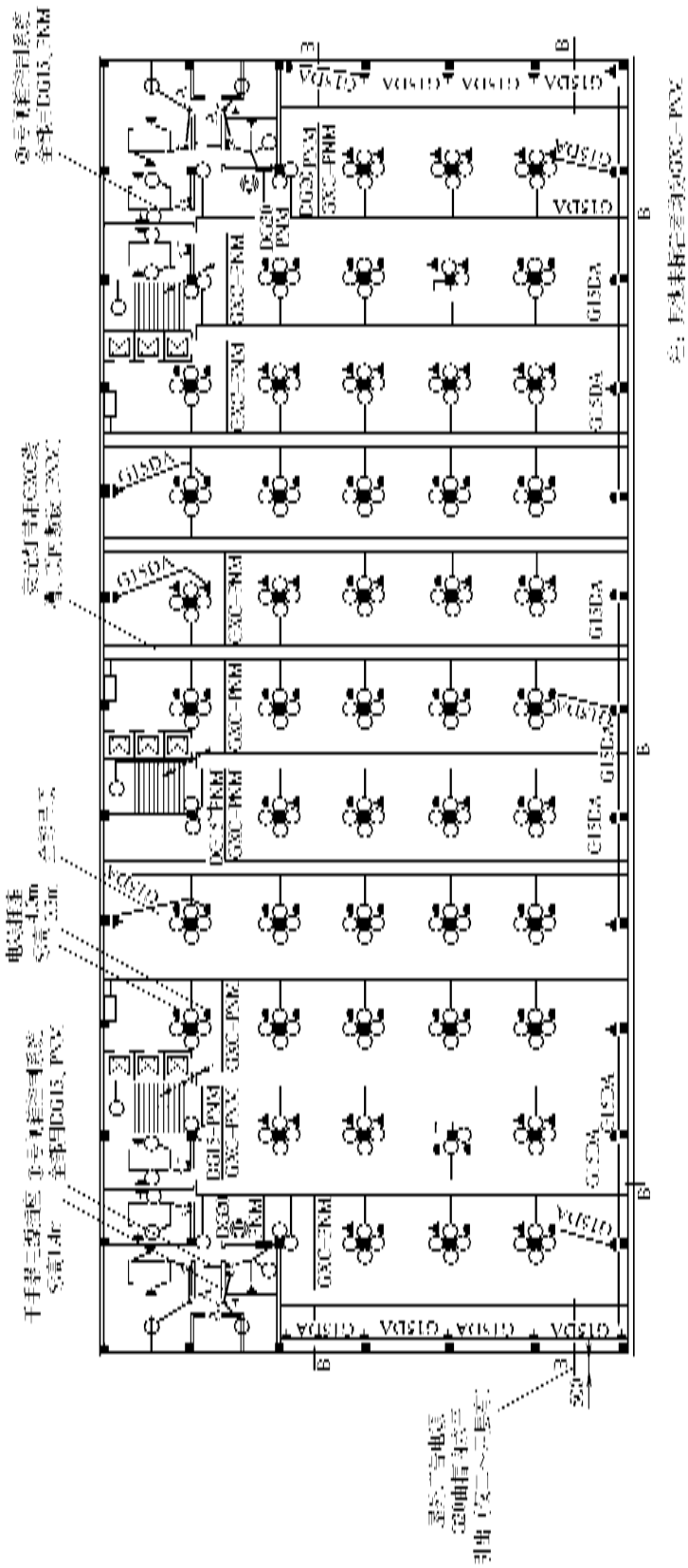
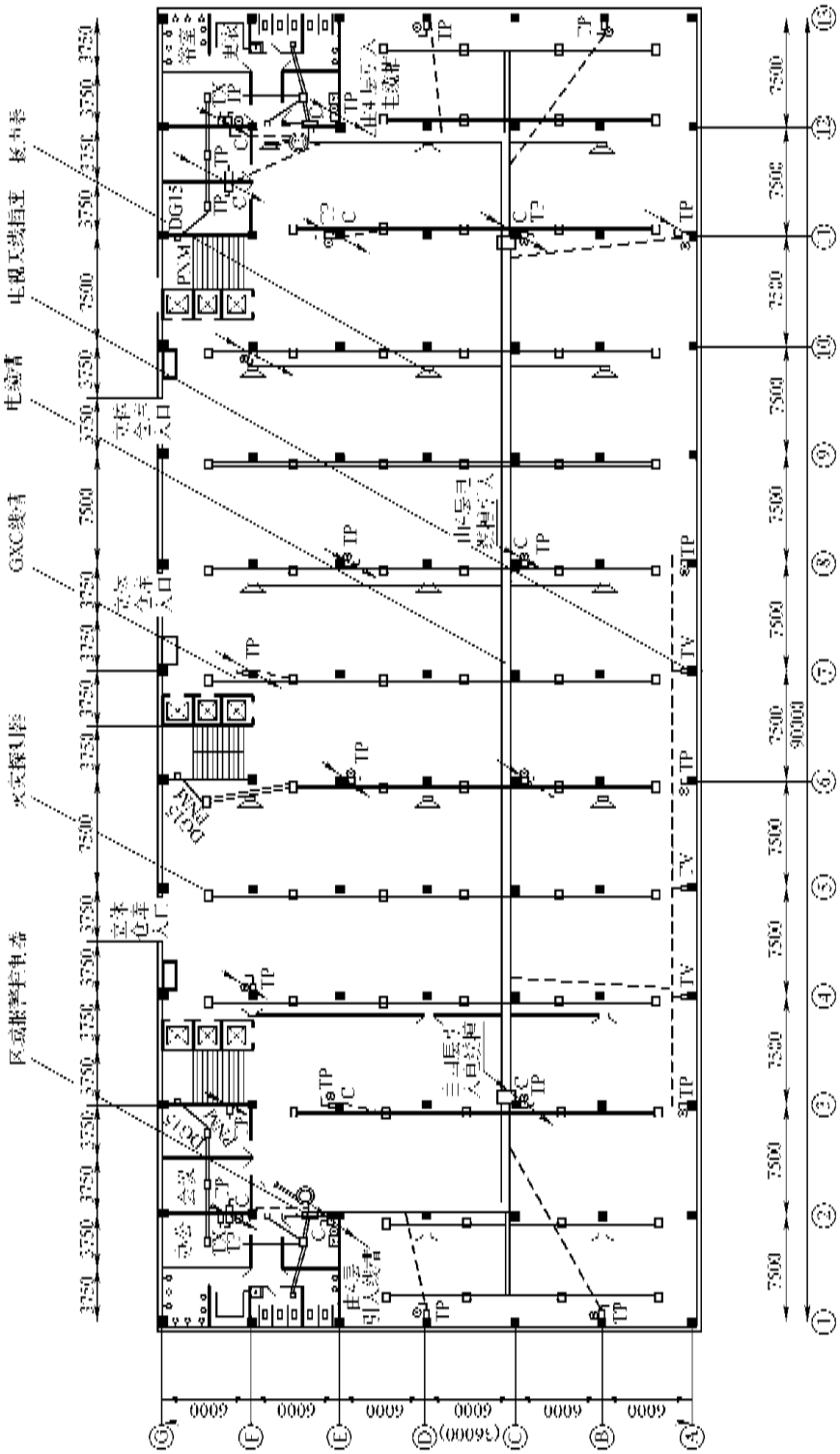


图 4-64 地下一层(地上二～四层)照明及管路布置平面图



注：A 轴、J 轴、13 轴电视天线插座、电话插座、防盗报警按钮的管路由地上四层吊顶内引入电缆槽内。见图中虚线。吊顶内火灾探测器的布置应置于每四柱对角线的中点上，全部管路及盒敷设在砼顶板内，G20，连结方法同图标注，串接后在电缆槽垂直上方砼板上预埋一盒，然后用软管将线引入槽内，图中不便画出。

图 4-65　地下一层（地上二～四层）弱电管线布置平面图

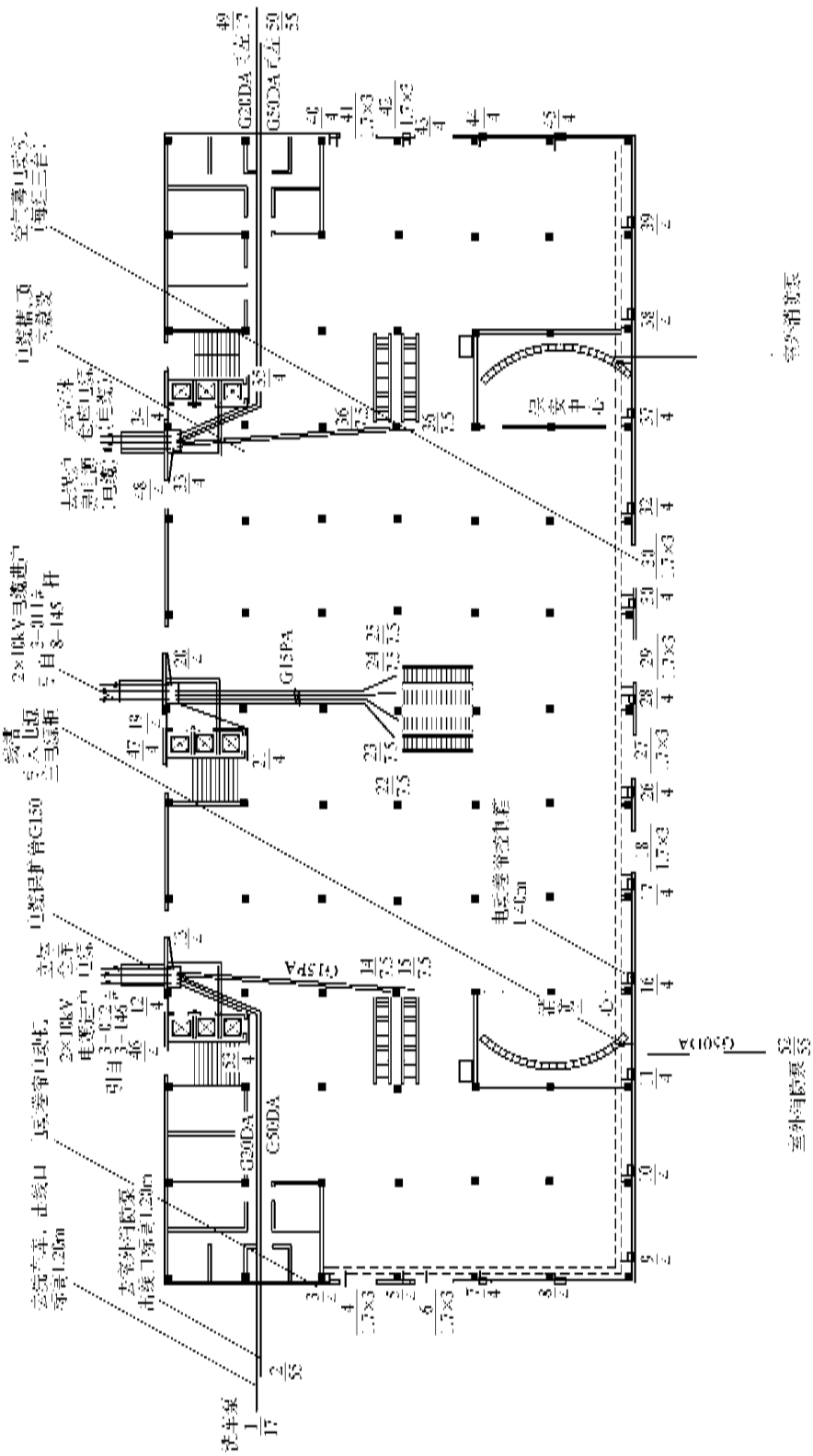


图 4-66 地上一层动力平面图

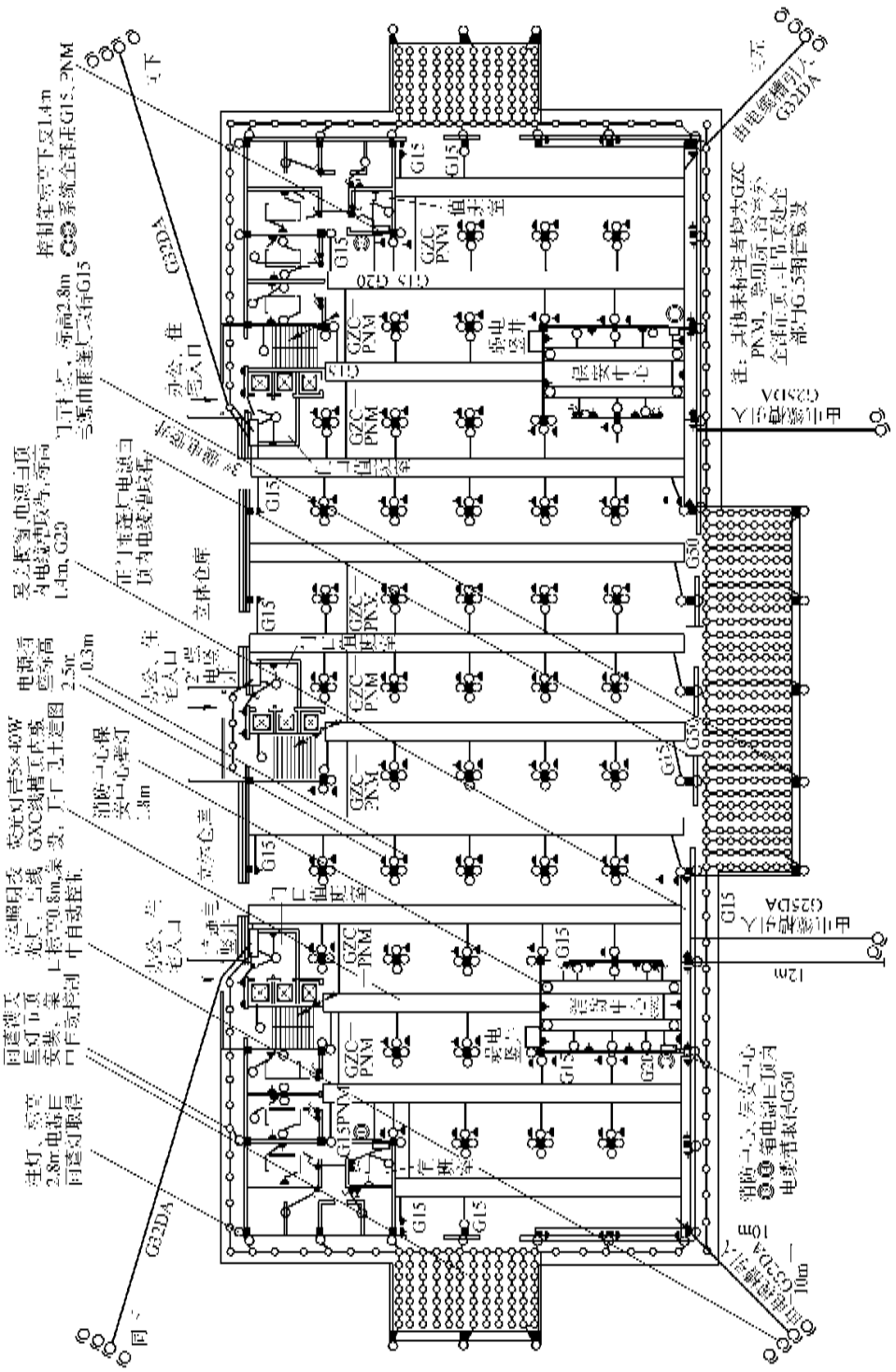


图 4-67　地上一层、大门照明平面管路布置图

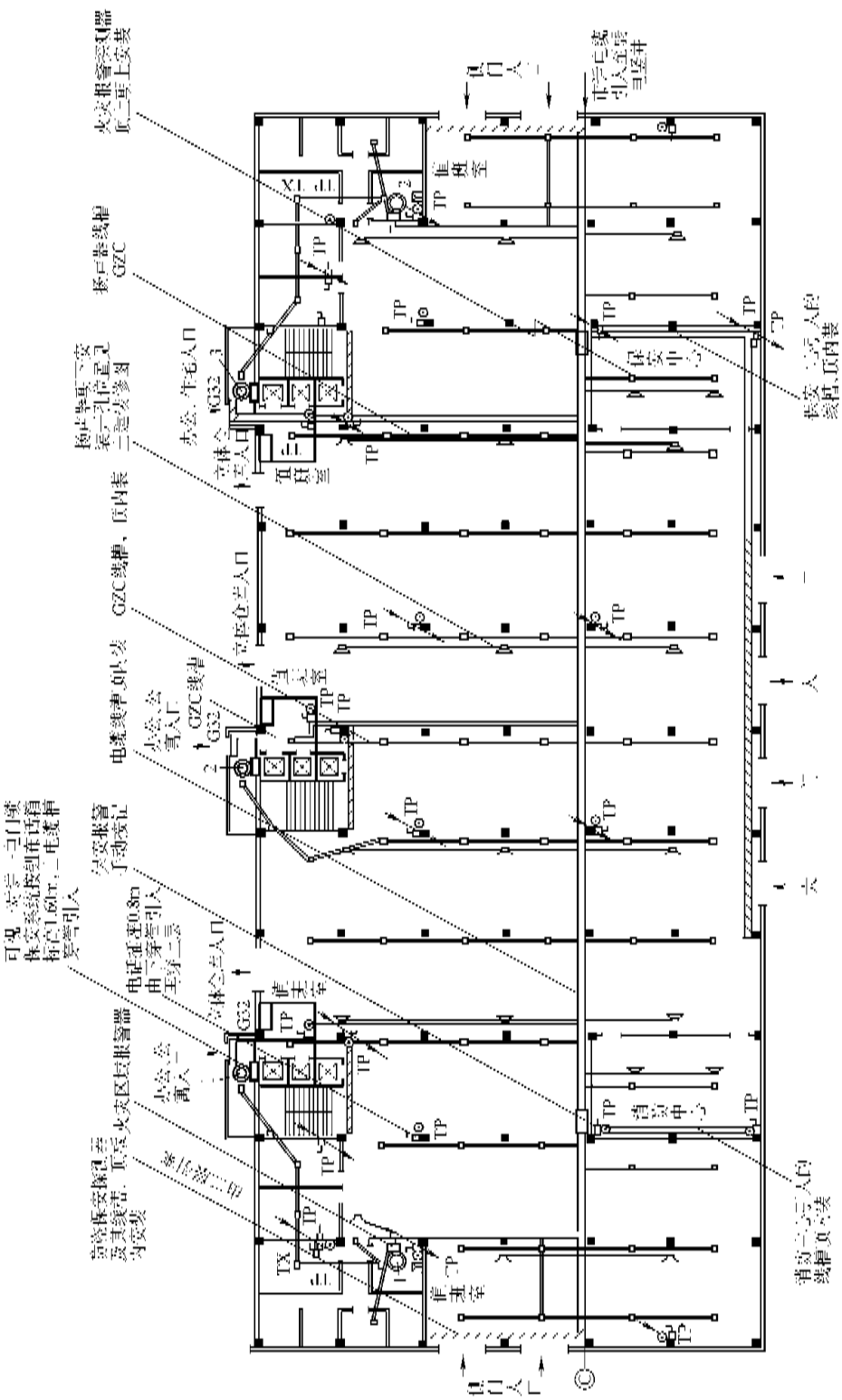
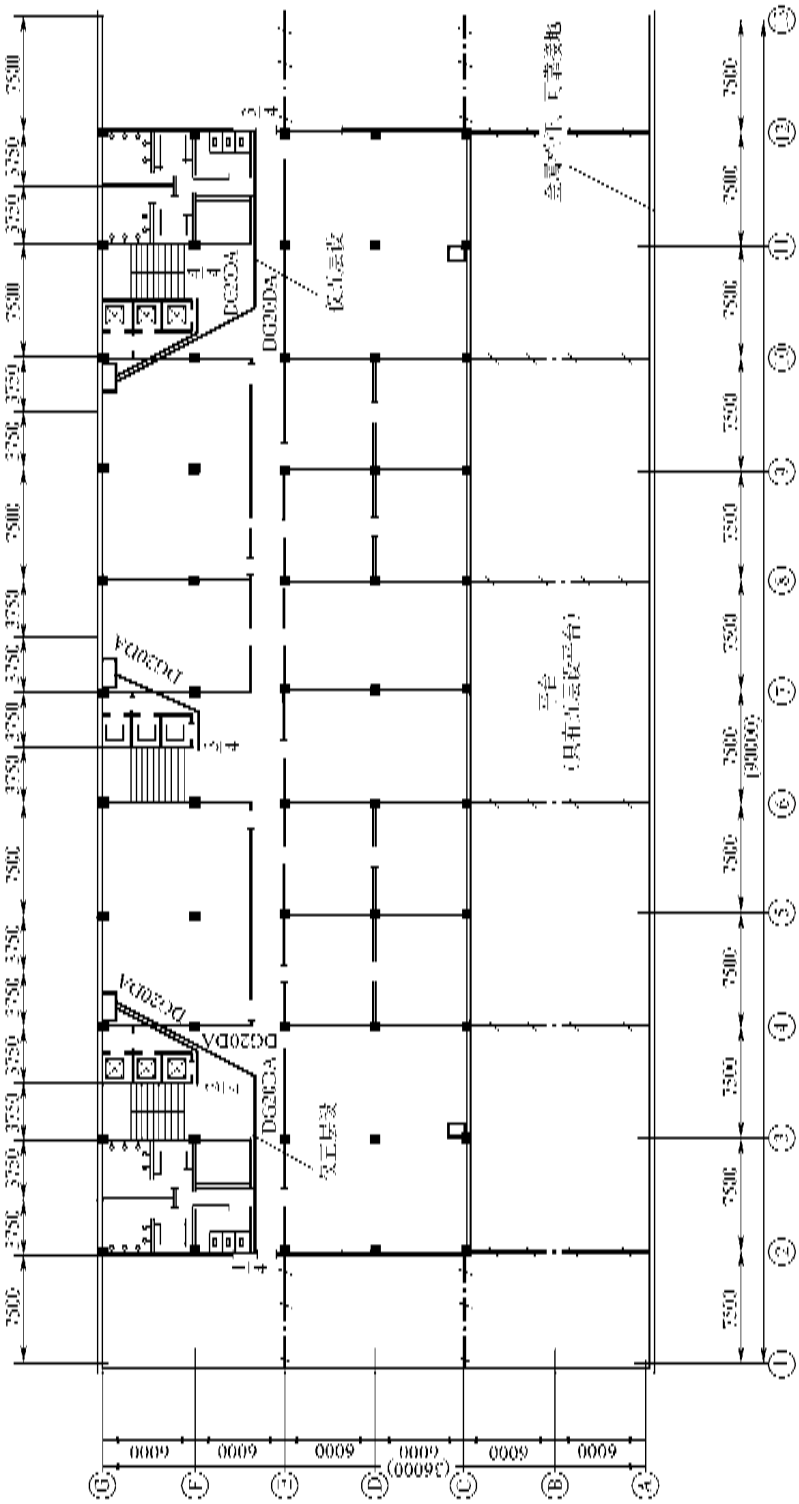
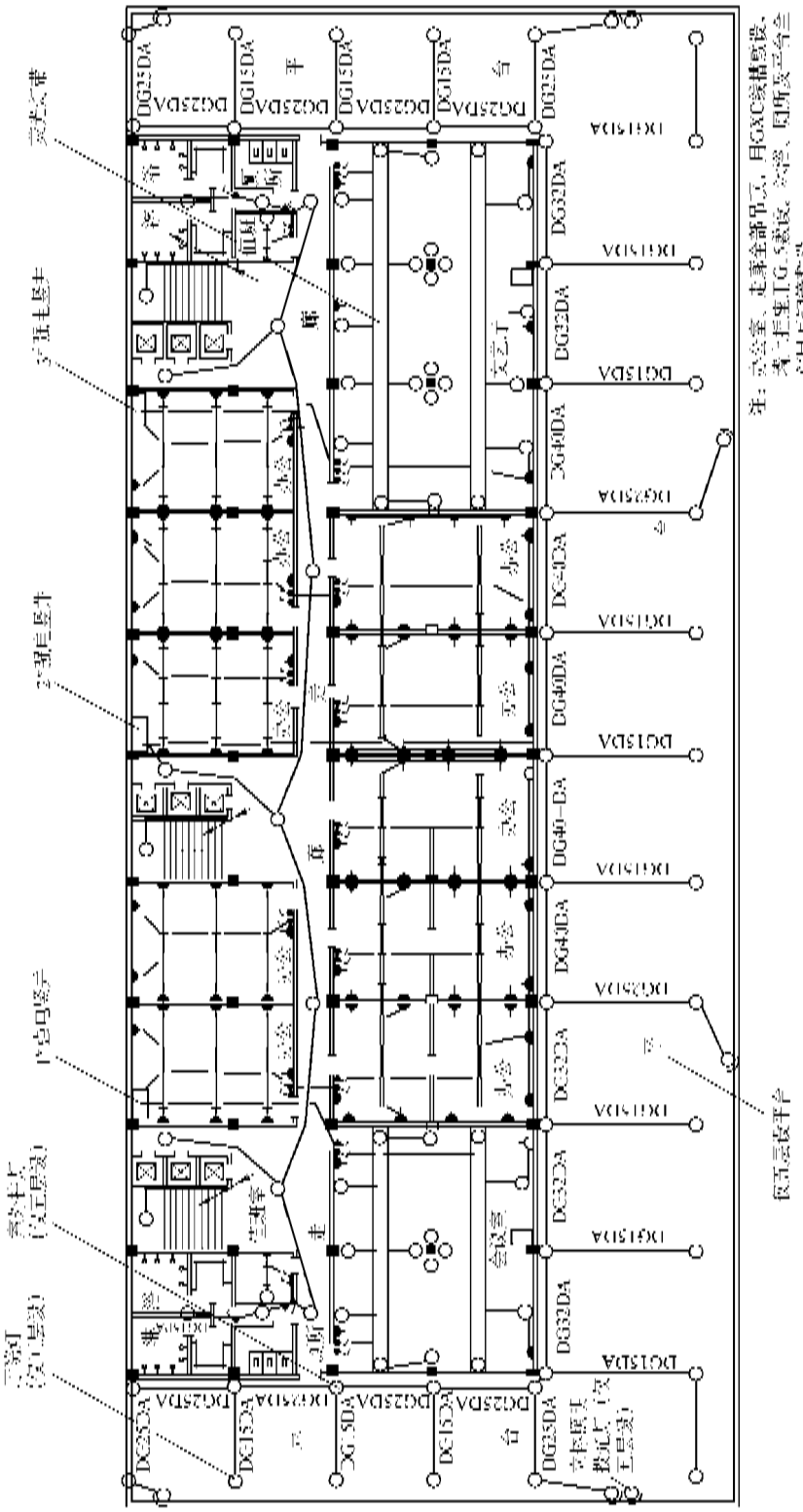


图 4-68 地上一层弱电管线布置平面图


DG20DA
DG20DA
DG20DA
DG20DA
DG20DA
DG20DA
DG20DA
DG20DA
7500
3750
3750
7500
3750
3750
7500
3750
3750
7500
3750
3750
7500
3750
3750
7500
3750
3750
7500
7500
7500


DG25DA
DG15DA
DG32DA
DG40DA
DG40-DA
DG25DA
DG15DA
DC25DA
DC15DA
DC32DA
DC40DA
DC40-DA
DC25DA
DC15DA

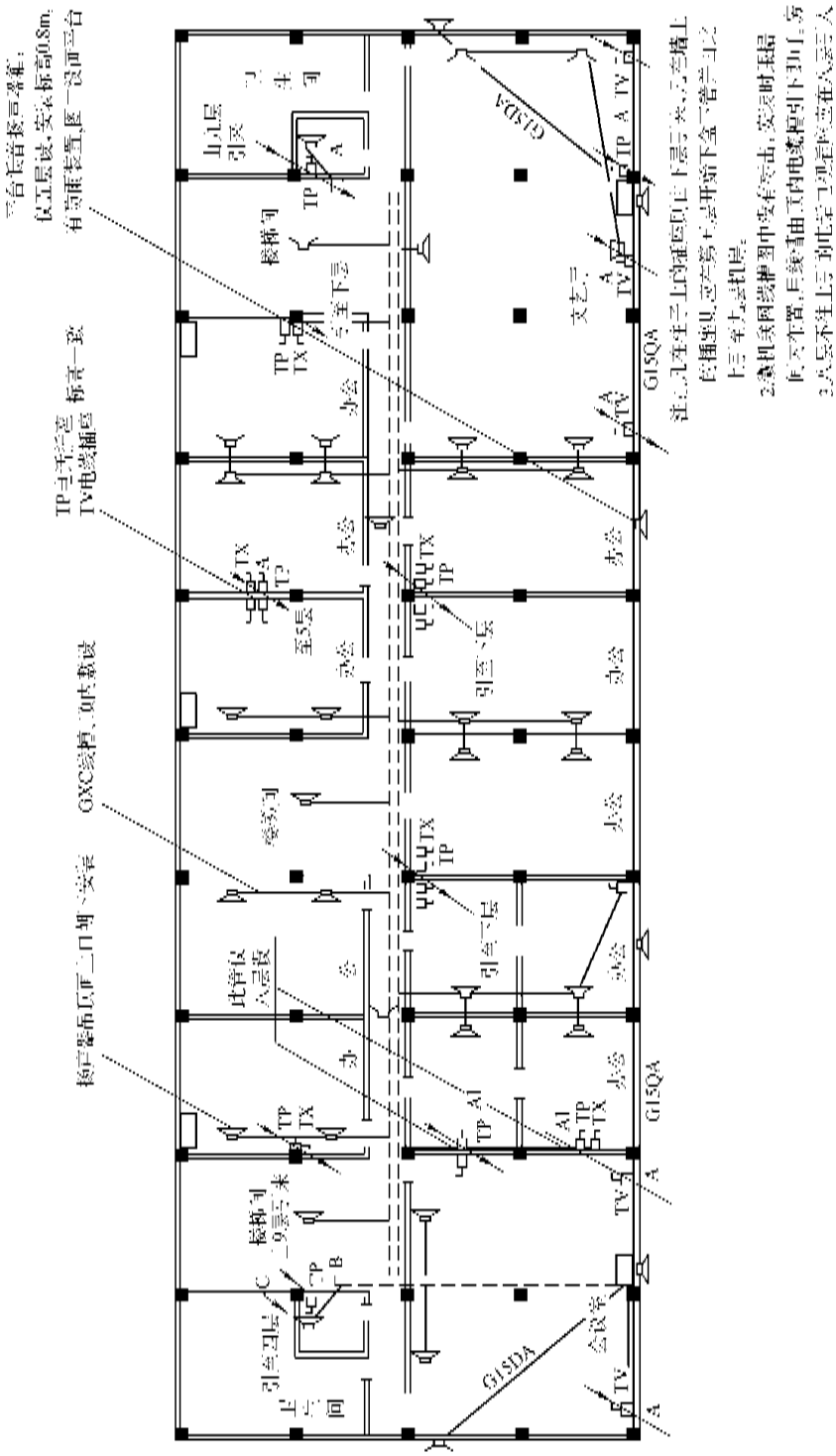


图 4-71　地上五～八层广播、电话、有线电视管路平面布置图

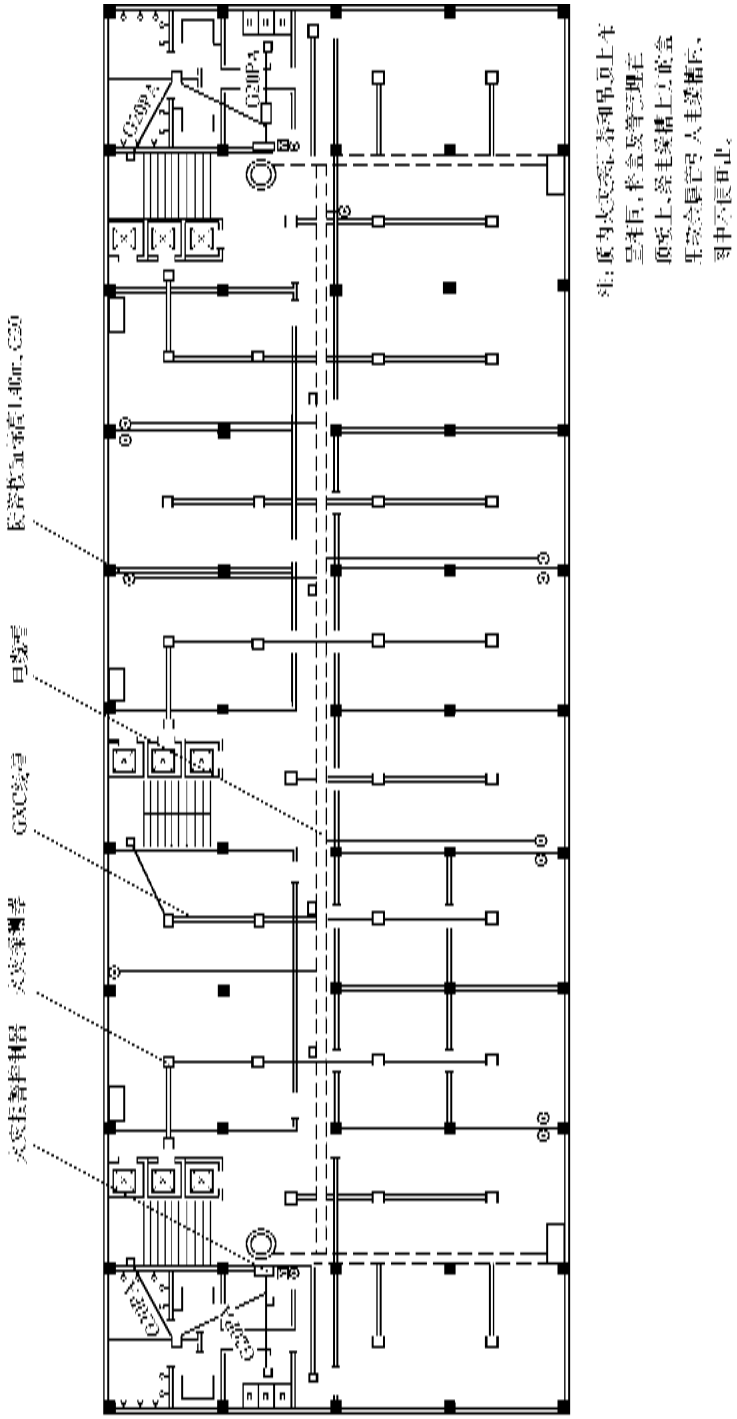


图 4-72 地上五～八层火灾自动报警、防盗报警管路平面布置图

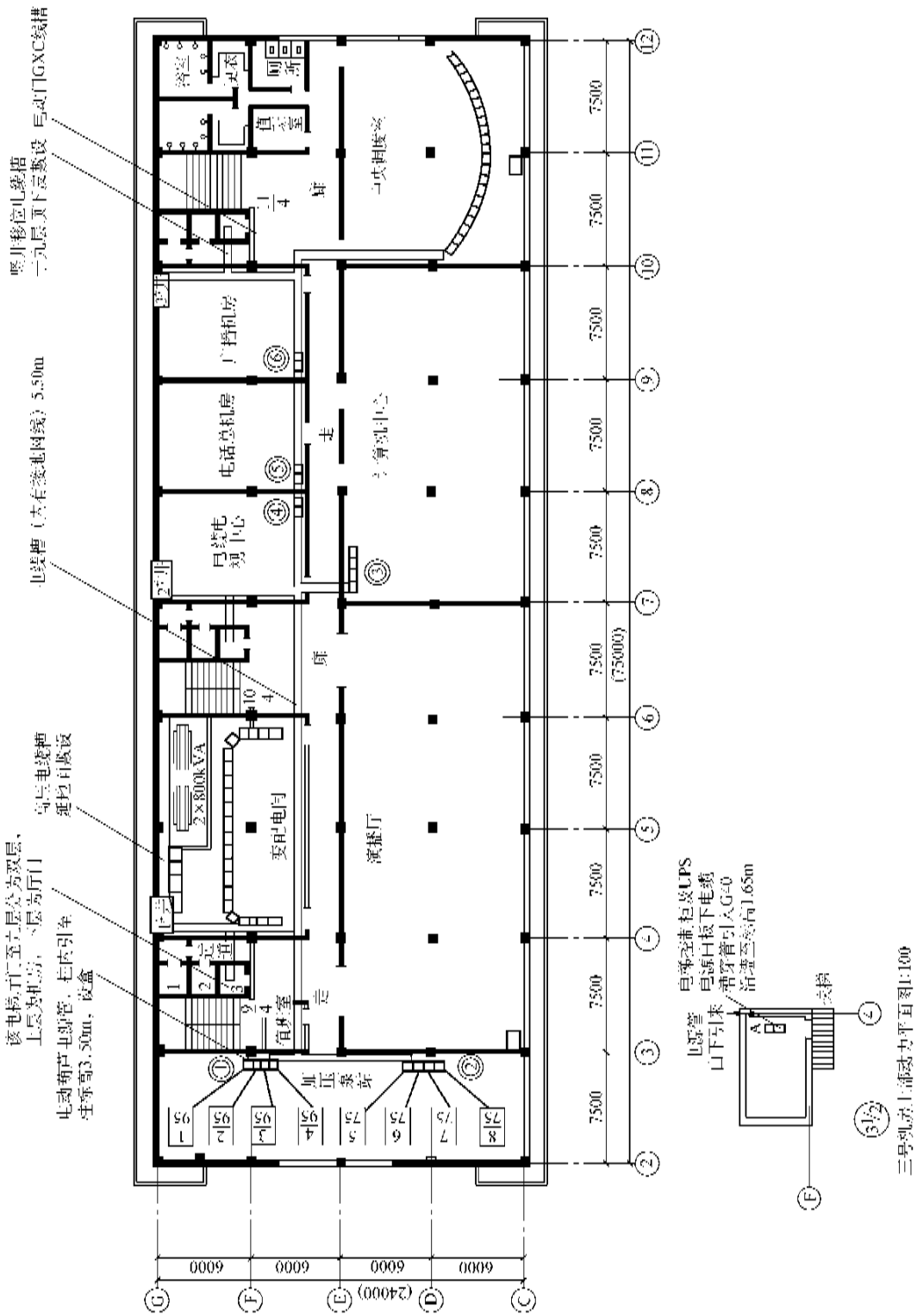
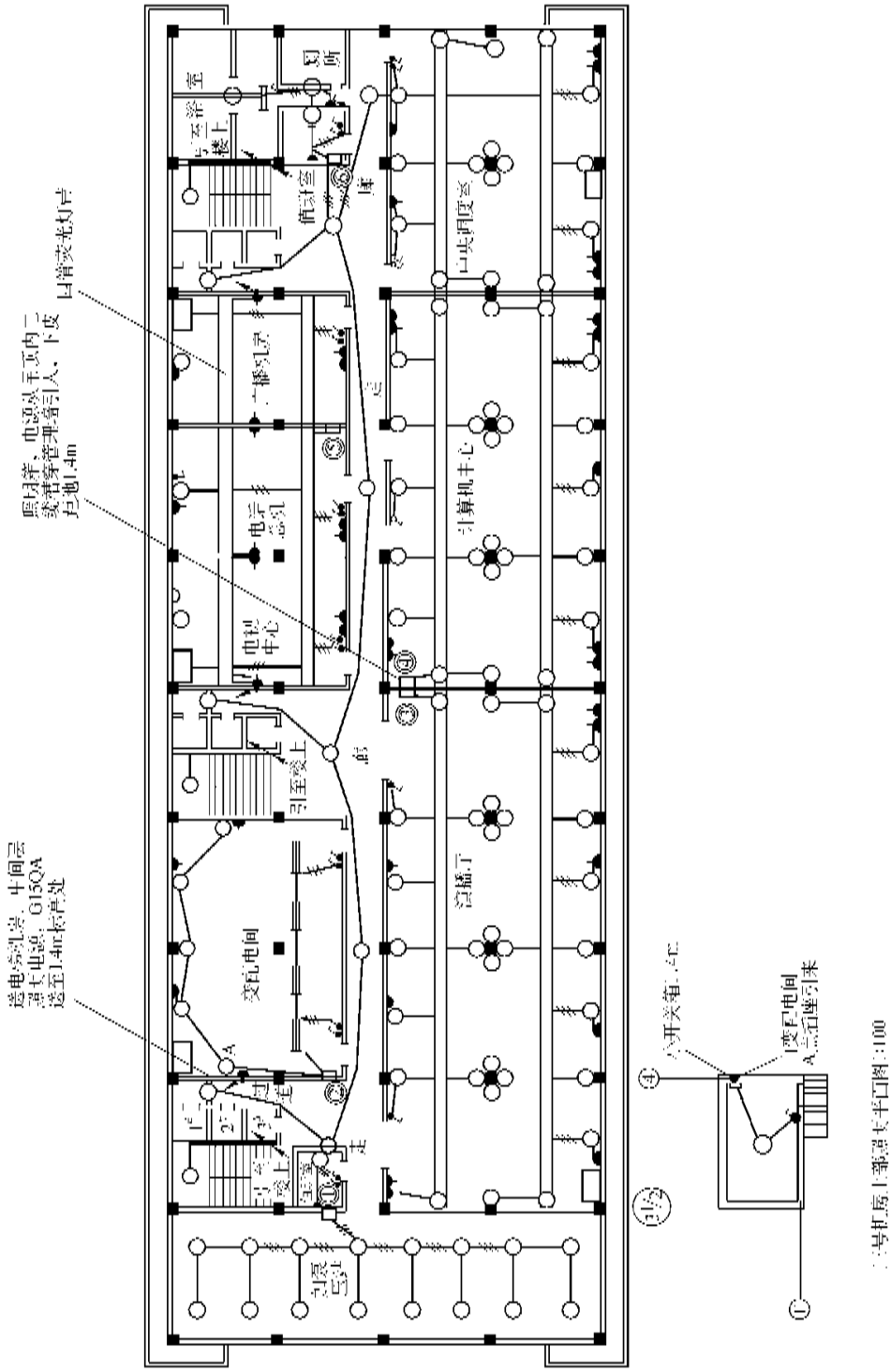


图4-73　九层（第二设备层）动力平面布置图


电话交换机
电话中心
计算机中心
公共用房
值班室
厕所
浴室
楼上
交直电间
引至楼上
广播厅
引至楼上
引至楼上
引至楼上

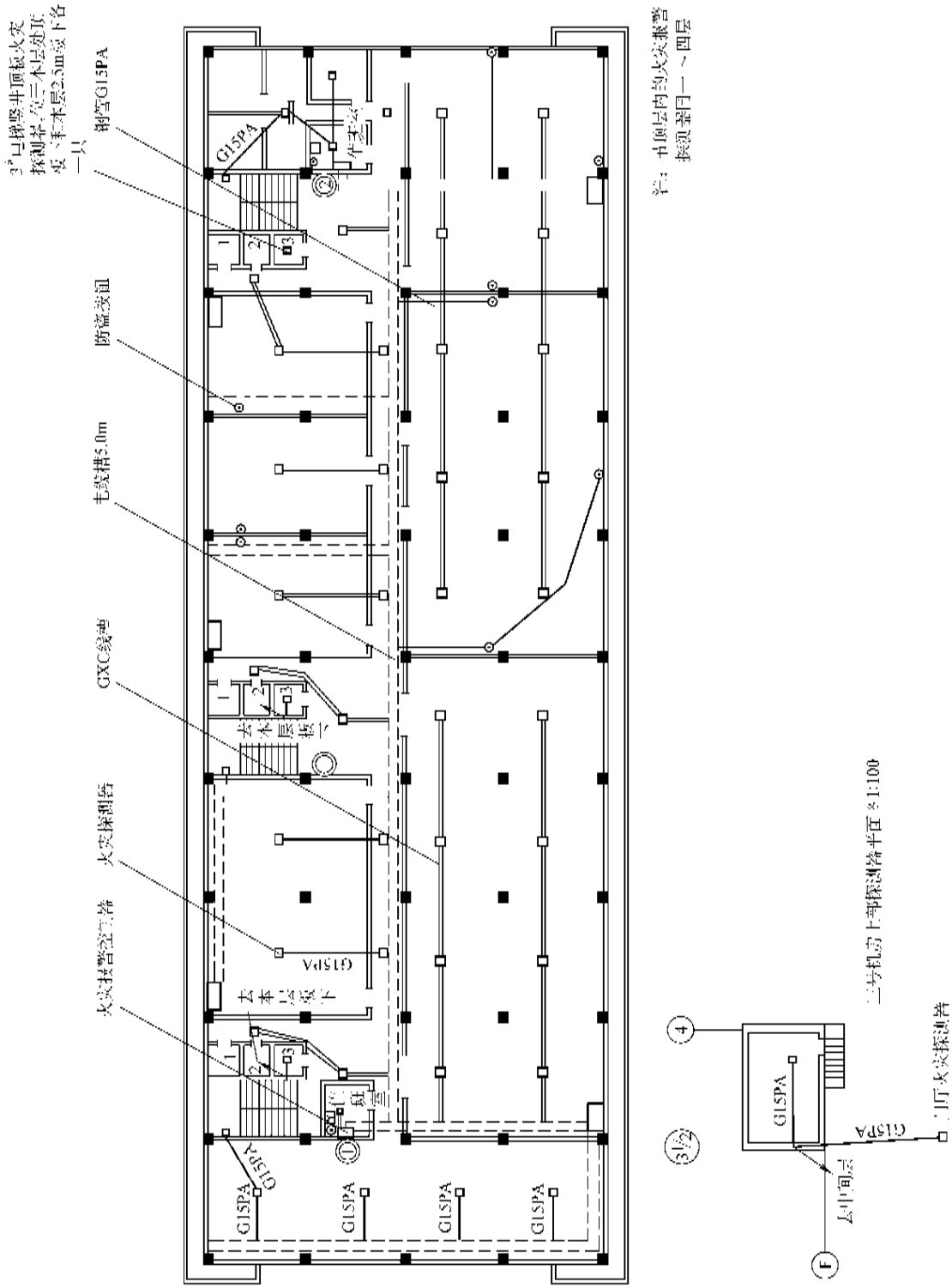
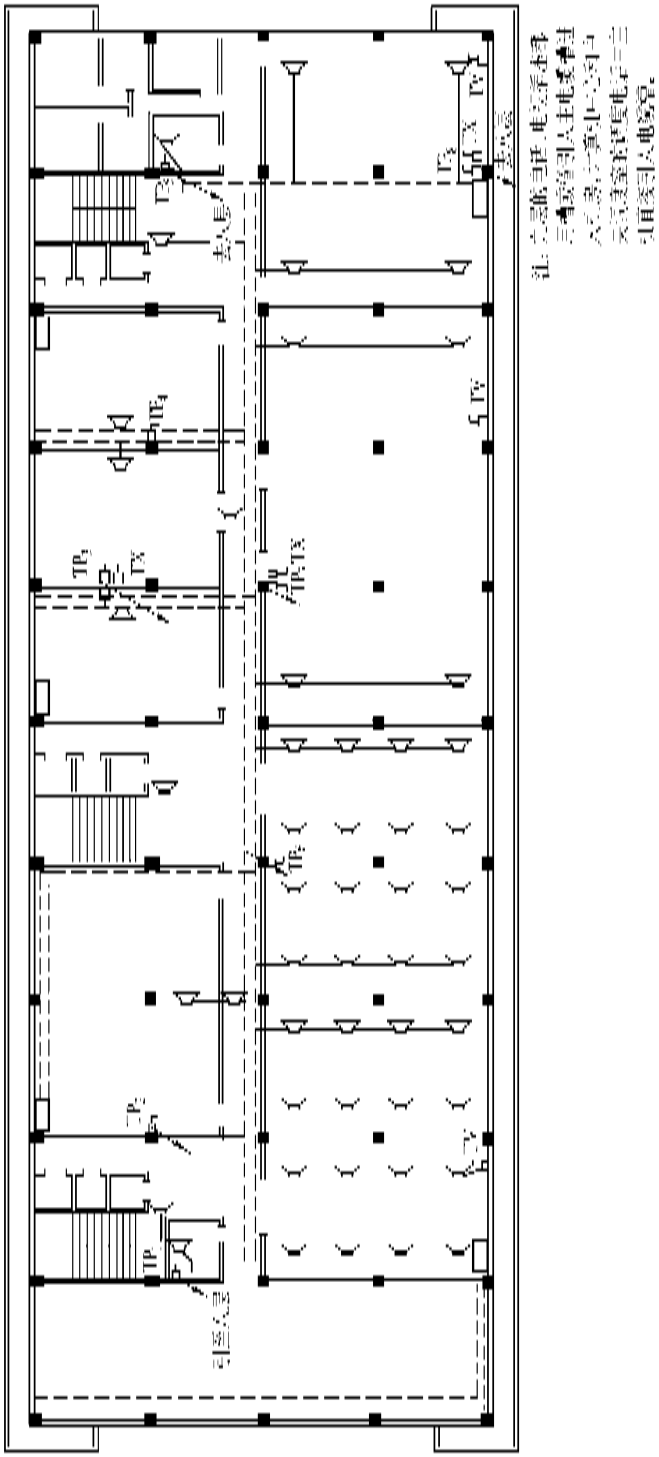


图 4-75　九层（第二设备层）火灾报警、防盗报警管路平面布置图 1:200


TP
TP
TP

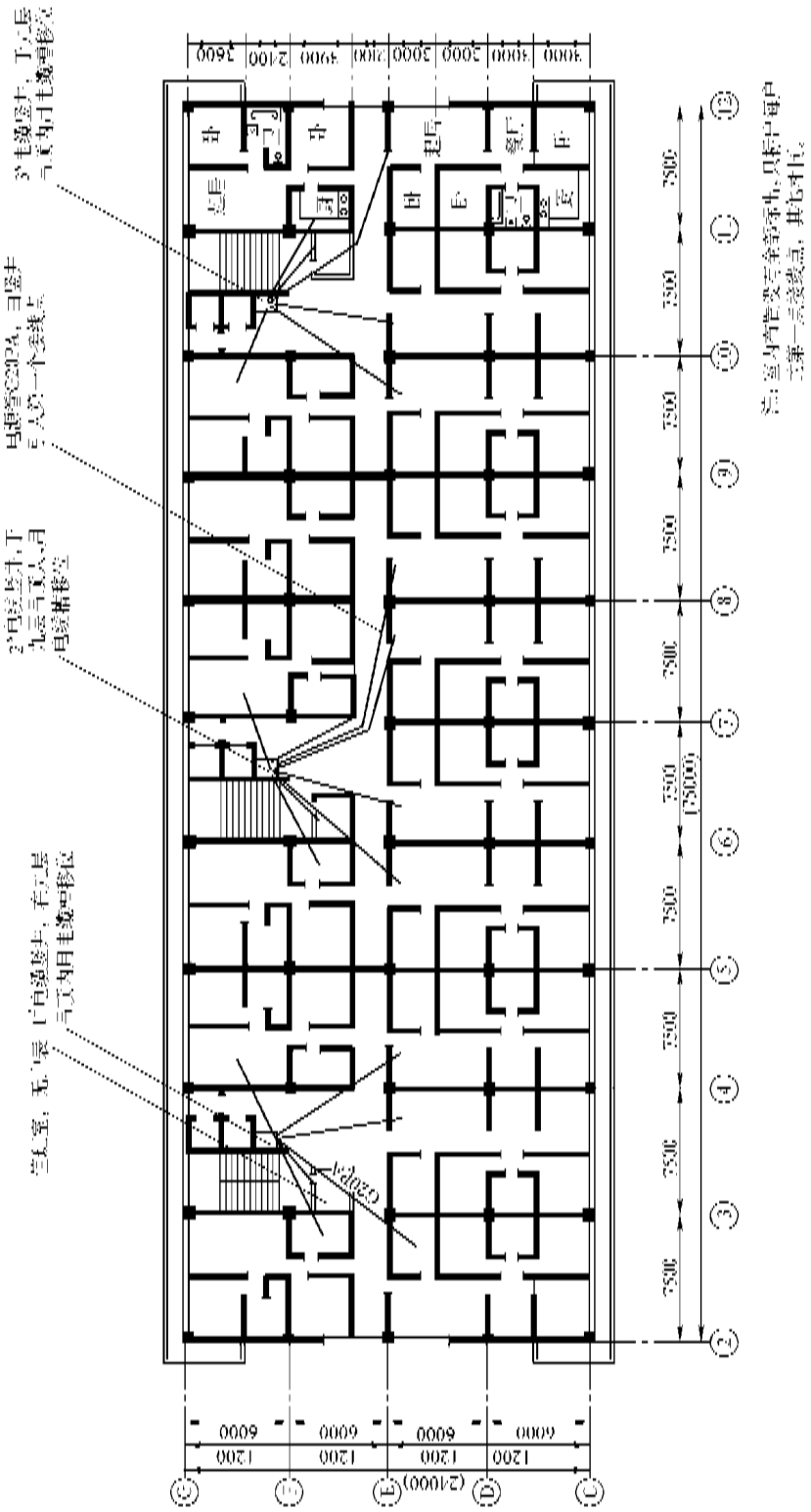


图 4-77　十～三十六层照明进户管路平面布置图

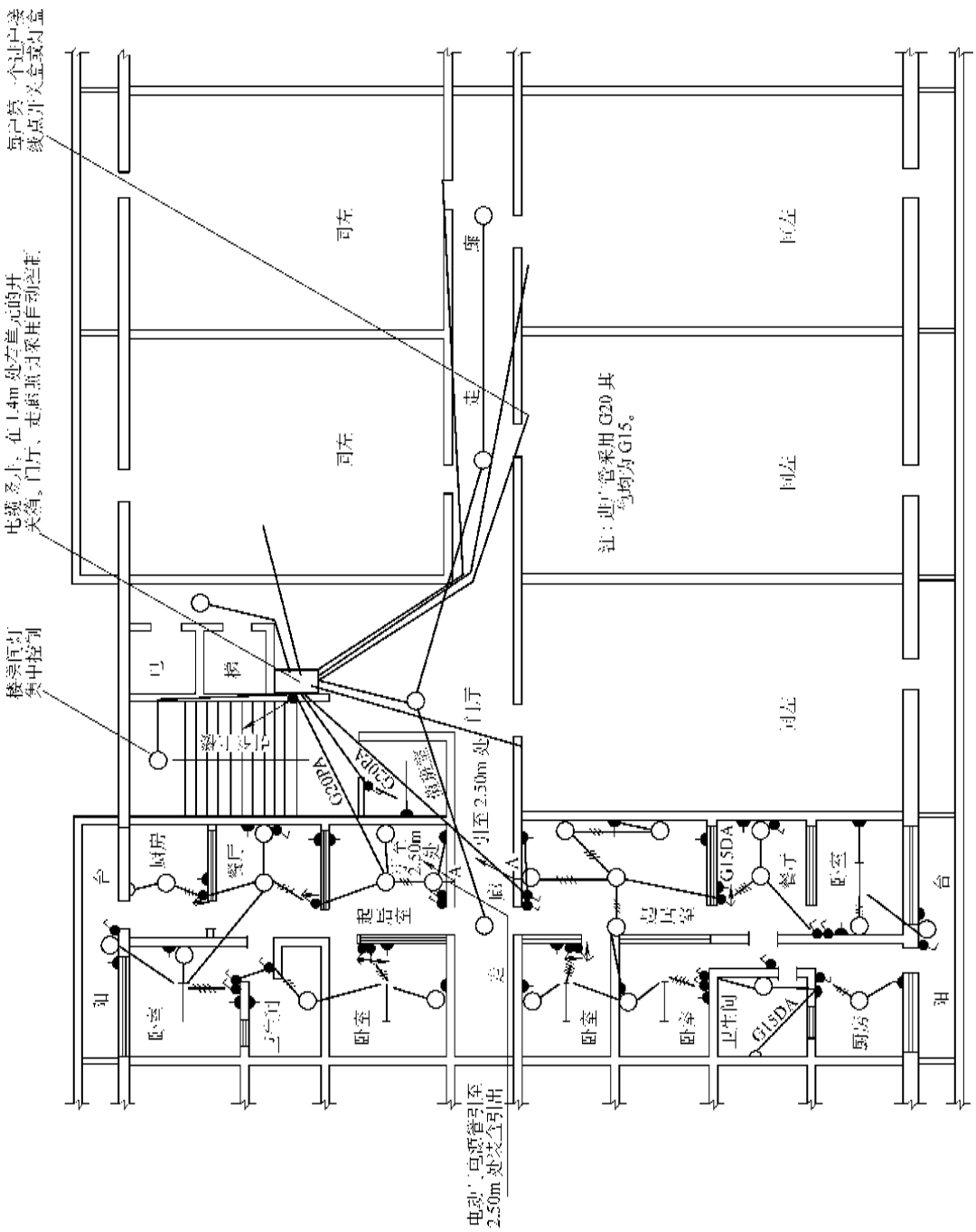
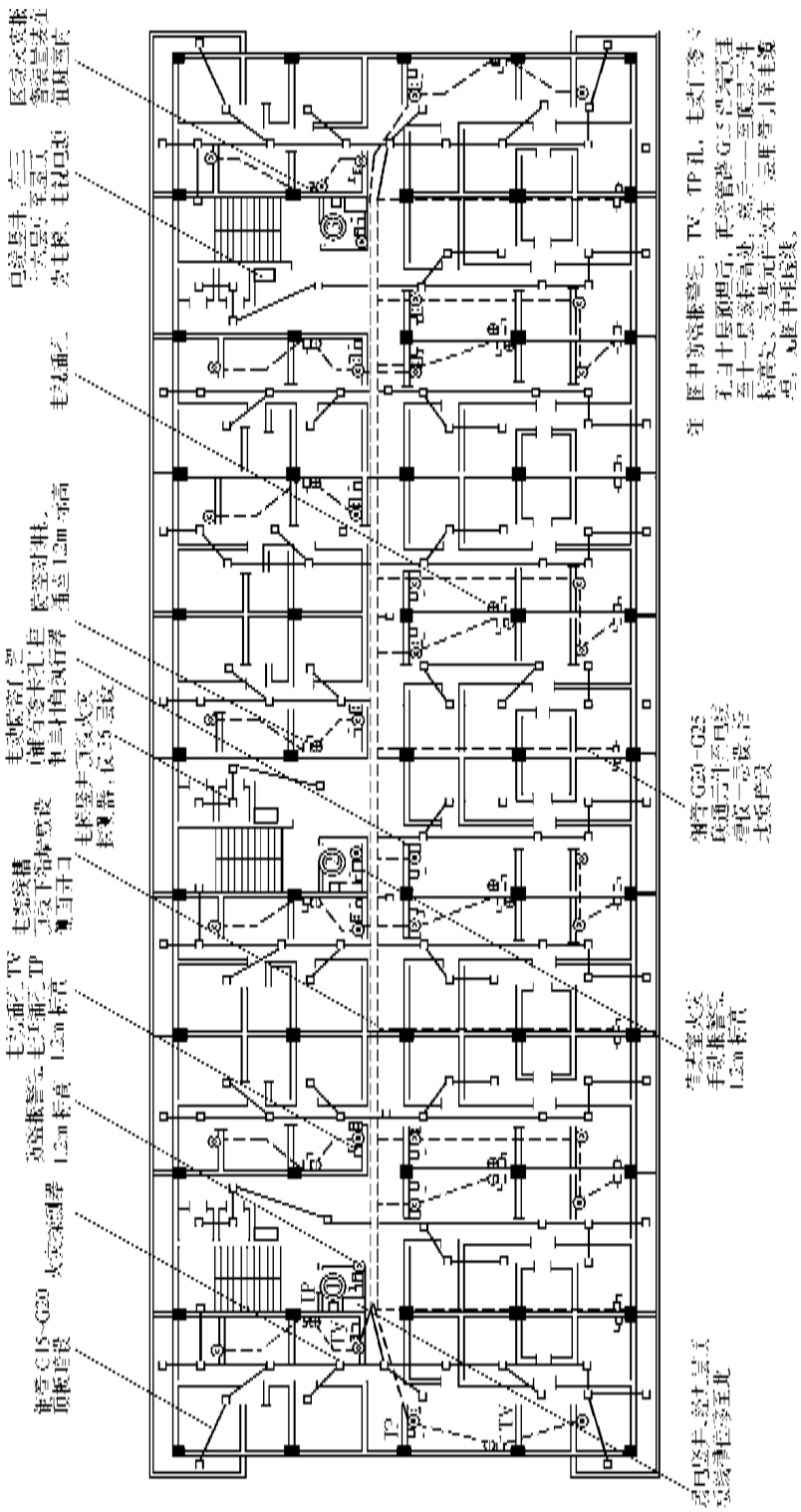


图4-78 十～三十六层照明及管路平面布置图


区域交换
警铃
TP
TV
TP
TV
TP
TV

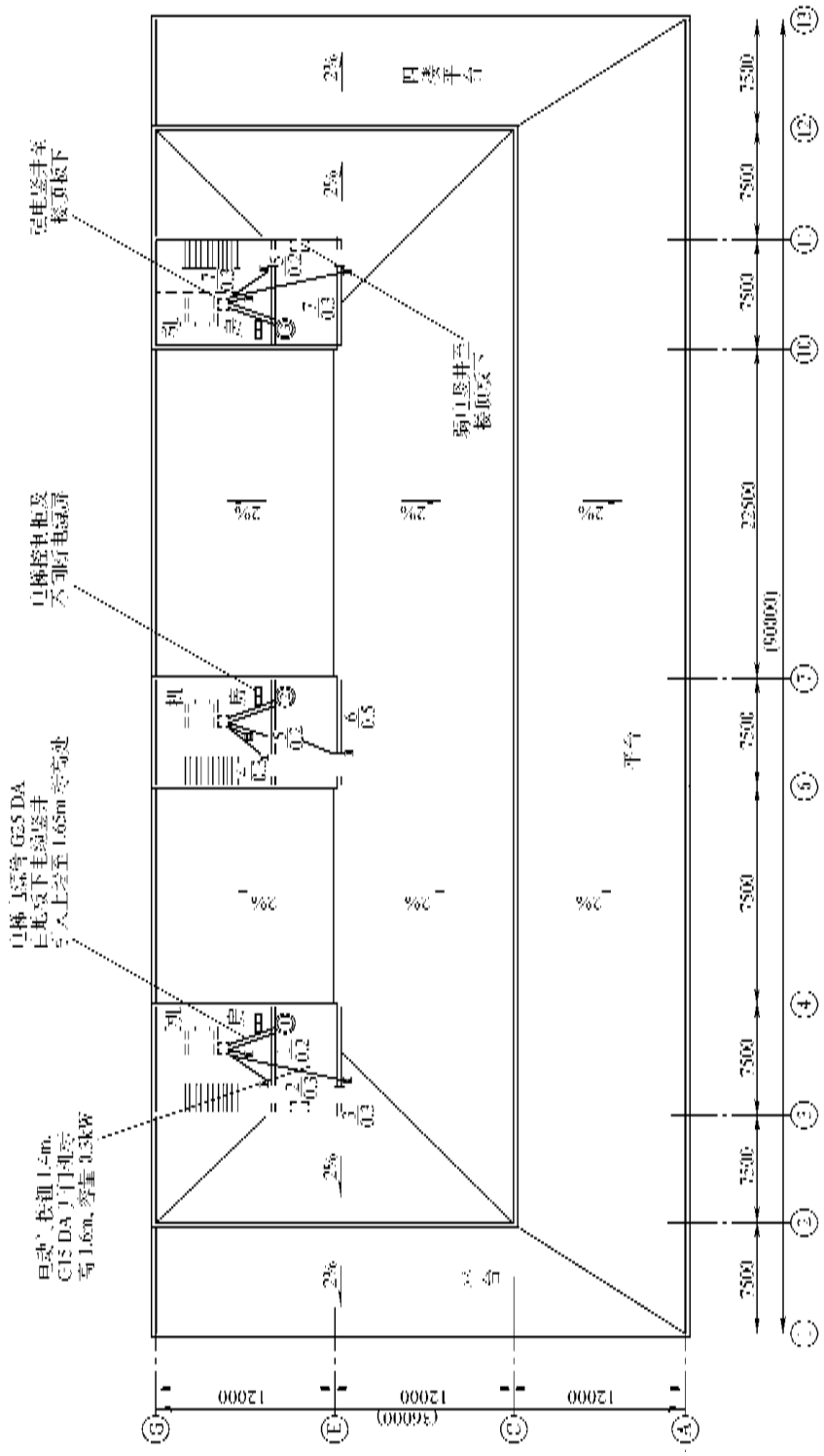
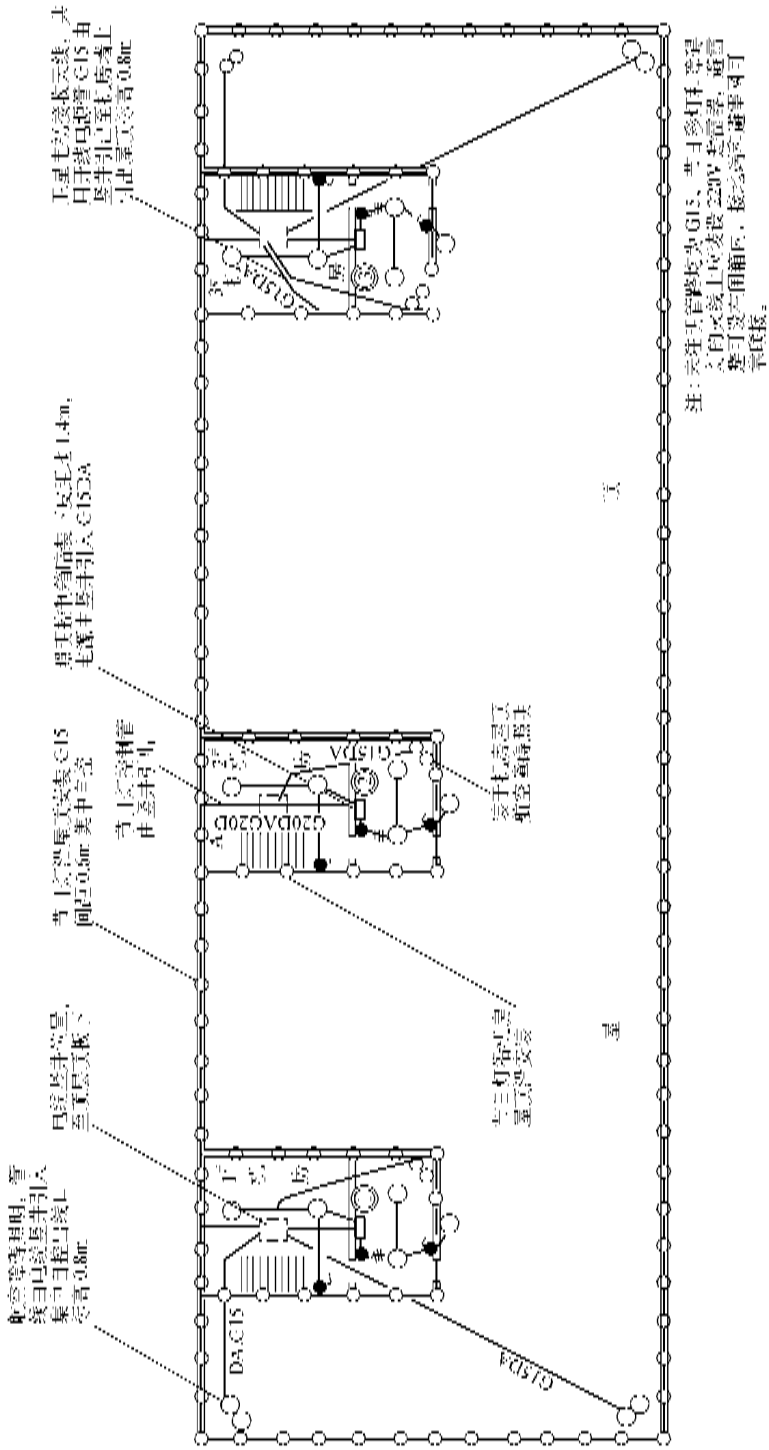
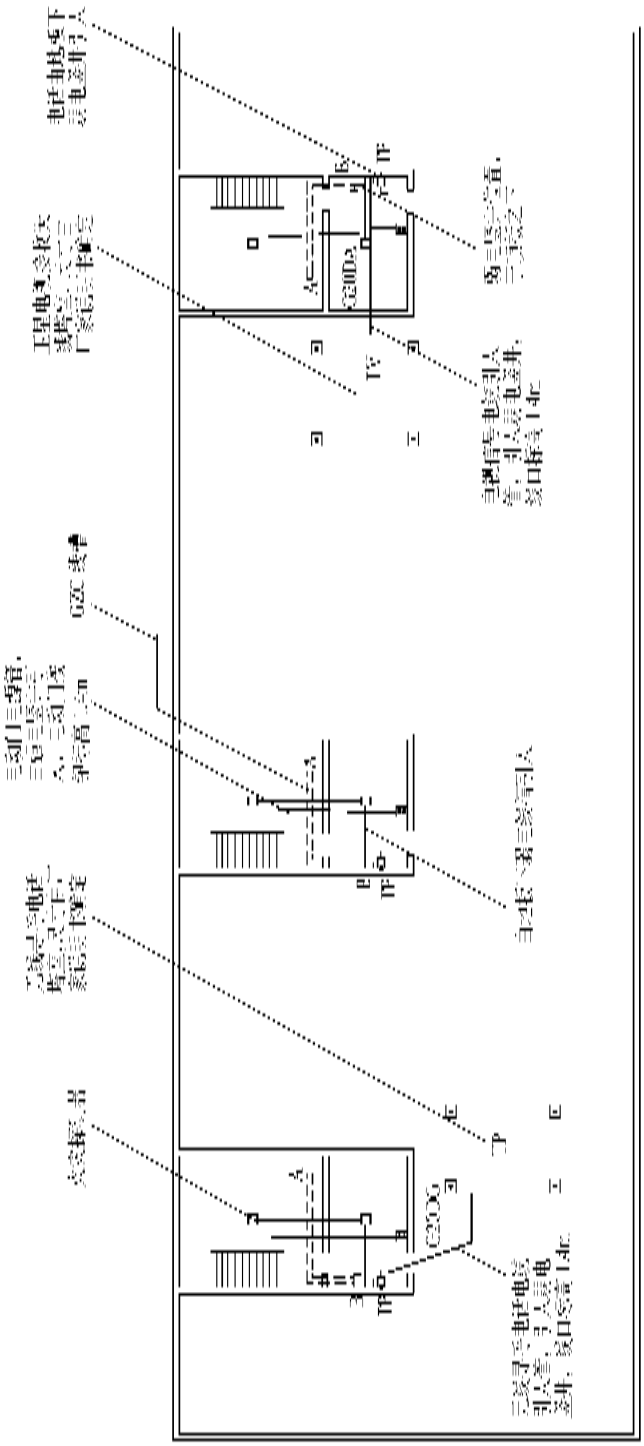


图 4-80 屋顶电梯机房动力管路平面布置图


注：实线工管线为GIS，其余灯具等
线管均应选用阻燃，防潮型，暗管
敷设，配管用阻燃，防潮型暗盒
平底板。
GIS室
DA-GIS
GIS室
GIS室
GIS室


电话电缆引入
弱电竖井
弱电竖井
主电缆、弱电竖井
弱电竖井
主电缆、弱电竖井
弱电竖井
弱电竖井

构或机械设备有矛盾或冲突之处，应以土建结构设计及设备专业图纸为准。

10）需要说明的地方是，前述内容中讲述过的工艺方法不再详细说明，只列出不同标高位置应预埋的管盒，没有讲述过的内容则详细说明。

（二）管路布置的总体设计及要求

高层建筑的电气设备及装置种类繁多，配线管路纵横交错复杂，都给安装工作带来了一定的难度。因此，在配合土建施工时应根据设计要求，进行管路布置的总体设计，原则上要尽量减少楼板中水平敷设的管路，以保证设计思想的实现。

1）每层的照明、小型动力、火灾探测器应在楼板上设置管路及线盒，而广播音响、防盗保安装置及微机监控系统的各类传感器应尽量在墙上设置，然后由本层引入到相应的竖井或电缆槽内。凡有吊顶的房间则应将上述装置的管路及线盒敷设在吊顶之内并引入电缆槽内。大型动力或动力较多时应采用电缆槽敷设。

2）楼梯间、安全通道的照明、诱导灯、火灾探测器应从底层竖直向上布置管路，一至通至顶层。然后由底层引至相应的竖井之内。

3）电话、卫星有线电缆电视的管路应从机房的弱电电缆槽（吊顶内水平敷设）引出，经柱或墙上翻（引自九层以上）或下翻（引自九层以下）各房间的同一部位，一直到顶层或底层。凡在中途隔断时，也就是途经房间没有装置电话、电视，或者由于房间开间的改变，其电话、电视插座的位置发生了改变时，则应在发生改变的下一层（或上一层），水平敷设管路（吊顶内可装设线槽）将下一层（或上一层）的电话电视线槽引入下一层（或上一层）的弱电电缆槽中。如果某一机房设于顶层，则由顶层水平送至各个支路下翻至于各个房间，中途变化时则采用上述的方法。

4）设备层设在最底层，动力管路应敷设在室内地平以下，设备层设在中间层，动力管路可设在地平以上并设置保护盖板或活动地板夹层保护。微机监控线路则由线槽沿墙或顶板、地板敷设，再引入竖井或电缆槽。

5）竖井之间的连通一般采用电缆于底层电缆沟、电缆穿管于楼板内敷设或线槽沿墙敷设的方法，楼板内敷设只限于不大于 ϕ32mm 的管。如竖井间有吊顶，则应经吊顶内电缆槽直接引入连通。

6）引入电缆竖井的管路应有统一的编号，并且与图纸一一对应。

7）电缆竖井在每层都应开门，实际是一个暗装的开关控制柜，开门的大小由该层的设备多少而定，必要时还应从侧面开门，以便能进入竖井内进行安装、维修、检查。门高一般为 2m。

8）高层建筑配合土建时，必须从基础施工时设置接地体，其接地体就是基础的主筋，详见本章的“多层工业厂房配合土建”中基础接地网的设置和图 4-118。

9）总体要求。凡框架结构的建筑物，其电气工程的配合土建大致都分 4 个阶段，一是混凝土框架浇注时的配合，二是砌筑墙体时的配合，再是土建做地面时的配合，最后是内装修及吊顶时的配合。第一阶段所预埋的“悬空”管尽量要短，要管口朝下，做到最大限度的保护，避免碰歪撞断及水平交叉；第二阶段的盒箱要掌握好出墙的距离和在墙上的水平和竖直，杜绝遗漏及太深或太浅；第三阶段要仔细检查有否漏项，应及时采取补救办法，为安装创造条件；第四阶段要整修美观、整齐有艺术性。

（三）混凝土框架浇注时的配合土建施工

1）地下二层柱子支模绑筋时，在地室内地坪 0.30m 处预埋接地引线的 T 形铁；从电缆沟引管到有柱灯的柱子的 2.00m 处预埋盒，并在 1.30m 和 3.80m 处预埋 T 形铁。3.80m 处的 T 形铁见图 4-63，凡有电缆桥架的柱子应预埋。这里要注意，如果一根柱子上有多个灯盒，其线盒的标高应分别错开，尽量不占用柱子的同一标高的截面积，且引上管应为一根，在灯盒处再用短管连通，安装灯具时再用圆木或灯座找平。柱灯和柱灯之间的管路应在 -0.30m 预埋倒 π 形管路来连结。

在柱子上标有电话插座的，则应在 0.80m 处下盒，并将此盒用管引上至上层柱子的该位置，同时在其他位置或房间内如标有电话插座，则应在有电话插座的柱子与该房间位置电话插座处的途径中所有的柱子的 0.80m 处，预埋一根水平方向的短节套管，见图 4-83 其管应在柱子的中心部位，两端出柱面不大于 5mm。而在墙上标有电话处的上方顶板或梁上预埋套管，以便砌墙时穿管，见图 4-63 的 A、B 点。

在基础配合土建时，应按多层工业厂房的配合土建中基础接地网的设置要求，进行接地网的配合土建，见图 4-118。同时应按设计要求，在土建基础垫层之下，埋设镀锌扁钢网格式接地网，网格不大于 5m×5m，网格应可靠焊接，并与铺底主筋、柱内主筋、圈梁或地梁主筋可靠焊接。

2）电梯井道支模绑筋时，按设计标注的标高位置在井道内壁上预埋导轨架、电缆支架、导线槽、井道照明管路的 T 形铁以及呼梯按钮、楼层指示器的线

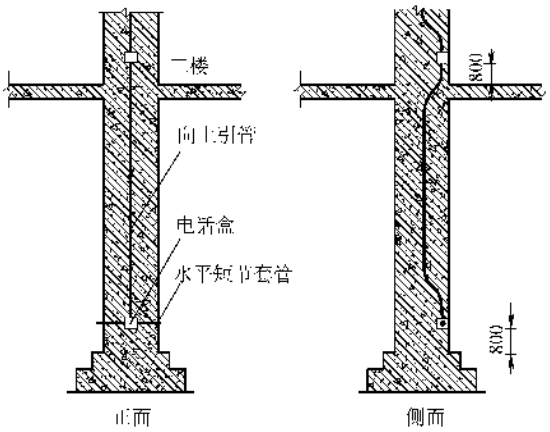


图 4-83 柱子上电话盒及短节套管的预埋

盒。

① 导轨架的 T 形铁用≥15mm 厚的钢板及≥ϕ16mm 的圆钢焊接而成，其规格应符合表 4-6 的规定；第一块 T 形铁距底坑地坪不大于 1000mm，然后每隔 2500mm 预一块 T 形铁；T 形铁的位置应按图样标注的位置预埋，各个标高上同一位置的 T 形铁，其中心应在同一条直线上，这条直线应垂直于地面。导轨分轿厢导轨和配重导轨两种，因此，同一标高上 T 形铁的块数应和导轨根数对应，不要漏掉。

表 4-6 电梯预埋件规格表

（单位：mm）

用途	长度 A	宽度 B	钢板厚度 δ	焊接圆钢直径 ϕ	圆钢数量/根
轿厢导轨	2×300 1×800	200	14～16	12	6，10
对重导轨	2×300	200	14～16	12	6
厅门门框、其他	150	100	10～12	8～10	4

② 其他 T 形铁的预埋，从底坑地平起每隔 1500mm 预埋一块，位置应按图样标注，同一用途的 T 形铁，其中心连线应在同一条直线上。T 形铁在井道内的位置见图 4-84，其规格应符合表 4-6 的规定。

③ 按钮盒、指示灯盒的预埋位置应按图 4-85 中所示，预埋应将盒底的敲落孔敲落一个，并在这个位置的井道上横置一根 ϕ25mm 的圆木棍，将盒与井道连通。安装时，将此棍敲落即留下一洞，可穿入金属软管敷线。往上层层按此预埋，直至机房下层。

3）地下二层的顶板（包括楼梯间顶板）支模绑筋时，应按图样标注位置预埋顶板上的灯盒及管路，手动开关翻下至室内地坪 1.40m 处暂悬空。一般每一个照明回路、一个功能单元（如水泵间、锅炉间等）应从照明闸箱上方的框架梁上翻下一短管头，准备下翻至闸箱。而每一个照明回路的闸箱都应从电缆沟内引出电源管，经地面上翻至闸箱的下皮，标高 1.40m，见图 4-62 地下二层（第一设备层）照明平面图，如能在作地面时预埋的管路可暂不预埋。

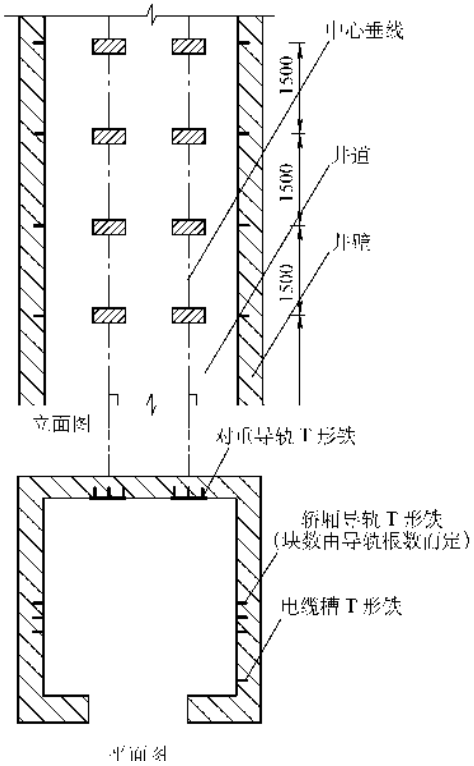


图 4-84 T 形铁件在井道预埋示意图

同时按图 4-63 地下二层（第一设备层）弱电平面图预埋顶板上的火灾探测器盒及管路，方法同照明电路。这里要注意探测器盒与灯盒应有一定的距离，至少应大于 500mm。同样引至手动报警按钮及区域报警控制器的管路应从图中标注位置引下悬空，标高按图中标注或习惯作法。

图 4-63 中，在水泵房和中央控制室都布有电缆桥架，则应在顶板上，按标注位置或参见设备安装图样预埋 T 形铁件，方法见图 4-48。其他沿柱布置的桥架已在柱子上 3.80m 处预埋了铁件，但和设备安装图样有冲突时，应绕开设备，在顶板上预埋铁件便于使桥架拐弯，一般为直角弯或斜坡弯，见图 4-114。

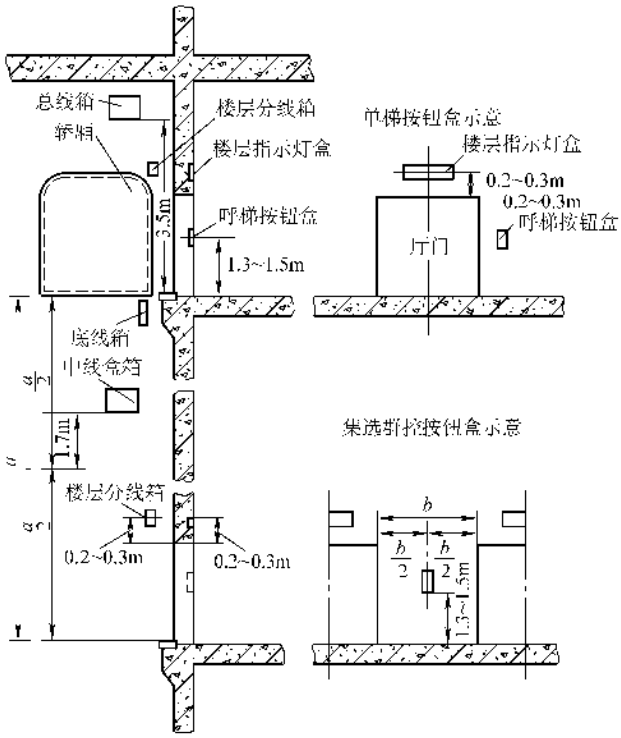


图 4-85　箱盒在井道中的位置

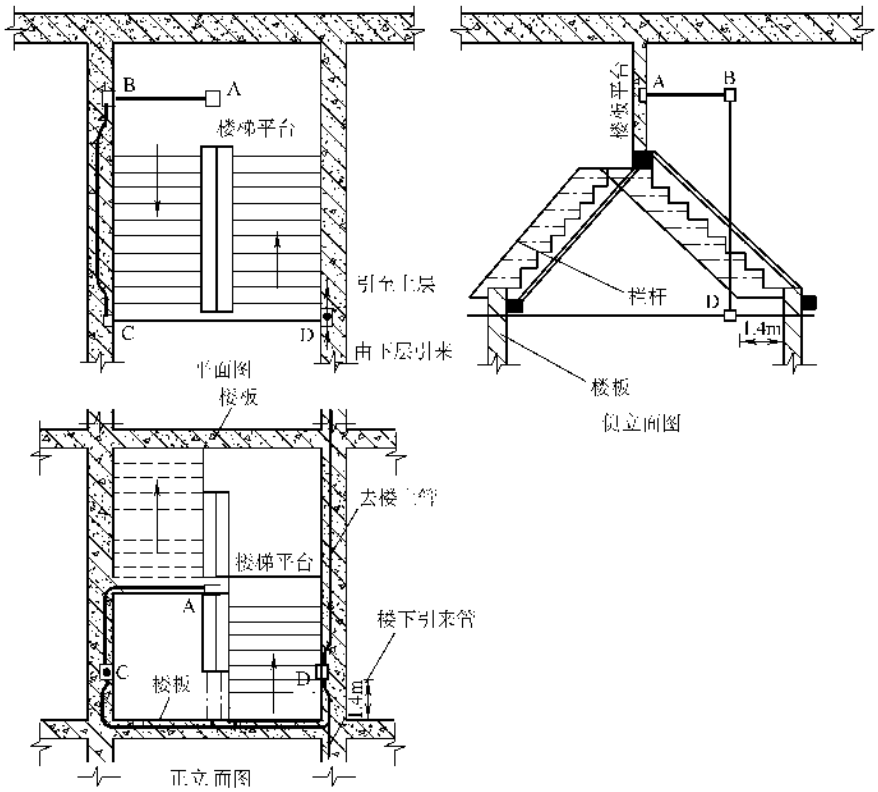


图 4-86　楼梯间、安全通道预埋管盒示意图

4）在楼梯间、安全通道里的照明回路和探测器回路里凡有穿越主梁和次梁的管路则应在穿越处预先在支模绑筋时预埋短节套管。以图 4-86 为例说明楼梯间照明回路的管盒敷设。在楼梯间支模绑筋时，在图中 A 位置装盒一个并敷管使之通至旁侧的小梁上下翻出梁 -0.20m 处，这里在砌筑维护墙时有一只接线盒，准备与 B 盒连通，同时在 D 处预埋一只开关盒，并敷管通至上层该标高处，下口为电源引入管或与下层该标高处盒连通。假如 D 处是维护墙，则应在其垂直上方的梁上预埋短节套管。C 盒是另一墙上的开关盒，在维护墙上与 B 盒直接用管连通。如果采用壁灯，则只在 B 点装一盒即可。C 和 D 是在下半层支模时用倒 π 形管连通的，以便完成楼梯间灯的两地控制。

5）安全通道诱导灯或踢脚灯的管盒预埋是在楼梯间或安全通道的角处沿柱或墙垂直上下引入一管，并在 E 处（0.1m 标高）有一线盒，见图 4-87。在图 4-62 中没有标出诱导灯。

楼梯间灯及安全通道灯的管与盒，往上随标高增加，层层按此处方法预埋，直至顶层。楼梯间照明若采用配电室集中控制，将大大简化管路的预埋。

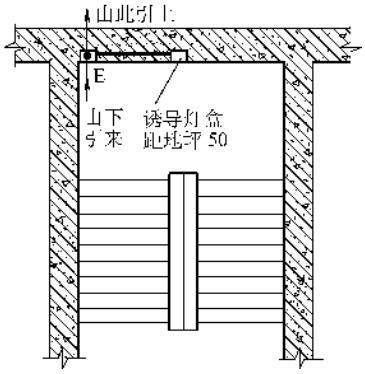


图 4-87 楼梯间诱导灯安装示意图

6）地下一层柱及顶板支模绑筋时，有以下预埋作业：

① 在柱体上，室内地坪 0.3m 处预埋插座盒及连通管路、2.30m 预埋柱灯盒、4.0m 预埋插座（广告、备用），并用同一根管引至顶板下皮的盒内，安装时再用金属软管引入荧光灯带的线槽，示意图见图 4-88。

同时预埋 A 轴、G 轴、1 轴、13 轴柱子 0.30m 处的插座，并用倒 π 形管连接起来，引至柱灯柱子的 0.30m 处的插座。

② 按设计图 4-63，在柱体 0.80m 处预埋电话、电视插座盒，并用管引至上一层同一标高处；在 2 轴、3 轴、12 轴办公间墙上电话电传插座处的垂直上方的梁上及板上预埋短节套管，以便该位置上电话电传管路的穿过。

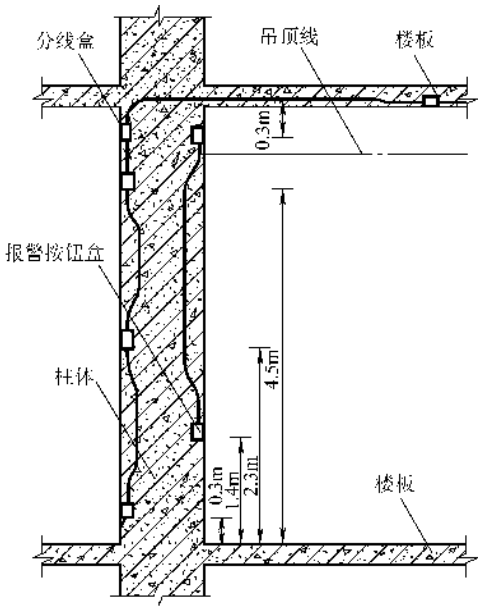


图 4-88 柱体上管盒预埋示意图

③ 按图 4-60 由强电竖井引出管路经顶板引至扶梯高端电源引入位置，且翻下顶板 300mm，扶梯电源引入位置见图 4-89。

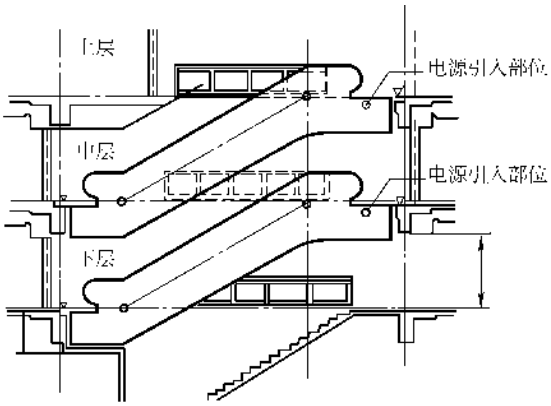


图 4-89 电动扶梯立面示意图

④ 同样按图 4-60 由强电竖井引出管路经顶板引至电动门电源引入位置，且翻下顶板 300mm；应按电动门执行器实际位置敷设。

⑤ 在图 4-65 标注的柱子 1.40m 标高处预埋一按钮盒，并敷管至楼顶板下 -0.3m 处的接线盒，安装时经吊顶内管路或线槽再引入 2#弱电竖井，做为手动报警按钮，见示意图 4-88。

⑥ 在室外地坪 0.8m 时（参见图 4-66），由三个强电竖井的位置分别向室外预埋电源进户保护管路，出墙距离应超过散水，进入竖井的长度不大于

50mm，两端做喇叭口，做为电源进户和室外照明控制电缆的保护管，见图 4-90。

同时预埋由强电竖井通往室外的动力（洗车泵、消防泵）和照明（立体照明投光灯）的管路，位置见图 4-66～图 4-67。因室内地坪高于室外地坪，通常要在墙上预埋一只防水接线盒，室外管口要用钢板点焊牢固，见图 4-91，以防异物落入。

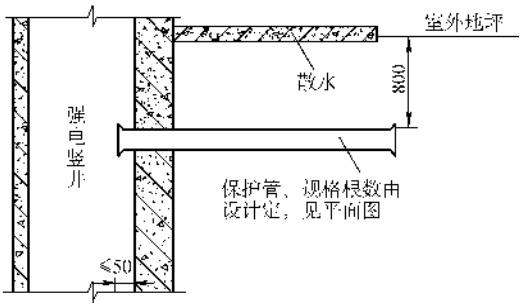


图 4-90　电源引入管的预埋

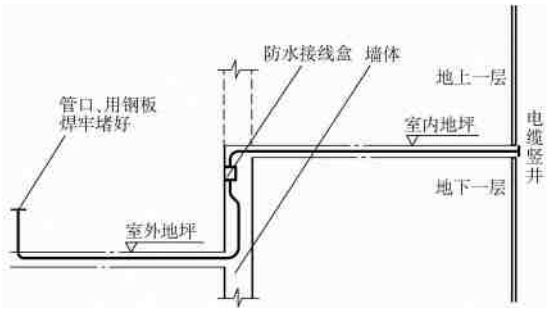


图 4-91　室内外室外引出管路示意图

⑦　屋顶灯饰、火灾自动报警探测器、广播音响、防盗摄像头、微机系统的传感器、信号采集器等以及它的管路将在土建工程内装修时置于吊顶之内。但卫生间、淋浴间顶板的灯盒及管路应预埋，并将通至手动开关的管引至顶板下 -0.30m 处为短节悬空，位置在墙体西侧，见图 4-64A 点。

⑧　应该注意到，图中注明了吊顶内的火灾探测器的布置，则应在顶板上四柱对角线中心预埋管及盒，并在电缆槽位置的垂直上方的板上预埋一接线盒。其管路的预埋则和吊顶上的 GXC 线槽一样，把每一行的盒连接起来，引入电缆槽。

⑨　关于电缆槽的设置，则是在吊顶内 C 轴和 2 轴、12 轴的部分柱子的距吊顶 150mm 的位置上预埋一 T 形铁，其位置的方向见图 4-65。电缆槽的开口则应是外侧，而不是顶部。安装槽时，其上顶应与吊顶板贴紧。

7）地上一层柱及顶板支模绑筋时，有以下预埋作业。

由图 4-66～图 4-67 可知配合作业项目基本包括地下一层的项目，此外还有几点：

①　室外柱子上的灯饰应在 2.80m 标高处埋盒、并用管引至吊顶线上 150mm 处并埋设线盒，再用管或线槽引入相应的雨蓬灯上。

②　室外雨蓬灯饰的作法同吊顶上装灯。

③　橱窗灯饰插座则在柱体 2.00m 处埋盒并敷管引至吊顶线内 150mm 处。

④　敷设电缆槽的 T 形铁的预埋。

由图 4-66～图 4-67 可知，该层有两个电缆线槽，一个是延 A 轴、1 轴、10 轴和 13 轴的强电电缆槽，则应在这些轴的柱体吊顶线内 0.80m 处预埋 T 形铁；另一个是延 C 轴及 1 轴、2 轴、4 轴、7 轴、10 轴、12 轴、13 轴部分柱体的弱电线槽，则应在这些轴的柱体吊顶线内 150mm 处预埋 T 形铁，其中 4、7、10 轴要引至公寓入口处的雨蓬吊顶内，这样才能在下段配合时，预埋防盗对讲机的管路，见图 4-92。

8）地上二～四层柱及顶板支模绑筋时的配合作业。二～四层基本同地下一层。此处在四层的顶板上应预埋五层平台上庭院柱灯的管路，见图 4-70。从五层 C 轴、2 轴、12 轴的柱子室内标高 0.3m 处敷管至柱灯处，并上翻顶板 300mm，做成倒 π 形，两个管口先用铁板盖好，电焊点焊牢固，管路敷设见图 4-93。同时预埋立面投光灯的管路，见图 4-70，采用倒

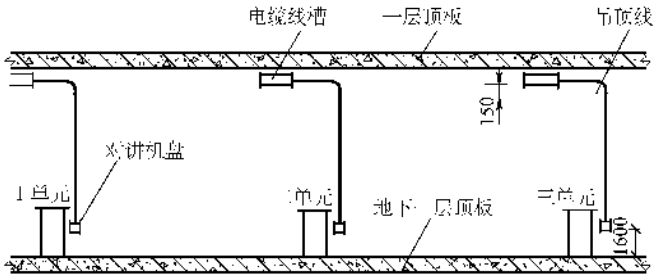


图 4-92　住宅入口处对讲机盘面管路示意图

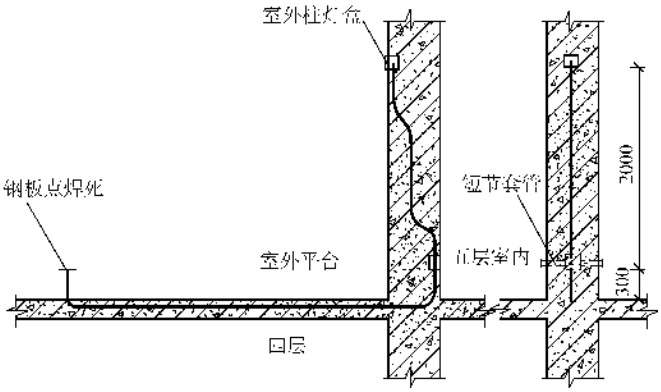


图 4-93 庭院灯管路示意图

π 形管路从标注的庭院灯引出，堵好管口。作管路预埋时，还应预埋庭院柱灯和投光灯底座的地脚螺栓，其尺寸应按实物或说明书要求，通常采用 M12 ~ 14 的机制螺栓，并做好必要的保护。

按图 4-66 在四层顶板上预埋五层电动门的动力管路和平台上的接地线。其中接地线可用铺筋的主筋代替，但必须焊接可靠，顶板边缘处应上翻 100mm；以便安装时应避雷网焊接。

地上五层配合时，先将 0.30m 处的庭院灯管口预埋一只接线盒，同时用短节套管延 C 轴引出柱外 5mm，并敷管向上引至室外标高 2.30m 处，再下一个室外柱灯盒，作法见图 4-93，然后由 7 轴柱灯盒引管至吊顶线内 150m 处，以便在吊顶安装段配合时引入 2#强电竖井，其中短节套管是为连接室外柱灯预埋的。

9）地上五层顶板及柱支模绑筋时，有以下预埋作业：

① 0.80m 时预埋柱上电话电传及电视插座，其中有的是由楼下引来的，有的则是从此层开始预埋，并敷管到楼上的 0.80m 处；注意值班室的电话管应引至四层，在浇柱上 0.80m 处预埋一节短管套管，见图 4-71B、C 点。

② 2.30m 时预埋会议室、文艺厅柱灯，并敷管引到吊顶线以上 0.30m 处，并在该处装盒；

③ 吊顶线以上 0.30m 处，在有火灾手动报警钮和防盗保安手动报警钮处，凡通往电缆槽的途径中的柱上水平预埋短节套管；

④ 在吊顶线以上 0.150m 处，在有电缆槽经过的柱面上预 T 形铁件、见图 4-72。

⑤ 屋顶预埋不吊顶房间照明的管路及灯盒，手动开关管的下口下翻至门口开门侧的室内地坪 1.40m 处，并距门口 200mm；

⑥ 墙上装电话电传或电视插座处的垂直上方的梁上预埋短节套管，位置要精确，上下层要在同一垂线上，一直到八层；

⑦ 预埋吊顶内的火灾探测器的管与盒，并在电缆槽垂直上方的顶板上预埋一盒，以便把管路引入电缆槽；同时预埋淋浴、卫生间值班室的探测器的管与盒，并在 3、6、11 轴的楼梯间的梁上由顶板的盒内引下一悬空管至顶下 0.80m 处；值班室控制器的管路由梁引下至标高 1.60m 处悬空放置；

⑧ 墙上装扬声器音箱处（共 6 处）则应装管路由四层顶板穿梁上翻悬空引至标高 0.8m 处，另端引入弱电竖井；值班室的喇叭暂不预埋，应在吊顶时敷设，但火灾探测器的管路预埋则完全是为了安装上的方便。

⑨ 预埋六层电动门的动力管路，见图 4-69。

⑩ 均压环的预埋。在结构圈梁的外侧四周预埋一根 25mm × 5mm 的扁钢，与柱内竖直上的主钢筋焊接好，并每隔 6m 与楼板内的主筋焊接，形成环型水平均压环，也称避雷带。以后每隔三层预埋一道均压环，一直到楼顶。同时，在四周外墙的窗口处用镀锌扁钢与均压环垂直焊接，引至窗口处，一般为 1.2m，作为金属窗口的接地点。

10）六 ~ 八层的配合土建同五层，但应在八层的地板上，将八层 4 轴墙上的电话插座（这里的盒将在砌筑框架维护墙时预埋），用倒 π 字型管连接起来，送至地板上，并在电缆槽上方预埋一盒或直接引下（虚线）见图 4-94。

11）九层为第二设备层、除变电间、淋浴卫生间、加压泵站和电梯中转站外全部吊顶。

① 变电间预埋作业。

a. 八层顶板应预埋高低压柜体槽钢底座的地脚螺栓，出地坪不大于 100mm，并做好防护工作；变压器基础梁上预埋垫铁或导轨；

b. 从柱子主筋上引入接地引线至变压器、高压柜、低压柜处，引出地坪不大于 500mm；

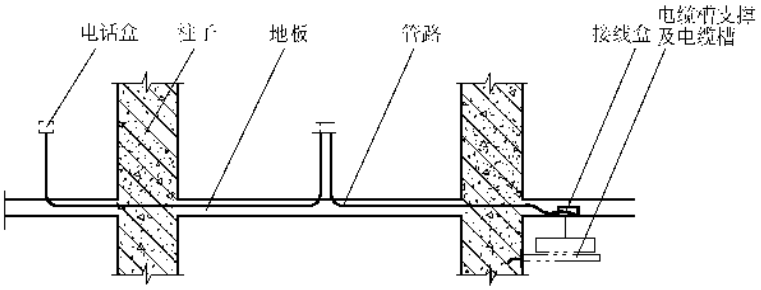


图 4-94　电话盒与弱电线槽的连接

c. 柱灯、吊灯、火灾探测器、电话、广播、传感器等管盒及手动开关、照明闸箱和壁灯的管路及悬空管的预埋。

d. 电缆槽 T 形铁件的预埋（包括整个九层），电缆槽在九层有两种，一种是强电电缆槽，见图 4-73，是延 E 轴与 F 轴中线和 3 轴、4 轴、7 轴、10 轴、G 轴部分设置的，除 G 轴是延地面敷设外（在地面预埋螺栓）其余均延柱 5.50m 处敷设，因此只在途径中柱子标高 5.50m 处预埋 T 形铁。但要注意 3#电梯竖井位置上，竖井移位电缆槽是延九层顶板下皮敷设的（它的作用一个是将三个强电竖井移位到十层及以上层的门庭处，这完全是为了十层及以上住宅的方便，因为十层及以上没有 3#电梯，这个位置变成了强电竖井的位置，以至使住宅内增加了面积并便于共用；再一个作用是用以送 3#电梯机房的动力电源），因此应在该处顶板上预埋 T 形铁件。另一种是弱电电缆槽，见图 4-75，是延 E 轴和 2 轴及 3 轴、6 轴、8 轴、9 轴、11 轴、G 轴 C 轴部分敷设的，因此在途径中柱中标高 5.0m 处预埋 T 形铁。这样，在强电和弱电竖井交叉的部位就有距离上的隔离，避免了凹字型的位移敷设，因此敷设 T 形铁件时要注意标高及强电弱电的区分。用同样的办法在九层板下将弱电竖井移位到十层值班室的地板下，见图 4-79。

②　加压泵站的预埋作业。

a. 八层顶板预埋控制柜地脚螺栓、接地引线；

b. 吊灯及引至闸箱的悬空管，探测器及管路（管路另端应做成 L 形直接引入电缆槽，见图 4-95）及引至楼梯间墙上探测器的悬空管；

c. 电动葫芦电源管的预埋，见图 4-73 和示意图 4-96。

③　吊顶房间顶板和柱子上的预埋基本同前，但中央调度室、计算机中心、电缆电视中心、电话总机房、广播机房应预埋各类屏柜的地脚栓。连同演播厅、以上各房间均有木质地板，设备及电气管路布置图中没有给出，地板内的线路应在装地板时从地板下

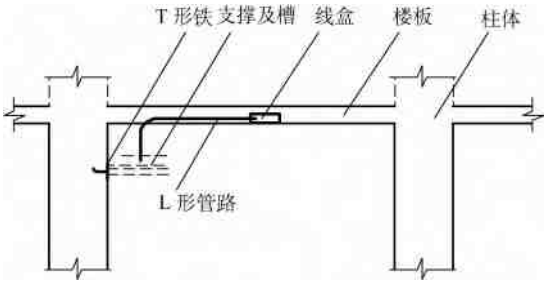


图 4-95　将悬空管引至线槽

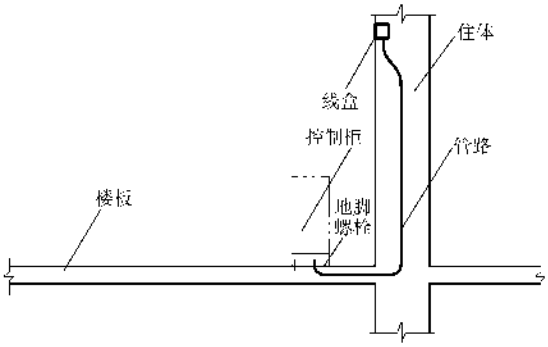


图 4-96　电葫芦电源管的预埋示意图

通过，再度配合。

④　电梯中转站的预埋作业。由图 4-73 ~ 图 4-75 可知，九层的 3#电梯竖井已分为两层，上层层高 3.5m，下层层高 2.5m，上层为 3#电梯的机房，下层为第九层的门厅，我们称作为电梯中转站，因此在配合土建上要注意。一般有两个配合，一是第九层的厅门及井道，二是九层的机房。

a. 井道的配合同前。

b. 浇注中间地板时，应按机房平面布置图（见土建图样）预留电梯钢丝绳孔洞；在中间地板的板下预埋 3#井道火灾探测器盒及管、并使该管上翻引至九层顶板下 -0.3m 处悬空；在板上预埋控制柜、UPS、选层器地脚螺栓（选层的位置应见设备图样），预埋控制柜到电动机的管路，出线口标高由设备定，预埋控制柜到选层器的管路等；同时在 A 点（见图

4-70）预埋一短节套管，作为动力电源的通路。在机房设计标注的位置上将承重钢安装在高出楼板600mm的基础上，见图4-97。承重工字梁平面的水平度应小于0.5‰，相互的平行偏差不大于6mm。

同时在垂直于变配电间A点插座壁灯处预埋一短节套管，作为引上照明电源的引入点，并预埋过道灯及管悬空至地坪1.40m处，见图4-98、图4-75没有标出这个灯。

c. 浇注上层顶板时，应预埋顶板灯盒及管路，其中手动开关和引到闸箱的管路应悬空下翻至中间层室内地坪1.40m，但到闸箱的管应和中间层地板上短节套管垂直，见图4-74和图4-98。

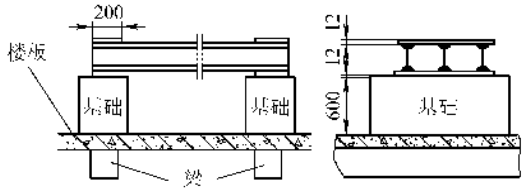


图4-97 将工字梁安装在楼板的基础上

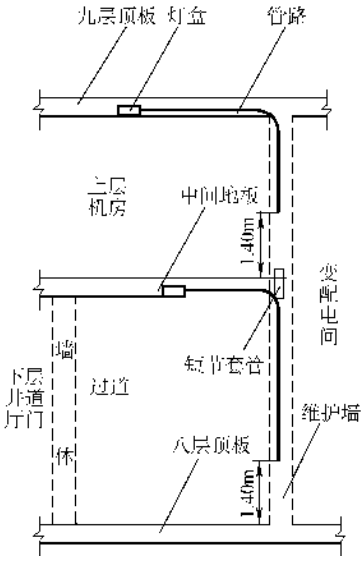


图4-98 立体示意图（照明）

同时在机房按图4-75预埋火灾探测器的盒及管，并使该管和中间层引上的管在井道墙上的顶板下一0.3m处汇合，在该处预埋一接线盒，然后从该盒引管至门厅探测器处再引入线槽，见图4-99。

12）十～三十六层的配合土建基本同普通民用多层住宅相同，现将不同之处说明如下：

① 竖直向上向下的线路除电话、电视插座、防盗报警钮、电动门磁卡孔和对讲机插座外均在强电竖井或弱电竖井内敷设；

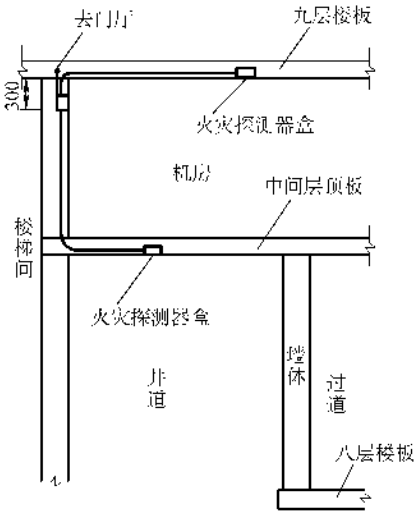


图4-99 立面示意图（防火警）

② 通向各户的强电电源则由强电竖井引出经楼板通至各户的第一个接线点，见图4-77，接线点为入口处手动开关盒的上方梁下的接线盒、门厅灯盒等。

③ 从十层每户各门厅及值班室电话插座、电视插座、防盗报警钮、电动门磁卡孔、对讲机插座处的上方梁上或板上预埋短节套管，往上向各层同一位置预埋短节套管，一直到三十六层，同时将十层的上述盒处用倒π字线管经十层地板引至十层弱电线槽，见图4-79。而火灾探测器的管路、火灾手动报警钮的管路则由本层引入顶板下的电缆线槽。

④ 按图4-79的位置于顶板下0.15m处预埋T形铁，做为电缆线槽支架的焊接点。

13）楼顶的配合有以下作业：

① 电梯机房同九层的电梯机房，但应在顶上预埋电源管，将电源按图4-80的位置沿墙皮引至1.65m处悬空；地板下预埋T形铁件，作为敷设线槽的吊点，见图4-92，其中电梯机房的弱电线槽是由板下三十六层顶部电缆槽引入的，这里要注意，应在控制柜端A点留洞，以便使电线槽上翻到柜内；电话处应从板下弱电竖井预埋管路，上引至墙上0.80m处悬空；由弱电竖井沿地板按图4-82的位置敷管，并上翻至标高1.40m处悬空，做为无线寻呼和电视信号电缆的引入管；沿地板由强电竖井敷管，并上翻至墙中心到1.40m处悬空，做为电动门管；按设备位置和土建基础图预埋无线寻呼发射塔和电视天线塔或卫星天线塔基础上的螺栓；按图4-81由强电竖井位置预埋航空障碍灯电源、引出屋顶0.80m，暂用铁板焊接将管口堵好，悬空放置，同时预埋障碍灯支架的地脚螺栓；按图4-81预埋机房照明闸箱电源管和

屋顶节日灯电源管，分别悬空引至墙体 1.45m 和 0.3m 处，在节日灯的管口处有一线盒，准备向上引管；两管均由强电竖井位置引出；再由强电竖井沿屋顶预埋机房屋顶航空障碍灯的电源管，通常上翻至墙体 0.30m 处，这里将有一只接线盒。同样方法由 3# 机房强电竖井引出卫星电视天线的电源管。

电梯机房屋顶照明节日灯及火灾报警方法同前，引至闸箱和开关的管要悬空。其中火灾报警探测器的管路要经墙引入楼板下线槽，因此在 B 点（见图 4-82）要预埋一短节套管。

② 防雷设施同普通民用住宅，并将无线寻呼塔架，卫星天线或共用天线架，电梯机房处用 ϕ16 圆钢或 5×50 扁钢引出屋顶 500mm，另一端引至柱体主筋，并电焊焊接牢固可靠。这里要提醒注意，楼顶作业时应设置临时避雷针或避雷带，特别是在雷雨季节。

另外，屋顶配合时要将电缆竖井的位置测量准确，因为要从这里引出很多管路，图 4-81 中已用虚线画出了竖井的位置。所有引出竖井的管路，在竖井顶板下露出长度不超过 200mm 应一致。

此至，混凝土框架浇注时的配合土建已经结束，应组织三人检查小组逐点检查，有漏有误或质量不妥之处要详细记录层号、房号、单元号及内容，以便在下段配合时补救。这里需要指出的是凡吊顶房间顶上若有单体重量大于 3kg 的灯具或使用 ϕ25 以上的钢管或线槽时，应在顶板预埋 T 形铁件，以便安装时使用。

（四）砌筑框架维护墙时的配合土建施工

砌筑框架维护墙时的配合作业很多，主要有竖井内支架预埋、设备层部分动力管路及开关控制箱，解决悬空管的接管和短节套管的穿管，墙上支撑及 T 形铁件等，这样配合施工时应对照前段的预埋作业。

高层建筑的维护墙砌筑，往往是几层同时砌筑，这样在配合时应同时派出几个小组分别对应土建的施工进行配合。

1. 地下二层的配合作业项目（见图 4-61～图 4-63）

1）从电缆沟位置引管经地坪 -0.3m 至墙上 1.40m 处的照明开关箱，安装箱体，并敷管向上和梁下及引来的照明回路板下 -0.2m 处的短节管口用接线盒连接，完成每个照明回路的电源管敷设。如果是悬空引下的长管，应直接进箱，把多余部分锯掉；在短节管口和向上敷管的连接上也可采用套管联接，并用电焊焊严焊好。无论哪种联接，都应用煨弯器或气焊将翻下的短节管口矫正，使之垂直朝下。

同时在值班室和中央控制室墙体 1.40m 处预埋火灾区域报警控制器的箱体外壳，用上述方法，完成每个探测回路。

2）0.30m 时预埋办公室、会议室、值班室的插座盒并敷管上引自 2.00m 壁灯处或上引自顶板下 -0.20m 的引下短管口处接好。

3）0.80m 处预埋办公室、会议室、修理间墙上电话插座盒并敷管经 A、B 点短节套管穿过，引至上层同一标高处。

4）1.40m 处预埋照明手动开关盒并敷管和由上引来的悬空管或短管口连接，完成每个控制回路。但在图 4-62 中③、⑦、⑧和⑨号照明闸箱旁标注的照明开关是直接由闸管引入的，因此应在闸箱侧面开孔（或用敲落孔），用短管连接好，这里要注意闸箱和开关的下皮标高是一致的。同时还要看到发电机房、变配电间的开关箱④、⑤电源的引入是由电缆沟敷管引入的，因此应在 -0.30m 处下管引至墙体 1.40m 处，图中这样做完全是为了讲述管路的敷设类型。图 4-62 中虚线敷管是将手动开关装设在门的入口处，在开关箱的旁侧也是可以的。

卫生间出口处的插座是电热烘手器的电源，标高和开关相同 1.40m，用管墙体中连接。

图 4-63 墙体上标有手动火灾报警钮和防盗手动报警钮处，应预埋线盒，其中火灾钮和由上引来的悬空管（或短管口）连接，而防盗钮则敷管上引至 3.80m 处，并直接进入电缆线槽，其直接引入的长度因测量不准可偏长一点，安装线槽时再锯掉多余部分。

5）2.00m 处预埋墙上壁灯盒，并敷管和由上引来的悬空管或短管口连接。

6）3.80m 处应在有电缆桥架穿过的墙体上预留孔洞，一般应按桥架的实际截面积预留，如一时不知其实际尺寸则应留大一点，但无论怎样其标高必须一致。同时应注意桥架的拐弯和由于设备障碍的原因而升高时预孔洞的位置及尺寸。

7）完成楼梯间、安全通道的管与盒的预埋，具体做法可参见前面图 4-86，管由梁上预埋好的短节套管中穿过，至上一层的盒处，一直做到顶层。

8）完成电缆竖井内电缆支架的预埋及预留孔，间距 1m，入墙不小于 150mm，支架应按敷设电缆、线槽的规格及数量预先开孔，支架的预埋见示意图 4-100。支架的长度、每层的根数则由线槽及电缆的数量而定，预埋一直到顶层。同时应在每层预埋配电小间门框和地脚螺栓，门框应垂直，且不凸出墙面，见图 4-100。

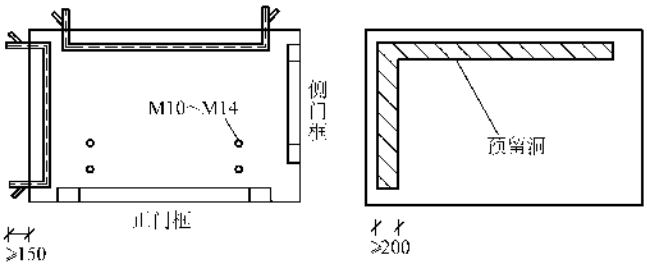


图 4-100 电缆竖井配电小间平面示意图

竖井砌筑到吊顶层后，则应在高于吊顶层标高100mm 处预留孔洞，做为本层管路引出的出口；砌筑到室外地坪 -800mm 处，则在外侧预留孔洞，做为高压进户电缆及引至立体仓库等电源的进出口，和本节（三）、6）⑥预埋管交圈。

9）按照各类传感器或信号数据采集元件及其线槽布置的位置，在墙上预埋 T 形铁，预埋至标高3.80m 处，准备将其引入电缆线槽。

2. 地下一层的配合作业项目

因为从地下一层到地上九层几乎全部吊顶，所以在配合土建上将有所不同，这里要提请读者注意。

1）完成办公室、洽谈室、会议室、值班室电源插座盒、照明手动开关盒、烘手器盒开关控制箱外壳、壁灯盒及其管路的预埋，并将竖直方向的管路引到吊顶线内 150mm 处，在这里预埋或装设一接线盒，作为电源的引入处，见示意图 4-101。卫生淋浴间同地下二层。

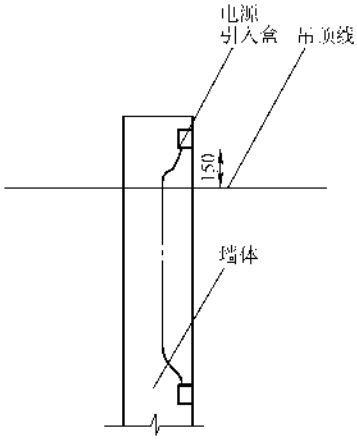


图 4-101 示意图

2）完成火灾区域报警器箱体外壳的预埋，并敷管引至吊顶线内 150mm 处装盒，按图 4-62 可在此处敷管三根，其中一根 G20 的管做为卫生间办公间的引入，其中两根 G50 的管做为营业大厅所有探测器的引入。这里的盒要根据现场制作一个大盒，这个大盒还要和主电缆槽衔接，因此盒的尺寸应和电缆槽一致，其一侧和电缆槽连接，另一侧为活动的插盖，可打开进行接线，见图 4-102。

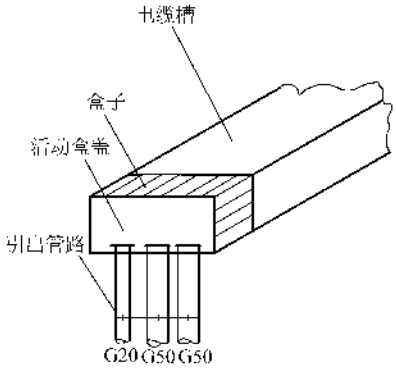


图 4-102 示意图

3）完成办公室和会议室电话、电传盒的预埋，并敷管引至上层同一标高处，直至四层。

4）完成值班室火灾手动报警钮和防盗手动报警钮盒管的预埋，并将管引至吊顶线内 150mm 处，做法同上。

地上二～四层的配合作业和地下一层基本相同，现把不同之处列出：

由图 4-64 可知，应在 B 点吊顶线之上 100m 处预埋一短节套管，以便室外广告电源管的穿出；

由图 4-65 可知在四层中①轴、Ⓐ轴、⑬轴及图中 C 点处的电话、电传、电视插座不再向上引管，而是在该层将竖直向上管路引到吊顶线内 150mm 即可，同时装盒，以便引入电缆槽。

3. 地上一层的配合作业项目

地上一层的配合作业项目包括地下一层的所有项目，此外还有以下几点：

1）完成门卫值班室、住宅入口处插座及照明开关盒的预埋，并将管路引入吊顶线内；

2）完成消防中心、保安中心插座、壁灯、照明开关的预埋，并将管路引入吊顶线内；

3）按图 4-66，在 1.40m 处预埋橱窗电动卷帘控制箱外壳，并敷管两根，其中一根引至吊顶线内 150mm 处，做为电源，另一根穿墙引至电动卷帘电动机处，标高 5.30m，但应和设备图样对应。

4）预埋门卫值班室电话盒，防盗手动盒并敷管引至吊顶线内150mm处，消防中心预埋防盗手动盒；预埋办公公寓入口处对讲机管路，作法示意图见图4-89。

4. 地上五～八层的配合作业项目（见图4-70～图4-72）

1）完成办公间、文艺厅、走廊、值班室墙上电源插座、手动照明开关、壁灯盒的预埋，并敷管上引至吊顶线内150mm处；完成卫生淋浴间手动照明开关，烘手器盒的预埋，并敷管与从板上引下的悬空管或短节管口连接。0.30m时用管穿过室外柱灯下的接线盒并穿C轴柱上的短节套管，完成柱灯的连接。

2）火灾报警系统和手动防盗报警系统同地上一～四层。

3）五层0.80m时预埋室外平台低音喇叭箱的外壳，其管路已在地板中预好。应先将管口处的堵板取掉，把管口用锉修整好，再引入箱内。室外喇叭箱仅五层设置。

4）从五层开始预埋墙体上0.80m处A点、B点的电话、电传、电视插座盒，见图4-71，同时敷管引至上层，直到九层，其中A_1点引至八层即可。同时在B点和C点间用一根G15的管穿过柱上套管（前段预埋），将下引管引至C点，和由四层引来的管用线盒连接好。

5. 地上九层的配合作业项目

1）完成演播厅、计算机中心、中央调度室、电视中心机房、电话总机房、广播机房、走廊、值班室电源插座、照明开关、照明闸箱、壁灯盒的预埋，并敷管上引至吊顶线内150mm处；完成变配电间、加压泵站、卫生淋浴间照明开关、闸箱、干手器盒的预埋，并敷管上引至顶板下和由板上引下的短节管口连接；3#电梯机房的照明及弱电同前述。

2）火灾报警系统，防盗报警系统同一～四层。

3）完成墙上电话电传盒的预埋，并敷管引至吊顶线内150mm处。

6. 十～三十六层配合作业项目

1）完成每户各个房间和值班室电源插座、照明开关、壁灯盒的预埋，并敷管上引和由板下引来的短节管口用线盒或套管连接好；

2）按图4-79标注的位置及标高预埋电话、电视、防盗钮、电动门磁卡孔、对讲机插座盒，并敷管上引至上层同一位置及标高处，一直到三十六层，梁上或顶板上已预埋短节套管。

3）值班室1.40m处预埋火灾报警装置的外壳，并敷管水平引入弱电竖井。

7. 楼顶的配合作业项目

1）完成电梯机房照明开关、照明控制箱的预埋及管路的上下连接；

2）完成电话插座盒的预埋；完成电动门按钮盒的预埋；

3）在图4-82B点处穿过预埋好短节套管预埋一根管，将板下线槽和梁下的短节管口连接起来；

至此，第二阶段的配合工作已结束，同样应派人检查有无贻误及质量不妥之处，及时修补，并认真总结前两段的配合工作。

（五）地面抹灰时的配合作业

地面抹灰时配合作业主要有两个设备层、地上一层、楼顶机房和第十层。地面抹灰土建上可能多层同时作业，要及时了解土建的进度，以免贻误。

1）第一设备层的配合作业项目主要有电缆沟及支架预埋、开关控制柜地脚螺栓、动力管路、接地引线、变压器基础及其他埋地管路等，作法参见本章第一节和第二节。

2）第二设备层的配合作业项目主要开关控制柜地脚螺栓、高压电缆槽地脚螺栓，这些已在浇注楼板时完成，抹灰时要检查和纠正；地面动力管路（G32及以上）的通常是在安装阶段进行明设，沿地面部分用槽钢或木槽保护或采用线槽沿地面明设并用木槽保护。

3）地上一层主要是消防中心和保安中心柜体地脚螺栓。因一层有G50的管路，通常应加厚一层地面的抹灰厚度，要和土建协商解决。

4）楼顶机房有柜体的地脚螺栓，管路如明设同第二设备设层。

5）第十层因地面管路较多且有G25管，因此要加厚地面抹灰厚度。

（六）内装修及吊顶施工时的配合土建

内装修及吊顶施工的配合土建是和安装一并进行的，有关接线方法、电气性能的测试、电缆敷设或穿线方法、安装工艺等电气技术请读者详见本手册后续各章，这里只讲述和土建配合的一些内容。

①　墙壁装饰物上安装的电气元件（如灯具、开关、按钮、探测器、插座、传感器、音箱或喇叭、开关控制器或箱、烘手器、线槽、路标灯、钟表、指示器等），其在装饰物（板）表面上的开孔必须按照开孔图纸标注的尺寸或实物开孔。开孔必须方正、横平竖直，圆孔其圆心应对准中心。开孔位置必须和墙壁上预埋好的接线盒对正，以便导线或电缆的引出，同时应将元件放于接线盒的那部分放入孔内，以孔代盒，然后直接用螺钉将元件固定在装饰物上或装饰板上，同样要求元件固定后要方正，横平竖直或圆心对准开孔中心。

装饰物上电气元件的安装是和土建装修同时进行的，必须向土建人员讲明开孔的位置和尺寸，必要时应自己动手或示范。

② 吊顶安装时的配合作业一般有两种内容，一是将管路、线槽与盒装设在吊顶之内并加以固定，再是在吊顶装饰板上开孔，并将电气元件（主要有灯具、探测器、传感器、喇叭或音箱、摄像头等）安装在吊顶的装饰板上。

吊顶上安装电气元件除了电气要求之外，主要要求是具有美观、大方等艺术性，这里既有和土建配合问题，又有电气技术人员的技术素质及审美观念问题，这也是我们在电气安装工程中强调的问题。

a. 吊顶之前由土建技术人员和电气技术人员一起按吊顶的面积及电气元件在吊顶上的安装尺寸，用比例详细画出每个元件在吊顶上的安装位置，并按此尺寸在吊顶上开孔。开孔的面积尽量用实物比示，避免差错。同类元件在吊顶上的位置应一致，组成的图形应为规则的几何图形。

b. ϕ25 及以下管路或线槽则应根据元件的排列敷设在吊顶的龙骨上或吊筋上，并专用卡子或螺钉固定，距灯具最近处应设一线盒，盒与管电焊点牢，管路尽量不交叉。回路较多的可用线槽敷设，从线槽的引出可用金属软管，大于 ϕ25 的管和槽应单独埋设吊筋，不与吊顶共用。所有敷设导线的使用材料（管、盒）不得使用可燃性材料，见图 4-103 ~ 图 4-104。

c. 应根据管路的多少、灯具元件的重量向土建技术人员提供吊顶内的总重量和密度最大处的每平方米的负载，经土建技术人员核算可行后，才能安装。

d. 土建人员先安装龙骨，并在安装元件处和引下线槽处，按图留出位置。

e. 土建人员安装一段龙骨，即可在龙骨内敷设管盒或线槽。为了后段安装上的方便和等待土建的进度，可将导线穿入管内或线槽内，其具体方法详见本书第二部分有关章节。

f. 土建人员安装吊顶装饰板时（也叫做拼板）即可进行元件的安装，条件可能时最好将线接好，其具体方法见本书有关章节。有引下线槽的部位，其吊顶装饰板的开孔应等于线槽的截面积。

g. 引入或引出电缆竖井的管或槽应经预留的孔洞，入井的长度不大于 100mm，本层的管槽敷设完后，应用灰浆和砖将孔洞堵好。

h. 同类元件在吊顶上的排列，应整齐、纵横成线，给人一种美感。

i. 吊顶内管路的敷设要注意和热力管道的距离，并应符合表 4-7 的规定。

表 4-7 低压配线与管道间最小距离

最小距离/mm 管道名称 \ 配线方式		穿管配线	绝缘导线明配线	裸导线配线
蒸汽管	平行	1000（500）	1000（500）	1500
	交叉	300	300	1500
暖、热水管	平行	300（200）	300（200）	1500
	交叉	100	100	1500
通风、上下水压缩空气管	平行	100	200	1500
	交叉	50	100	1500

注：1. 表内有括号者为在管道下边的数据。

2. 在达不到表中距离时，应采取下列措施：蒸汽管在管外包隔热层后，上下平行净距可减至 200mm，交叉距离须考虑便于维修，但管线周围温度应经常在 35℃以下；暖、热水管包隔热层；在裸导线处加装保护网。

3. 裸导线应敷设在管道的上面。

j. 吊顶内安装时要和通风、管道、空调等专业的人员配合好，搞好协作，互相理解，互相支援。

③ 土建工程进行内装修及吊顶时，应尽可能地利用土建的脚手架、卷扬机、升降机等运输装置，将电气设备、电气材料、施工机具运到有关层次的房间，并做好必要安全防护措施，这对后段的安装进度、节约资金、降低工程的成本都是有很大意义的。

至此，配合土建施工已全部结束，还有两件工作必须及时做好。一是应根据图纸按层次、房号一一检查有无漏埋或错埋的地方，如有应立即进行处理。这个工作应在内装修前进行，否则将影响装修的进度。二是在施工过程或检查的过程中，凡是因为配合作业而损坏了的土建设施或建筑物的某个部分，无论大小都应及时修补，或者与土建人员协商妥善解决，做好建筑和安装的成品保护，同样对后段的安装会有很深远的影响和意义。

前三节中已经详细地讲述了配合土建的施工方法及注意事项，这些是按国家的标准规范进行的。但是目前建筑安装市场上，流行了一种简易的配合土建的方法，虽未被国家有关部门明确认可，但已被许多安装企业采用，这里只作简单介绍。

1）混凝土现浇板。在浇注时按前述方法将管盒下好，翻下 -0.3m 处于墙上，墙上的管盒不预埋。土建砌筑工程完毕后，在墙上开槽，再将管，盒安装上去，开槽深度一般不超过 50mm；需要穿过楼板的

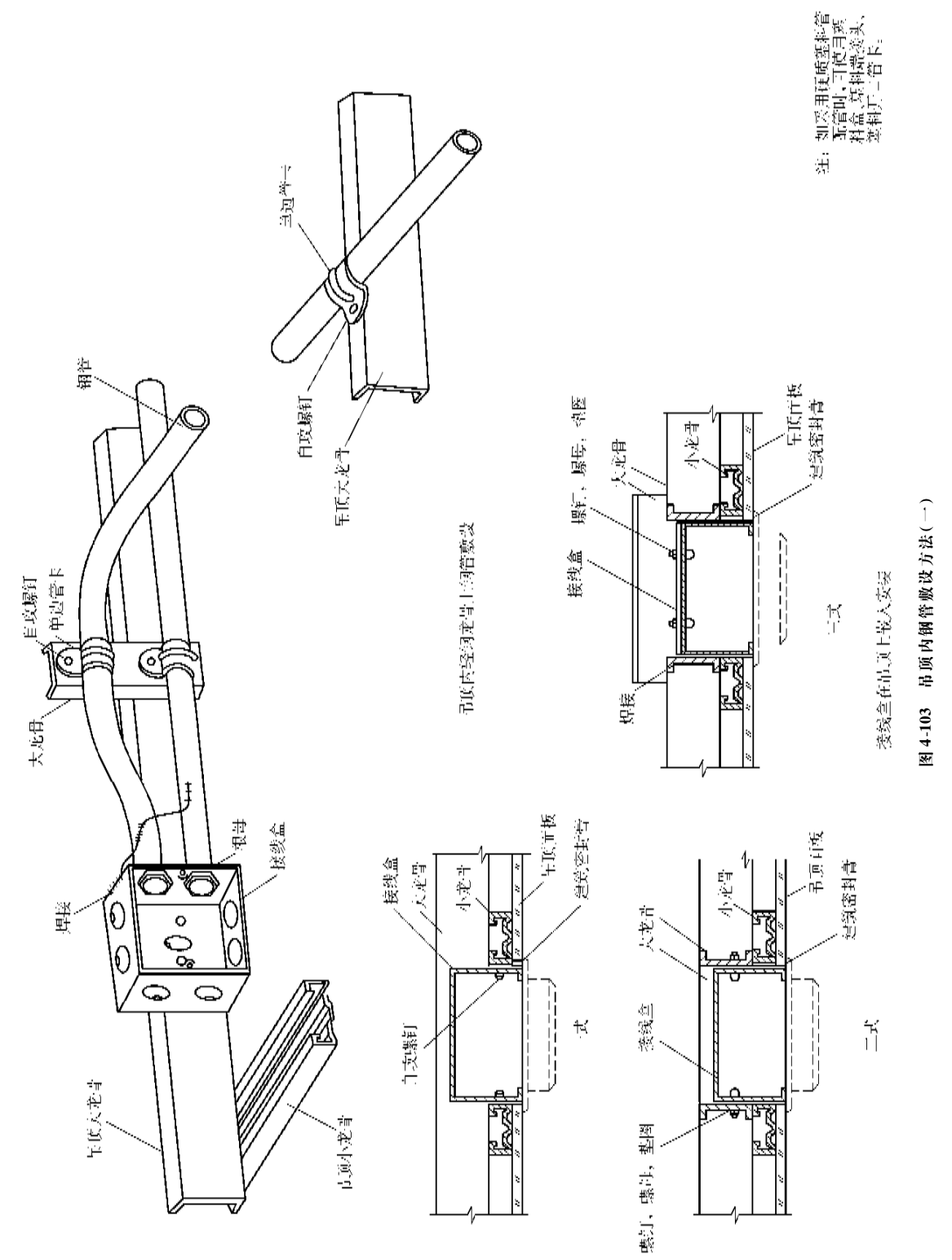
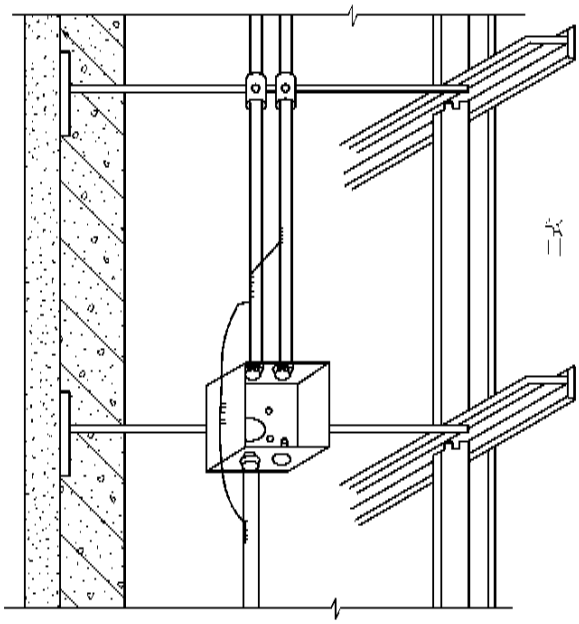
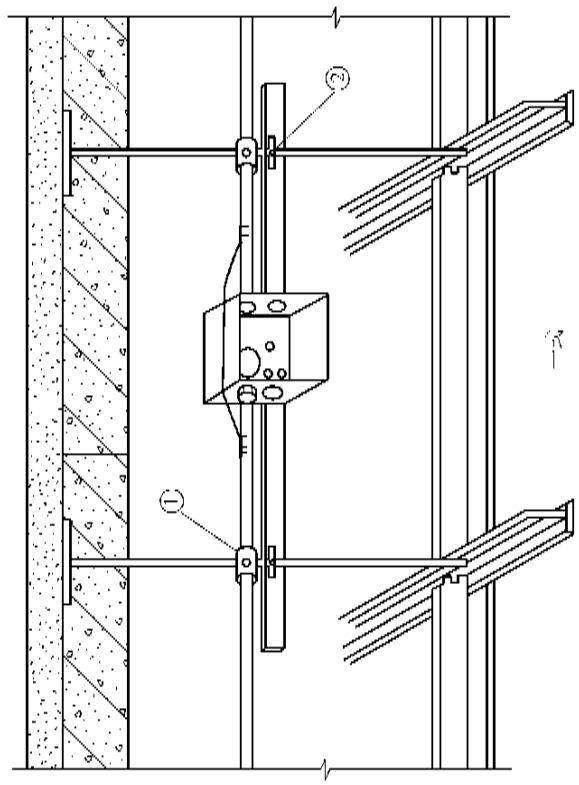


图 4-103　吊顶内钢管敷设方法（一）

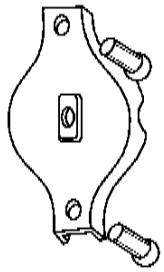


二式

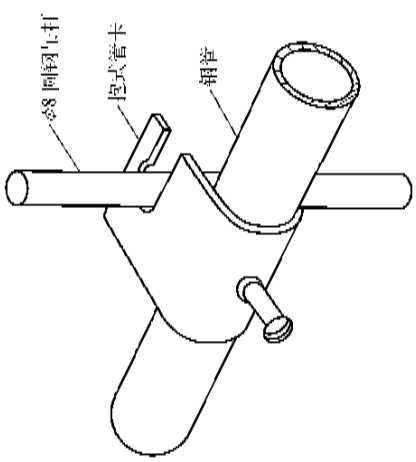


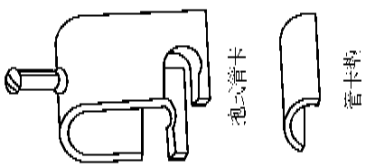
一式

管、盒安装法



②圆形抱卡





①抱式管卡安装

注：如采用硬质塑料管时，抱式管卡内应垫管卡板。

图 4-104 吊顶内钢管敷设方法(二)

再在楼板上用钻孔机钻孔，将管路引上或引下；混凝土柱体上的管路按前述方法预埋；其他同前述方法。

2）预制板屋顶，在土建砌筑工程全部完毕后，则在墙上开槽，板上钻孔，进行管路的敷设。

上述方法，一般使用开槽机和钻孔机进行，但也有用手工的；这种施工方法，只适用于一般的砖混结构中部分不重要的、层数在六层及以下的民用建筑中，凡有破坏建筑结构的任何一点都不会被建设单位接受的。

3）柱体或墙上的预埋。有些厅、室将柱子或墙进行装璜，如是有吊顶，这样管路则可以不预埋在柱体或墙体内，可将其敷设在装璜板后面，但必须穿钢管敷设，不得将护套线，塑料线直接敷在板后。这种方法，对防火要求高的场所是不能采用的，只用于一般场所，但管路及盒应涂防火漆。

管路的预埋，不能只考虑省工，必须按图样要求进行，不但要考虑美观、实用、持久，还要考虑防火、方便换线以及运行方面的各种因素，保证电气设备及系统的正常运行。

这里将电气竖井内桥架安装、线槽安装以及与配电箱连接、穿墙防火等标准图样给出，供读者在配合土建施工中参考，见图 4-105 ~ 图 4-118。

三、宾馆饭店娱乐场所的配合土建

宾馆饭店娱乐场所配合土建与前述基本相同，应遵守本章前述的相关规定，但有其特点和特殊性。一般的宾馆饭店娱乐场所，在内装修上比较讲究，不同于一般的建筑，因此，对其内装修配合土建就有了更高的要求。除了按第四节“二”的要求外必须做到以下几点：

1）装修层内或吊顶层内必须布置管路，严禁将导线直径敷压装修层内或吊顶层内。

2）电气元件的安装位置应由建设单位提供详细图纸或说明，增加电气元件时应有图样。在装修层外开孔时应与原配合土建时预埋的箱、盒位置尽力越近越好。其开孔面积能满足安装越小越好。相同元件的开孔标高应一致。

3）增加电气元件时，原设计的开关、导线、箱柜回路应满足增加负荷的要求。

4）装修层内管路直径应比正常条件下的管径大两个规格（如 Dg20 的管应改为 Dg32），以满足散热的要求。

5）装修层内的管路应采用绝缘阻燃管，管路设置应有固定装置，管路应远离热源 1m 以外，必须靠近时应有隔热措施。

6）装修层内或吊顶层内布置管路完毕后装修板安装前必须由监理工程师验收合格，才能进行装修板的安装。

7）作业时必须与兄弟单位、其他工种、建设单位、设计单位、监理单位搞好协作，避免冲突或发生意外。

四、特殊环境的配合土建

特殊环境一般条件下均采用明装管线，因此在配合土建时与前述内容不大相同，其主要工作是在建筑物上留眼留洞、预埋铁件、预埋套管等。

特殊环境配合土建应做到以下几点：

1）熟悉图纸，掌握管路走向，元件安装位置、标高，同时了解土建图纸，掌握其土建结构。

2）掌握土建工程进度，超前预埋或留洞。

3）墙、柱、梁为混凝土结构时，应在管路元件安装位置预埋铁件，管路穿越楼板或墙壁、柱处应预埋大一个规格的套管，套管应上下出其 100mm，并与其内钢筋焊接焊牢。柱上套管直径一般不大于 50mm，否则应与设计沟通。

4）主体为砖混结构时，砖墙、砖柱上应在管路元件安装位置预埋质地坚硬的梯形木砖，其厚度应大于砖厚，预埋时大头在里，小头在外，木砖防腐处理，预埋处混凝土灰应加大强度，并用镀锌铁线将其与周围其他砖缠结紧固。管路穿越墙壁时应预留一个孔洞，截面不大于 $10\times10cm^2$，穿越砖柱时不大于 $5\times5cm^2$。

5）预埋件，木砖的位置标高应在原图标注并有记录。预埋件、木砖、管卡的间距见表 4-8。

表 4-8　预埋件，木砖、管卡最大间距

管路类别	管路直径/mm				
	15 ~ 20	25 ~ 32	32 ~ 40	50 ~ 65	65 以上
	最大间距/m				
壁厚 >2mm 钢管	1.5	2.0	2.5	2.5	3.5
壁厚 <2mm 钢管	1.0	1.5	2.0	—	—
刚性绝缘管	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0

6）砖混结构管路直径大于 50mm 时应预埋铁件。

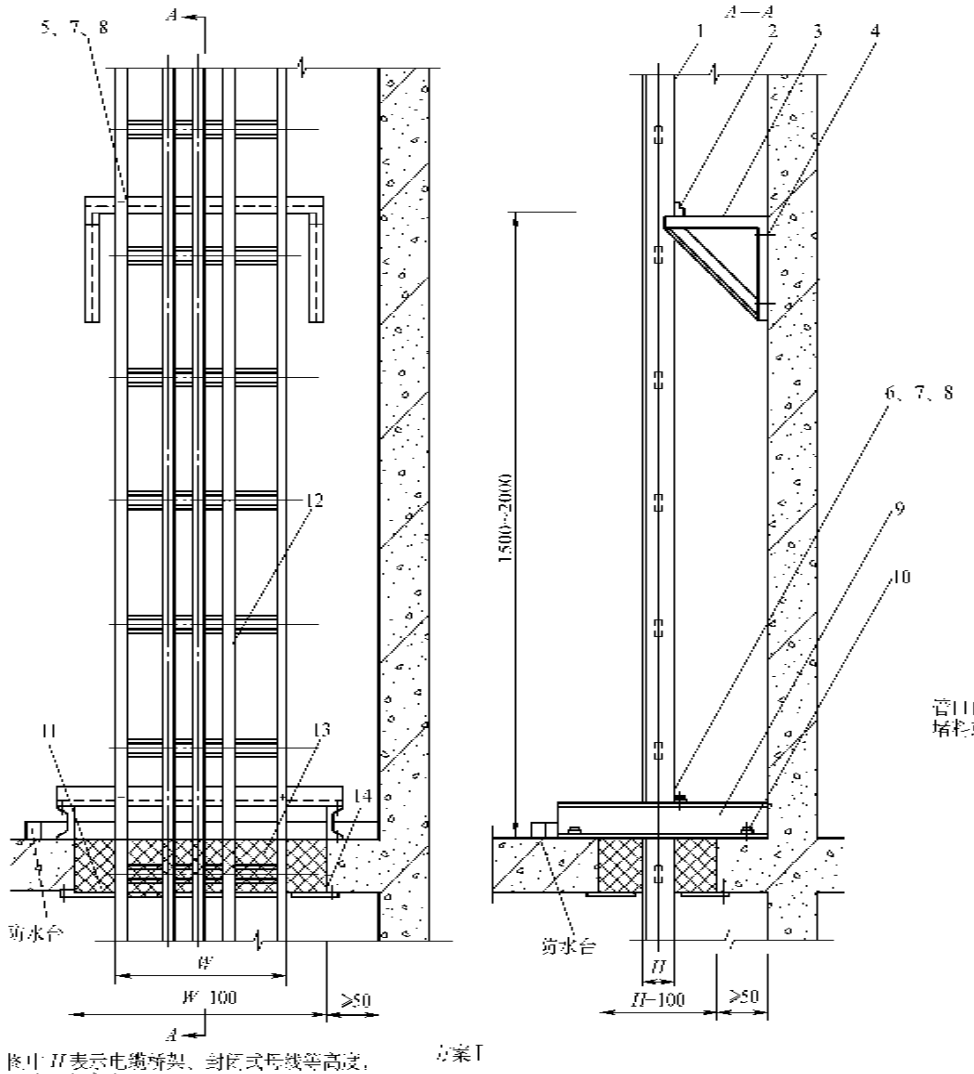
7）与土建搞好协作，避免冲突或发生意外。

电气工程中，建筑物、构筑物中 1kV 及以下动

力、照明用钢管、塑料管敷设其质量标准及检验方法　　见表 4-9。

表 4-9　管路敷设

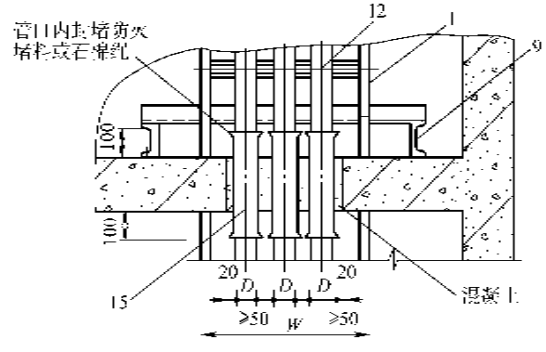
工序	检验项目			性质	质量标准	检验方法及器具
配管检查	型号、规格、材质			按设计规定	对照图纸检查	
	外观	钢管	外表面		无损伤，严重锈蚀镀锌完好	观察检查
			内表面		无毛刺，无杂物	
		塑料管	外表面		无裂缝，无破损	观察检查
			内表面		无杂物	
管路配制	路径、位置、方式				按设计规定	对照图纸检查
	弯曲部分	弯曲半径			按 GB 50303—2002 规定	对照规范检查
		弯扁度				
	管口				平整、光滑	观察检查
	管路水平、垂直误差			主要	横平、竖直	
	与热力管线的距离			主要	按 GB 50303—2002 规定	对照规范检查
接线盒安装	型号				与开关、插座、盖板配套	观察检查
	装设位置				按设计规定	对照图纸检查
	固定（埋设）				牢固，不易损伤	观察检查
管路连接	钢管	普通螺纹连接			牢固，跨接接地线焊接可靠	观察检查
		防爆螺纹连接			涂电力复合脂均匀，接地跨接线卡可靠	
		套管连接			管口对正，焊接牢固、严密	
		紧固螺钉连接			紧密，无松动	
	塑料管				胶合牢固	观察检查
	固定				均匀、合理	
	直引式	进盒	钢管锁母配合		外露丝扣 2～3 扣	观察检查
			钢管焊接配合		高出内壁 3～5mm，焊接平整	
			塑料管		高出内壁 3～5mm	
		进落地配电箱			高出箱底板 50～80mm，排列整齐	
	过渡式	用软管保护			管口包扎紧密	观察检查
		用专用接头软管			连接可靠，密封良好	
其他	隔离密封件填充料			主要	光滑，无龟裂	观察检查
	配合处密封				良好	
	管线及附件防腐				按设计规定	对照图纸检查
	接地或接零					



注：图中 H 表示电缆桥架、封闭式母线等高度，W 表示其宽度。

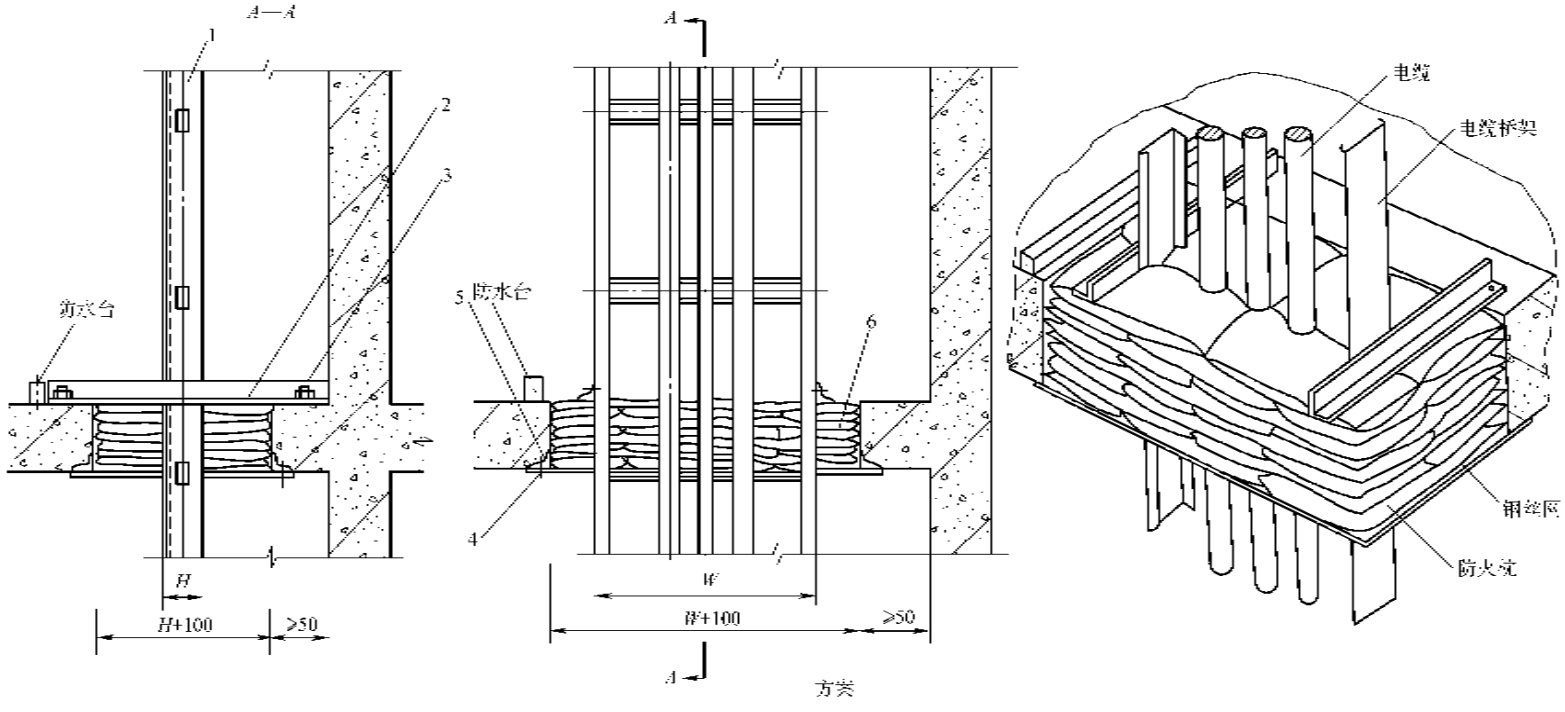
材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	
				Ⅰ	Ⅱ
1	电缆桥架	见工程设计			
2	支架	L50×50×5	个	2	2
3	支架	L50×50×5	个	2	2
4	膨胀螺栓	M10×80	套	4	4
5	固定螺栓	M8×35	个	4	4
6	垫圈	M8×40	个	4	4
7	螺母	M8	个	8	8
8	弹垫	8	个	8	8
9	槽钢支架	[10	根	2	2
10	膨胀螺栓	M10×80	套	4	4
11	防火隔板	钢板 $t=4$	块	1	
12	电缆		根	3	3
13	防火堵料				
14	固定角钢	L40×40×4	m		
15	架护管	见工程设计	根		3



方案Ⅱ

图 4-105　电气竖井内电缆桥架的垂直安装(一)

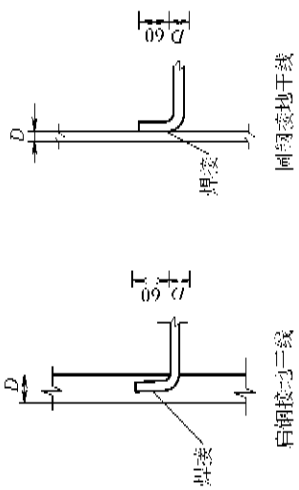


材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	电缆桥架	见二层设计			
2	角钢支架	L50×50×5	个	2	
3	膨胀螺栓	M10×80	套	8	
4	钢丝网		m^2		
5	固定角钢	L40×40×4	m		预埋
6	防火泥	SDFZ-1			

注：1. 施工前将要封堵部位清理干净。
2. 钢丝网应刷防火涂料。
3. 防火泥应按顺序依次填放整齐，防火泥与电缆之间空隙≤1cm²。
4. 电缆竖井楼板防火泥厚度≥24cm。
5. 防火泥型格为三种：Ⅰ型——320mm×120mm×25mm；
Ⅱ型——160mm×120mm×25mm；
Ⅲ型——160mm×75mm×25mm。

图 4-106 电气竖井内电缆桥架的垂直安装(二)



接地线连接

材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	支架	产品组件	个	4
2	封闭式母线	见工程设计		
3	固定支架	L50×50×5	个	1
4	分线盒	见工程设计	台	2
5	配线箱	见工程设计		
6	电缆箱	见工程设计	台	2
7	弹簧		个	4
8	防火塞料			
9	防火隔板	钢板 δ=4		
10	接地线	见工程设计		
11	配管螺栓			
12	管卡	与钢管配套		

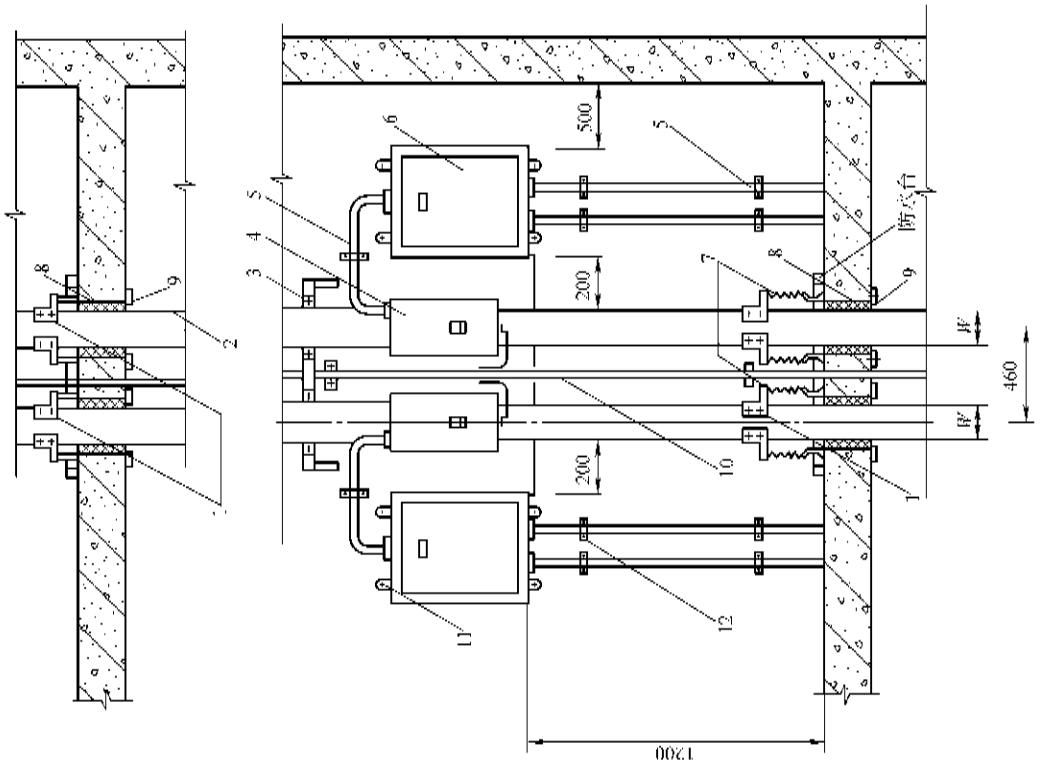
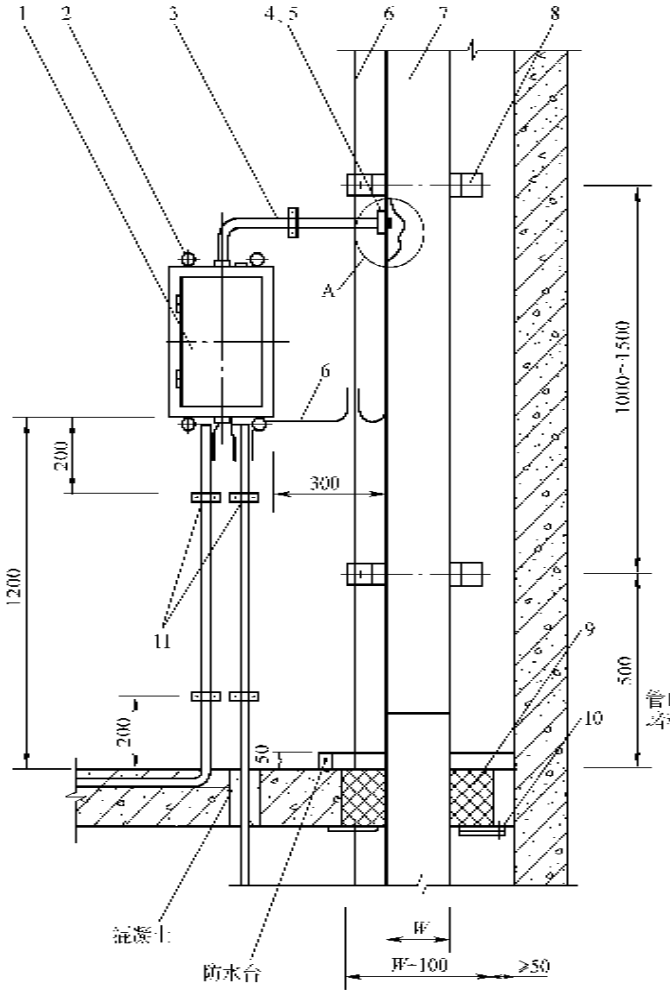
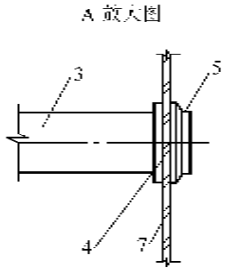
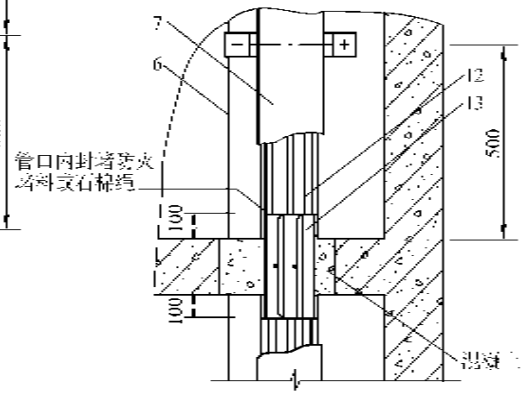


图 4-107　电气竖井内封闭式母线与配电箱的安装



方案Ⅰ





方案Ⅱ

材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量 Ⅰ	数量 Ⅱ
1	配电箱	见工程设计	台	1	1
2	防雷接地				
3	配线钢管	见工程设计	m		
4	根母	与钢管配套			
5	护口	与钢管配套			
6	接地线	见工程设计			
7	金属线槽	见工程设计			
8	支架	扁钢 40×4			
9	防火材料				
10	防火隔板	钢板 δ=4	块	1	
11	管卡	与钢管配套			
12	电缆	见工程设计	根	3	3
13	保护管	见工程设计	根		3

注：采用方案Ⅱ时，保护管间的距离应≥200mm。

图 4-108　电气竖井内金属线槽与配电箱的安装

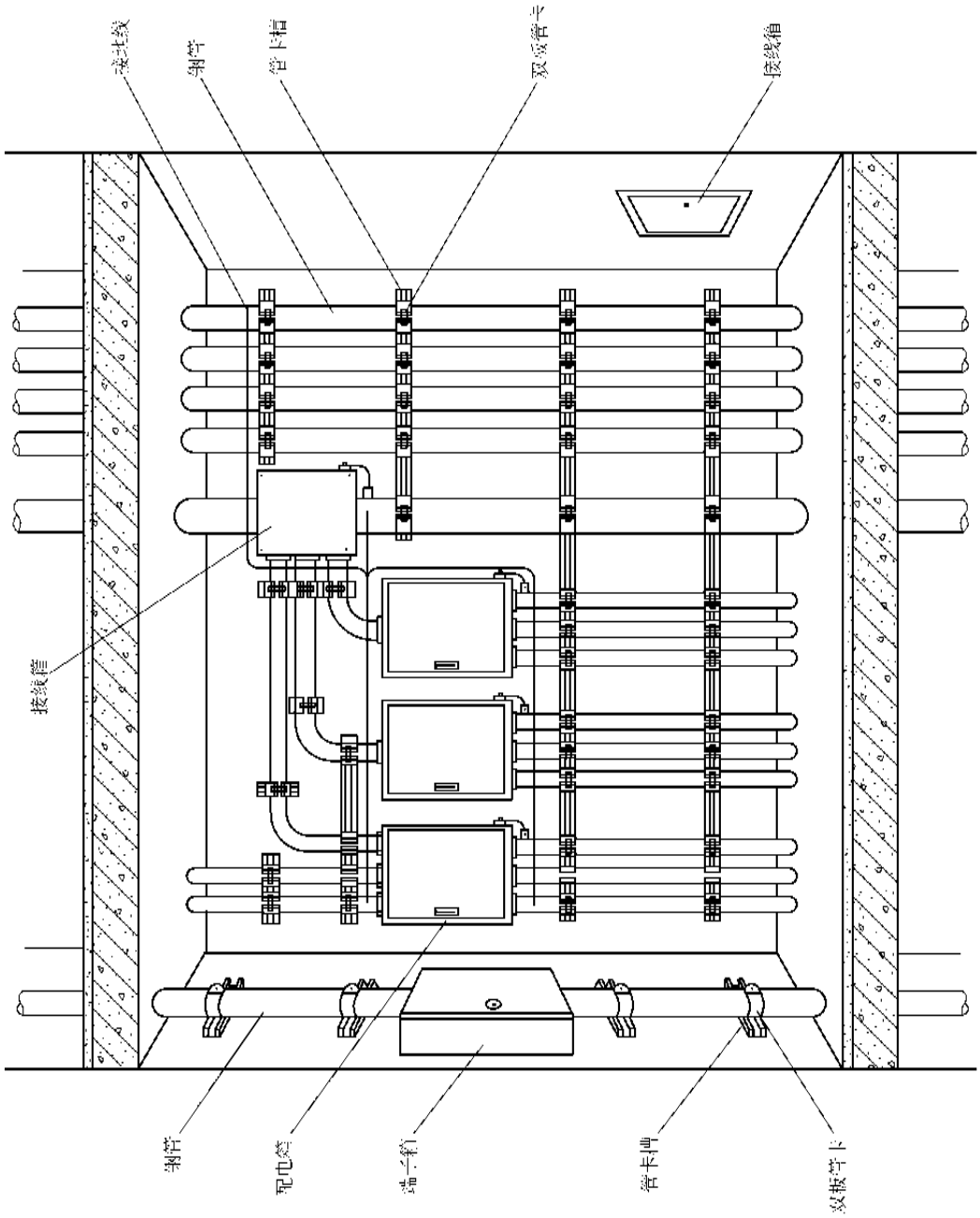
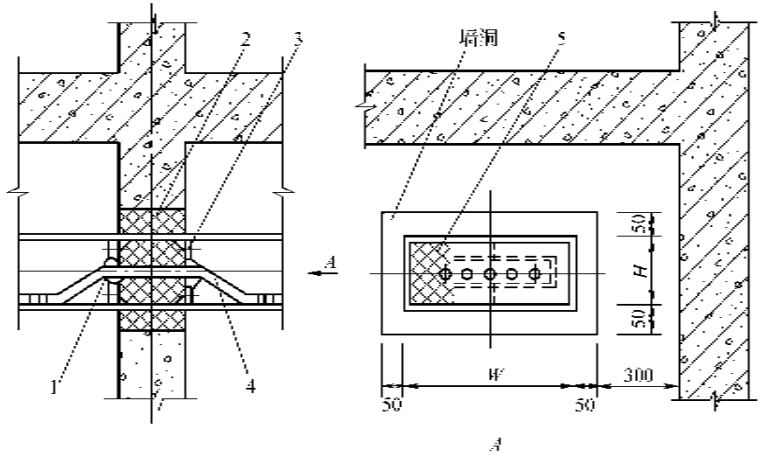
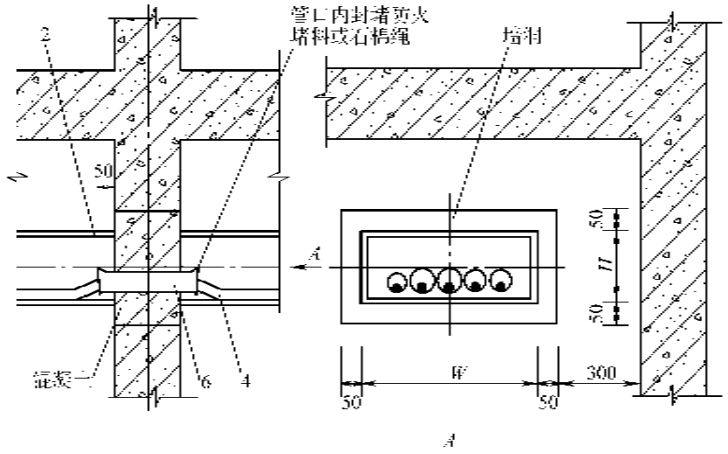


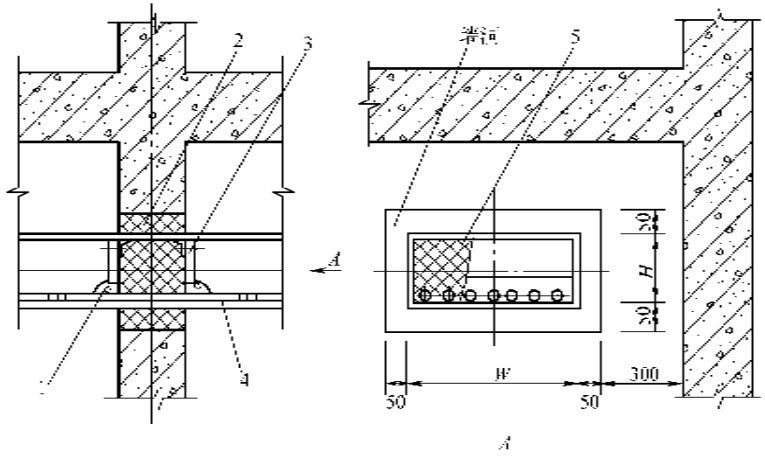
图 4-109　电气竖井内钢管与配电箱的安装



方案Ⅰ



方案Ⅱ



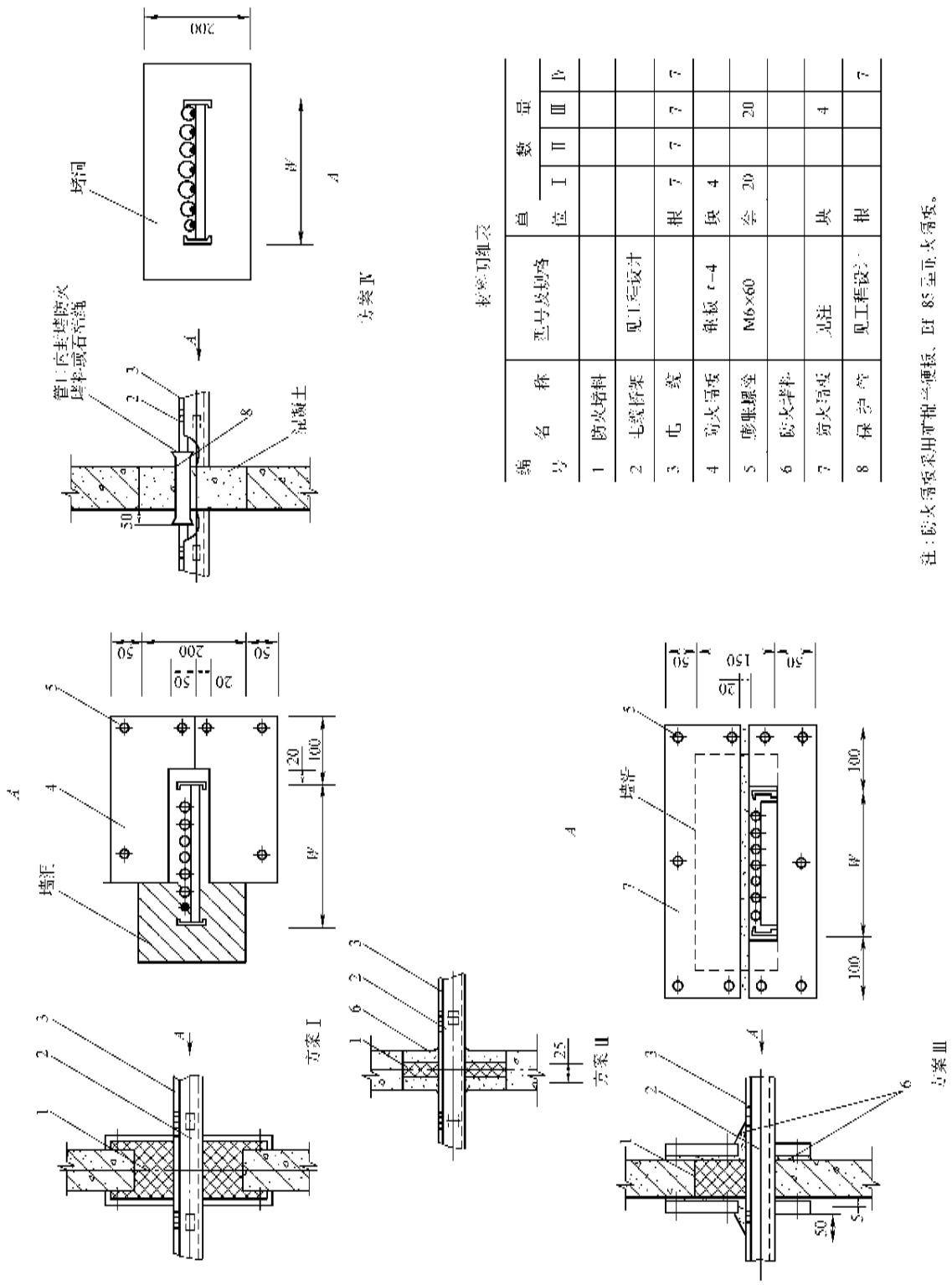
方案Ⅲ

材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量		
				Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
1	防火材料					
2	金属线槽	见工程设计				
3	防火隔板	见注	块	4	2	
4	电缆		根	5	7	5
5	防火堵料					
6	镀锌钢管	见工程设计	根			5

注：1. 离墙1m范围内的金属线槽外壳涂防火涂料。
2. 防火隔板采用矿棉制成，E_F=85型防火隔板。

图 4-110　金属线槽穿墙防火安装方法

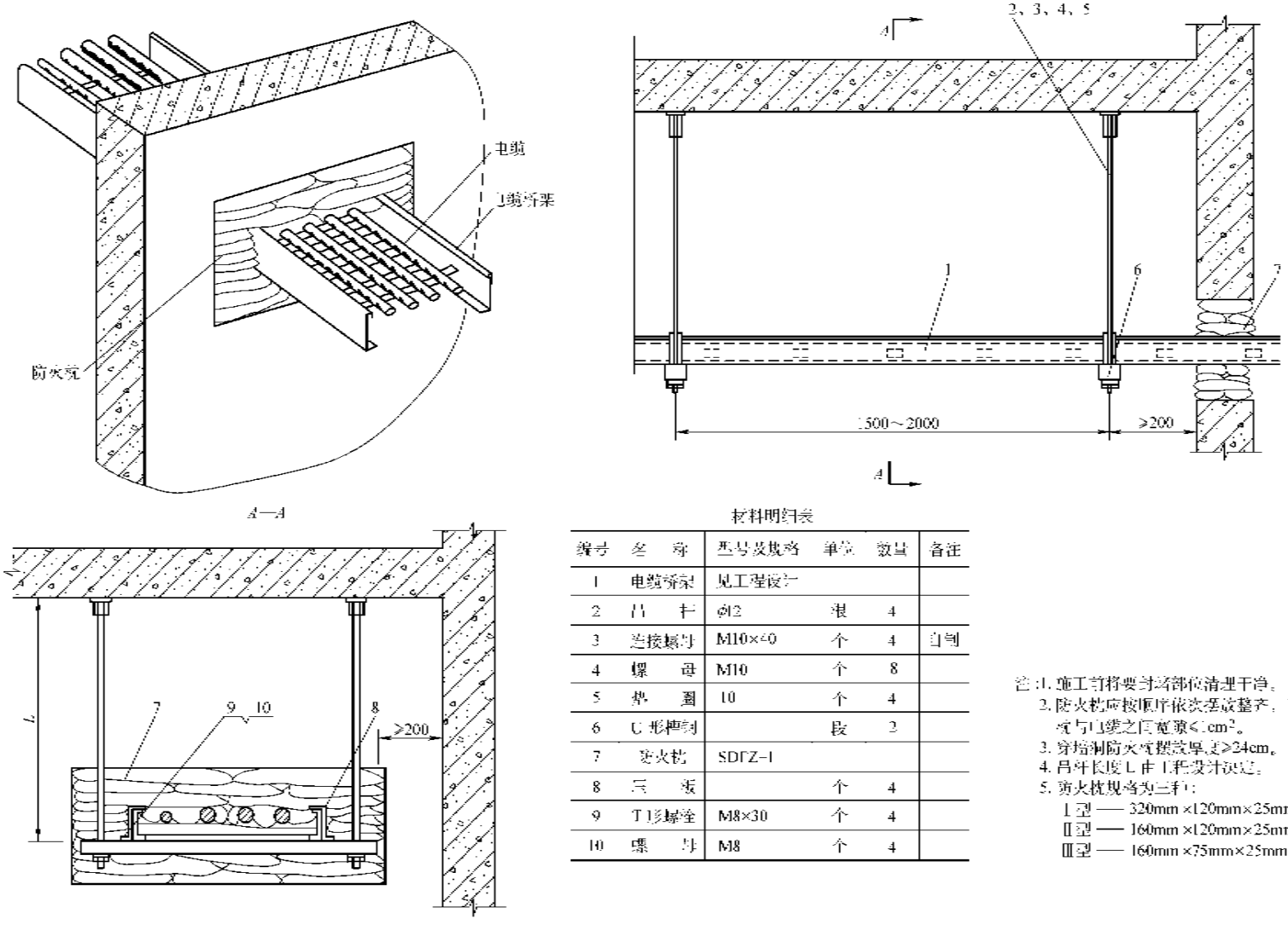


材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量 Ⅰ	数量 Ⅱ	数量 Ⅲ	数量 Ⅳ
1	防火塞料						
2	电缆桥架	见工程设计					
3	电　线		根	7	7	7	7
4	防火吊板	钢板 t=4	块	4			
5	膨胀螺栓	M6×60	个	20		20	
6	防火泥						
7	防火吊板	见注	块			4	
8	保护管	见工程设计	根				7

注：防火吊板采用可拼装钢板，DT 85型防火吊板。

图4-111　电缆桥架穿墙防火安装方法(一)



材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	电缆桥架	见工程设计			
2	吊杆	φ12	根	4	
3	连接螺栓	M10×40	个	4	自制
4	螺母	M10	个	8	
5	垫圈	10	个	4	
6	U形槽钢		段	2	
7	防火枕	SDFZ-1			
8	三通		个	4	
9	T形螺栓	M8×30	个	4	
10	螺母	M8	个	4	

注：1. 施工前将要封堵部位清理干净。
2. 防火枕应按顺序依次堆成整齐，防火泥与电缆之间宽度≤1cm²。
3. 穿墙洞防火泥模板厚度≥24cm。
4. 吊杆长度L由工程设计决定。
5. 防火枕规格为三种：
Ⅰ型——320mm×120mm×25mm
Ⅱ型——160mm×120mm×25mm
Ⅲ型——160mm×75mm×25mm

图 4-112 电缆桥架穿墙防火安装方法(二)

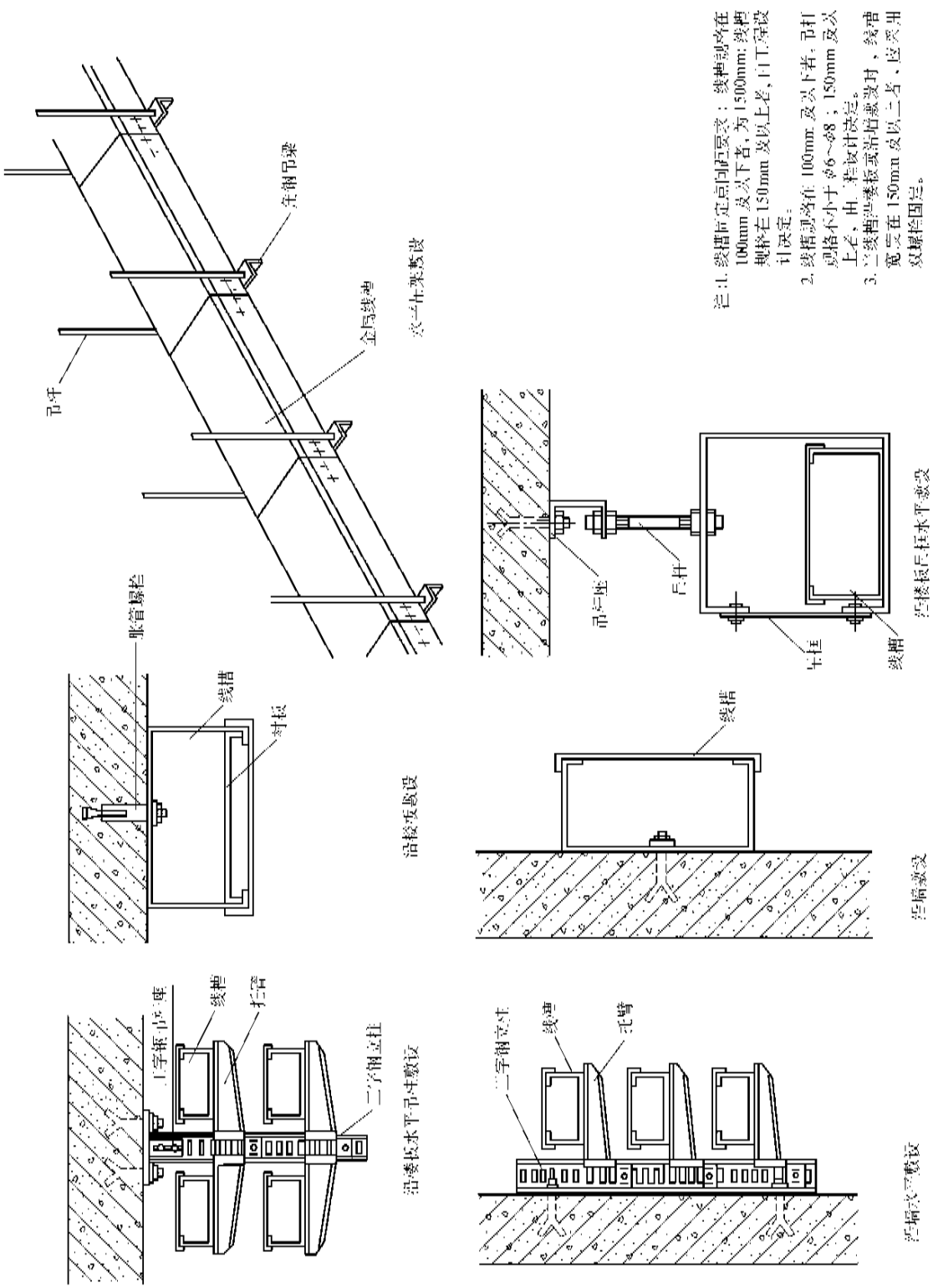


图 4-113　金属线槽常用安装方法

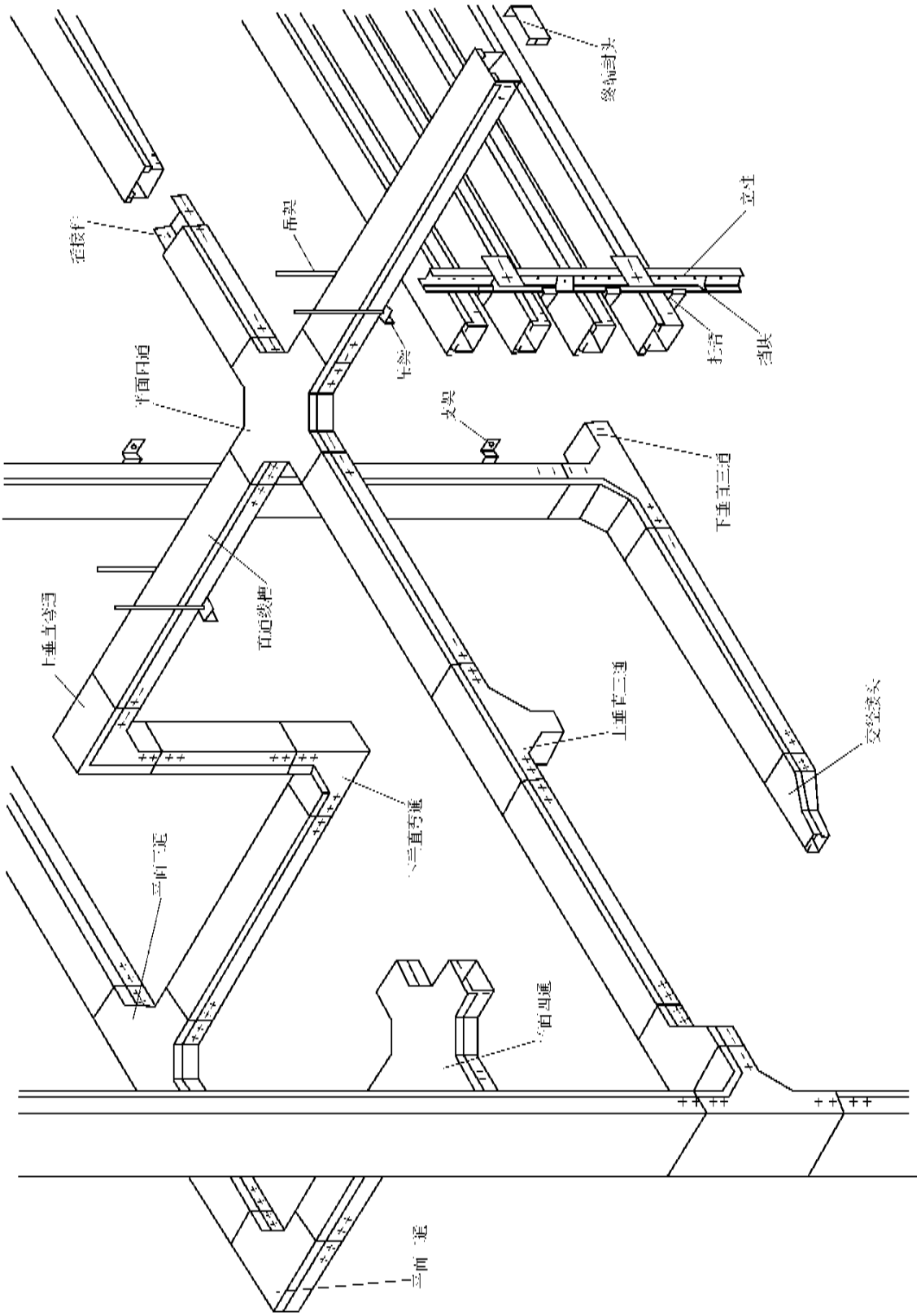


图 4-114 金属线槽安装示意图

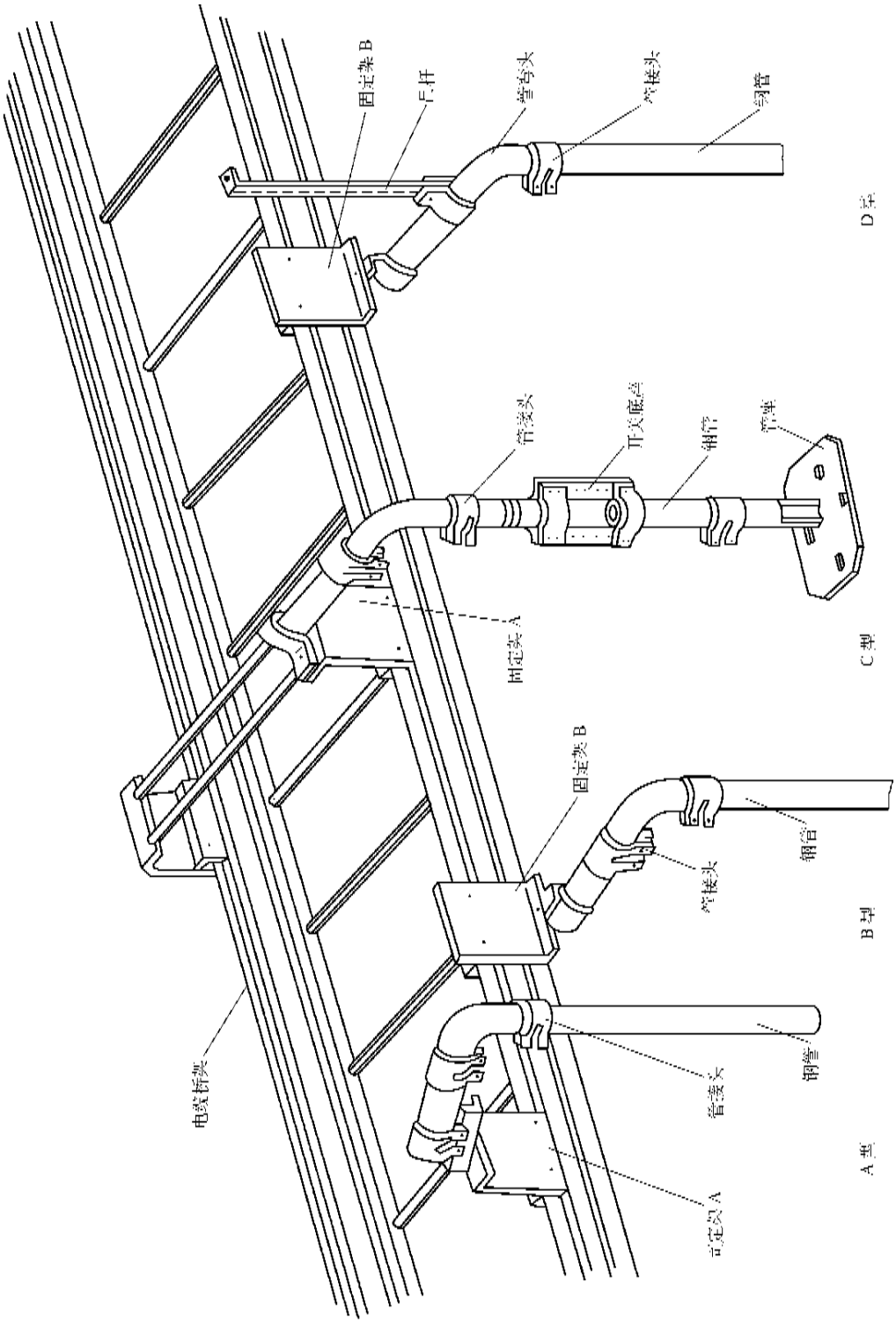
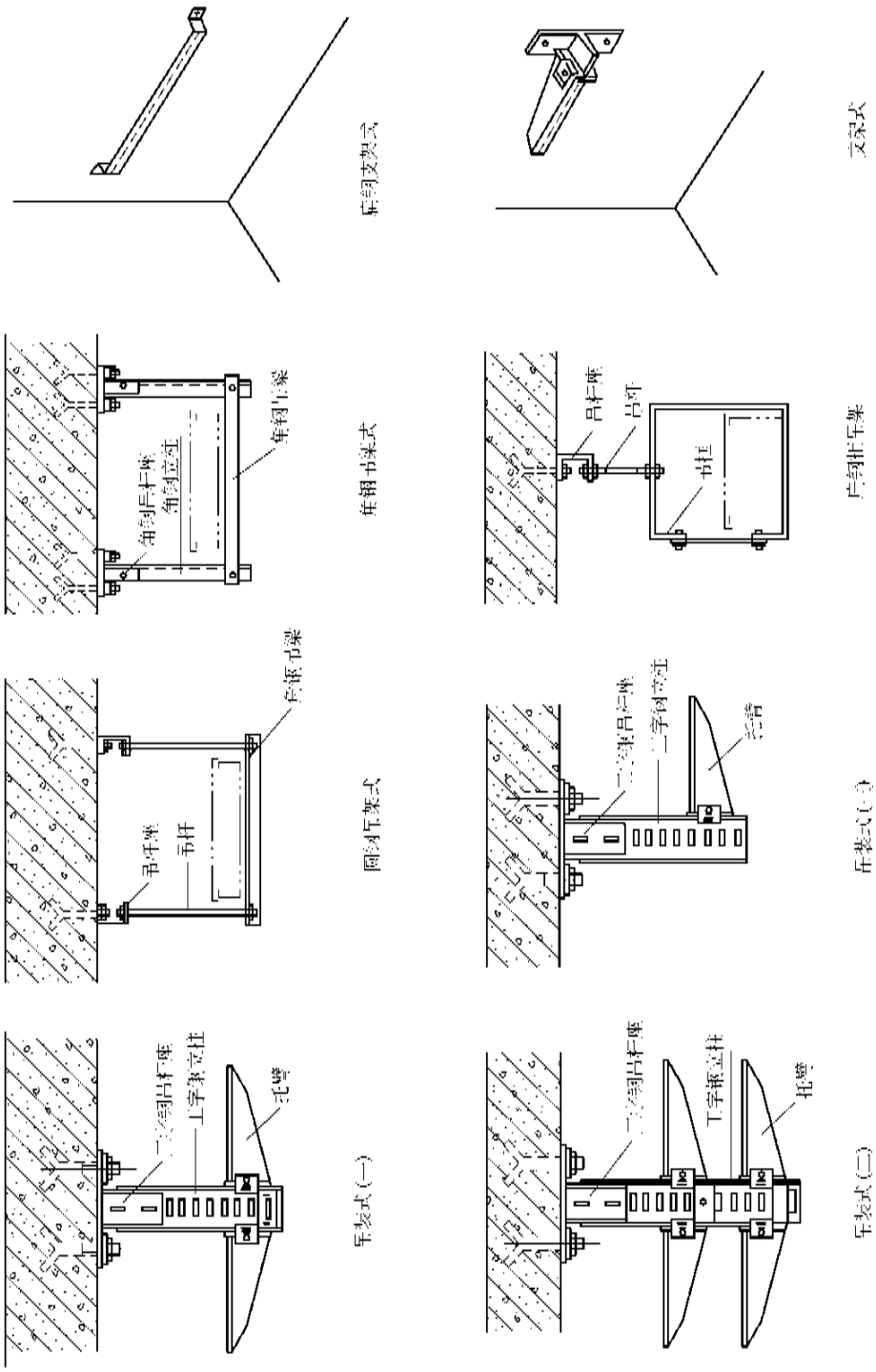


图 4-115　电缆桥架引至设备的常用引出装置示意图



注:1. 电缆等间当支架等、安装立柜及后定装检修由工指设计决定。
2. 电缆桥架的支架等可采用预埋铁件、膨胀螺栓、预埋铁件焊接等方法固定。

图 4-116 电缆桥架支架、托臂安装方式(一)

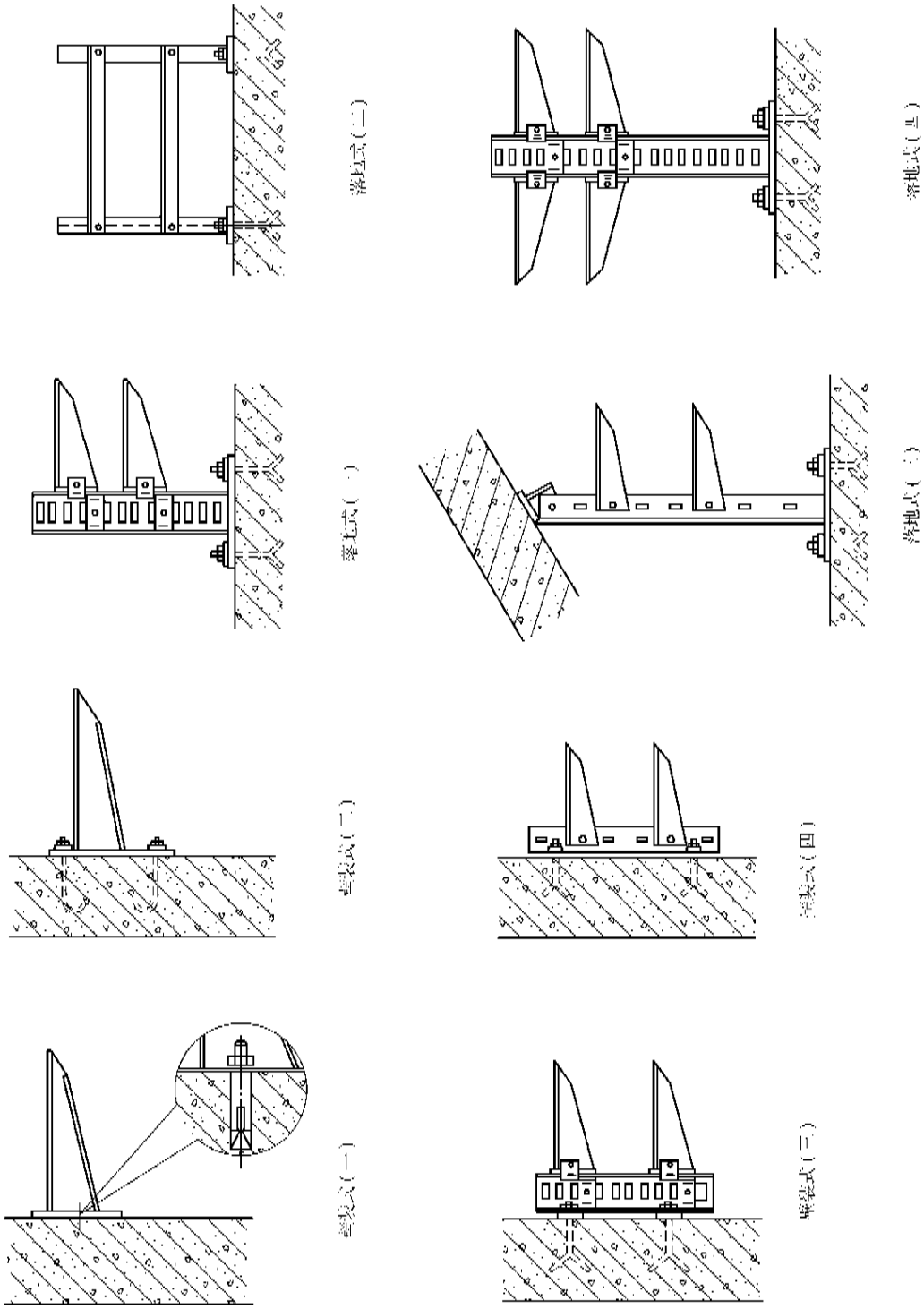


图 4-117　电缆桥架支架、托臂安装方式(二)

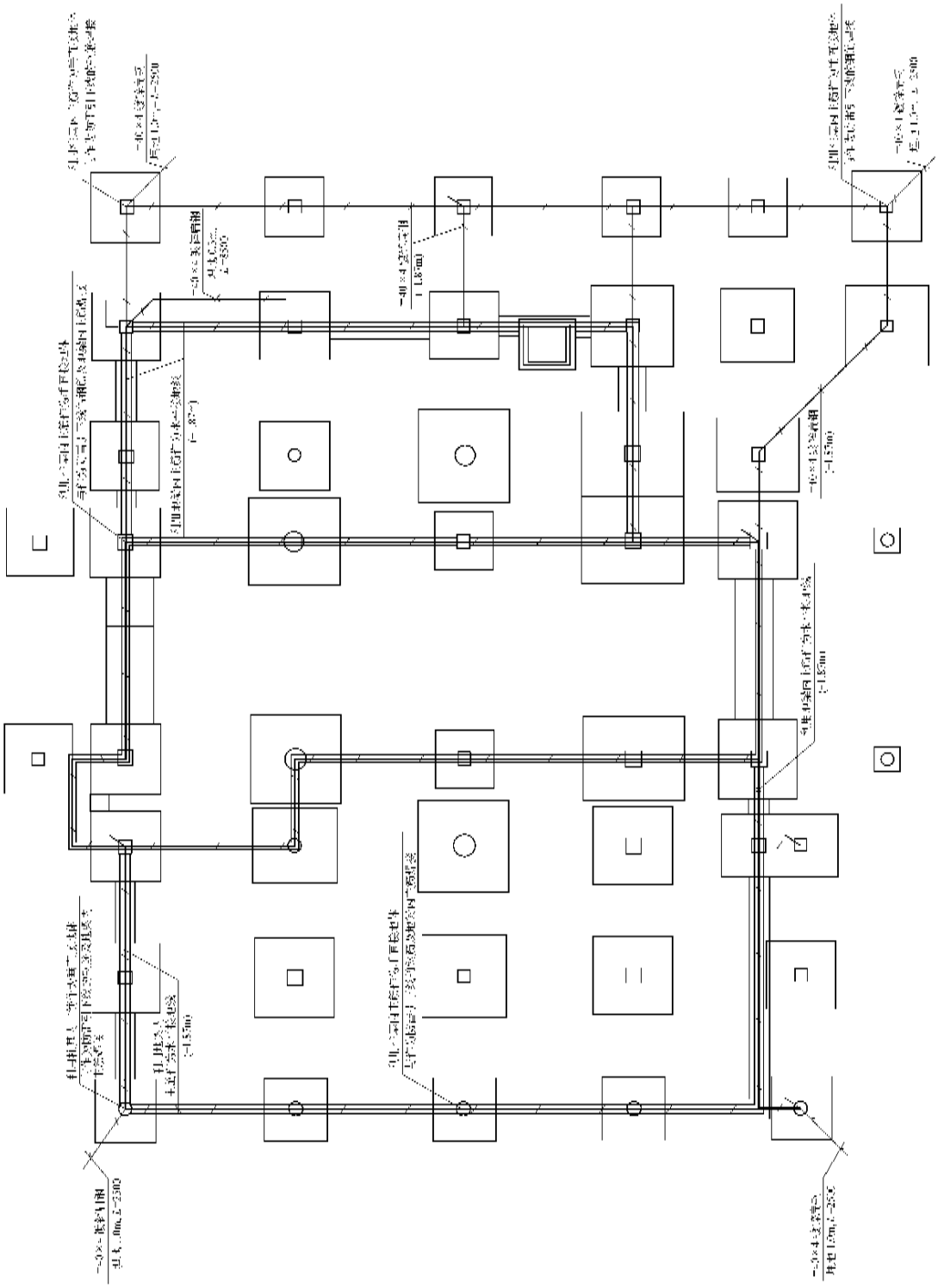


图 4-118 基础接地平面图

第五章　电气设备、元件、材料的测试和试验

电气设备投入运行之前，必须先进行电气参数和机械参数的测试。通过参数的测试可以发现设备或元件在制造、安装和工程设计上的缺陷，一些问题可以通过修理或调整消除，一些确实影响使用和运行且又不能通过修理或调整消除的缺陷可通过厂家进行解决。参数的测试是保证电气设备正常运行的必要手段，并可提供可靠的依据改进产品性能，提高工程设计和安装的质量，它是沟通产品制造、工程设计及安装技术的桥梁。电气设备的测试一般应在接线前进行，每个电气人员必须重视并实施这项工作。

第一节　电气设备测试和试验总体要求

一、基本要求

1）从事电气测试的人员应熟练掌握电工原理，并能熟练掌握常用电工测试仪器仪表的使用调校及电控元件和电气设备的基本性能，对一般的变配电系统、电气传动系统和电气控制系统应有全面的了解，同时应具备一定的电气安装与电气安全技术，且具有高度的职业责任感，同时应取得相应的资格。

2）在测试开始前应进行充分的技术准备工作，特别是复杂的系统更应注重准备工作。准备工作主要是：学习和审查图样资料及安装记录；现场勘察及编制测试方案，其中包括安全措施；组织所有参与测试的工作人员学习测试方案和新技术，了解新产品并进行技术交底；准备仪器仪表和工具材料，并保证使用的仪器仪表处于良好状态，且具有周期内的合格鉴定证书，工具无损，材料合格。工作人员能正确使用仪器仪表，正确操作测试设备；人员分工明确，且能在一定的范围内协作。

3）电气设备的测试要理论联系实际，要重视实践，要汇集实践经验并互相交流。

4）根据图样或资料仔细检查设备、元件、线路、操作线的型号、规格、各个接点的容量、动作时行程的大小及接触是否良好。

5）测试前用导通法核对各设备元件与端子间及相互连线，应符合设计，接线必须正确无误，同时核对设备、电机与盘柜间的主回路导线应无误。

6）核对线路时应注意以下几点：

①　二次接线在端子上的压接应紧固，在同一螺钉上一般最多只压两根导线。

②　所有二次接线端子上应有设计编号，盘内盘外的导线应在端子板上明显分开。

③　二次接线不得有不经过端子板的中间接头。

④　所有固定螺钉上的平垫、弹垫应齐全，线头的绕向及其垫圈的规格应与螺钉相符。

7）各种仪器仪表使用时应在20%满刻度以上部分，易受外磁场影响的仪表（电动系、电磁系）应注意放置在离大电流导线1m以外进行测量。

8）凡被测量值与温度有关者，必须准确测量被测物的温度或环境温度。

9）测试绝缘时，应选择干燥天气，环境温度不宜低于+5℃；耐压试验前后应测量其绝缘电阻，耐压试验持续时间一般为1min。

10）保护继电器、断路器与设备动作值的整定，一般应在同一条件下，取其三次的算术平均值。

11）经测试调整不合格的元件不得再使用，更换后应做同样试验。更换的元件必须和原元件规格型号相同，否则应由设计确定。

12）系统通电操作，应在各单体设备、元件试验合格及线路绝缘经测试达到要求的情况下进行。

13）通电后，应先在80%的额定电压下，检查各控制、保护、信号回路的元件相互联锁动作的正确性及可靠性；然后在额定电压、110%额定电压下做同样检查和试验。

14）反应一次大电流的继电器，均应做大电流系统试验。

15）凡能分相进行测试的设备应分相试验，以便相互比较。

16）保护继电器整定好后应加封，且事先应将加封工具辅件做好充分准备，通常有铅封和漆封两种。

17）调整试验完后，应复查所有端子连接处，拆开的应重新接好，应保证良好的接触，特别是主回路、励磁回路及二次回路。

18）测试及调整过程应做好原始记录，对可疑之处应立即复查，得出正确结论。对原设计有修改之处应注明。记录应整理为完整的技术文件。

19）测试完后应清理现场、清点工器具及表类，任何测试用的物件不得遗留在柜、箱及电气设备之内，如有遗失必须寻查找到，必要时要追究责任。

20）对于火灾报警及自动灭火系统、防盗保安系统和微机管理系统以及相关控制系统的一些调试数据应保密。

二、测试试验的程序步骤

1）根据设计图样，检查被试电气设备及电气系统中的各电气设备单体及各元器件的名称、型号、规格、额定电压等技术参数与原设计是否相符合。

2）按照标准、规程、规范及行业标准的要求，对各电气设备及各元器件的绝缘性能、电气特性、机械特性等进行单体试验，以确保各电气设备和元器件的性能符合要求。主要标准、规程、规范见第一章。

3）使用吹尘器或其他工具，清除电气设备及各控制盘（柜）中的灰尘及其他杂物，特别是螺钉、螺母、垫圈、铁丝、导线等金属导体。

4）紧固主回路中各电气设备、元器件、连接导体及母线上的螺母，确保连接部位的电接触良好。避免运行过程中因接触不良而发热，造成事故。紧固电气系统控制回路中各电气元器件及接线端子上的螺钉，确保其连接可靠，以免在线路检查时发生误判或者在通电运行时产生误动作，造成不必要的麻烦。

5）在电气系统和电气设备尚未通电的情况下，根据系统电气原理图或接线图，对整个电气系统中的主回路、控制回路、保护回路、信号回路、报警回路等线路，使用导通法或其他方法进行检查，看其接线是否正确。经过此项检查，可及时发现配电盘（柜）在设计、制造、装配中的质量问题以及安装接线过程中出现的错误等，以便及时排除和更正。

6）按照设计要求，对主回路、控制回路、保护回路、信号回路、报警回路及其他回路中的各电气设备、元器件、保护继电器及其他关键性电气元器件的动作值进行整定，使其符合设计要求。

7）按照标准、规程、规范及技术标准的要求，对配电盘、柜进行绝缘性能测试及耐压试验，确保其抗电强度符合要求。

8）在各电气设备单体和各元器件及控制盘（柜）绝缘性能、电气性能良好的情况下，暂时拆除主回路与被控设备的连线，对控制回路、保护回路、信号回路、报警回路等进行模拟试验，以检查控制回路、保护回路、信号回路、报警回路及其他回路的性能是否符合设计要求，动作是否准确可靠。

9）经过模拟试验，所有回路动作正常后，便可对整个电气系统进行通电试运转。试运转前，先行恢复模拟试验时拆除的主回路接线，对被试设备和控制回路再一次进行检查，无误后方可进行试运转。

三、测试试验注意事项

1）电气设备试验与调整，需由两个或两个以上的技术熟练的人员共同进行，试验负责人应由经验丰富的人员担任，一人操作一人监护。试验时，必须严格按照安全操作规程进行。

2）电气设备的绝缘测试及耐压试验，应在干燥晴朗的良好天气情况下进行，不得在低温、高湿和阴雨等恶劣天气中进行。试验时环境温度不得低于 +5℃。

3）对电气设备及元器件进行单体试验前，必须先采用绝缘电阻表进行绝缘电阻测试，只有在使用非破坏性的方法确认电气设备绝缘性能良好的情况下，方可进行诸如介质损耗角测试、直流耐压试验、交流耐压试验等其他试验。

4）在对电气设备进行耐压试验前、后均应测量其绝缘电阻，以比较耐压试验前后电气设备的绝缘变化情况。

5）进行电气调整时所用的仪器仪表，应根据被调整的参数及其精度要求进行选取，所选取的标准仪器仪表的量程和准确度等级均应满足调整的要求。

6）对于电气设备及电气系统的每一次试验和调整，均须做好原始记录，并且要准确地记录试验和调整时被试设备的温度以及周围环境的温度、湿度等有关资料。

7）测试试验接线必须正确，接好线后必须由另一非接线人员仔细查线，以保证无误。

8）测试现场应保持洁净无杂物，并有足够的空间，以防不测。

最后说明一点，有关保护继电器调试，因为其与各种柜紧密相连，因此将其调整试验放在了第七章动力电路及低压配电室的安装和第十二章变配电装置的安装中，与柜体一并调试，请读者参阅。

第二节　电力变压器的测试试验

电力变压器在投入运行的送电前，必须进行一系列测试或试验，对于不合格的项目要按照规程的要求判断能否投入运行。没有经过测试及试验的变压器一律不得通电。互感器、电抗器、消弧线圈与变压器结构上基本相同，因此放在一起讲述。

一、电力变压器的标准规范要求

1. 电力变压器的试验项目

（1）绝缘油试验或 SF_6 气体试验；

（2）测量绕组连同套管的直流电阻；

（3）检查所有分接头的电压比；

（4）检查变压器的三相接线组别和单相变压器引出线的极性；

（5）测量与铁心绝缘的各紧固件（连接片可拆开者）及铁心（有外引接地线的）绝缘电阻；

（6）非纯瓷套管的试验；

（7）有载调压切换装置的检查和试验；

（8）测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数；

（9）测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 tanδ；

（10）测量绕组连同套管的直流泄漏电流；

（11）变压器绕组变形试验；

（12）绕组连同套管的交流耐压试验；

（13）绕组连同套管的长时感应电压试验带局部放电试验；

（14）额定电压下的冲击合闸试验；

（15）检查相位；

（16）测量噪音。

注意事项：

①　容量为 1600kV·A 及以下油浸式电力变压器的试验，可按本条第 1、2、3、4、5、6、7、8、12、14、15 款的规定进行；

②　干式变压器的试验，可按本条第 2、3、4、5、7、8、12、14、15 款的规定进行；

③　变流、整流变压器的试验，可按本条第 1、2、3、4、5、7、8、12、14、15 款的规定进行；

④　电炉变压器的试验，可按本条第 1、2、3、4、5、6、7、8、12、14、15 款的规定进行；

⑤　分体运输、现场组装的变压器应由订货方见证所有出厂试验项目，现场试验按本标准执行。

2. 油浸式变压器中绝缘油及 SF_6 气体绝缘变压器中 SF_6 气体的试验

（1）绝缘油的试验类别应符合表 5-42 的规定；试验项目及标准应符合表 5-43 的规定。

（2）油中溶解气体的色谱分析，应符合下述规定：电压等级在 66kV 及以上的变压器，应在注油静置后、耐压和局部放电试验 24h 后、冲击合闸及额定电压下运行 24h 后，各进行一次变压器器身内绝缘油的油中溶解气体的色谱分析。试验应按现行国家标准《变压器油中溶解气体分析和判断导则》GB/T 7252—2001 进行。各次测得的氢、乙炔、总烃含量，应无明显差别。新装变压器油中 H_2 与烃类气体含量（μL/L）任一项不宜超过下列数值：

总烃：20　　H_2：10　　C_2H_2：0

（3）油中微量水分的测量，应符合下述规定：变压器油中的微量水分含量，对电压等级为 110kV 的，不应大于 20mg/L；220kV 的，不应大于 15mg/L；330～500kV 的，不应大于 10mg/L。

（4）油中含气量的测量，应符合下述规定：电压等级为 330～500kV 的变压器，按照规定时间静置后取样测量油中的含气量，其值不应大于 1%（体积分数）。

（5）对 SF_6 气体绝缘的变压器应进行 SF_6 气体含水量检验及检漏：SF_6 气体含水量（20℃的体积分数）一般不大于 250μL/L，变压器应无明显泄漏点。

3. 测量绕组连同套管的直流电阻

（1）测量应在各分接头的所有位置上进行。

（2）1600kV·A 及以下容量等级三相变压器，各相测得值的相互差值应小于平均值的 4%，线间测得值的相互差值应小于平均值的 2%；1600kV·A 以上三相变压器，各相测得值的相互差值应小于平均值的 2%，线间测得值的相互差值应小于平均值的 1%。

（3）变压器的直流电阻，与同温下产品出厂实测数值比较，相应变化不应大于 2%；不同温度下电阻值按照式（5-1）换算：

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{T + t_2}{T + t_1} \tag{5-1}$$

式中　R_1、R_2——分别为温度在 t_1、t_2（℃）时的电阻值（Ω）；

T——计算用常数，铜导线取 235，铝导线取 225。

（4）由于变压器结构等原因，差值超过本条第 2 款时，可只按本条第 3 款进行比较，但应说明原因。

4. 检查所有分接头的电压比，与制造厂铭牌数据相比应无明显差别，且应符合电压比的规律；电压等级在 220kV 及以上的电力变压器，其电压比的允许误差在额定分接头位置时为 ±0.5%。其中“无明显差别，”一般按如下考虑：

①　电压等级在 35kV 以下，电压比小于 3 的变压器电压比允许偏差为 ±1%；

②　其他所有变压器额定分接下电压比允许偏差为 ±0.5%；

③　其他分接的电压比应在变压器阻抗电压值（%）的 1/10 以内，但不得超过 ±1%。

5. 检查变压器的三相接线组别和单相变压器引出线的极性，必须与设计要求及铭牌上的标记和外壳上的符号相符。

6. 测量与铁芯绝缘的各紧固件（连接片可拆开者）及铁芯（有外引接地线的）绝缘电阻

（1）进行器身检查的变压器，应测量可接触到的穿心螺栓、轭铁夹件及绑扎钢带对铁轭、铁心、油箱及绕组压环的绝缘电阻。当轭铁梁及穿心螺栓一端与铁心连接时，应将连接片断开后进行试验。

（2）不进行器身检查的变压器或进行器身检查的变压器，所有安装工作结束后应进行铁心和夹件（有外引接地线的）绝缘电阻的测量。

（3）铁心必须为一点接地；当变压器上有专用的铁心接地线引出套管时，应在注油前测量其对外壳的绝缘电阻。

（4）采用2500V兆欧表测量，持续时间为1min，应无闪络及击穿现象。

7. 非纯瓷套管的试验

8. 有载调压切换装置的检查和试验

（1）变压器带电前应进行有载调压切换装置切换过程试验，检查切换开关切换触头的全部动作顺序，测量过渡电阻阻值和切换时间。测得的过渡电阻阻值、三相同步偏差、切换时间的数值、正反向切换时间偏差均符合制造厂技术要求。由于变压器结构及接线原因无法测量的，不进行该项试验。

（2）在变压器无电压时，手动操作不少于2个循环、电动操作不少于5个循环。其中电动操作时电源电压为额定电压的85%及以上。操作无卡涩、连动程序，电气和机械限位正常。

（3）循环操作后进行绕组连同套管在所有分接下直流电阻和电压比测量，试验结果应符合第3条、第4条的要求。

（4）在变压器带电条件下进行有载调压开关电动操作，动作应正常。操作过程中，各侧电压应在系统电压允许范围内。

（5）绝缘油注入切换开关油箱前，其击穿电压应符合表5-4的规定。

9. 测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数的规定

（1）绝缘电阻值不低于产品出厂试验值的70%。

（2）当测量温度与产品出厂试验时的温度不符合时，可按表5-1换算到同一温度时的数值进行比较。

当测量绝缘电阻的温度差不是表中所列数值时，其换算系数A可用线性插入法确定，也可按式（5-2）计算：

$$A = 1.5^{K/10} \tag{5-2}$$

校正到20℃时的绝缘电阻值可用式（5-3）计算：

当实测温度为20℃以上时：

$$R_{20} = AR_t \tag{5-3}$$

当实测温度为20℃以下时：

$$R_{20} = R_t/A \tag{5-4}$$

式中 R_{20}——校正到20℃时的绝缘电阻值（MΩ）；

R_t——在测量温度下的绝缘电阻值（MΩ）。

（3）变压器电压等级为35kV及以上且容量在4000kV·A及以上时，应测量吸收比。吸收比与产品出厂值相比应无明显差别，在常温下应不小于1.3；当R60s大于3000MΩ时，吸收比可不作考核要求。

（4）变压器电压等级为220kV及以上且容量为120MV·A及以上时，宜用5000V兆欧表测量极化指数。测得值与产品出厂值相比应无明显差别，在常温下不小于1.3；当R60s大于10000MΩ时，极化指数可不作考核要求。

10. 测量绕组连同套管的介质损耗角正切值tanδ的规定

（1）当变压器电压等级为35kV及以上且容量在8000kV·A及以上时，应测量介质损耗角正切值tanδ。

（2）被测绕组的tanδ值不应大于产品出厂试验值的130%。

（3）当测量时的温度与产品出厂试验温度不符合时，可按表5-2换算到同一温度时的数值进行比较。

表5-1 油浸式电力变压器绝缘电阻的温度换算系数

温度差K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
换算系数A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2

注：1 表中K为实测温度减去20℃的绝对值。

2 测量温度以上层油温为准。

表5-2 介质损耗角正切值tanδ（%）温度换算系数

温度差K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
换算系数A	1.15	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7

注：1 表中K为实测温度减去20℃的绝对值。

2 测量温度以上层油温为准。

3 进行较大的温度换算且试验结果超过本条第2款规定时，应进行综合分析判断。

当测量时的温度差不是表中所列数值时，其换算系数 A 可用线性插入法确定，也可按式（5-5）计算：

$$A = 1.3^{K/10} \tag{5-5}$$

校正到20℃时的介质损耗角正切值可用式（5-6）、式（5-7）计算：

当测量温度在20℃以上时：

$$\tan\delta_{20} = \tan\delta_t / A \tag{5-6}$$

当测量温度在20℃以下时：

$$\tan\delta_{20} = A\tan\delta_t \tag{5-7}$$

式中　$\tan\delta_{20}$——校正到20℃时的介质损耗角正切值；

$\tan\delta_t$——在测量温度下的介质损耗角正切值。

11. 测量绕组连同套管的直流泄漏电流

（1）当变压器电压等级为35kV及以上且容量在8000kV·A及以上时，应测量直流泄漏电流。

（2）试验电压标准应符合表5-4的规定。当施加试验电压达1min时，在高压端读取泄漏电流。泄漏电流值不宜超过表5-3的规定

表5-3　油浸式电力变压器直流泄漏试验电压标准

绕组额定电压/kV	6～10	20～35	63～330	500
直流试验电压/kV	10	20	40	60

注：1　绕组额定电压为13.8kV及15.75kV时，按10kV级标准；18kV时，按20kV级标准。

2　分级绝缘变压器仍按被试绕组电压等级的标准。

12. 变压器绕组变形试验

（1）对于35kV及以下电压等级变压器，宜采用低电压短路阻抗法；

（2）对于66kV及以上电压等级变压器，宜采用频率响应法测量绕组特征图谱。

13. 绕组连同套管的交流耐压试验

（1）容量为8000kV·A以下、绕组额定电压在110kV以下的变压器，线端试验应按表5-4进行交流耐压试验。

（2）容量为8000kV·A及以上、绕组额定电压在110kV以下的变压器，在有试验设备时，可按表5-4试验电压标准，进行线端交流耐压试验。

（3）绕组额定电压为110kV及以上的变压器，其中性点应进行交流耐压试验，试验耐受电压标准为出厂试验电压值的80%见表5-5。

表5-4　电力变压器和电抗器交流耐压试验电压标准（kV）

系统标称电压	设备最高电压	交流耐受电压	
		油浸式电力变压器和电抗器	干式电力变压器和电抗器
<1	≤1.1	—	2.5
3	3.6	14	8.5
6	7.2	20	17
10	12	28	24
15	17.5	36	32
20	24	44	43
35	40.5	68	60
66	72.5	112	—
110	126	160	—
220	252	(288) 316	—
330	363	(368) 408	—
500	550	(504) 544	—

注：1　上表中，变压器试验电压是根据现行国家标准《电力变压器　第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙》GB 1094.3—2003规定的出厂试验电压乘以0.8制定的。

2　干式电力变压器试验电压是根据现行国家标准《电力变压器　第11部分：干式电力变压器》GB 1094.11—2007规定的出厂试验电压乘以0.8制定的。

表5-5　额定电压110kV及以上的电力变压器中性点交流耐压试验电压标准（kV）

系统标称电压	设备最高电压	中性点接地方式	出厂交流耐受电压	交接交流耐受电压
110	126	不直接接地	95	76
220	252	直接接地	85	68
		不直接接地	200	160
330	363	直接接地	85	68
		不直接接地	230	184
500	550	直接接地	85	68
		经小阻抗接地	140	112

（4）交流耐压试验可以采用外施工频电压试验的方法，也可采用感应电压试验的方法。

试验电压波形尽可能接近正弦，试验电压值为测量电压的峰值除以$\sqrt{2}$，试验时应在高压端监测。

外施交流电压试验电压的频率应为 45～65Hz，全电压下耐受时间为 60s。

感应电压试验时，为防止铁心饱和及励磁电流过大，试验电压的频率应适当大于额定频率。除另有规定，当试验电压频率等于或小于 2 倍额定频率时，全电压下试验时间为 60s；当试验电压频率大于 2 倍额定频率时，全电压下试验时间为：

$$120\times\frac{\text{额定频率}}{\text{试验频率}}\ (\text{s}) \qquad (5\text{-}8)$$

试验时间不少于 15s。

14. 绕组连同套管的长时感应电压试验带局部放电测量（ACLD）：电压等级 220kV 及以上，在新安装时，必须进行现场局部放电试验。对于电压等级为 110kV 的变压器，当对绝缘有怀疑时，应进行局部放电试验。

局部放电试验方法及判断方法：

（1）电压等级为 110kV 及以上的变压器应进行长时感应电压及局部放电测量试验，所加电压、加压时间及局部放电视在电荷量应符合下列规定：

三相变压器推荐采用单相连接的方式逐相地将电压加在线路端子上进行试验。

施加电压应按图 5-1 所示的程序进行。

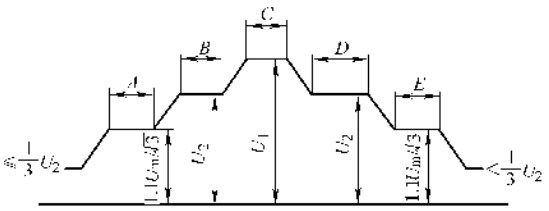


图 5-1 变压器长时感应电压及局部放电测量试验的加压程序

注：$A=5$min；$B=5$min；$C=$试验时间；$D\geqslant60$min（对于 $U_m\geqslant300$kV）或 30min（对于 $U_m<300$kV）；$E=5$min

在不大于 $U_2/3$ 的电压下接通电源；

电压上升到 $1.1U_m/\sqrt{3}$，保持 5min，其中 U_m 为设备最高运行线电压；

电压上升到 U_2，保持 5min；

电压上升到 U_1，其持续时间按第 13 条第 4 款的规定执行；

试验后立刻不间断地将电压降到 U_2，并至少保持 60min（对于 $U_m\geqslant300$kV）或 30min（对于 $U_m<300$kV），以测量局部放电；

电压降低到 $1.1U_m/\sqrt{3}$，保持 5min；

当电压降低到 $U_2/3$ 以下时，方可切断电源。

除 U_1 的持续时间以外，其余试验持续时间与试验频率无关。

在施加试验电压的整个期间，应监测局部放电量。

对地电压值应为：

$$U_1=1.7U_m/\sqrt{3} \qquad (5\text{-}9)$$

$U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$或 $1.3U_m/\sqrt{3}$，视试验条件定。

在施加试验电压的前后，应测量所有测量通道上的背景噪声水平；

在电压上升到 U_2 及由 U_2 下降的过程中，应记录可能出现的局部放电起始电压和熄灭电压。应在 $1.1U_m/\sqrt{3}$下测量局部放电视在电荷量；

在电压 U_2 的第一阶段中应读取并记录一个读数。对该阶段不规定其视在电荷量值；

在施加 U_1 期间内不要求给出视在电荷量值；

在电压 U_2 的第二个阶段的整个期间，应连续地观察局部放电水平，并每隔 5min 记录一次。

如果满足下列要求，则试验合格：

试验电压不产生忽然下降；

在 $U_2=1.5U_m/\sqrt{3}$或 $1.3U_m/\sqrt{3}$下的长时试验期间，局部放电量的连续水平不大于 500pC 或 300pC；

在 U_2 下，局部放电不呈现持续增加的趋势，偶然出现的较高幅值的脉冲可以不计入；

在 $1.1U_m/\sqrt{3}$下，视在电荷量的连续水平不大于 100pC。

注：U_m 为设备的最高电压有效值。

（2）试验方法及在放电量超出上述规定时的判断方法，均按现行国家标准《电力变压器　第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙》GB 1094.3—2003 中的有关规定进行。

15. 在额定电压下对变压器的冲击合闸试验，应进行 5 次，每次间隔时间宜为 5min，应无异常现象；冲击合闸宜在变压器高压侧进行；对中性点接地的电力系统，试验时变压器中性点必须接地；发电机变压器组中间连接无操作断开点的变压器，可不进行冲击合闸试验。无电流差动保护的干式变压器可冲击 3 次。

16. 检查变压器的相位，必须与电网相位一致。

17. 电压等级为 500kV 的变压器的噪音，应在额定电压及额定频率下测量，噪音值不应大于 80dB

(A)，其测量方法和要求应按现行国家标准《电力变压器　第10部分：声级测定》GB/T 1094.10—2003的规定进行。

二、具体测试试验方法

测试前应检查变压器的外观有无不妥，如瓷套管有无裂纹，放油阀、顶盖、散热器有无漏油及漏油痕迹，外壳有无机械损伤等，否则不予试验。

1. 绕组连同套管一起的直流电阻的测试

一般采用电压降法或电桥法测量。为了加快测量的速度，通常在测量电路的电源回路里串联一只电位器，用以增加变压器绕组的直流电阻的成分，根据时常 $\tau = L/R$ 可知，接通时的充电时间会大大缩短。也可用SB2230型直流数字电阻测试仪来测量，详见第二章第十一节相关内容。

(1) 电压降法测量变压器绕组直流电阻的接线见图5-2a。

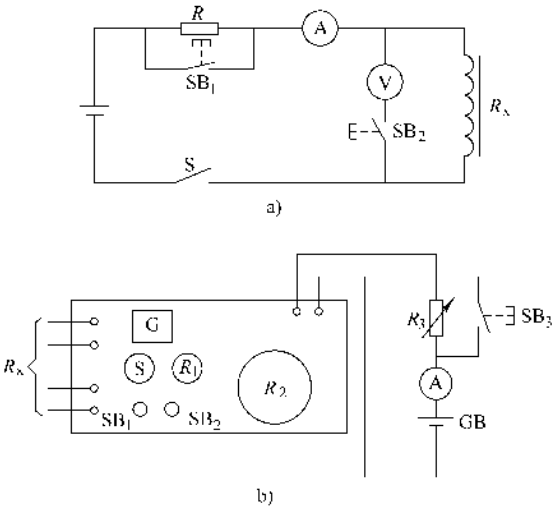


图　5-2

a) 电压降法测量变压器绕组直流电阻

SB_1—短接附加电阻的常开按钮

SB_2—接通电压表的常开按钮

S—电源开关　A—直流电流表

V—直流电压表　R_x—被测线圈电阻

R—附加电阻

b) 电桥法测量变压器绕组直流电阻

G—检流计　S—倍率开关　R_1、R_2—电桥指示刻度

SB_1—电桥电源按钮　SB_2—检流计按钮

SB_3—短接附加电阻的常开按钮

R_3—附加电阻　GB—直流电源　R_x—被测电阻

图中，直流电源 U 一般为6～12V；附加电阻为线圈电阻 R_x（厂家给定值）的4～6倍；充电电流 $I = U/R_x + R$，测量时，接通S后电流从小到大很快即稳定，当接近 I 时，按下 SB_1 和 SB_2，将电位器短接并接通电压表，电流稳定后即可读取电压及电流，这样可用欧姆定律 $R = U/I$ 计算出电阻值。电路中可选用量程较大的mA表及μV表，准确度一般为0.1级。

(2) 电桥法测量时同样应在电源回路中串联电位器，接通电桥电源 SB_1 后，调节电位器，使其在 SB_3 闭合时电流表能明显减小，电流稳定后，按下检流计按钮 SB_2，调整电桥平衡后即可读数，用电桥测量变压器绕组的直流电阻的接线见图5-2b。电位器为100Ω内可调。

测量时应在各分接头所有的位置上进行；1600kV·A以上的变压器，各相绕组的直流电阻相互间的差别均不应大于三相平均值的2%；无中性点引出时的线间差别应不大于三相平均值的1%。1600kV·A及以下的变压器上述数值应分别为4%和2%。如果由于结构等原因超过相应标准规定时，可与产品出厂实测数值比较，相应变化不应大于2%。

通过直流电阻的测试，也可判断分接开关各个触头接触是否良好。同温度下测得的数值，相应变化不应大于2%。

2. 检查所有分接头的电压比

电压比的测量在现场通常采用低压三相调压器接在变压器高压侧，测出一次侧及二次侧的电压，而后进行计算。这里要注意一点就是变压器绕组的接法，当有一侧为△联结时，两侧均应进行线电压的测量；当两侧接法一致时，Y联结可进行线电压的测量或相电压的测量，△联结只进行线电压的测量。另外，应在测量时调节分接开关，测出每个分接点下的电压。接线见图5-3。电压表的准确度应不低于0.5级。测量结果应与铭牌数据相符，最大允许误差为±0.5%。

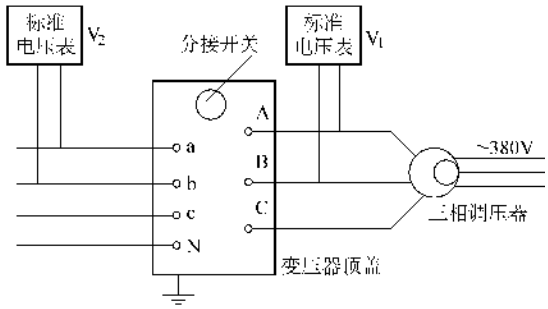


图5-3　变压器电压比的测量

3. 检测三相变压器的联结组标号及单相变压器的引出线极性

通常采用直流法于现场极为简便，但只适用于单相变压器和联结组标号为 12 或 6 的三相变压器。相位表法适用于任何联结组标号的变压器，方法更为简便。

（1）直流法　接线见图 5-4a。

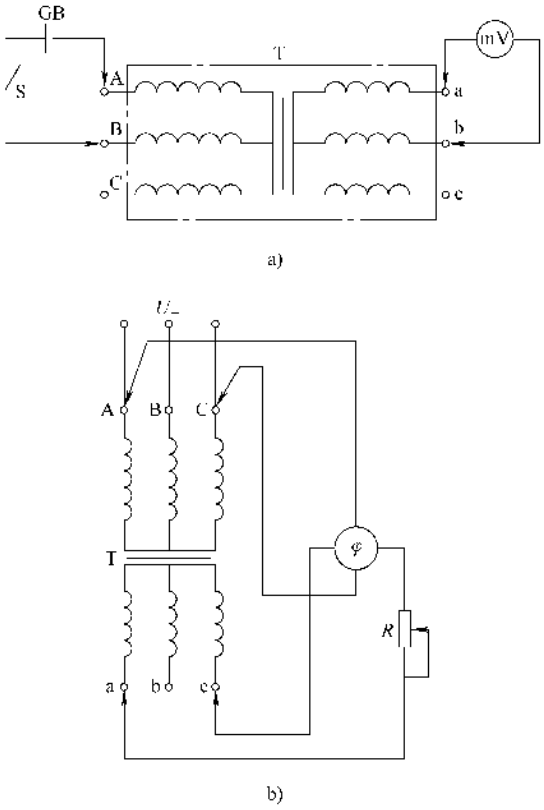


图 5-4　直流法及相位表法

a）三相变压器直流法测量联结组标号

S—刀开关　GB—直流电源　T—被试变压器

b）相位表法

T—被试变压器　*R*—可变电阻　*φ*—相位表

S 闭合瞬间，mV 表的摆动方向三相高压与低压均对应一致即为正确。测量接线时，电池的极性与电表的极性应对应一致，或采用零点位于表盘中间的毫伏表。

（2）相位表法　接线见图 5-4b。

测量电源电压为 380V，相位表中电压线圈接在电源线电压上，电流线圈接在低压侧线电压上，电位器 *R* 用来调节电流线圈的电流，不得超过允许值。通电后相位表指示的角度即是联结组标号。测量时应改变低压侧的接线，测量结果一致即为联结组标号正确。

两种测量方法，其结果必须与变压器的标志（铭牌及顶盖上的符号）相符。

4. 绕组连同套管一起的绝缘电阻和吸收比或极化指数的测试

对于高压绕组应用 2500V 或 5000V、1.5 级以上的绝缘电阻表测量；对于低压绕组可用 1000V 或 2500V 的绝缘电阻表测量；对于穿心螺栓的绝缘电阻、轭铁夹件及绑扎钢带对铁轭、铁心、油箱及绕组压环的绝缘电阻，可用 1000V 或 2500V 的绝缘电阻表测量，且应于吊心检查时测量。测量绕组时应按表 5-6 的顺序分别进行。

表 5-6　测量变压器绝缘电阻的接线方式

测量顺序	双绕组变压器		三绕组变压器	
	被测绕组	应接地部位	被测绕组	应接地部位
1	低压	外壳及高压	低压	中压、高压及外壳
2	高压	外壳及低压	中压	低压、高压及外壳
3	—	—	高压	低压、中压及外壳
4	低压及高压	外壳	中压及高压	低压及外壳
5	—	—	低压、中压及高压	外壳

变压器绝缘电阻值应不小于产品出厂试验数值的 70%（或不小于表 12-3 的允许值），并按表 5-1 进行温度换算。

其中吸收比指测量时间为 60s 的绝缘电阻值与测量时间为 15s 的绝缘电阻值的比值；极化指数指测量时间为 10min 的绝缘电阻值与测量时间为 1min 的绝缘电阻值的比值。

在 10～30℃时的吸收比，35kV 及以下者应不小于 1.2，60～330kV 者应不小于 1.3。220kV 及以上、容量为 12MV·A 及以上时，应测极化指数，结果与出厂值相比应无明显差别。

消弧线圈、干式变压器的绝缘电阻和吸收比或极化指数规范中不做规定，可参照上述数值测量。

对穿心螺栓、轭铁夹件、绑扎钢带对铁轭、铁心、油箱及绕组压环的绝缘电阻值，规范中不做规定，但一般应大于 500MΩ。采用 2500V 绝缘电阻表

测量1min无闪络击穿现象。铁心只允许一点接地，轭铁梁及穿心螺栓一端与铁心连接者，测量时应将连接片断开。

5. 绕组连同套管一起的介质损耗角正切值 tanδ 的测量

介质损耗角正切值 tanδ 是进一步衡量电气设备绝缘强度的参数，因此对于变压器、互感器、断路器、电容器、高压套管等都要进行该参数的测量，特别是35kV及以上的电气设备。

（1）介质损耗角正切值 tanδ（%）的测试方法　介质损耗角正切值 tanδ 的测试方法一般有交流电桥法、介质试验器法和低力率瓦特法三种。也可用SB2204型智能介质损耗测试仪进行测试，详见第二章第十一节《常用电工调整试验仪器及使用》相关内容。

1）交流电桥法　一般使用 QS_1 型交流电桥测量绝缘套管、瓷绝缘子、变压器、互感器、电动机绕组及不长的电缆等高压设备绝缘的电容量与介质损耗角。所测品可以是一极接地，也可以是两极对地绝缘的。

测试接线方法通常有两种：正接线，见图5-5a，被测品两极对地绝缘，常用于实验室；反接线，见图5-5b，被测品一极接地，常用于现场。测量时，C_X、C_N、E端的屏蔽线处于高压，须可靠绝缘，离接地体的距离应不小于100～150mm。当接到被试物上的屏蔽线不够长时，若被试物电容量小于0.1μF时，须用屏蔽线将其接长；若被试物电容量大于0.1μF时，则可用无屏蔽线将其接长。

QS_1 型电桥的原理接线图，见图5-5c。

试验操作步骤：

①　两种接线操作方法相同，根据现场条件将线接好，并检查无误，方可进行下一步操作。

②　将 R_3、tanδ 及检流计灵敏度等旋钮均置于零位，极性开关置于断开位置。

③　根据被试物电容电流的大小，按表5-7选择分流电阻的位置，被试物电容电流 I 可按下式计算，即

$$I = \omega C_x U \times 10^{-6} \tag{5-10}$$

式中　U——试验电压，单位为V；

ω——电源角频率；

C_x——被试物电容量，单位为μF。

如果被试物电容量不知，可在试验变压器高压绕组的接地端串联一只交流毫安表（0～500mA），直接测量被试品（视为一电容）的充电电流。也可将分流电阻放在最大位置，根据测量时 R_3 的指示，再改变分流电阻的位置。

④　合上电桥的光照开关，此时检流计的度盘上应出现一窄条光束，调节“调零”旋钮，使光束位于盘的中间位置。

⑤　合上高压试验电源开关，并升至所需要的试验电压。

⑥　将极性开关转至“+tanδ”的位置上。

⑦　调节检流计灵敏度开关，使光束扩大到满刻度的1/3～2/3左右。

⑧　调节检流计的“频率调整”旋钮，使光带达到最大宽度，如光束超出刻度盘，应减小检流计的灵敏度。

⑨　调整 R_3 使光束缩至最窄，当调整 R_3 不明显时，再调 tanδ，使光束进一步缩小。当光束小至只有两三格时，再增大检流计灵敏度。然后反复调节 R_3 和 tanδ，直至检流计灵敏度放至最大位置，再进一步细调 R_3、ρ 及 tanδ，使光束减至最窄，一般不超过4mm。

⑩　记录分流电阻 R_n、电阻 R_3、ρ 及 tanδ 的数值。

⑪　检查电磁场有无干扰。将检流计灵敏度旋到零，极性开关旋至“-tanδ”位置，再次按⑨的步骤操作，最后记录 R_n、ρ、R_3 和 tanδ 的值，然后与“+tanδ”位置的值进行对比，差别越大，说明电磁干扰越强。

⑫　将检流计灵度降至零，断开极性开关，降压并断开试验电源，将试验变压器高压端放电并接地。

⑬　计算如下：

$$\tan\delta = \frac{C_1 \tan\delta_1\ (\%) + C_2 \tan\delta_2\ (\%)}{C_1 + C_2} \tag{5-11}$$

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_4}{R_3 + \rho} \cdot \frac{100 + R_3}{R_j} \tag{5-12}$$

式中　C_1、$\tan\delta_1$（%）——极性开关位于“+tanδ”时的读数；

C_2、$\tan\delta_2$（%）——极性开关位于“-tanδ”时的读数；

R_j——计算用电阻值，当分流电阻开关 S_1 位于0.01A位置时，$R_j = 100 + R_3$；当分流电阻开关 S_1 位于其余位置时，$R_j = R_n$，R_n 由表5-7查出。

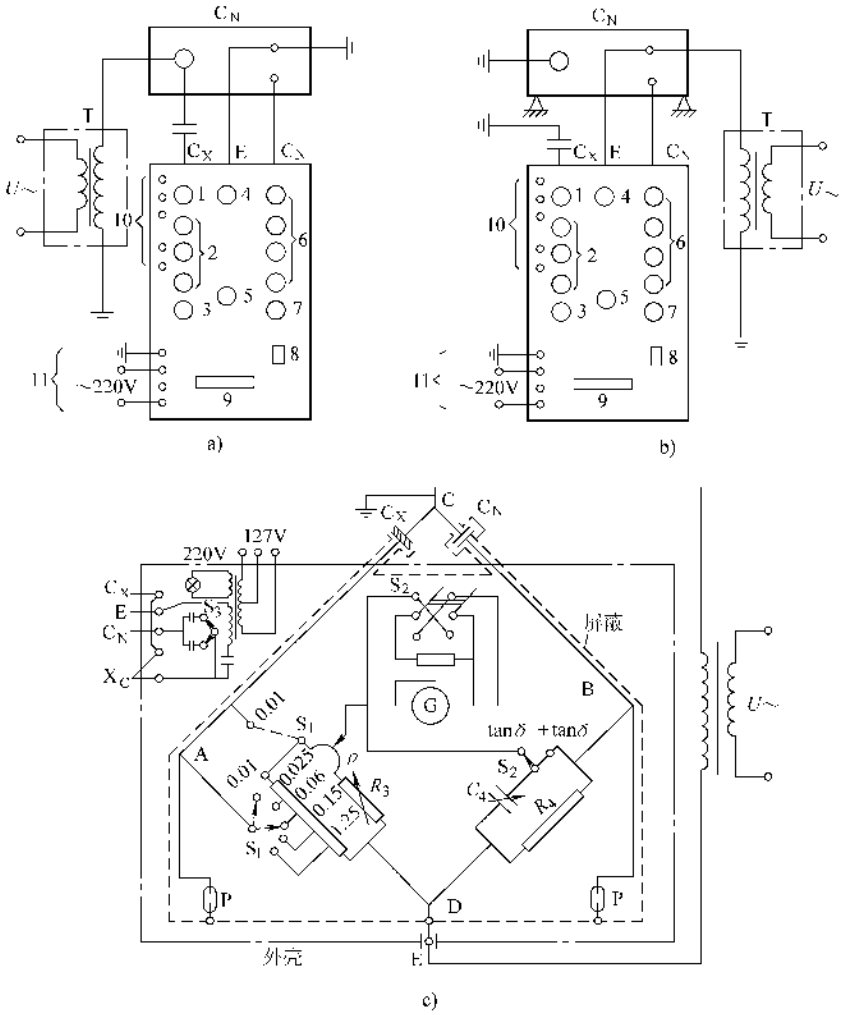


图 5-5 QS_1 型电桥接线及原理

a）QS_1 型电桥正接线法接线图

1—分流器开关 S_1 2—tanδ（%）调节旋钮 3—极性转换开关 S_2 4—检流计频率调节 5—滑线电阻 ρ 6—R_3 调节旋钮 7—检流计灵敏度调节 8—电源开关 9—检流计 10—低压法测量接线柱 11—电源接线柱

b）QS_1 电桥反接线法接线图 c）QS_1 交流电桥原理接线图

表 5-7 分流电阻与被试物电容量关系

分流电阻开关对应的最大允许电流/A	0.01	0.025	0.06	0.15	1.25
分流电阻值 R_n/Ω		60	25	10	4
试品电容量/pF	3000	8000	19400	48000	400000

⑭ tanδ 试验变压器容量的选择是，试验变压器的输出电压不得低于 10kV，容量由被试品电容决定，见表 5-8。

表 5-8 介质损耗试验用试验变压器容量选择表

试品名称	套管 电流互感器 电压互感器	电力变压器 电压互感器 耦合电容器 小型电动机	发电机 同步补偿机 中等长度 电缆	长电缆 电力 电容器
电容量/pF	10^3	10^4	10^5	10^6
试验变压器二次最大允许电流/mA	5	50	500	5000

（续）

试品名称	套管 电流互感器 电压互感器	电力变压器 电压互感器 耦合电容器 小型电动机	发电机 同步补偿机 中等长度 电缆	长电缆 电力 电容器
电压为10kV时变压器的容量/kV·A	0.05	0.5	5	50

2）介质试验器法　介质试验器一般常用的有M型介质损耗试验器和ZT-1型介质测量仪。M型介质试验器为一不平衡交流电桥，测量电压为2500V，可用作套管和并联电容器的介质损耗角的测量。

图5-6是M型介质损耗角试验器的原理图，低值电阻6和7的值成一定比例，高值电阻4的值固定为50MΩ，标准无损空气电容器5的阻抗约为低值电阻6的2000倍。

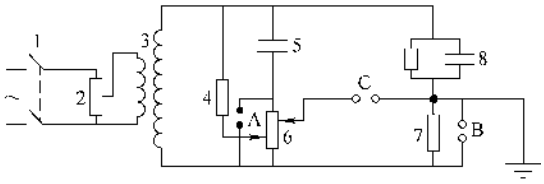


图5-6　M型介质损耗角试验器接线图

1—开关　2—调压器

3—升压变压器　4—高值电阻

5—标准无损空气电容器　6—低值电阻

7—低值电阻　8—被试套管的等效电容和电阻

测量时，先合上开关1，接通升压器3，调节2将电压升到2500V。在A处接入真空电压表，读出电压降 U_A 即为标准无损空气电容器的毫伏安值（mV·A）。再在B处接入真空电压表，读出电压降 U_B，即为被试物的毫伏安值（mV·A）。然后再将真空电压表接在C处，调低值电阻器6，使 U_C 为最小，U_C 即为被试物的损耗毫瓦值（mW）。将被试物的两组数值代入式（5-13）即可计算出套管的介质损耗角tanδ值：

$$\tan\delta = \frac{\mathrm{mW}}{\mathrm{mVA}} \times 100\% \qquad (5\text{-}13)$$

测量时，应使仪器尽量靠近被试物，且被试物的表面要清洁，必要时要根据现场情况加以遮蔽。在测量应使被试物的温度保持在10℃以上。

3）低力率瓦特法　测量装置由试验变压器、电压互感器、电压表、电流表和低力率瓦特表所组成，其工作原理是用以加在被试物上的电压，测得被试物的电流及所产生的功率损耗来确定介质损耗角的正切值tanδ和电容的，基本接线见图5-7。低力率瓦特表应选0.2级，图5-7a适用于电容电流较小的被试物，图5-7b适用于电容电流较大的被试物。

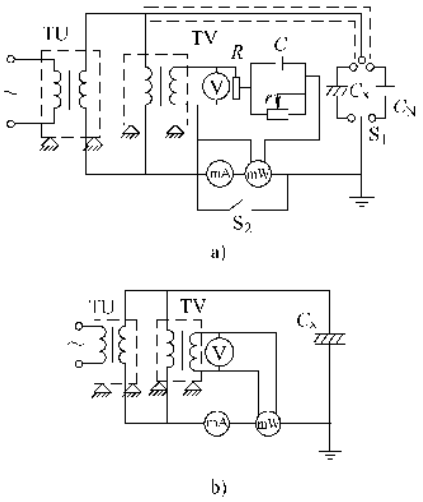


图5-7　低力率瓦特表测量介质损耗角接线示意图

TV—电压互感器　S_1—切换开关　S_2—短路开关

R、r—可变电阻　C—电容器　C_N—标准电容器

试验时，先接通电源，并把 S_1 打入 C_N 侧，用 C_N 代替被试物，调整 R 或 r，使毫瓦表指示为零，然后将 S_1 打至 C_x 侧，使被试物接入电路，读出电流 I、电压 U 及毫瓦表的读数 P。将测量数值代入式(5-14)即可算出tanδ，代入式（5-15）即可算出 C_x：

$$\tan\delta = \frac{P}{\sqrt{U^2I^2 - P^2}} \times 100\% \qquad (5\text{-}14)$$

$$C_x = \frac{I}{\omega U} \times 10^3 \qquad (5\text{-}15)$$

式中　P——毫瓦表读数，单位为mW；

U——电压表读数，单位为V；

I——毫安表读数，单位为mA；

ω——电源角频率。

测量时，升压试验变压器及电压互感器的外壳必须对地绝缘，并将高压侧接地端与外壳相连，以消除高压绕组对外壳间的电容而引起的对电容电流的影响。

4）测量时的注意事项

① 测量电压一般为被试物的额定电压，通常不得高于额定电压的10%，电源频率为50Hz，偏差不大于5%。

② 为了减少外来各种因素的影响，应尽量将试验仪器靠近被试物，接线宜短不宜长。

③ 被试物周围的破布、湿木及杂物应全部清除干净，以免与被试物电极间形成电容，影响测量。

④ 被试物的表面应清洁干燥并进行遮蔽。

⑤ 如果被试物的绝缘有几个部分组成，在整体测量不合格时，应分别进行测量，进一步找出缺陷的部位。如油断路器有变压器油、拉杆、套管等。

⑥ 试验时的温度应达到20℃以上，同一设备的测试应在同一温度下进行。否则应进行换算。但换算只是一种经验数据，仅供参考。换算公式为：

$$\tan\delta(20℃) = K\tan\delta(t℃) \qquad (5\text{-}16)$$

式中 K——换算系数，见表5-9；

t℃——测量温度。

表5-9 介质损耗角温度换算系数

试验温度/℃	绝缘油	充油电压互感器及电力变压器	套管		
			电容型	混合物充填型	充油型
1	2	3	4	5	6
1	1.54	1.60	1.21	1.25	1.17
2	1.52	1.58	1.20	1.24	1.16
3	1.50	1.56	1.19	1.22	1.15
4	1.43	1.55	1.17	1.21	1.15
5	1.46	1.52	1.16	1.20	1.14
6	1.45	1.50	1.15	1.19	1.13
7	1.44	1.48	1.14	1.17	1.12
8	1.43	1.45	1.13	1.16	1.11
9	1.41	1.43	1.11	1.15	1.11
10	1.38	1.40	1.10	1.14	1.10
11	1.35	1.37	1.09	1.12	1.09
12	1.31	1.34	1.08	1.11	1.08
13	1.27	1.31	1.07	1.10	1.07
14	1.24	1.28	1.06	1.08	1.06
15	1.20	1.24	1.05	1.07	1.05
16	1.16	1.20	1.04	1.06	1.04
17	1.12	1.16	1.03	1.04	1.03
18	1.08	1.11	1.02	1.03	1.02
19	1.04	1.05	1.01	1.01	1.01
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	0.96	0.97	0.99	0.98	0.99
22	0.91	0.94	0.98	0.97	0.97
23	0.87	0.91	0.96	0.95	0.96
24	0.83	0.89	0.95	0.93	0.94
25	0.79	0.87	0.94	0.92	0.93
26	0.76	0.84	0.93	0.90	0.91
27	0.73	0.81	0.92	0.89	0.90
28	0.70	0.79	0.91	0.87	0.88
29	0.67	0.76	0.90	0.86	0.87
30	0.63	0.74	0.88	0.84	0.86
31	0.60	0.72	0.87	0.83	0.84
32	0.58	0.69	0.86	0.81	0.83
33	0.56	0.67	0.85	0.79	0.81
34	0.53	0.65	0.83	0.77	0.80
35	0.51	0.63	0.82	0.76	0.78
36	0.49	0.61	0.81	0.74	0.77
37	0.47	0.59	0.79	0.72	0.75
38	0.45	0.57	0.78	0.70	0.74
39	0.44	0.55	0.76	0.68	0.72
40	0.42	0.53	0.75	0.67	0.70
41	0.40	0.51	0.73	0.65	0.68
42	0.38	0.49	0.72	0.63	0.67
43	0.37	0.47	0.70	0.61	0.65
44	0.36	0.45	0.69	0.60	0.63
45	0.34	0.44	0.67	0.58	0.62
46	0.33	0.43	0.66	0.56	0.61
47	0.31	0.41	0.64	0.55	0.60
48	0.30	0.40	0.63	0.53	0.58
49	0.29	0.38	0.61	0.52	0.57

（续）

试验温度/℃	绝缘油	充油电压互感器及电力变压器	套管		
			电容型	混合物充填型	充油型
1	2	3	4	5	6
50	0.28	0.37	0.60	0.50	0.56
52	0.26	0.36	0.57	0.47	0.53
54	0.23	0.32	0.54	0.44	0.51
56	0.21	0.30	0.51	0.41	0.49
58	0.19	0.28	0.48	0.38	0.46
60	0.17	0.26	0.45	0.36	0.44
62	0.16	0.25	0.44	0.33	0.42
64	0.15	0.23	0.39	0.31	0.40
66	0.14	0.22	0.37	0.28	0.39
68	0.13	0.20	0.35	0.26	0.37
70	0.12	0.19	0.32	0.23	0.36
72	0.12	0.18	0.30	0.21	0.34
74	0.11	0.17	0.28	0.19	0.33
76	0.10	0.16	0.27	0.17	0.31
78	0.09	0.15	0.26	0.16	0.30
80	0.09	0.14	0.25	0.15	0.29

（2）下面介绍变压器介质损耗角 tanδ 的测量（且仅以电桥法为例）。

1）试验接线　一般测量的接线采用反接法，见图 5-5。试验时接线方式与测量绝缘电阻相同，见表 5-6。

补充测量的接线采用正接法，要求被试变压器的外壳油箱必须对地绝缘，试验接线方式见表 5-10。在型式试验、鉴定性试验（均由厂家负责或委托进行）或交接预防性试验中，为了寻找故障，必要时可以对变压器进行补充测量。

2）试验电压　见表 5-11。

3）试验步骤　通常应在绝缘电阻、泄漏电流测量之后进行。试验电压可一次升到规定值，也可分级升压，以便观测不同电压下的 tanδ。操作方法详见上述。试验时，被试变压器的每个绕组的各相应短接后再进行测量接线，当有中性点时，也应与三相一起短接，以免影响测量或增大误差。测量时的油温宜在 10～40℃下进行。

4）结果及处理　新装变压器的介质损耗角正切值应大于制造厂试验值的 130%，且不大于表 5-12 的规定。当测量温度与产品出厂测量温度不符时，应按表 5-2 换算到同一温度时的数值进行比较。

表 5-10　变压器 tanδ（%）补充测量的接线方式

测量顺序	双绕组变压器		三绕组变压器	
	被测部位	屏蔽部位	被测部位	屏蔽部位
1	高压对外壳	低压	高压对外壳	中压、低压
2	高压对低压	外壳	高压对中压	低压、外壳
3	高压对低压及外壳		高压对中、低压及外壳	
4			中压对外壳	高压、低压
5			中压对低压	高压、外壳
6			中压对高、低压及外壳	

表 5-11　试验电压

变压器额定电压	10kV 以上变压器（注油或未注油）	6kV 以下变压器
试验电压	10kV	不大于变压器额定电压

表 5-12　油浸式电力变压器绕组介质损耗角正切值 tanδ（%）最高允许值

高压绕组电压等级/kV	温度/℃							
	5	10	20	30	40	50	60	70
35 及以下	1.3	1.5	2.0	2.6	3.5	4.5	6.0	8.0
35～220	1.0	1.2	1.5	2.0	2.6	3.5	4.5	6.0
330～500	0.7	0.8	1.0	1.3	1.7	2.2	2.9	3.8

大修后及运行中的变压器所测得的 tanδ 值应与历年测量结果进行比较，不应有显著变化，且不应大于表 5-13 的规定。测试时应注意此点。

表 5-13　大修及运行中油浸电力变压器绕组的 tanδ 允许值（%）

高压绕组电压等级		温度/℃						
		10	20	30	40	50	60	70
35kV 及以下	大修后	2.5	3.5	5.5	8.0	11.0	15.0	20
	运行中	3.5	4.5	7.0	10.5	14.5	20	26
35kV 以上 110kV 以下	大修后	2.0	2.5	4.0	6.0	8.0	11	18
	运行中	2.5	3.5	5.2	8.0	10.5	14.5	23

注：同一变压器中压和低压绕组的标准，与高压绕组相同。

6. 绕组连同套管一起的直流泄漏电流的测量

接线方式可按表 5-6，测试被试绕组与铁心、外壳和非被试绕组之间的泄漏电流。通常将电压升至试验电压后，记录 1min 的漏泄电流值；也可分级升压记录不同电压下的泄漏电流值。

直流泄漏电流的测量其实是直流耐压试验，不同的是读取其泄漏电流。试验方法见第二章第十一节中“直流耐压试验”的相关内容，也可用 ZGF 型直流高压发生器进行测量，方法见第二章第十一节“ZGF 型直流高压发生器”的相关内容。

电压为 35kV 以上且容量为 10000kV · A 及以上的变压器必须进行泄漏电流的测试，其他的变压器可视具体情况进行。

表 5-14 中的极限值可供读者参考。试验电压可按表 5-3 选取。

表 5-14 油浸电力变压器绕组直流泄漏电流参考值

额定电压/kV	直流试验电压峰值/kV	在下列温度时的绕组直流泄漏电流值/μA							
		10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
2 ~ 3	5	11	17	25	39	55	83	125	178
6 ~ 15	10	22	33	50	77	112	166	250	356
20 ~ 35	20	33	50	74	111	167	250	400	570
63 ~ 330	40	33	50	74	111	167	250	400	570
500	60	20	30	45	67	100	150	235	330

7. 绕组连同套管一起的交流耐压试验

应对每个绕组均进行试验，试验时绕组的各相引出线端均应短接在一起，有中性点引出线的也应与三相一起短接，非试验的绕组及外壳均应接地。

试验电压应按表 5-15 选取。

耐压试验应在绝缘电阻、吸收比、直流泄漏电流、tanδ 和绝缘油试验合格后进行，试验电压最大值时的延续时间一般为 1min，无击穿现象为合格。

交流耐压试验的具体方法见第二章工频交流耐压试验和 TSB 高压试验变压器的相关内容。

变压器交流耐压试验应注意以下事项：

（1）电压为 35kV 以下且容量为 8000kV · A 以下的变压器，均应进行耐压试验。安装在煤矿井下或其他有爆炸危险场所中上述的变压器可不做交流耐压试验。

（2）试验时应随时监视试验变压器高压侧的电压，必要时要有两块电压表。试验中如有放电或击穿现象，应立即降低电压并切换电源，直至故障找出并修复后，才能恢复试验且应从零压升压。

（3）耐压过程中，仪表指针不跳动且无放电现象（“啪啪”声或“嗞嗞”声），球隙无放电、无电火等现象，则说明试验正常，否则说明变压器的绝缘有问题。

（4）耐压过程中，如油箱内有个别轻微的局部放电声，但仪表指针不动、球隙无火花、系统工作正常，则应降压后重新升压，如无上述现象，则绝缘正常，否则应对变压器进行干燥或者对绝缘油进行处理后再进行试验。

（5）耐压过程中，油箱内有明显的放电现象或试验仪表跳动、瓦斯气体排出时，应立即停止试验，降压断电处理。一般应吊出变压器心子进行检查，修复后才能继续进行试验。

8. 绕组连同套管的局部放电试验

一般由工频交流耐压试验测得，也可用 JF-2001 型干挠判断式局部放电检测器直接进行，详见第二章相关内容。

9. 非纯瓷套管的试验

套管已连同绕组进行了测量，对于组装式变压器的非纯瓷套管，在组装前应进行试验。

10. 绝缘油的试验一般委托供电部门进行，并出示分析试验报告。油中溶解气体的色谱分析应按现行国家标准《变压器油中溶解气体分析和判断导则》DL/T 722—2000 进行。变压器油中微量水含量。见前述一、中的第 2 条。

11. 有载调压切换装置的检查试验

已在设备的检查和电压比试验中进行，并应满足下列要求：

（1）测量限流元件的电阻值，并与产品出厂数值相比，应无显著差别。

（2）检查快速切换开关动作顺序，应符合产品的要求。

（3）检查切换装置的全部切换过程，应无任何开路现象；限位动作正确可靠；操作电压为额定电压的 85% 及以上时，全过程切换应可靠动作。

（4）检查变压器空载下切换装置的调压情况、电压变化范围及规律和三相同步性，与产品出厂数据相比，应无显著差别。

（5）切换开关油箱中绝缘油的试验应合格，电气强度应不低于 30kV。

12. 额定电压下的冲击合闸试

一般应在正式送电时进行。

13. 核对相位

在正式送电前进行。

14. 空载特性试验

在冲击合闸试验后进行。

15. 短路特性试验

在空载特性试验后进行。

16. 噪声测试

在送电后用 dB 测试仪进行。

对于 10kV 小容量变压器可只进行上述的 1、2、3、4、7、10、12 项试验。

表 5-15　高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准

额定电压/kV	最高工作电压/kV	1min 工频耐受电压有效值/kV											
		电压互感器		电流互感器		穿墙套管				支柱绝缘子、隔离开关			
						纯瓷和纯瓷充油绝缘		固体有机绝缘、油浸电容式、干式、SF_6 式		纯瓷		固体有机绝缘	
		出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接
3	3.6	25（18）	20（14）	25	20	25（18）	25（18）	25（18）	20（14）	25	25	25	22
6	7.2	30（23）	24（18）	30	24	30（23）	30（23）	30（23）	24（18）	32	32	32	26
10	12	42（28）	33（22）	42	33	42（28）	42（28）	42（28）	33（22）	42	42	42	23
15	17.5	55（40）	44（32）	55	44	55（40）	55（40）	55（40）	44（32）	57	57	57	50
20	24.0	65（50）	52（40）	65	52	65（50）	65（50）	65（50）	52（40）	68	68	68	59
35	40.5	95（80）	76（64）	95	76	95（80）	95（80）	95（80）	76（64）	100	100	100	90
66	69.0	140/185	112/148	140/185	112/148	140/185	140/185	140/185	112/148	165	165	165	148
110	126.0	200/230	160/184	200/230	160/184	200/230	200/230	200/230	160/184	265	265	265	240
220	252.0	395/460	316/368	395/460	316/368	395/460	395/460	395/460	316/368	495	495	495	440
330	363.0	510/630	408/504	510/630	408/504	510/630	510/630	510/630	408/504				
500	550.0	680/740	544/592	680/740	544/592	680/740	680/740	680/740	544/592				

注：1　表中电气设备出厂试验电压参照现行国家标准《高压输变电设备的绝缘配合》GB 311.1—1997；

2　括号内的数据为全绝缘结构电压互感器的匝间绝缘水平；

3　斜杠上下为不同绝缘水平取值，以出厂（铭牌）值为准。

三、电抗器及消弧线圈

1. 标准规范要求

（1）电抗器及消弧线圈的试验项目

1）测量绕组连同套管的直流电阻。

2）测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数。

3）测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 tanδ。

4）测量绕组连同套管的直流泄漏电流。

5）绕组连同套管的交流耐压试验。

6）测量与铁心绝缘的各紧固件的绝缘电阻。

7）绝缘油的试验。

8）非纯瓷套管的试验。

9）额定电压下冲击合闸试验。

10）测量噪声；

11）测量箱壳的振动；

12）测量箱壳表面的温度分布。

注：①　干式电抗器的试验项目可按 1）、2）、5）、9）款规定进行。

②　消弧线圈的试验项目可按 1）、2）、5）、6）款规定进行；对 35kV 及以上油浸式消弧线圈应增加 3）、4）、7）、8）款。

③　油浸式电抗器的试验项目可按 1）、2）、5）、6）、7）、9）款规定进行，对 35kV 及以上电抗器应增加 3）、4）、8）、10）、11）、12）款。

④　电压等级在 35kV 及以上的油浸电抗器，还应在交接时提交电抗器及非纯瓷套管的出厂试验记录。

（2）测量绕组连同套管的直流电阻

1）测量应在各分接头的所有位置上进行。

2）实测值与出厂值的变化规律应一致。

3）三相电抗器绕组直流电阻值相间差值不应大于三相平均值的 2%。

4）电抗器和消弧线圈的直流电阻，与同温下产品出厂值比较，相应变化不应大于2%。

（3）测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数，应符合电力变压器标准规范第（8）条的规定。

（4）测量绕组连同套管的介质损耗角正切值tanδ，应符合电力变压器标准规范第（9）条的规定。

（5）测量绕组连同套管的直流泄漏电流，应符合电力变压器标准规范第（10）条的规定。

（6）绕组连同套管的交流耐压试验

1）额定电压在110kV以下的消弧线圈、干式或油浸式电抗器均应进行交流耐压试验，试验电压见表5-15。

2）对分级绝缘的耐压试验电压标准，应按接地端或其末端绝缘的电压等级来进行。

（7）测量与铁心绝缘的各紧固件的绝缘电阻，应符合电力变压器标准规范第（6）条的规定。

（8）绝缘油的试验，应符合本章第四节“绝缘油”的规定。

（9）非纯瓷套管的试验，应符合本章第三节“7. 高压套管”的规定。

（10）在额定电压下，对变电所及线路的并联电抗器连同线路的冲击合闸试验，应进行5次，每次间隔时间为5min，应无异常现象。

（11）测量噪声应符合《电力变压器　第10部分：声级测定》GB 1094.10—2003的规定。

（12）电压等级为500kV的电抗器，在额定工况下测得的箱壳振动振幅双峰值不应大于100μm。

（13）电压等级为330～500kV的电抗器，应测量箱壳表面的温度分布，温升不应大于65℃。

2. 具体测试试验方法

该标准规范中的（1）～（11）条与电力变压器测试试验方法基本相同，详见电力变压器相关内容，这里仅讲述第（12）和（13）条。

（1）测量箱壳的振动　振动应在电抗器或消弧线圈投入运行后，且在空载、中载、满载条件下分别测量。一般采用振动测量仪进行，先将振动传感器贴敷在箱壳上，接通电源，即可在屏幕上显示出双振幅值。测量时必须使其箱壳可靠接地，贴敷传感器时必须保证可靠的安全距离。振动测量仪的型号不同，使用方也不尽相同，应仔细阅读说明书后再进行操作。

（2）测量箱壳表面的温度分布　表面温度应在消弧线圈、电抗器投入运行后，且在空载、中载、满载下分别进行测量。箱壳温度的测量一般用点式温度计，先将温度传感器贴敷在箱壳上，可用6只双面上、中、下三个位置同时测量。注意事项同箱壳振动的测量。

四、互感器

1. 标准规范要求

（1）互感器的试验项目

1）测量绕组的绝缘电阻；

2）测量35kV及以上电压等互感器的介质损耗角正切值tanδ；

3）局部放电试验；

4）交流耐压试验；

5）绝缘介质性能试验；

6）测量绕组的直流电阻；

7）检查接线组别和极性；

8）误差测量；

9）测量电流互感器的励磁特性曲线；

10）测量电磁式电压互感器的励磁特性；

11）电容式电压互感器（CVT）的检测；

12）密封性能检查；

13）测量铁芯夹紧螺栓的绝缘电阻。

其中，SF_6封闭式组合电器中的电流互感器和套管式电流互感器的试验，应按本条第1、6、7、8、9款的规定进行。

（2）测量绕组的绝缘电阻

1）测量一次绕组对二次绕组及外壳、各二次绕组间及其对外壳的绝缘电阻；绝缘电阻值不宜低于1000MΩ；

2）测量电流互感器一次绕组段间的绝缘电阻，绝缘电阻值不宜低于1000MΩ，但由于结构原因而无法测量时可不进行；

3）测量电容式电流互感器的末屏及电压互感器接地端（N）对外壳（地）的绝缘电阻，绝缘电阻值不宜小于1000MΩ。若末屏对地绝缘电阻小于1000MΩ时，应测量其tanδ；

4）绝缘电阻测量应使用2500V兆欧表。

（3）电压等级35kV及以上互感器的介质损耗角正切值tanδ测量

1）互感器的绕组tanδ测量电压应为10kV，tanδ不应大于表5-16中数据。当对绝缘性能有怀疑时，可采用高压法进行试验，在（0.5～1）$U_m/\sqrt{3}$范围内进行，tanδ变化量不应大于0.2%，电容变化量不应大于0.5%；

2）末屏tanδ测量电压为2kV。

其中，本条主要适用于油浸式互感器。SF_6气体绝缘和环氧树脂绝缘结构互感器不适用，注硅脂等干式互感器可以参照执行。

表 5-16　tanδ（%）限值（t：20℃）

种类＼额定电压	20～35kV	66～110kV	220kV	330～500kV
油浸式电流互感器	2.5	0.8	0.6	0.5
充硅脂及其他干式电流互感器	0.5	0.5	0.5	—
油浸式电压互感器绕组	3	2.5		—
串级式电压互感器支架	—	6		—
油浸式电流互感器末屏	—	2		

注：电压互感器整体及支架介损受环境条件（特别是相对湿度）影响较大，测量时要加以考虑。

（4）互感器的局部放电测量

1）局部放电测量宜与交流耐压试验同时进行；

2）电压等级为 35～110kV 互感器的局部放电测量可按 10% 进行抽测，若局部放电量达不到规定要求应增大抽测比例；

3）电压等级 220kV 及以上互感器在绝缘性能有怀疑时宜进行局部放电测量；

4）局部放电测量时，应在高压侧（包括电压互感器感应电压）监测施加的一次电压；

5）局部放电测量的测量电压及视在放电量应满足表 5-17 中的规定。

（5）互感器交流耐压试验

表 5-17　允许的视在放电量水平

种类			测量电压/kV	允许的视在放电量水平/pC	
				环氧树脂及其他干式	油浸式和气体式
电流互感器			$1.2U_m/\sqrt{3}$	50	20
			$1.2U_m$（必要时）	100	50
电压互感器	≥66kV		$1.2U_m/\sqrt{3}$	50	20
			$1.2U_m$（必要时）	100	50
	35kV	全绝缘结构	$1.2U_m$	100	50
			$1.2U_m/\sqrt{3}$	50	20
		半绝缘结构（一次绕组一端直接接地）	$1.2U_m/\sqrt{3}$	50	20
			$1.2U_m$（必要时）	100	50

1）应按出厂试验电压的 80% 进行；

2）电磁式电压互感器（包括电容式电压互感器的电磁单元）在遇到铁心磁通密度较高的情况下，宜按下列规定进行感应耐压试验：

① 感应耐压试验电压应为出厂试验电压的 80%。

② 试验电源频率和试验电压时间参照本节一、电力变压器的标准规范要求的第 13 条的规定执行。

③ 感应耐压试验前后，应各进行一次额定电压时的空载电流测量，两次测得值相比不应有明显差别；

④ 电压等级 66kV 及以上的油浸式互感器，感应耐压试验前后，应各进行一次绝缘油的色谱分析，两次测得值相比不应有明显差别；

⑤ 感应耐压试验时，应在高压端测量电压值。

⑥ 对电容式电压互感器的中间电压变压器进行感应耐压试验时，应将分压电容拆开。由于产品结构原因现场无条件拆开时，可不进行感应耐压试验。

3）电压等级 220kV 以上的 SF_6 气体绝缘互感器（特别是电压等级为 500kV 的互感器）宜在安装完毕的情况下进行交流耐压试验；

4）二次绕组之间及其对外壳的工频耐压试验电压标准应为 2kV；

5）电压等级 110kV 及以上的电流互感器末屏及电压互感器接地端（N）对地的工频耐压试验电压标准，应为 3kV。

（6）绝缘介质性能试验，对绝缘性能有怀疑的互感器，应检测绝缘介质性能，应符合下列规定：

1）绝缘油的性能应符合表 5-42、表 5-43 的要求；

2）SF_6 气体的性能应符合如下要求：SF_6 气体充入设备 24h 后取样，SF_6 气体水分含量不得大于 250μL/L（20℃体积分数）。

3）电压等级在 66kV 以上的油浸式互感器，应

进行油中溶解气体的色谱分析。油中溶解气体组分含量（μL/L）不宜超过下列任一值，总烃：10，H_2：50，C_2H_2：0。

（7）绕组直流电阻测量

1）电压互感器：一次绕组直流电阻测量值，与换算到同一温度下的出厂值比较，相差不宜大于10%。二次绕组直流电阻测量值，与换算到同一温度下的出厂值比较，相差不宜大于15%。

2）电流互感器：同型号、同规格、同批次电流互感器一、二次绕组的直流电阻和平均值的差异不宜大于10%。当有怀疑时，应提高施加的测量电流，测量电流（直流值）一般不宜超过额定电流（方均根值）的50%。

（8）检查互感器的接线组别和极性，必须符合设计要求，并应与铭牌和标志相符。

（9）互感器误差测量

1）用于关口计量的互感器（包括电流互感器、电压互感器和组合互感器）必须进行误差测量，且进行误差检测的机构（实验室）必须是国家授权的法定计量检定机构；

2）用于非关口计量，电压等级35kV及以上的互感器，宜进行误差测量；

3）用于非关口计量，电压等级35kV以下的互感器，检查互感器变比，应与制造厂铭牌值相符。对多抽头的互感器，可只检查使用分接头的变比；

4）非计量用绕组应进行变比检查。

（10）当继电保护对电流互感器的励磁特性有要求时，应进行励磁特性曲线试验。当电流互感器为多抽头时，可在使用抽头或最大抽头测量（专业测量见GB 50150—2006相关要求）。

（11）电磁式电压互感器的励磁曲线测量，应符合下列要求：

1）用于励磁曲线测量的仪表为方均根值表，若发生测量结果与出厂试验报告和型式试验报告有较大出入（>30%）时，应核对使用的仪表种类是否正确；

2）一般情况下，励磁曲线测量点为额定电压的20%、50%、80%、100%和120%。对于中性点直接接地的电压互感器（N端接地），电压等级35kV及以下电压等级的电压互感器最高测量点为190%；电压等级66kV及以上的电压互感器最高测量点为150%；

3）对于额定电压测量点（100%），励磁电流不宜大于其出厂试验报告和型式试验报告的测量值的30%，同批次、同型号、同规格电压互感器此点的励磁电流不宜相差30%。

（12）电容式电压互感器（CVT）检测

1）CVT电容分压器电容量和介质损耗角tanδ的测量结果：电容量与出厂值比较其变化量超过-5%或10%时要引起注意，tanδ不应大于0.5%；条件许可时测量单节电容器在10kV至额定电压范围内，电容量的变化量大于1%时判为不合格；

2）CVT电磁单元因结构原因不能将中压连线引出时，必须进行误差试验，若对电容分压器绝缘有怀疑时，应打开电磁单元引出中压连线进行额定电压下的电容量和介质损耗角tanδ的测量；

3）CVT误差试验应在支架（柱）上进行；

4）如果电磁单元结构许可，电磁单元检查包括中间变压器的励磁曲线测量、补偿电抗器感抗测量、阻尼器和限幅器的性能检查，交流耐压试验参照电磁式电压互感器，施加电压按出厂试验的80%执行。

（13）密封性能检查

1）油浸式互感器外表应无可见油渍现象；

2）SF_6气体绝缘互感器定性检漏无泄漏点，有怀疑时进行定量检漏，年泄漏率应小于1%。

（14）测量铁心夹紧螺栓的绝缘电阻

1）在做器身检查时，应对外露的或可接触到的铁芯夹紧螺栓进行测量；

2）采用2500V兆欧表测量，试验时间为1min，应无闪络及击穿现象；

3）穿心螺栓一端与铁心连接者，测量时应将连接片断开，不能断开的可不进行测量。

2. 具体测试方法

该标准规范要求中的第（1）~（7）和（13）条与电力变压器测试试验方法基本相同，不同的是电流互感器变的测量应用升流器和标准电流表测量，见图5-8，详见电力变压器相关内容，这里仅讲述第（8）、（9）、（10）、（11）条。其中（9）、（10）条的测试一般应由专业测试机构进行，这里讲一下现场简易测试方法。

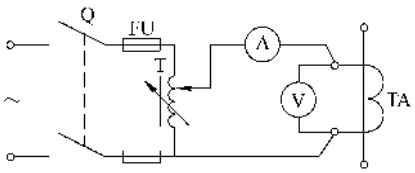


图5-8　电流互感器励磁特性试验接线图

Q—电流开关　FU—熔断器　T—调压器

TA—电流互感器

（1）测量电流互感器的励磁特性曲线　在现场通常采用简易方法进行。一般选用 0.5 级、量程为 0～75A 的电流表，0.5 级、0～100V 的电压表，2～5kVA 容量的调压器调节。按图 5-8 接线并检查无误后，即可接通电源，然后从零开始逐步升流。一般每增加 0.5A 电流时，记录各次的电流值和电压值，直至电流达到饱和点为止，并绘制励磁特性曲线。从曲线中可以判断有无短路情况及磁饱和状态存在。绘制励磁特性曲线图见图 5-9。

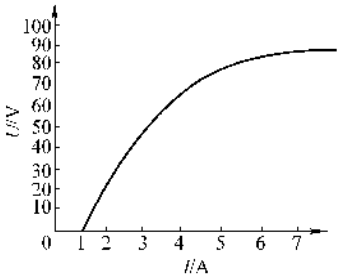


图 5-9　电流互感器励磁特性曲线图

试验时注意事项有以下几点：

1）在测量过程中，不允许在升压中途倒退降压或中断电流，试验电压要求稳定。

2）有的电流互感器由于剩磁的影响，而使励磁特性改变。此时应将试验电压先升到最高值、再逐渐降低的办法进行去磁。如进行一次效果不大，可进行多次，然后复测。

3）将所测得的值绘制的励磁特性曲线与同型式电流互感器的励磁特性曲线相比较，应无明显差别，并形成平滑的曲线。

（2）测量 1000V 以上电压互感器的空载电流和励磁特性　电压互感器空载电流的试验接线见图 5-10。一般选用 0～150V 的电压表，0～0.5A 的电流表。将电压互感器的一次绕组开路，用调压器在二次绕组施加于额定电压，测量其空载电流。10kV 的单相电压互感器的空载电流无明确规定，可与同型式的互感器比较，一般约为 0.3A 左右。对于三相五柱式电压互感器可用三相调压器试验，并联三块电压表，串联三块电流表测量空载电流。其接线方法与三相电力变压器空载电流试验相同。

上述试验可同时进行励磁特性试验，将电压互感器的一次绕组开路，在二次侧按电流互感器励磁特性的试验接线方法，加上电压，一般每增加 10V 电压时，记录各次的电压值和电流值，直至电压达到饱和时为止。然后绘制励磁特性曲线，要求曲线平滑，与同型式的电压互感器的励磁特性曲线相比较，应无明显差别，如图 5-11 所示。

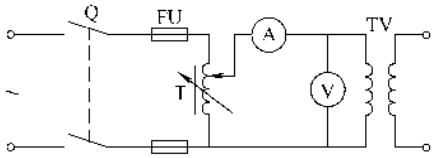


图 5-10　电压互感器空载电流试验接线图

Q—电源开关　FU—熔断器　T—调压器

一、标准规范要求

1. 油断路器

（1）油断路器的试验项目

1）测量绝缘拉杆的绝缘电阻。

2）测量35kV多油断路器的介质损耗角正切值tanδ。

3）测量35kV以上少油断路器的直流泄漏电流。

4）交流耐压试验。

5）测量每相导电回路的电阻。

6）测量油断路器的分、合闸时间。

7）测量油断路器的分、合闸速度。

8）测量油断路器主触头分、合闸的同期性。

9）测量油断路器合闸电阻的投入时间及电阻值。

10）测量油断路器分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻及直流电阻。

11）油断路器操动机构的试验。

12）断路器电容器试验。

13）绝缘油试验。

14）压力表及压力动作阀的校验。

（2）由有机物制成的绝缘拉杆的绝缘电阻值在常温下不应低于表5-18的规定。整体绝缘电阻值测量，应参照制造厂的规定。

表5-18 有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准

额定电压/kV	3～15	20～35	63～220	330～500
绝缘电阻值/MΩ	1200	3000	6000	10000

（3）测量35kV多油断路器的介质损耗角正切值tanδ。

1）在20℃时测得的tanδ值，对DW2、DW8型油断路器，不应大于表5-25中相应套管的tanδ（%）值增加2后的数值；对DW1型油断路器，不应大于表5-25中相应套管的tanδ（%）值增加3后的数值。

2）应在分闸状态下测量每只套管的tanδ。当测得值超过标准时，应卸下油箱后进行分解试验，此时测得的套管的tanδ（%）值，应符合表5-25的规定。

（4）35kV以上少油断路器的支柱瓷套连同绝缘拉杆以及灭弧室每个断口的直流泄漏电流试验电压应为40kV，并在高压侧读取1min时的泄漏电流值，测得的泄漏电流值不应大于10μA；220kV及以上的，泄漏电流值不宜大于5μA。

（5）交流耐压试验

1）断路器的交流耐压试验应在分、合闸状态下分别进行，试验电压应符合表5-19的规定。

表5-19 断路器的交流耐压试验标准

额定电压/kV	最高工作电压/kV	1min工频耐受电压/kV有效值			
		相对地	相间	断路器断口	隔离断口
3	3.6	25	25	25	27
6	7.2	32	32	32	36
10	12	42	42	42	49
35	40.5	95	95	95	118
66	72.5	155	155	155	197
110	126	200	200	200	225
		230	230	230	265
220	252	360	360	360	415
		395	395	395	460
330	363	460	460	520	520
		510	510	580	580
500	550	630	630	790	790
		680	680	790	790
		740	740	790	790

注：1 本表数据引自《高压开关设备和控制设备的共用技术要求》DL/T 593—2006。

2 设备无特殊规定时，采用最高一级试验电压。

2）35kV及以下的断路器应按相间及对地进行耐压试验。

3）对35kV及以下户内少油断路器及联络用的断路器，可在分闸状态下按上述标准进行断口耐压试验。

（6）测量每相导电回路电阻

1）用电流不小于100A的直流压降法测量，电阻值应符合产品技术条件的规定。

2）主触头与灭弧触头并联的断路器，应分别测量其主触头和灭弧触头导电回路的电阻值。

（7）测量断路器的分、合闸时间应在产品额定操作电压、液压下进行。实测数值应符合产品技术条件的规定。

（8）测量断路器分、合闸速度

1）测量应在产品额定操作电压、液压下进行。实测数值应符合产品技术条件的规定。产品无要求时，可不进行。

2）电压等级在15kV及以下的断路器，除发电机出线断路器和与发电机主母线相连的断路器应进行速度测量外，其余的可不进行。

（9）测量断路器主触头的三相或同相各断口分、合闸的同期性，应符合产品技术条件的规定。

（10）测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值，应符合产品技术条件的规定。

（11）测量断路器分、合闸线圈及合闸接触器线

圈的绝缘电阻值不应低于10MΩ，直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

（12）断路器操动机构的试验

1）合闸操作：

①　当操作电压、液压在表5-20范围内时，操动机构应可靠动作；

②　弹簧、液压操动机构的合闸线圈以及电磁操动机构的合闸接触器的动作要求，均应符合上项的规定。

表5-20　断路器操动机构合闸操作试验电压、液压范围

电压		液压
直流	交流	
（85%～110%）U_n	（85%～110%）U_n	按产品规定的最低及最高值

注：对电磁机构，当断路器关合电流峰值小于50kA时，直流操作电压范围为（80%～110%）U_n。U_n为额定电源电压。

2）脱扣操作：

①　直流或交流的分闸电磁铁，在其线圈端钮处测得的电压大于额定值的65%时，应可靠地分闸；当此电压小于额定值的30%时，不应分闸。

②　附装失电压脱扣器的，其动作特性应符合表5-21的规定。

表5-21　附装失电压脱扣器的脱扣试验

电源电压与额定电源电压的比值	小于35%	大于65%	大于85%
失电压脱扣器的工作状态	铁心应可靠地释放	铁心不得释放	铁心应可靠地吸合

注：当电压缓慢下降至规定比值时，铁心应可靠地释放。

③　附装过电流脱扣器的，其额定电流规定不小于2.5A，脱扣电流的等级范围及其准确度应符合表5-22的规定。

表5-22　附装过电流脱扣器的脱扣试验

过电流脱扣器的种类	延时动作的	瞬时动作的
脱扣电流等级范围/A	2.5～10	2.5～15
每级脱扣电流的准确度	±10%	
同一脱扣器各级脱扣电流的准确度	±5%	

注：对于延时动作的过电流脱扣器，应按制造厂提供的脱扣电流与动作时延的关系曲线进行核对。另外，还应检查在预定时延终了前主回路电流降至返回值时，脱扣器不应动作。

3）模拟操动试验：

①　当具有可调电源时，可在不同电压、液压条件下，对断路器进行就地或远控操作，每次操作断路器均应正确、可靠地动作，其联锁及闭锁装置回路的动作应符合产品及设计要求；当无可调电源时，只在额定电压下进行试验。

②　直流电磁或弹簧操动机构的操动试验，应按表5-23的规定进行；液压机构的操动试验，应按表5-24的规定进行。

③　对于具有双分闸线圈的回路，应分别进行模拟操动试验。

④　对于断路器操动机构本身具有三相位置不一致自动分闸功能的，应根据需要做投入或退出处理。

（13）断路器电容器试验，应按“电容器”的有关规定进行。

（14）绝缘油试验，应按“绝缘油”的规定进行。对灭弧室、支柱瓷套等油路相互隔绝的断路器，应自各部件中分别取油样试验。

表5-23　直流电磁或弹簧操动机构的操动试验

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值（%）	操作次数
合、分	110	3
合闸	85（80）	3
分闸	65	3
合、分、重合	100	3

注：括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器及表5-20“注”的情况。

表5-24　液压机构的操动试验

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值（%）	操作液压	操作次数
合、分	110	产品规定的最高操作压力	3
合、分	100	额定操作压力	3
合	85（80）	产品规定的最低操作压力	3
分	65	产品规定的最低操作压力	3

（续）

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值（%）	操作液压	操作次数
合、分、重合	100	产品规定的最低操作压力	3

注：1 括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器。

2 模拟操动试验应在液压的自动控制回路能准确、可靠动作的状态下进行。

3 操动时，液压的压降允许值应符合产品技术条件的规定。

（15）压力动作阀的动作值，应符合产品技术条件的规定；压力表指示值的误差及其变差，均应在产品相应等级的允许误差范围内。

2. 空气及磁吹断路器

（1）空气及磁吹断路器的试验项目

1）测量绝缘拉杆的绝缘电阻。

2）测量每相导电回路的电阻。

3）测量支柱瓷套和灭弧室每个断口的直流泄漏电流。

4）交流耐压试验。

5）测量断路器主、辅触头分、合闸的配合时间。

6）测量断路器的分、合闸时间。

7）测量断路器主触头分、合闸的同期性。

8）测量分、合闸线圈的绝缘电阻和直流电阻。

9）断路器操动机构的试验。

10）测量断路器的并联电阻值。

11）断路器电容器的试验。

12）压力表及压力动作阀的校验。

注：① 发电机励磁回路的自动灭磁开关，除应进行第8）、9）款试验外，还应作以下检查和试验：常开、常闭触头分、合切换顺序；主触头和灭弧触头的动作配合；灭弧栅的片数及其并联电阻值；在同步发电机空载额定电压下进行灭磁试验。

② 磁吹断路器试验，应按第2）、4）、6）、8）、9）款规定进行。

（2）测量绝缘拉杆的绝缘电阻值，不应低于表5-18的规定。

（3）测量每相导电回路的电阻值及测试方法，应符合产品技术条件的规定。

（4）支柱瓷套和灭弧室每个断口的直流泄漏电流的试验，应按本章第三节“1. 油断路器”第（4）条的规定进行。

（5）空气断路器应在分闸时各断口间及合闸状态下进行交流耐压试验；磁吹断路器应在分闸状态下进行断口交流耐压试验；试验电压应符合表5-19的规定。

（6）断路器主、辅触头的分、合闸动作程序及配合时间，应符合产品技术条件的规定。

（7）断路器分、合闸时间的测量，应在产品额定操作电压及气压下进行，实测数值应符合产品技术条件的规定。

（8）测量断路器主触头三相或同相各断口分、合闸的同期性，应符合产品技术条件的规定。

（9）测量分、合闸线圈的绝缘电阻值，不应低于10MΩ；直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

（10）断路器操动机构的试验，应按本章第三节“1. 油断路器”第（12）条的有关规定进行。

注：对应于本章第三节“1. 油断路器”第（12）中的“液压”应为“气压”。

（11）测量断路器的并联电阻值，与产品出厂试验值相比应无明显差别。

（12）断路器电容器的试验，应按本章“电容器”的有关规定进行。

（13）压力动作阀的动作值，应符合产品技术条件的规定。压力表指示值的误差及其变差，均应在产品相应等级的允许误差范围内。

3. 真空断路器

（1）真空断路器的试验项目

1）测量绝缘拉杆的绝缘电阻。

2）测量每相导电回路的电阻。

3）交流耐压试验。

4）测量断路器主触头的分、合闸时间。

5）测量断路器主触头的分、合闸的同期性。

6）测量断路器合闸时触头的弹跳时间。

7）测量分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻和直流电阻。

8）断路器操动机构的试验。

（2）测量绝缘拉杆的绝缘电阻值，不应低于表5-18的规定。整体绝缘电阻值，应参照制造厂的规定。

（3）测量每相导电回路的电阻值测量，宜采用电流不小于100A的直流压降法，结果应符合产品技术条件的规定。

（4）应在断路器合闸及分闸状态下进行交流耐

压试验。当在合闸状态下进行时，试验电压应符合表5-19的规定。当在分闸状态下进行时，真空灭弧室断口间的试验电压应按产品技术条件的规定，试验中不应发生贯穿性放电。

（5）测量断路器的分、合闸时间，应在断路器额定操作电压及液压下进行，实测数值应符合产品技术条件的规定。

（6）测量断路器主触头分、合闸的同期性，应符合产品技术条件的规定。

（7）断路器合闸过程中触头接触后的弹跳时间，40.5kV以下断路器不应大于2ms；40.5kV及以上断路器不应大于3ms。

（8）测量分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻值，不应低于10MΩ；直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

（9）断路器操动机构的试验，应按本章第三节1　“油断路器”第（12）条的有关规定进行。

4. 六氟化硫断路器

（1）六氟化硫（SF_6）断路器试验项目

1）测量绝缘拉杆的绝缘电阻。

2）测量每相导电回路的电阻。

3）耐压试验。

4）断路器均压电容器的试验。

5）测量断路器的分、合闸时间。

6）测量断路器的分、合闸速度。

7）测量断路器主、辅触头的分、合闸的同期性及配合时间。

8）测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值。

9）测量断路器分、合闸线圈绝缘电阻及直流电阻。

10）断路器操动机构的试验。

11）套管式电流互感器的试验。

12）测量断路器内SF_6气体的微量水含量。

13）密封性试验。

14）气体密度继电器、压力表和压力动作阀的校验。

（2）测量绝缘拉杆的绝缘电阻值，不应低于表5-18的规定。整体绝缘电阻测量应参照制造厂的规定。

（3）测量每相导电回路的电阻值测量，宜采用电流不小于100A的直流压降法，结果应符合产品技术条件的规定。

（4）耐压试验

1）应在断路器合闸状态下，且SF_6气压为额定值时进行。试验电压按出厂试验电压的80%。

2）耐压试验只对110kV及以上罐式断路器和500kV定开距瓷柱式断路器的断口进行。

（5）断路器电容器的试验，应符合本章“电容器”的有关规定。罐式断路器的断路器电容器试验可按制造厂的规定进行。

（6）测量断路器的分、合闸时间，应在断路器的额定操作电压、气压或液压下进行。实测数值应符合产品技术条件的规定。

（7）测量断路器的分、合闸速度，应在断路器的额定操作电压、气压或液压下进行。实测数值应符合产品技术条件的规定。现场无条件安装采样装置的断路器，可不进行本试验。

（8）测量断路器主、辅触头三相及同相各断口的分、合闸的同期性及配合时间，应符合产品技术条件的规定。

（9）测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值，应符合产品技术条件的规定。

（10）测量断路器分、合闸线圈的绝缘电阻值，不应低于10MΩ，直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别。

（11）断路器操动机构的试验，应按本章第三节“1. 油断路器”第（12）条的有关规定进行。

（12）套管式电流互感器的试验，应按本章“互感器”的有关规定进行。

（13）测量断路器内SF_6气体的微量水含量（20℃的体积分数）

1）与灭弧室相通的气室，应小于150μL/L。

2）不与灭弧室相通的气室，应小于250μL/L。

3）微量水的测定应在断路器充气48h后进行。

（14）密封性试验

1）采用灵敏度不低于1×10^{-6}（体积比）的检漏仪对断路器各密封部位、管道接头等处进行检测时，检漏仪不应报警。

2）必要时可采用局部包扎进行气体泄漏测量时，以24h的漏气量换算，每个气室年漏气率不应大于1%。

3）泄漏值的测量应在断路器充气24h后进行。

（15）在充气过程中检查气体密度继电器及压力动作阀的动作值，应符合产品技术条件的规定。压力表指示值的误差及其变差，均应在产品相应等级的允许误差范围内。对单独运到现场的设备，应进行校验。

5. 六氟化硫封闭式组合电器

（1）六氟化硫封闭式组合电器

1）测量主回路的导电电阻。

2）主回路的交流耐压试验。

3）密封性试验。

4）测量六氟化硫气体微量水含量。

5）封闭式组合电器内各元件的试验。

6）组合电器的操动试验。

7）气体密度继电器、压力表和压力动作阀的校验检查。

（2）测量主回路的导电电阻值，宜采用电流不小于100A的直流压降法，测量结果不应超过产品技术条件规定值的1.2倍。

（3）主回路的耐压试验程序和方法，应按产品技术条件或国家现行标准《气体绝缘金属封闭开关设备现场耐压及绝缘试验导则》DL/T 555—2004有关的规定进行，试验电压值为出厂试验电压的80%。

（4）密封性试验

1）采用灵敏度不低于1×10^{-6}（体积比）的检漏仪对各气室密封部位、管道接头等处进行检测时，检漏仪不应报警。

2）必要时采用局部包扎法进行气体泄漏测量时，以24h的漏气量换算，每一个气室年漏气率不应大于1%。

3）泄漏值的测量应在封闭式组合电器充气24h后进行。

（5）测量六氟化硫气体含水量（20℃的体积分数）

1）有电弧分解的隔室，应小于150μL/L。

2）无电弧分解的隔室，应小于250μL/L。

3）气体含水量的测量应在封闭式组合电器充气48h后进行。

（6）封闭式组合电器内各元件的试验，应按本章中的有关规定进行，但对无法分开的设备可不单独进行。

注：本条中的“元件”是指装在封闭式组合电器内的断路器、隔离开关、负荷开关、接地开关、避雷器、互感器、套管、母线等。

（7）当进行组合电器的操动试验时，联锁与闭锁装置动作应准确可靠。电动、气动或液压装置的操动试验，应按产品技术条件的规定进行。

（8）气体密度继电器及压力动作阀的动作值，应符合产品技术条件的规定。压力表指示值的误差及其变差，均应在产品相应等级的允许误差范围内。对单独运到现场的设备，应进行校验。

6. 高压隔离开关、负荷开关及熔断器

（1）隔离开关、负荷开关及高压熔断器的试验项目

1）测量绝缘电阻。

2）测量高压限流熔断器熔丝的直流电阻。

3）测量负荷开关导电回路的电阻。

4）交流耐压试验。

5）检查操动机构线圈的最低动作电压。

6）操动机构的试验。

（2）隔离开关与负荷开关的有机材料传动杆的绝缘电阻值，不应低于表5-18的规定。

（3）测量高压限流熔断器熔丝的直流电阻值，与同型号产品相比不应有明显差别。

（4）测量负荷开关导电回路的电阻值宜采用电流不小于100A的直流压降法，测试结果不超过产品技术条件的规定。

（5）交流耐压试验　三相同一箱体的负荷开关，应按相间及相对地进行耐压试验，其余均按相对地或外壳进行。试验电压应符合表5-19中“断路器”的规定。对负荷开关还应按产品技术条件规定进行每个断口的交流耐压试验。

（6）检查操动机构线圈的最低动作电压，应符合制造厂的规定。

（7）操动机构的试验

1）动力式操动机构的分、合闸操作，当其电压或气压在下列范围时，应保证隔离开关的主闸刀或接地闸刀可靠地分闸和合闸：

①　电动机操动机构：当电动机接线端子的电压在其额定电压的80%～110%范围内时；

②　压缩空气操动机构：当气压在其额定气压的85%～110%范围内时；

③　二次控制线圈和电磁闭锁装置：当其线圈接线端子的电压在其额定电压的80%～110%范围内时。

2）隔离开关、负荷开关的机械或电气闭锁装置应准确可靠。

7. 高压套管

（1）套管的试验项目

1）测量绝缘电阻。

2）测量20kV及以上非纯瓷套管的介质损耗角正切值tanδ和电容值。

3）交流耐压试验。

4）绝缘油的试验（有机复合绝缘套管除外）。

5）SF_6套管气体试验。

注：整体组装于35kV油断路器上的套管，可不单独进行tanδ的试验。

（2）测量绝缘电阻

1）测量套管主绝缘的绝缘电阻。

2）63kV 及以上的电容型套管，应测量“抽压小套管”对法兰或“测量小套管”对法兰的绝缘电阻。采用 2500V 绝缘电阻表测量，绝缘电阻值不应低于 1000MΩ。

（3）测量 20kV 及以上非纯瓷套管的介质损耗角正切值 tanδ 和电容值

1）在室温不低于 10℃的条件下，套管的介质损耗角正切值 tanδ 不应大于表 5-25 的规定；

表 5-25　套管主绝缘介质损耗角正切值 tanδ（%）的标准

套管主绝缘类型		tanδ（%）最大值
电容式	油浸纸	0.7（500kV 套管 0.5）①
	胶浸纸	0.7②
	胶粘纸	1.0（66kV 及以下电压等级套管 1.5）①②
	浇铸树脂	1.5
	气体	1.5
	有机复合绝缘③	0.7
非电容式	浇注树脂	2.0
	复合绝缘	由供需双方商定
其他套管		由供需双方商定

注：1　所列的电压为系统标称电压。

2　对 20kV 及以上电容式充胶或胶纸套管的老产品，其 tanδ（%）值可为 2 或 2.5。

3　有机复合绝缘套管的介损试验，宜在干燥环境下进行。

2）电容型套管的实测电容量值与产品铭牌数值或出厂试验值相比，其差值应在 ±10% 范围内。

（4）交流耐压试验

1）试验电压应符合表 5-15 的规定；

2）纯瓷穿墙套管、多油断路器套管、变压器套管、电抗器及消弧线圈套管，均可随母线或设备一起进行交流耐压试验。

（5）绝缘油的试验

1）套管中的绝缘油应有出厂试验报告，现场可不进行试验。但当有下列情况之一者，应取油样进行试验（水分、击穿电压、色谱试验）：

①　套管的介质损耗角正切值超过表 5-25 的规定值；

②　套管密封损坏，抽压或测量小套管的绝缘电阻不符合要求；

③　套管由于渗漏等原因需要重新补油时。

2）套管绝缘油的取样、补充或更换时进行的试验：

①　更换或取样时应按本章第四节的表 5-42 中第 8、11 项的规定进行；

②　电压等级为 500kV 的套管绝缘油，宜进行油中溶解气体的色谱分析；油中溶解气体组分含量（μL/L）不宜超过下列任一值：总烃：10，H_2：150，C_2H_2：0；

③　补充绝缘油时，除按上述规定外，尚应按本章第四节“绝缘油的试验”第（3）条的规定进行；

④　充电缆油的套管须进行油的试验时，可按表 5-60 的规定进行。

8. 悬式绝缘子和支柱绝缘子

（1）悬式绝缘子和支柱绝缘子的试验项目

1）测量绝缘电阻。

2）交流耐压试验。

（2）绝缘电阻值

1）用于 330kV 及以下电压等级的悬式绝缘子，每片悬式绝缘子的绝缘电阻值，不应低于 300MΩ。用于 500kV 电压等级的不应低于 500MΩ。

2）35kV 及以下的支柱绝缘子的绝缘电阻值，不应低于 500MΩ。

3）采用 2500V 绝缘电阻表测量绝缘子绝缘电阻值，可按同批产品数量的 10% 抽查。

4）棒式绝缘子不进行此项试验。

5）半导体釉绝缘子的绝缘电阻，应符合产品技术条件的规定。

（3）交流耐压试验

1）35kV 及以下的支柱绝缘子，可在母线安装完毕后一起进行，试验电压应按表 5-15 的规定。

2）35kV 多元件支柱绝缘子的交流耐压试验值：

①　两个胶合元件者，每元件 50kV；

②　三个胶合元件者，每元件 34kV。

3）悬式绝缘子的交流耐压试验电压均取 60kV。

9. 避雷器

（1）避雷器的试验项目

1）测量金属氧化物避雷器及基座绝缘电阻；

2）测量金属氧化物避雷器的工频参考电压和持续电流；

3）测量金属氧化物避雷器直流参考电压和0.75倍直流参考电压下的泄漏电流；

4）检查放电计数器动作情况及监视电流表指示；

5）工频放电电压试验。

注：1 无间隙金属氧化物避雷器的试验项目应包括本条第1、2、3、4款的内容，其中第2、3两款可选做一款；

2 有间隙金属氧化物避雷器的试验项目应包括本条第1款、第5款的内容。

（2）金属氧化物避雷器绝缘电阻测量

1）35kV以上电压：用5000V兆欧表，绝缘电阻不小于2500MΩ；

2）35kV及以下电压：用2500V兆欧表，绝缘电阻不小于1000MΩ；

3）低压（1kV以下）：用500V兆欧表，绝缘电阻不小于2MΩ。基座绝缘电阻不低于5MΩ。

（3）测量金属氧化物避雷器的工频参考电压和持续电流

1）金属氧化物避雷器对应于工频参考电流下的工频参考电压，整支或分节进行的测试值，应符合现行国家标准《交流无间隙金属氧化物避雷器》GB 11032—2010或产品技术条件的规定；

2）测量金属氧化物避雷器在避雷器持续运行电压下的持续电流，其阻性电流或总电流值应符合产品技术条件的规定。

注：金属氧化物避雷器持续运行电压值参见现行国家标准《交流无间隙金属氧化物避雷器》GB 11032—2010。

（4）测量金属氧化物避雷器直流参考电压和0.75倍直流参考电压下的泄漏电流，应符合下列规定：

1）金属氧化物避雷器对应于直流参考电流下的直流参考电压，整支或分节进行的测试值，不应低于现行国家标准《交流无间隙金属氧化物避雷器》GB 11032—2010的规定，并符合产品技术条件的规定。实测值与制造厂规定值比较，变化不应大于±5%；

2）0.75倍直流参考电压下的泄漏电流值不应大于50μA，或符合产品技术条件的规定；

3）试验时若整流回路中的波纹系数大于1.5%时，应加装滤波电容器，可为0.01～0.1μF，试验电压应在高压侧测量。

（5）检查放电计数器的动作应可靠，避雷器监视电流表指示应良好。

（6）工频放电电压试验

1）工频放电电压，应符合产品技术条件的规定；

2）工频放电电压试验时，放电后应快速切除电源，切断电源时间不大于0.5s，过电流保护动作电流控制在0.2～0.7A。

（7）测量不同用途的金属氧化物避雷器的工频参考电压、0.75倍直流参考电压值见表5-26～表5-32。

表5-26 典型的电机用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流5kA等级	标称放电电流2.5kA等级
		发电机用避雷器	电动机用避雷器
4	3.2	5.7	5.7
8	6.3	11.2	11.2
13.5	10.5	18.6	18.6
17.5	13.8	24.4	—
20	15.8	28.0	—
23	18.0	31.9	—
25	20.0	35.4	—

表5-27 典型的低压避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流1.5kA等级
0.28	0.24	0.6
0.50	0.42	1.2

表5-28 典型的电机中性点用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流1.5kA等级
2.4	1.9	3.4
4.8	3.8	6.8
8	6.4	11.4
10.5	8.4	14.9
12	9.6	17.0
13.7	11.0	19.5
15.2	12.2	21.6

表 5-29　典型的变压器中性点用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流 1.5kA 等级
60	48	85
72	58	103
96	77	137
144	116	205
207	166	292

表 5-30　典型的电站和配电用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流 20kA 等级	标称放电电流 10kA 等级	标称放电电流 5kA 等级	
		电站用避雷器	电站用避雷器	电站用避雷器	配电用避雷器
5	4.0	—	—	7.2	7.5
10	8.0	—	—	14.4	15.0
12	9.6	—	—	17.4	18.0
15	12.0	—	—	21.8	23.0
17	13.6	—	—	24.0	25.0
51	40.8	—	—	73.0	—
84	67.2	—	—	121	—
90	72.5	—	130	130	—
96	75	—	140	140	—
100	78	—	145	145	—
102	79.6	—	148	148	—
108	84	—	157	157	—
192	150	—	280	—	—
200	156	—	290	—	—
204	159	—	296	—	—
216	168.5	—	314	—	—
288	219	—	408	—	—
300	228	—	425	—	—
306	233	—	433	—	—
312	237	—	442	—	—
324	246	—	459	—	—
420	318	565	565	—	—
444	324	597	597	—	—
468	330	630	630	—	—

表 5-31　典型的电气化铁道用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流 5kA 等级
42	34.0	65.0
84	68	130

表 5-32　典型的并联补偿电容器用避雷器参数（参考）（kV）

避雷器额定电压 U_r（有效值）	避雷器持续运行电压 U_c（有效值）	标称放电电流 5kA 等级
5	4.0	7.2
10	8.0	4.4
12	9.6	7.4
15	12.0	21.8
17	13.6	24.0
51	40.8	73.0
84	67.2	121
90	72.5	130

10. 电容器

（1）电容器的试验项目

1）测量绝缘电阻。

2）测量耦合电容器、断路器电容器的介质损耗

角正切值 tanδ 及电容值。

3）耦合电容器的局部放电试验。

4）并联电容器交流耐压试验。

5）冲击合闸试验。

（2）测量耦合电容器、断路器电容器的绝缘电阻应在二极间进行，并联电容器应在电极对外壳之间进行，并采用 1000V 绝缘电阻表测量小套管对地绝缘电阻。

（3）测量耦合电容器、断路器电容器的介质损耗角正切值 tanδ 及电容值

1）测得的介质损耗角正切值 tanδ 应符合产品技术条件的规定。

2）耦合电容器电容值的偏差应在额定电容值的 +10% ~ -5% 范围内，电容器叠柱中任何两单元的实测电容之比值与这两单元的额定电压之比值的倒数之差不应大于 5%；断路器电容器电容值的偏差应在额定电容值的 ±5% 范围内。对电容器组，还应测量各相、各臂及总的电容值。

（4）耦合电容器的局部放电试验

1）对 500kV 的耦合电容器，当对其绝缘性能或密封有怀疑而又有试验设备时，可进行局部放电试验。多节组合的耦合电容器可分节试验。

2）局部放电试验的预加电压值为 $0.8\times1.3U_m$，停留时间大于 10s；降至测量电压值为 $1.1U_m\sqrt{3}$时，维持 1min 后，测量局部放电量，放电量不宜大于 10pC。

（5）并联电容器的交流耐压试验

1）并联电容器电极对外壳交流耐压试验电压值应符合表 5-33 的规定。

2）当产品出厂试验电压值不符合表 5-33 的规定时，交接试验电压应按产品出厂试验电压值的 75% 进行。

表 5-33　并联电容器交流耐压试验电压标准

额定电压/kV	<1	1	3	6	10	15	20	35
出厂试验电压/kV	3	6	18/25	23/30	30/42	40/55	50/65	80/95
交接试验电压/kV	2.25	4.5	18.76	22.5	31.5	41.25	48.75	71.25

注：斜线下的数据为外绝缘的干耐受电压。

（6）在电网额定电压下，对电力电容器组的冲击合闸试验，应进行 3 次，熔断器不应熔断；电容器组中各相电容的最大值和最小值之比不应超过 1.08。

二、测量和试验方法

1. 开关分、合闸时间的测量

低速或中速动作的断路器，一般用电秒表测量，高速动作的常用电磁录波器测量。电磁录波器的使用方法见“3. 分、合闸速度的测量及调整”。

（1）合闸时间的测量　35kV 油断路器通常都用电秒表测量，接线图见图 5-12。将交流 220V、直流 220V（且能提供足够的合闸电流）接通，使电秒表与断路器操动机构得电，准备合闸；闭合 QK（必须保证两刀闸同步），电秒表开始转动，同时合闸接触器动作，断路器合闸；断路器接通后，电秒表停走，其所指示的时间就是本次合闸的时间；重复三次试验，其平均值即为断路器的合闸时间。

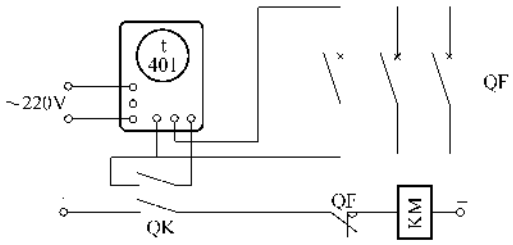


图 5-12　断路器合闸时间测量接线示意图

QK—单极刀开关　t—401 型电秒表　QF—被试断路器

KM—合闸接触器线圈　QF—断路器辅助触头

（2）分闸时间的测量　接线图见图 5-13。测量方法基本同上，所不同的是利用分闸线圈，QK 闭合后分闸线圈接通电源，断路器分闸，秒表停走，并记下分闸时间。同样应取三次的平均值。

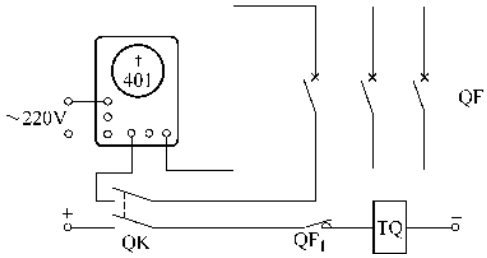


图 5-13　断路器分闸时间测量接线示意图

QK—单极刀开关　QF—断路器　QF_1—断路器辅助触头

t—401 型电秒表　TQ—断路器分闸线圈

做上述试验时，合闸速度要快，通电时间要短，断路器动作后应立即切断电源再观察电秒表，以防线圈通电时间长而过热烧坏。

测量结果应符合产品要求，见表 5-34，变化范围一般不得超出 10%。测量时应在额定电压、气压、液压下进行，当测得时间超过规定时，应先检查线圈端子上的电压，必要时可使用稳压电压。

表 5-34　常用油断路器的运动速度、动作时间和导电回路电阻数据（仅供参考）

序号	油断路器型号	运动速度/（m/s）				动作时间/s				自动重合闸无电流间隔时间/s	动作同时性/mm 或 ms				导电回路电阻/μΩ		备注
		合闸		分闸		合闸		分闸			合闸		分闸		一相导电回路	灭弧回路	
		刚合	最大	刚分	最大	固有	完全	固有	完全		相间	同相	相间	同相			
1	DN1-10/200-100			1.28～1.72	2.2～3.0	0.22	0.25	0.07	0.18			2			350		
	DN1-10/400-100			1.28～1.72	2.2～3.0	0.22	0.25	0.07	0.18			2			180		
	DN1-10/600-100			1.28～1.72	2.2～3.0	0.22	0.25	0.07	0.18			2			150		
2	DN2-6	1.3～1.9	1.5～2.1	1.8～2.3	2.8～3.3			0.08							300～350		
3	DN3-10			1.28～1.72		0.15		0.08	0.10	0.3	3				160		
4	SN1-10，SN1-10G	2.3～2.6	2.6～3.0	1.75～2.0	2.7～3.3	0.2	0.23	0.1	0.18						100		
5	SN2-10/$\frac{400}{800}$-350G	2.3～2.6	2.6～3.0	1.75～2.0	2.7～3.3	0.2	0.23	0.1	0.18						100		
	SN2-10/1000-350G	2.3～2.6	2.6～3.0	1.75～2.0	2.7～3.3	0.2	0.23	0.1	0.18						75		
6	SN3-10/2000-500	1.3～1.9	1.5～2.1	1.8～2.3	2.8～3.3	0.42～0.45	0.5	0.11～0.14	0.28						26	260	
	SN3-10/3000-500	1.1～1.6	1.2～1.8	1.8～2.2	2.8～3.2	0.42～0.45	0.5	0.11～0.14	0.28						16	260	
7	SN4-10，SN4-10G	2.1～2.5	2.2～2.6	1.7～2.0	2.0～2.5		0.65	0.15	0.35		5	3			60	300	
8	SN4-20，SN4-20G	2.0～2.4	2.0～2.55	1.55～1.75	1.9～2.3		0.65～0.75	0.15	0.35		5	3			60	150	
9	SN5-10	2.2～2.6	2.6～3.0	1.7～2.0	2.7～3.3	0.2	0.23	0.1	0.18						100		
10	SN6-10	2.2～2.6	2.6～3.0	1.7～2.0	2.7～3.3	0.2	0.23	0.1	0.18						100		
11	SN8-10/600-200	3.0～4.5		3.5～5.0		0.25		0.07		0.5	4				120		
	SN8-10/$\frac{600}{1000}$-350	3.0～4.5		3.5～5.0		0.25		0.1		0.5	4				120		
12	SN9-10/600-250			2.6	4			0.05		0.5	3				85		
	SN9-10/600-350			2.5	3.7			0.07		0.5	3				60		
	DN9-10/1000-350			2.5	3.7			0.07		0.5	3				50		
13	SN10-10/600-350	3.8～4.2		4.8～5.2		0.2		0.05		0.5	3				100		
	SN10-10/1000-500	3.8～4.2		4.8～5.2		0.2		0.05		0.5	3				75		
14	SN11-10					0.23		0.05		0.5							
	SN11-10G					0.26		0.1		0.5							
15	DW1-35		1.7	1.0～1.4	2.9	0.27		0.06	0.12		4	2			550		
16	DW1-60	2.0～2.6	2.1～2.7	1.4～1.8	3.0～3.8		0.7	0.1	0.18		4	2			550		
	DW1-60G	1.7～2.5	2.0～2.6	1.1～1.6	3.0～3.8		0.7	0.12	0.19		4	2			200		
17	DW2-35/$\frac{600}{1000}$-750	1.5～2.1	2.0～2.5	1.5～1.7	2.3～3.5	0.35～0.43	0.45	0.05	0.13	0.6	4	2			300～400		
	DW2-35/$\frac{600}{1000}$-1000	1.5～2.1	1.7～2.4	1.6～2.1	2.7～3.4	0.35～0.43	0.45	0.05	0.13	0.6	4	2			300～400		

（续）

序号	油断路器型号	运动速度/（m/s）				动作时间/s				自动重合闸无电流间隔时间/s	动作同时性/mm 或 ms				导电回路电阻/μΩ		备注
		合闸		分闸		合闸		分闸			合闸		分闸		一相导电回路	灭弧回路	
		刚合	最大	刚分	最大	固有	完全	固有	完全		相间	同相	相间	同相			
18	DW6-35			1.2～1.8	2.2～2.8	0.27		0.1			2	2			450		
19	DW8-35	2.3～2.9	2.4～3.0	2.4	2.7	0.3		0.07		0.5	4	2			250		
20	SW1-35	1.7～2.0	2.52	1.25～1.5	2.66	0.23	0.3	0.08	0.18～0.2		4				200		
21	SW2-35/1000-1000	2.9～3.5	2.9～3.9	2.8～3.4	4.4～5.6	0.4		0.06		0.6	3				140		配装 CD3-XG 操动机构
	SW2-35/1000-1000	2.9～3.5	3.5～4.5	2.8～3.4	4.4～5.6	0.4		0.06		0.6	3				140		配装 CT2-XG 操动机构
	SW2-35/1500-1500	3.2～3.8	3.2～4.2	3.5～4.1	4.7～6.3	0.4		0.06		0.6	3				70		
22	SW2-60	1.5～2.5	2.5～3.5	3.5～5.0	7.5～8.6		0.5	0.08	0.12	0.67	5				150		
23	SW3-35/600-400	2.6～4.6	4.0～7.1	4.5～5.5	5.9～7.1	0.12		0.06		0.5	6				90		
	SW3-35/1000-1000/1500	2.6～4.6	4.0～7.1	4.5～5.5	5.9～7.1	0.16		0.06		0.5	6				90		
24	SW4-35	3.3～4.0	3.5～4.3	3.9～4.5	5.2～6.0		0.35	0.08		0.5	6				120		
25	DW2-110	2.0～2.8（2.45～3.15）	3.2～4.8	1.35～1.95	3.45～5.05	0.8	0.85	0.06	0.35	1.2	4	2			800		括号内数值是指外触头刚合或刚分
26	DW3-110	1.5～2.1（2.9～3.7）	2.9～3.7	1.3～1.7（1.9～2.6）	2.3～3.1	0.5～0.6		0.04～0.05		0.7～0.8	4	2			1100～1300		括号内数值是指外触头刚合或刚分
	DW3-110F	1.5～2.1（2.6～3.4）	3.1～3.9	1.3～1.7（2.0～2.6）	2.3～3.1	0.5～0.6		0.04～0.05		0.7～0.8	4	2			1600～1800		
27	DW3-220	2.4～3.0（4.0～4.8）	4.0～4.8	1.3～1.7（2.5～3.1）	2.8～3.6	0.7～0.8		0.04～0.05	0.15		4	2			1200～1520		括号内数值是指外触头刚合或刚分
28	SW1-110	1.3～1.45	1.7～1.85	2.2～2.6	2.4～2.8	0.3～0.5		0.08		0.8		2			700		
29	SW3-110	2.8		5.2～5.8	6.2～7.6	0.4		0.07		0.5	4				160		
	SW3-110G	2.9		4.7～5.5	5.9	0.4		0.07		0.5	4				180		
30	SW4-110	3.0～4.0		3.0～4.0	4.2～5.8	0.25		0.06		0.3	20		6	3	300		动作同时性以毫秒计
31	SW4-220	4.7～6.3		3.0～4.0	4.2～5.8	0.25		0.05		0.3	20		6	3	600		动作同时性以毫秒计
32	SW6-110	2.9～4.4		4.9～6.4	6.5～9.5	0.2		0.04		0.3	15		6		180		动作同时性以毫秒计
33	SW6-220	3.6～4.8		4.9～6.1		0.2		0.04		0.3	15	6	6	4	450		动作同时性以毫秒计
	SW6-220F	2.9～4.4		4.9～6.4	6.5～9.5	0.2		0.04		0.3	15	6	6	4	400		
34	SW7-110	6.4～6.6	6.4～6.6	6.9～7.1	10.5～13.5	0.2		0.04	0.08	0.4	10		5		95		动作同时性以毫秒计
35	SW7-220		6.0～8.0	9.0～11.0	14～16	0.2		0.04	0.07	0.3	15	5	5	3	170		动作同时性以毫秒计

开关分、合时间的测试也可用 KJTC 系列开关机械特性测试仪进行，测量使用方法见第二章相关内容。

2. 分、合闸三相触头同步性及触头行程的测量

通常使用灯泡法，也可用三只电秒表同时分别测量三相触头的动作时间，或用电磁录波器测量，方法见“3. 分、合闸速度的测量及调整”。也可用 KJTC 开关特性测仪进行，方法见第二章相关内容。

灯泡法的测量接线见图 5-14。测量时应用手动操作，使动、静触头缓慢接触或分离，仔细观察灯泡点亮或熄灭的同步性，同时可检查每一相的两对动、静触头的接触是否同步。另外，在缓慢分、合过程中，从灯开始点亮到合闸终止的这段行程便是触头的插入深度。

将油箱落下，在分闸位置上，在油断路器的绝缘提升杆或导电杆上划一水平标记，量出水平标记与某一基准点之间的垂直距离，这时可手动慢慢合闸，见图 5-14，待串联在某一相触头电路中的灯泡点亮时，再次测量标记与基准点的垂直距离，两次测量结果之差就是该相动触头合闸的行程。比较三相动触头合闸行程，就可得到用行程计算的三相合闸动作时间差。根据差值的大小调整绝缘提升杆或导电杆、动触头或静触头，直到三相的灯泡基本同时点亮为止。DW8-35 型多油开关的动触头和提升杆示意图见图 5-15，合闸时动触头的总行程为 200mm $\pm^{6}_{8}$mm，动触头和静触头接触后的超行程为 55mm ± 5mm。分闸后，动触头与静触头的断开距离为 142mm $\pm^{4}_{9}$mm。

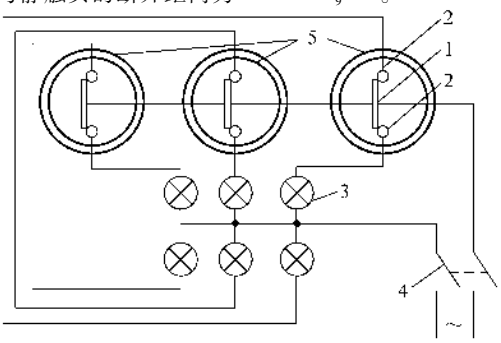


图 5-14　灯泡法测量断路器三相动作的同步性

1—动触头　2—静触头　3—灯泡　4—刀闸　5—油断路器

改变传动拉杆或水平连杆的长度可调整改变静触头和灭弧室在套管导电杆上的位置和方向，以及动触头在绝缘提升杆上的高、低位置。总行程与超行程调整之后，改变绝缘提升杆在钢提升杆上的上、下位置，即可调整各相动触头和静触头的断开距离。当绝缘提升杆到达极限位置后，可通过改变动触头在导电横梁上的位置高低来调整。

3. 分、合闸速度的测量及调整

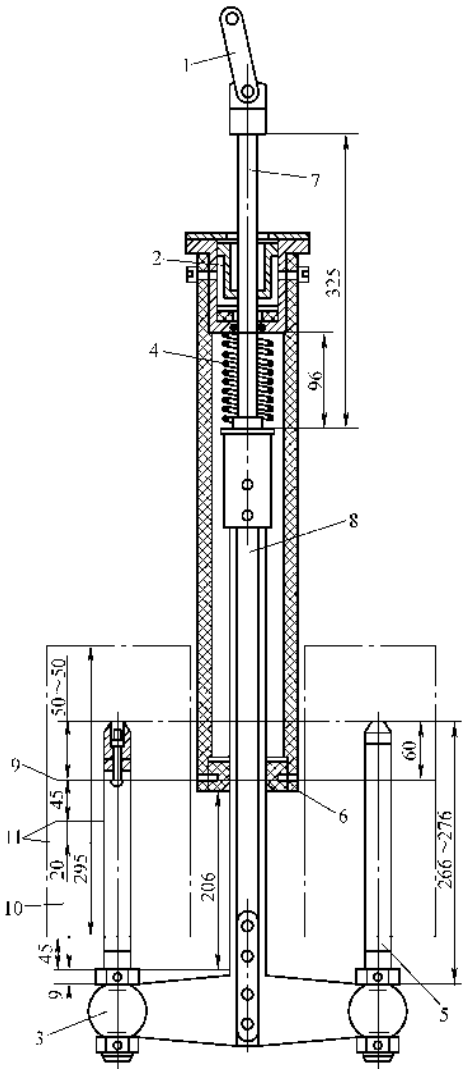


图 5-15　DW8-35 型多油断路器动触头及提升杆

1—连板　2—油缓冲器　3—导电横梁　4—分闸弹簧　5—动触头　6—绝缘导向管　7—钢提升杆　8—绝缘提升杆　9—静触头下端面　10—灭弧室　11—横吹口

通常用电磁示振器测量，示振器在油箱内的布置示意见图 5-16，并把其固定在油箱顶上特制的支架上，使划针对准绝缘提升杆。然后将绘图纸固定在钢纸板上，宽 20mm，长 800mm，并将钢纸板的上下端固定在绝缘提升杆上，使划针对准纸板的中心并将划针的压力调整好。

用手动操作断路器，当主触头与消弧室触头刚接触时，在纸条上划上记号并用划针对准此点，作为合闸的始点。然后给上示振器电源，用电动操作断路器合闸，合闸后将电源拉掉，在纸条上留下了一条曲线，见图 5-17a。电动分闸时，同样记录分闸曲线。分闸速度示振曲线见图 5-17b。

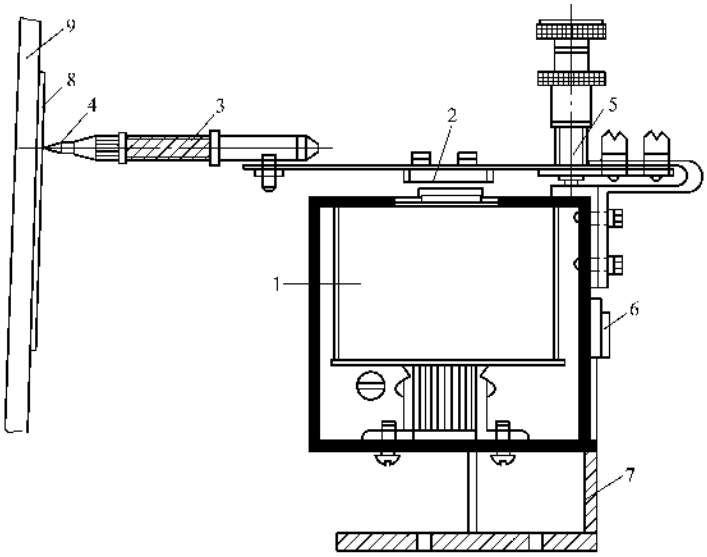


图 5-16 电磁振荡法测量断路器触头运动速度的布置方式

1—线圈 2—振动片 3—弹簧套 4—铅笔（划针） 5—振幅调节螺钉 6—刀闸 7—支座 8—纸带 9—绝缘提升杆

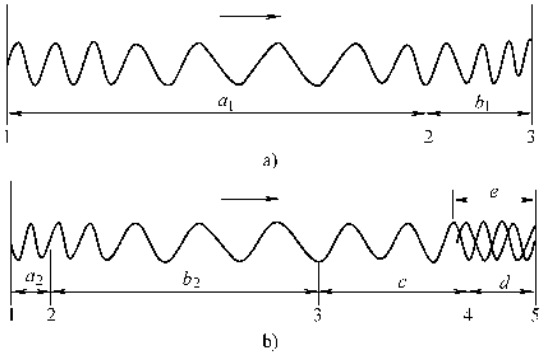


图 5-17

a）合闸速度示振曲线

1—动触头起始位置 2—触头接触位置 3—合闸终了位置

b）分闸速度示振曲线

1—动触头起始位置 2—动触头离开位置 3—动触头离开灭弧室位置 4—与缓冲器接触位置 5—分闸终了位置

根据示振曲线和预先测得的行程，可以求得分、合闸过程中的平均速度和任一点的即时速度。

（1）平均速度 V 可按下式计算：

$$V = S/t \tag{5-17}$$

式中 S——行程，单位为 m；

t——经历时间，$t = n \times 0.01$s，n 为该行程内振动频率数。

（2）即时速度 v 可按下式计算：

$$v = L/t \tag{5-18}$$

式中 L——两个波峰之间的距离，单位为 cm；

t——两个波峰之间的经历时间，单位为 s。

这里要注意以下几点：

1）测量时油箱应注满油，无油时，三相共箱测得的值要偏大 15% ~20%，三相分箱时要偏大 5% ~7%。

2）直流操作电压应为额定值，其电源应有足够的输出电流，不至于因为起动电流大而有较大的压降。

3）测量时的环境温度应在 10 ~35℃下进行，以免油的粘度影响速度。

4）示振器的振动片应使用较厚的中碳钢，并固定牢固。

5）纸带的长度应大于横梁的行程，一般为 200 ~400mm，宽度约为 20 ~40mm，振幅的调整可调到 10mm。

6）计算值应与表 5-34 中的数据进行比较，超差的应进行调整，在额定条件下，允许变化范围为 -20% ~ +10%。

（3）速度测量中存在问题的分析及调整

1）合闸与分闸运动速度同时减慢：通常是运动部件装配不当，轴和孔不配套或者润滑不良。应拆洗运动部件，涂抹合适的润滑脂，重新装配。

2）合闸运动速度减慢或加快：速度减慢可能是分闸弹簧压缩行程偏大和分闸缓冲器压缩行程偏小；速度加快可能是分闸弹簧压缩行程偏小及合闸缓冲器的压缩行程偏小。同时，触头压紧弹簧的压缩行程偏大时，速度减慢，反之加快。可拧动分闸弹簧和触头压紧弹簧的定位螺母，改变弹簧的长度和预压力；变动合闸或分闸缓冲器的顶杆或冲击板的高低位置，改变缓冲的大小和作用时间；或者增减弹簧下面的垫片，改变弹簧的压缩行程。

3）分闸运动速度减慢或加快：速度减慢，可能

是分闸弹簧的压缩行程偏小，合闸缓冲器的行程也偏小；当速度加快，可能是分闸弹簧的压缩行程偏大、分闸缓冲器的压缩行程偏小；同时，触头压紧弹簧的压缩行程偏大时，速度加快；反之减慢。调整方法与2）相同。

4）瞬间运动速度减慢或加快：当同时存在影响油断路器运动速度减慢或加快的原因时，便可能出现合闸或分闸过程中某一瞬间运动速度的减慢或加快，而其他阶段的运动速度正常。因此必须同时消除引起速度变化的原因才能解决。一般是先解决合闸原因，再解决分闸原因，最后以实际操作试验为准。

（4）按说明调整止动螺钉与提升杆顶端的间隙及传动箱内制止螺钉与曲柄之间的距离。

测量结果应符产品技术条件的规定，且应为额定操作电压下进行。

4. 电动合闸操作试验

将电动操动机构调整试验合格后，即可进行油断路器电动合闸操作试验。在直流母线的额定电压下进行分、合闸操作各三次，有调压条件时可在115%、90%（装有自动重合闸装置的断路器为80%）额定母线电压下进行操作各两次。断路器应动作正常，复测导电回路的直流电阻，应与前面测量的值相符。

5. 电磁操动机构的试验及调整

1）测量分闸电磁铁、合闸电磁铁及合闸接触器的直流电阻，电阻值应符合制造厂规定。如有明显减少，则可能有短路现象；有明显增加，则可能焊接不良或断线。

2）测量线圈的绝缘电阻，一般应用500V绝缘电阻表测量上述各个线圈对地的绝缘电阻，应大于2MΩ。

3）按照图5-18复核操动机构内部接线是否正确，有无松动或脱扣（这里要以厂家提供的接线图为准）。

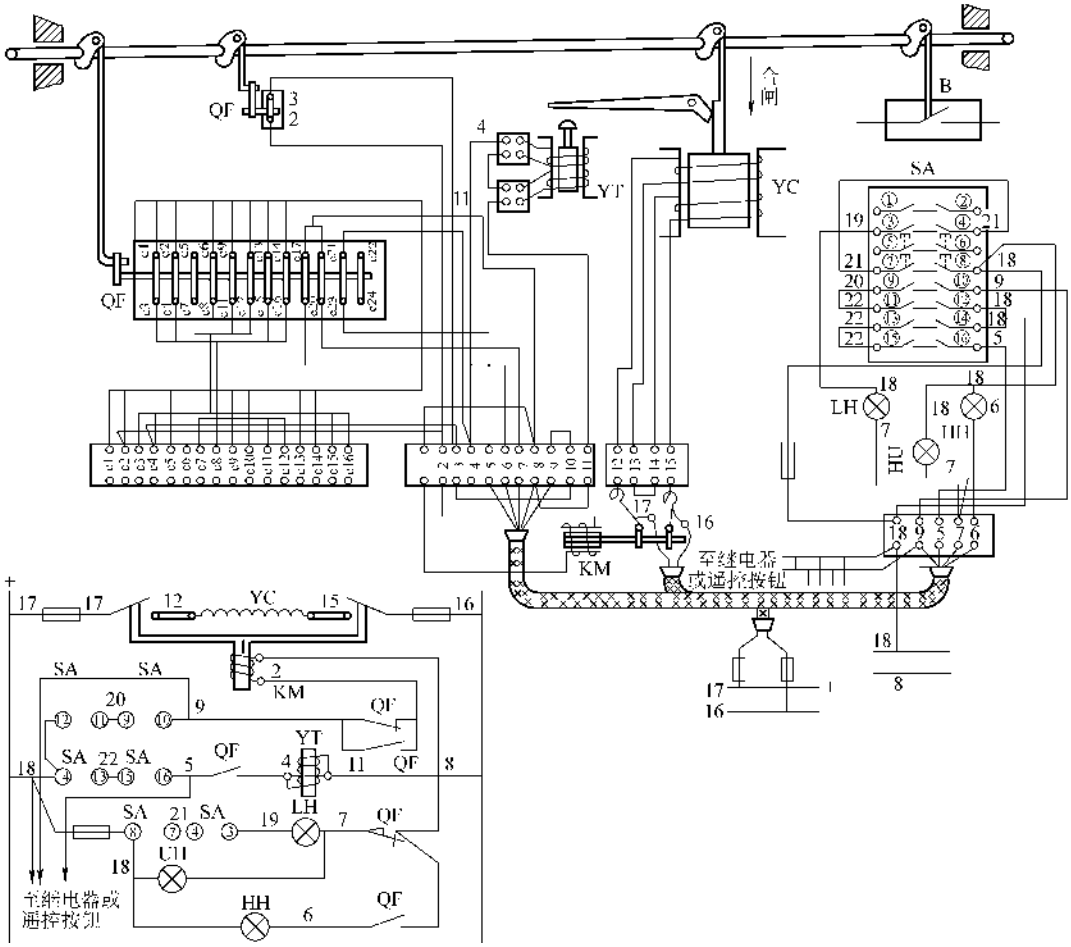


图5-18　CD11-X型电磁操动机构接线示意图

YC—合闸线圈　YT—分闸线圈　QF—F2型辅助开关触头　KM—CZ0-40型直流接触器

SA—控制开关　LH—分闸信号灯　HH—合闸信号灯　UH—由远控继电器或手动脱扣的分闸信号灯

4）测量合闸接触器或电磁铁及分闸电磁铁的最低动作电压，线圈端子上的电压不应超过表 5-35 中规定的范围。

表 5-35 断路器操动机构最低动作电压值

部件名称	最低操作电压（%）U_N	
	不少于	不大于
合闸接触器	30	80（65）
分闸电磁铁	30	65

注：括号内数字适用于能自动重合闸的断路器。

试验电路见图 5-19。在合闸状态下，调节电位器使 YC 电压为 30% 额定电压，断路器应不跳闸；然后升高电压，直至跳闸，此时的电压值即为分闸最低电压。同样在分闸状态下，可以测出合闸的最低电压，且在 30% 时不能合闸。

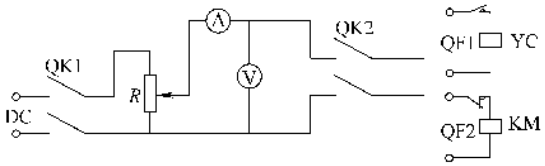


图 5-19 操动机构最低动作电压的试验

DC—操作电源 *R*—可变电阻

YC—分闸电磁铁线圈 KM—合闸接触器线圈

QF1—断路器常开辅助触头 QF2—断路器常闭辅助触头

QK1、QK2—单相刀闸

测量时应保证断路器动作后能立即切断电源，以免线圈长时得电而烧坏；电源的容量应足够大且能保证电压基本不变；发生异常时，除检查接线外，要注意电磁铁传动部分有否卡涩，双线圈要复核极性是否正确；合闸线圈因动作电流较大，一般不进行电压试验；试验时，不允许在不带断路器动作情况下进行试验。

5）操动机构动作情况的检查应与断路器电动操作合闸试验结合进行，主要检查额定电压下或高于、低于额定电压时，操作回路是否正常，分合是否正常，传动机构是否灵活可靠、动作正常。检查的项目和操作次数见表 5-36 和表 5-37。

表 5-36 直流电磁或弹簧操动机构的操动试验

操作类别	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值（%）	操作次数
合、分	110	3
合闸	85（80）	3
分闸	65	3
合、分、重合	100	3

注：括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器。

表 5-37 液压操动机构的操动试验

操作类型	操作线圈端钮电压与额定电源电压的比值（%）	操作液压	操作次数
合、分	110	产品规定的最高操作压力	3
合、分	100	额定操作压力	3
合	85（80）	产品规定的最低操作压力	3
分	65	产品规定的最低操作压力	3
合、分、重合	100	产品规定的最低操作压力	3

注 1 括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器。

2 模拟操动试验应在液压的自动控制回路能准确、可靠动作状态下进行。

3 操动时，液压的压降允许值应符合产品技术条件的规定。

现将各类操动机构常见故障列于表中，供读者参考，见表 5-38 ~ 表 5-40。

表 5-38 电磁式操动机构的常见故障及处理

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
1	合闸电磁铁和分闸电磁铁不起动	1）合闸电路和分闸电路不通	检查电气控制接线有无错误，合闸和分闸电磁线圈、合闸接触器线圈、熔断器等是否断线	
		2）辅助开关不切换或接点接触不好	检查并重新调整	
		3）合闸接触器接触不良或动触头被灭弧罩卡住	调整合闸接触器的压紧弹簧，锉磨卡阻部分使动触头和灭弧罩之间的间隙不小于 1mm	
		4）合闸和分闸电磁铁被卡住	针对卡阻原因进行处理	
		5）合闸和分闸电磁线圈连接错误	测量线圈的极性，重新连接	

（续）

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
2	合不上闸或合闸速度低	1）合闸电压低	调整电源电压，降低引线的电压降	
		2）合闸电路与分闸电路串通	从接线和绝缘等方面消除串电现象	
		3）辅助开关切换过早	检查并重新调整	
		4）机械部分动作不灵活或有卡阻	加强润滑，并针对卡阻原因进行处理	
		5）合闸电磁铁的顶杆太短	调长顶杆，使滚轮的最高位置超过托架1～2mm	
		6）锁扣机构搭扣不牢	调整卡板和脱扣板的接触面，卡板可高出0.5mm，并检查托架是否平正	
		7）分闸机构未完全复位	调整卡板和脱扣板的复归弹簧、传动拉杆的长度，检查分闸电磁铁的剩磁影响，加铜垫或换铜顶杆	
		8）合闸缓冲弹簧的套筒太短	伸长套筒，分闸后套筒与固定架下平面相平而不脱出	
3	分不开闸	1）机械部分动作不灵活或有卡阻	加强润滑，并针对卡阻原因进行处理	
		2）分闸电磁铁的顶杆太长或太短	调整顶杆的长度	
		3）分闸电磁铁未完全复位	检查有无剩磁影响，加铜垫或换铜顶杆	
		4）锁扣机构搭扣过度或卡板的传动连杆构成死点	调整卡板和脱扣板的间隙，在分闸时为1～2mm，减少扣入长度	
		5）止动螺钉没有松开	松开螺钉，使脱扣板和卡板能准确脱扣	
		6）并联的分闸电磁线圈一只断线	更换线圈	
4	分闸电磁线圈的起动电压低	1）分闸电磁系统的吸力较强	在分闸电磁铁的顶杆上加制动弹簧	
		2）脱扣板的复归弹簧和尾端钢片软弱	更换复归弹簧和尾端钢片，或者重新调整复归弹簧的着力点，使脱扣力矩增大	

表 5-39　弹簧式操动机构的常见故障及处理

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
1	合不上闸、合闸后又分闸	1）合闸电路不通	检查电气控制接线有无错误	
		2）辅助开关和合闸电磁线圈有缺陷	检查辅助开关的切换和接触，电磁线圈部分有无断线和松动	
		3）合闸电磁铁的动作不可靠	调整动铁心和静铁心之间的距离和动铁心的冲程	
		4）分闸锁扣没有复位	调整分闸锁扣，使储能过程中，蜗轮逆时针方向旋转约100°时，分闸锁扣完全复位	
		5）连杆与合闸锁扣的位置不恰当	调整连杆，使其作用力不要通过合闸锁扣的轴心	
		6）斧形挂钩的搭扣深度太小	调整斧形杠杆与锁扣的扣入大于5mm，合闸后能相互可靠地挂住	
		7）传动系统卡住	针对卡阻情况进行润滑和检修	
		8）蜗轮和蜗杆配合不好	调整两者的中心一致，或者更换蜗轮	
2	分不开闸	1）分闸电路不通	检查电气控制接线有无错误	
		2）辅助开关和分闸电磁线圈有缺陷	检查辅助开关的切换和接触，电磁线圈部分有无断线	
		3）分闸电磁铁动作不准确	调整动铁心的冲程	
		4）分闸锁扣过死点	调整分闸锁扣的止动螺钉，不许锁扣机构过死点	
		5）传动系统卡住	针对卡阻情况进行润滑和检修	
		6）分闸挂钩的轴销损坏或松动	检查或更换轴销	

（续）

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
3	储能以后自动合闸	1）合闸锁扣与连杆的扣入深度不够	调整合闸锁扣架或挂钩的位置使扣入深度达到3～4mm	
		2）合闸挂钩调整不当	除调整合闸锁扣与连杆的扣入深度外，并调整止动螺钉间隙为0.2～0.5mm	
		3）储能电动机断电偏迟，连杆越过垂直位置，合闸锁扣或挂钩失去作用	调整联锁开关的断电时间以及离合器的分开和闭合动作	
		4）合闸锁扣在合闸后未复归，再次储能时连杆滑脱	研磨锁扣背面或调整锁扣和挂钩的弹簧	
4	储能时自动分闸	二级分闸机构处锁钩未扣上	调整锁钩的扣入深度不小于6mm	

表 5-40 液压式操动机构的常见故障及处理

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
1	合不上闸、分不开闸	1）合闸电路和分闸电路不通	检查电气控制接线有无错误，合闸和分闸电磁线圈、熔断器等是否断线	
		2）辅助开关和联锁开关不通或接触不好	检查并重新调整	
		3）合闸和分闸电磁铁被卡住或顶杆长度不够	调整电磁铁顶杆，使能打开一级阀，并针对卡阻原因检修电磁铁	
		4）一级阀和二级阀活塞卡阻，一级阀阀杆太短	检修一级阀和二级阀，更换一级阀阀杆	
		5）合闸阀二级活塞上部漏油（影响合闸）	检查漏油处密封圈是否完整并加以更换	
		6）油压太低，联锁开关闭锁	检查贮氮罐的密封，处理漏气问题；检查油泵电动机的电路和联锁开关的动作是否正常	
		7）工作缸的活塞卡住	检修工作缸	
2	合闸以后自动分闸	1）分闸阀下部的节流孔堵住，保持油路不通	检查并清洗保持油路	
		2）合闸阀上部的保持油路渗漏	检修渗漏处，直到能建立起保持油压	
		3）分闸阀球未复位或密封不良	检修分闸阀，针对缺陷进行处理	
3	油压过高	1）油泵电动机不按规定自动停机	检查联锁开关、电接点压力表、接触器等的动作是否正常	
		2）油液进到储压器的氮气侧	检查并更换储压器活塞的密封	
		3）电接点压力表失灵	在表下加装阻尼孔或更换压力表	
		4）环境温度升高	储能过程中压力短时升高，可将闭锁压力的上限少许提高	
4	油泵启动频繁	1）高压油系统渗漏	检修储压器和工作缸的活塞密封，以及其他固定密封处	
		2）合闸一级阀，二级阀的阀盘处渗漏	在合闸状态下检查渗漏并检修渗漏部位	
		3）合闸一级阀，二级阀的阀球和工作缸活塞处渗漏	在分闸状态下检查渗漏并检修渗漏部位	
5	油泵打压太慢或打不上压	1）油泵柱塞处的吸油阀堵死或渗漏，高压单向逆止阀渗漏	检修吸油阀和逆止阀，换密封圈和清除脏污	
		2）油泵的柱塞损坏	更换柱塞	
		3）滤过器和油泵进油管路堵塞	清洗有关部件	
		4）油泵内部有空气	检查低压油路有无漏油渗气处，重新进行排气	

6）电磁操动机构的安装应符号下列要求：辅助开关动作准确、可靠，触点接触良好；机构合闸至顶点时，支持板与合闸滚轮间应保持一定的间隙，且应符合产品的技术规定；分闸制动板应可靠地扣入，脱扣销钩与底板轴间应保持一定的间隙，且应符合规定。

操动机构安装应固定牢靠，底座或支架与基础间的垫片不宜超过3片，总厚度不应超过20mm，并与断路器底座标高相配合，各片间应电焊牢固；机构的零部件齐全，各转动部位应涂以适合当地气候条件的润滑脂；电动机转向正确；各接触器、继电器、微动开关、压力开关、辅助开关的动作应准确可靠，触点接触良好，无烧损锈蚀；分合闸线圈的铁心动作灵活，无阻卡；加热装置的绝缘及控制元件的绝缘应良好。信号灯指示正确，熔断器熔丝完好。

6. 多油断路器及操动机构在检查测试调整中应注意的事项

1）同相支持瓷套的法兰面应在同一水平面上，各支柱中心线间距离误差不应大于5mm；三相联动的油断路器，其相间支持瓷套法兰面应在同一水平面上。三相底座或油箱中心线的误差不应大于5mm。

2）支持瓷套内部应洁净，法兰垫密封良好，安放位置正确且紧固均匀；支持瓷套的卡固弹簧应穿到底。工作缸或定向三角架应固定牢固，工作缸的活塞杆表面应清洁，并有防雨防尘罩；定位连杆应固定牢固，受力均匀。

3）油断路器的灭弧室应作解体检查和清理，制造厂规定不必解体且有具体保证的10kV油断路器可进行抽查。解体检查时应由电钳工进行，必要时应由厂家协助。拆下部件应编号并画组装草图，记录顺序、方向、间隙、角度等，安装复原时必须保证正确无误。

4）油断路器的导电部分其触头表面应洁净，镀银部分不得锉磨；触头上的铜钨合金不得有裂纹或脱焊现象；其触头中心应对准，分合过程中无卡阻现象；同相各触头的弹簧压力应均匀一致，合闸时触头紧密，一般应用0.05mm×10mm塞尺检查应塞不进去；导电部分的编织铜线、可挠软铜片不应有伤痕或断裂，铜片间应无锈蚀，其固定螺栓应齐全紧固。

5）弹簧缓冲器或油缓冲器应清洁、固定牢固、动作灵活、无卡阻回跳现象，缓冲作用良好；油缓冲器注入油的规格及油位应符合要求。

6）三相联动或同相各柱之间的连杆，其拐臂应在同一水平面上，拐臂角度一致并使连杆与机构工作缸的活塞杆在同一中心线上；连杆拧入深度应符合产品技术规定，防松螺母拧紧。

7）操动机构与断路器的连接应紧固严密，受力均匀，传动机构动作灵活，无阻卡现象。

8）油断路器和操动机构的联合动作试验时，必须先进行手动慢分合操作，开关动作应缓慢平稳，不得有阻卡、滞留现象；产品规定无油时严禁快速分合闸的油断路器，必须充油后才能进行快速分合操作。无论哪种操作，机构指示器的分、合位置应与断路器触头实际分、合状态相符一致。

9）调整结束后注油前应检查以下项目：油断路器及其传动装置的所有连接部位应连接牢固；机构无变形，锁片锁牢，防松螺母拧紧，开口销子张开；具有油压活塞的油断路器，其压油活塞的尾部螺钉必须拧紧；油断路器内部不得遗留任何杂物；顶盖及检查孔应密封良好；断路器的油箱升降机构及钢丝绳等应完好，升降机构应操作灵活。

10）多油断路器内部需要干燥时，应将其处于合闸状态，以防提升杆变形；干燥过程中，升温及冷却速度应均匀，一般为10℃/h，干燥的最高温度不宜超过80～85℃；干燥结束后，应再次检查复测，绝缘应无脆裂变形，套管应无渗油，螺栓应紧固。

7. 电容器的试验

（1）绝缘电阻的测量　一般应用2500V绝缘电阻表测量两极短接后对外壳的绝缘电阻，在室温下测量应大于2000MΩ，至少应大于1000MΩ。

（2）电容值的测量　一般用交流阻抗法，接线见图5-20，电压表、毫安表应用0.5级，调压器0～15000V、1kVA。接通电源后，调至额定电压，待电流表的指针稳定后，读取仪表示值，代入下式计算：

$$C = \frac{I}{\omega U} \times 10^3 \qquad (5\text{-}19)$$

式中　I——试验时实测电流值，单位为mA；

U——试验时实测电压值，单位为V；

ω——试验时电源角频率，取314。

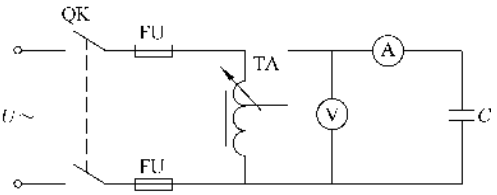


图5-20　交流阻抗法测量电容值

电容量值不超过产品出厂值的±10%。

测量三相电容时，方法与上相同，当需求各相电容值时，可按表5-41的接线而进行计算。

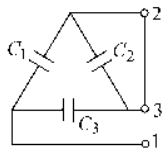
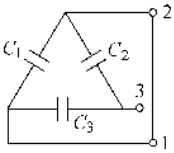
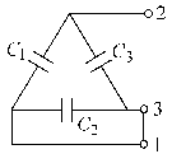
（3）交流耐压试验　二极对外壳交流耐压试验标准见表5-33。

（4）冲击合闸试验　冲击合闸试验应在安装完毕后进行，一般进行三次合闸、拉闸试验，同时应观测每相的电流，其各相电流的差值不应超过5%。试验后，将电源断开，检查熔丝是否熔断，否则应找出原因，处理后才能投入运行。

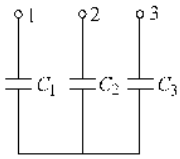
电容器的试验可用 ZL6 型自动 LCR 测量仪进行，具体使用方法见第二章相关内容。

表 5-41 三相电力电容器测量电容值试验接线和计算式

（1）三角形联结的三相电容器

测量次数	接线方式	短接端子	测量端子	测量电容	计算电容
1		2、3	1 与 2、3	$C_A = C_1 + C_3$	$C_1 = \frac{1}{2} \times (C_A + C_C - C_B)$
2		1、2	3 与 1、2	$C_B = C_2 + C_3$	$C_2 = \frac{1}{2} \times (C_B + C_C - C_A)$
3		1、3	2 与 1、3	$C_C = C_1 + C_2$	$C_3 = \frac{1}{2} \times (C_A + C_B - C_C)$

（2）星形联结的三相电容器

测量次数	接线方式	测量端子	测量电容	计算电容
1		1、2	C_{12}	$C_1 = 2C_{12}C_{31}C_{23}/(C_{31}C_{23} + C_{12}C_{23} - C_{12}C_{31})$
2		2、3	C_{23}	$C_2 = 2C_{12}C_{31}C_{23}/(C_{31}C_{23} + C_{12}C_{31} - C_{12}C_{23})$
3		1、3	C_{31}	$C_3 = 2C_{12}C_{31}C_{23}/(C_{12}C_{23} + C_{12}C_{31} - C_{31}C_{23})$

8. 压力表及压力动作阀的校验

1）压力表应用标准表同时加同一管道的压力进行试验，一般用手摇压力发生器进行，其误差应符合标准的要求。试验时应取示值最小值、中间值、最大值三个点进行，均应符合标准要求。

2）压力动作阀与压力表试验方法相同，只是将压力动作阀用标准表同时加同一管道的压力进行试验，在规定压力下阀应开启。

三、避雷器的试验

1. 绝缘电阻的测试　与上述相同

2. 电导或泄漏电流及非线性系数的测试

电导电流是指在相线端子和接地端子间加直流试验电压所测得的泄漏电流，试验电压和泄漏电流值见表 5-26～表 5-32，试验接线见图 5-21。其中 FS 型避雷器的绝缘电阻大于 2500MΩ 时，可不做漏泄试验。试验时避雷器应立放。

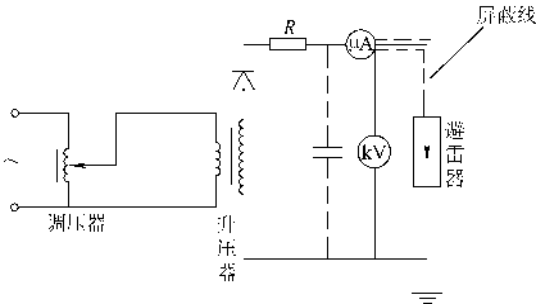


图 5-21 泄漏电流的测量接线示意图

电导电流的测量应注意以下几点：

（1）同一相内串联组合元件（如 FZ-35 型避雷器由数个标准元件组合而成）的非线性系数 α 应相近或相等，一般为 0.25～0.45 之间，其差值应不大于 0.04。FZ 型避雷器的 α 值可按下式计算：

$$\alpha = \frac{\lg U_2/U_1}{\lg I_2/I_1} \tag{5-20}$$

式中　U_2——直流试验电压值，单位为 kV；

U_1——取 $U_2/2$，单位为 kV；

I_2——试验电压 U_2 下的电导电流，单位为 μA；

I_1——试验电压 U_1 下的电导电流，单位为 μA。

（2）测量时直流回路的波纹系数大于 1.5% 时，应加装滤波电容，一般为 0.1μF。波纹系数指整流电流中交流分量的有效值与直流分量平均值的比，它是衡量整流电路中输出的直流电压是否接近理想平滑的参数，值越小，直流电越理想。单相半波整流的波纹系数为 1.21，单相全波及单相桥式均为 0.48。

（3）测量时不宜在 0℃以下进行，一般应在室温 20℃时进行，温度相差较大时，每升高 1℃，泄漏电流值应增加 0.3%；每降低 1℃，泄漏电流值应减少 0.3%。各个厂家的调整数值不同，应按厂家提供的

数值进行调整。

（4）当所测数值与规定值增加较大时，其原因是密封破坏而受潮；具有并联电阻的避雷器减少较大至规定值的1/2～1/3时，说明电阻已断裂。

（5）测量有并联电阻的阀型避雷器的电导电流时，整流电压回路应并联0.1μF（指半波整流）或0.05μF（指全波整流）的滤波电容。测量无并联电阻避雷器的漏泄电流时，可用0.01μF的电容并联。

（6）测量时所加的试验电压，是按串联的并联电阻元件数目确定的，每一对电阻元件规定加（4000±50）V试验电压，试验电压的测量接线见图5-22，电压U可用$U=\sum RI$计算或用静电电压表直接测量。

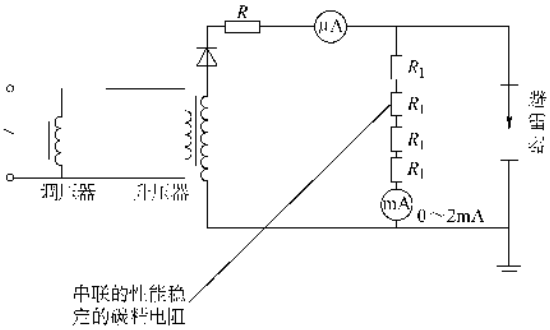


图5-22　试验电压的测量接线示意图

（7）在测量时，一般条件下，要测量直流1mA时的电压U_{1mA}和$0.75U_{1mA}$直流电压下的泄漏电流。

对于金属氧化物避雷器，要求测量其直流1mA时的电压U_{1mA}和$0.75U_{1mA}$直流电压下的泄漏电流。测量其直流电流为1mA时的电压U_{1mA}的目的，是为了检查避雷器的阀片是否受潮，并确定其动作性能是否符合要求；测量$0.75U_{1mA}$直流电压下的泄漏电流的目的，主要是为了了解避雷器的使用寿命，因此在同一温度时避雷器的泄漏电流与其使用寿命成反比。

1）测量时的接线如图5-23所示。

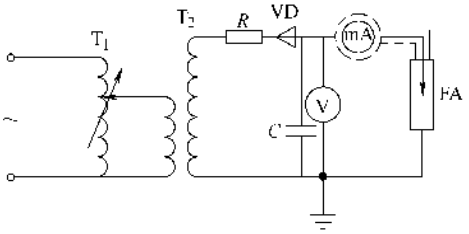


图5-23　测量接线图

T_1—单相调压器　T_2—高压试验变压器　R—保护电阻

C—滤波电容（0.01～0.1μF）　FA—氧化锌避雷器

—直流毫安表　　—静电电压表

2）测量方法：

①　直流1mA时的电压U_{1mA}是指当无间隙金属氧化物避雷器通过1mA的直流电流时，被试避雷器两端的电压值。因此在测量时，应首先给被试避雷器升压，然后监视毫安表的读数，当毫安表的读数为1mA时，立即读取并记录电压表的读数，此时电压表的指示值即为U_{1mA}。U_{1mA}的值与初始值或制造厂给定值相比较，其值变化应不大于±5%。

②　$0.75U_{1mA}$下的泄漏电流值，就是被试避雷器在电压为$0.75U_{1mA}$时，流过避雷器的泄漏电流。测量时，首先计算出$0.75U_{1mA}$的电压值，然后给避雷器升压，当电压升到该值时，立即读取并记录毫安表上的读数，此时毫安表上的指示值就是该被试避雷器的泄漏电流值。按制造厂规定，$0.75U_{1mA}$下的泄漏电流值一般应不大于50μA。

3）测量注意事项：

①　测量避雷器的U_{1mA}时，由于试验电源的电压脉动系数对测量结果的影响较大，因此要求整流后的电压脉动系数应小于1.5%。为了弥补半波整流后电压脉动系数的不足，因此在整流后的直流电路中应加接滤波电容器，以降低试验电压的脉动系数。

②　由于避雷器的泄漏电流大于200μA以后，随着电压的升高，泄漏电流将急剧增大，因此在试验时应缓慢地进行升压，当毫安表的指示值为1mA时，立即读取相应的电压值。

③　为了减少表面泄漏电流的影响，测量前应将避雷器的瓷套表面擦拭干净。为了减小杂散电流的影响，应对毫安表和毫安表与被试避雷器的连接线采取屏蔽措施。

④　由于温度和湿度对测量结果影响很大，因此在测量时应记录测量时的温度、湿度等环境条件，以便分析判断。

3. 测量工频放电电压

工频放电电压的测量是在相线端子和接地端子间加工频放电试验电压，观察其击穿情况，接线见图5-24。有并联电阻的避雷器一般不作此项试验，其他无

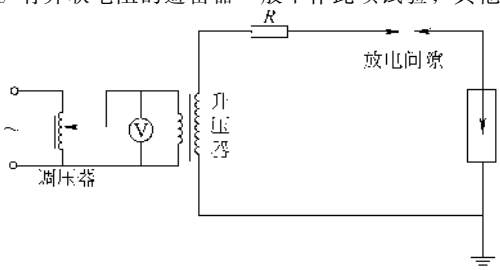


图5-24　工频放电电压的测量

并联电阻的避雷器应按制造的规定进行。避雷器的工频放电电压范围见表 5-26 ~ 表 5-32。

正常良好的避雷器应在工频放电电压范围内放电，放电间隙应有火花。在小于放电电压范围时放电或大于放电电压范围时仍不放电者，均属不合格品。试验时必须立放避雷器。

（1）在不带并联电阻的避雷器上进行放电试验时应注意以下几点

1）能够准确读出所升电压值时，可采取快速升压直到避雷器被击穿为止，当所升电压超过额定电压后的时间尽可能缩短。

2）如利用已校对好的变压比曲线在低压侧接电压表测量高压侧所升电压值时，则升压速度应进行控制：

10kV 及以下避雷器——3 ~ 5kV/s；

20 ~ 35kV 避雷器——15 ~ 20kV/s；

一般从升压至避雷器放电控制在 3.5 ~ 7s 即可满足要求。

3）避雷器放电后应在 0.5s 内切断试验电源，图 5-24 所示接入的保护电阻 R 可按 10Ω/V 选择。

4）如果放电后达不到 0.5s 内切断试验电源，则所选保护电阻应保证避雷器放电后流过 R 的电流不大于 15 ~ 20mA。

5）放电时间的限制可用电流继电器快速切断电源。

6）放电电压可用低压侧电压表的读数和变压器的电压比来计算放电电压，电压比应事先校准，电压表准确度不小于 0.5 级。

（2）工频放电电压的测量，也可用下面的方法进行

1）试验方法：工频放电试验与一般工频耐压试验接线相同，接线如图 5-25 所示。

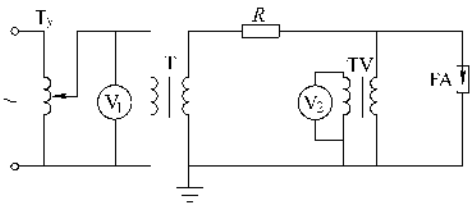


图 5-25 避雷器工频放电试验原理接线图

T_y—调压器 T—工频试验变压器

R—保护电阻器 FA—被试避雷器

TV—测量用电压互感器

试验电压的波形应为正弦波，为消除谐波的影响，必要时，试验设备的电源应取用线电压，因为线电压中没有 3 次谐波，也可在试验变压器的低压侧加接滤波回路，以消除谐波的影响。

对有串联间隙的金属氧化物避雷器，应在被试避雷器下端串联电流表，用以判别间隙是否放电动作。对每一个避雷器应做 3 次工频放电试验，每次间隔不小于 1min，并取 3 次放电电压的平均值，作为该避雷器的工频放电电压。

对运行中的 FZ 型避雷器，一般不要求做工频放电电压试验，但在解体检修后及必要时，应测量工频放电电压，放电电压值应符合有关规定。

2）试验回路保护电阻器 R 的选择：图 5-25 中的保护电阻器 R，是用来限制避雷器放电时的短路电流的。对不带并联电阻的 FS 型避雷器，一般取 0.1 ~ 0.5Ω，保护电阻不宜取得太大，否则间隙中建立不起电弧，使测得的工频放电电压值偏高。

对有并联电阻的普通避雷器，应在间隙放电后 0.5s 内切断电源，为此，在试验回路内还应装设过电流速断保护装置，并使通过被试品的工频电流限制在 0.2 ~ 0.7A 范围内。由于并联电阻的泄漏电流较大，在接近放电电压时，保护电阻上电压降较大，这时可以选用阻值较低的电阻器，或不用保护电阻。

有串联间隙的金属氧化物避雷器，由于阀片的电阻值较大，放电电流较小，过电流跳闸继电器应调整得灵敏些。调整保护电阻器，将放电电流控制在 0.05 ~ 0.2A 之间，放电后在 0.2s 内切断电源。保护电阻选择时可根据下列公式进行计算：

$$I = U/\sqrt{X_T^2 + R^2}, R = \sqrt{U^2/I^2 - X^2} \quad (5\text{-}21)$$

式中 I——通过避雷器的电流，单位为 A；

U——估计的避雷器的放电电压，单位为 V；

X_T——试验变压器的短路阻抗，单位为 Ω；

R——串入的限流电阻，单位为 Ω。

3）试验时的升压速度：对于并联电阻的 FS 型避雷器，升压速度不宜太快（以免由于测量仪表的机械惯性而引起读数误差），以 3 ~ 5kV/s 为宜。

对有并联电阻的避雷器，作工频放电试验时，必须严格控制升压速度，因为并联电阻的热容量小，在接近放电时，如果升压时间较长，会使并联电阻发热烧坏。因此，在技术条件中规定：超过灭弧电压以后，到避雷器放电的升压时间，不得超过 0.2s。

4）工频放电电压的测量：对不带并联电阻的避雷器，在间隙击穿前，由于泄漏电流非常微小，在正弦电压波形条件下，可根据低压侧电压表的读数和试验变压器的电压比来计算避雷器的放电电压。试验变压器的电压比应经过校准，电压表的准确度不得低于 0.5 级。

对有并联电阻的避雷器，因为泄漏电流在保护电阻上产生的电压降较大，因此应在被试避雷器两端直接测量它的工频放电电压，可用0.5级及以上的电压互感器或分压器，配合电子示波器或其他记录仪进行测量，同时还可以观察放电电压的波形。应注意的是：在放电时，工频放电电压波形上会叠加高频振荡，其振荡幅值有时会超过工频部分，因此应以放电瞬时的工频放电电压为准作为放电电压。也可在分压器测量的低压回路中串以数千欧的阻尼电阻，起到抑制高频振荡作用。这时，需要重新校验分压器的分压比，并应使用交流峰值电压表测量电压。交流峰值电压表的准确度不得低于1.0级，并应注意消除放电高频振荡引起的误差。

4. 雷电记录器的动作试验

JS型雷电记录器的动作试验可按图5-26接线，用绝缘电阻表向电容器充电，待表针稳定后，拨动S迅速向记录器放电，进而观察动作情况。绝缘电阻表应选用500～1000V的JS型记录器应用40V直流电源充电，*C*采用6～50μF、50V的电解电容。

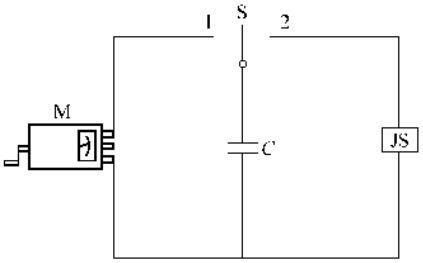


图5-26　雷电记录器动作试验接线

S—双投开关　M—绝缘电阻表　*C*—电容器（约5～10μF，500V以上）　JS—雷电记录器

安装单位受试验设备的限制，避雷器的试验应到当地供电部门委托试验，凭借供电部门的试验报告为据，但安装前应再次测量绝缘电阻，同时应复核避雷器的额定电压必须与被保护的线路或设备的额定电压相符。

避雷器基座绝缘电阻一般用2500V绝缘电阻表进行测量，其阻值应大于150MΩ（经验数值，规范中未具体说明）。

该试验也可用下述方法进行：

1）交流法：使用电压互感器作为试验变压器，将电压升到1500～2500V，然后用绝缘拉杆将此试验电压加到计数器上，观察计数器的指示是否跳字。

2）标准冲击电流法：采用专用的、能产生模拟标准雷电流、雷电压的“避雷器放电计数器校验仪”，对放电计数器放电，观察其动作情况。

3）使用万用表测量放电计数器的整体电阻，并和同类型计数器进行比较，看其有无变化，以判断计数器的好坏。

对每一个避雷器放电计数器的动作情况进行试验检查时，均应连续测试3～5次，每一次均应正常动作。每一次试验时间间隔不得小于30s，如发现动作不灵活或不可靠，应及时予以修理或更换。避雷器的放电计数器经试验检查合格后，还须将计数器的指示数字调整回零。最简单的调整回零的方法是用380V/220V的交流电源，将零线与避雷器放电计数器的接地端连接，用相线碰触放电计数器的上端头，每碰触一次，放电计数器就会跳一个字，直到将放电计数器的指示值调整到零。

5. 避雷器的密封情况检查

避雷器的密封情况检查，一般采用抽真空的办法进行。其方法是：将真空泵的抽气嘴与避雷器底盖上的抽气孔连接，起动真空泵，对避雷器进行抽真空，当避雷器内的真空度达到（300～400）×133Pa后，关闭抽气阀，记录此时真空表的指示值，保持5min，再观察真空表的指示值是否有所下降。如真空表的指示值没有不下降或者下降值不超过100Pa，即可认为该避雷器密封良好；如若5min内真空度下降超过100Pa时，则说明该避雷器的密封不合格，应采取有效措施予以解决，直至合格。

用抽气法检测避雷器的密封情况时，应在洁净、干燥、没有腐蚀性气体和灰尘的环境条件下进行，以免潮气和灰尘进入避雷器内部。

检测前，应首先对真空泵、抽气阀门及连接导管等的密封情况进行检查，确保真空系统本身的密封良好，然后再与避雷器连接，以保证检测结果的真实可靠。

经检查完好的避雷器，应迅速将抽气孔封堵牢固，不使漏气。

6. 测量金属氧化物避雷器的持续电流和工频参考电压或直流参考电压

一般可用氧化锌避雷器测试仪进行，详见第二章相关内容。

这里说明一点，按照《电气装置安装工程　电气设备交接试验标准（附条文说明）》GB 50150—2006标准，阀式避雷器已被淘汰，均由金属氧化物避雷器取代，但在实践中阀式避雷器有的还在使用，为了不脱节，这里保留了其相应内容。

第四节　绝缘油和 SF_6 气体的试验

（1）绝缘油的试验项目及标准　见表5-42。

（2）新油验收及充油电气设备的绝缘油试验分类　应符合表5-43的规定。

表 5-42 绝缘油的试验项目及标准

序号	项目	标准				说明
1	外状	透明，无杂质或悬浮物				外观目视
2	水溶性酸（pH 值）	>5.4				按《运行中变压器油水溶性酸测定法》GB/T 7598—2008 中的有关要求进行试验
3	酸值，mgKOH/g	≤0.03				按《运行中变压器油、汽轮机油酸值测定法（BTB 法）》GB/T 7599 中的有关要求进行试验
4	闪点（闭口）（℃）	不低于	DB-10	DB-25	DB-45	按《闪点的测定　宾其基-马丁闭口杯法》GB/T 261—2008 中的有关要求进行试验
			140	140	135	
5	水分（mg/L）	500kV：≤10 220～330kV：≤15 110kV 及以下电压等级：≤20				按《运行中变压器油水分含量测定法（库仑法）》GB/T 7600—1987 或《运行中变压器油、汽轮机油水分测定法（气相色谱法）》GB/T 7601—2008 中的有关要求进行试验
6	界面张力（25℃）（mN/m）	≥35				按《石油产品油对水界面张力测定法（圆环法）》GB/T 6541—1986 中的有关要求进行试验
7	介质损耗因数 tanδ（%）	90℃时， 注入电气设备前≤0.5 注入电气设备后≤0.7				按《液体绝缘材料　相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》GB/T 5654—2007 中的有关要求进行试验
8	击穿电压	500kV：≥60kV 330kV：≥50kV 60～220kV：≥40kV 35kV 及以下电压等级：≥35kV				1. 按《绝缘油　击穿电压测定法》GB/T 507—2002 或《绝缘油介电强度测定法》DL/T 429.9—1991 中的有关要求进行试验 2. 油样应取自被试设备 3. 该指标为平板电极测定值，其他电极可按《运行中变压器油质量》GB/T 7595—2008 及《绝缘油　击穿电压测定法》GB/T 507—2002 中的有关要求进行试验 4. 注入设备的新油均不应低于本标准
9	体积电阻率（90℃）（Ω·m）	$\geq 6\times10^{10}$				按《液体绝缘材料　相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量》GB/T 5654—2007 或《电力用油体积电阻率测定法》DL/T 421—2009 中的有关要求进行试验

（续）

序号	项　　目	标　　准	说　　明
10	油中含气量（%）（体积分数）	330～500kV：≤1	按《绝缘油中含气量测定方法　真空压差法》DL/T 423—2009 或《绝缘油中含气量的测定方法（二氧化碳洗脱法）》DL/T 450—1991 中的有关要求进行试验
11	油泥与沉淀物（%）（质量分数）	≤0.02	按《石油和石油产品及添加剂机械杂质测定法》GB/T 511—2010 中的有关要求进行试验
12	油中溶解气体组分含量色谱分析	见本标准的有关章节	按《绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法》GB/T 17623—1998、《变压器油中溶解气体分析和判断导则》GB/T 7252—2001 及《变压器油中溶解气体分析和判断导则》DL/T 722—2000 中的有关要求进行试验

表 5-43　电气设备绝缘油试验分类

试验类别	适用范围
电气强度试验	1. 6kV 以上电气设备内的绝缘油或新注入上述设备前、后的绝缘油 2. 对下列情况之一者，可不进行电气强度试验： 1）35kV 以下互感器，其主绝缘试验已合格的 2）15kV 以下油断路器，其注入新油的电气强度已在 35kV 及以上的 3）按有关规定不需取油的
简化分析	1. 准备注入变压器、电抗器、互感器、套管的新油，应按表 5-42 中的第 2～9 项规定进行 2. 准备注入油断路器的新油，应按表 5-42 中的第 2、3、4、5、8 项规定进行
全分析	对油的性能有怀疑时，应按表 5-42 中的全部项目进行

（3）绝缘油当需要进行混合时，在混合前，应按混油的实际使用比例先取混油样进行分析，其结果应符合表 5-42 中第 8、11 项的规定。混油后还应按表 5-43 中的规定进行绝缘油的试验。

（4）绝缘油的试验一般应委托当地供电部门进行，并出具试验报告。

（5）SF_6 新气到货后，充入设备前应按《工业六氟化硫》GB/T 12022—2006 验收，气瓶抽检率为 100%，其他每瓶只测定含水量，SF_6 充入电气设备 24h 后方可进行试验。

第五节　交流异步电动机的测试和试验

未经使用的新电动机或长期闲置停运的电动机（包括旧电动机）在投入运行的接线前应作电气参数及机械参数的测试，所有的参数合格后方可接线投入运行，否则应查明原因，协同有关部门处理。任何情况下，参数不合格的电动机不得投入运行，任何人不得强行合闸。

1. 标准规范要求

（1）交流电动机的试验项目

1）测量绕组的绝缘电阻和吸收比。

2）测量绕组的直流电阻。

3）定子绕组的直流耐压试验和泄漏电流测量。

4）定子绕组的交流耐压试验。

5）绕线转子异步电动机转子绕组的交流耐压试验。

6）同步电动机转子绕组的交流耐压试验。

7）测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器

的绝缘电阻。

8）测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的直流电阻。

9）测量电动机轴承的绝缘电阻。

10）检查定子绕组极性及其连接的正确性。

11）电动机空载转动检查和空载电流测量。

注：电压1000V以下、容量100kW以下的电动机，可按1）、7）、10）、11）款进行试验。

（2）测量绕组的绝缘电阻和吸收比

1）额定电压为1000V以下，常温下绝缘电阻值不应低于0.5MΩ；额定电压为1000V及以上，在运行温度时的绝缘电阻值，定子绕组不应低于1MΩ/kV，转子绕组不应低于0.5MΩ/kV；绝缘电阻温度换算可按表5-44的规定进行。

2）1000V及以上的电动机应测量吸收比。吸收比不应低于1.2，中性点可拆开的应分相测量。

注：① 进行交流耐压试验时，绕组的绝缘应满足1）、2）款的要求。

② 交流耐压试验合格的电动机，当其绝缘电阻值在接近运行温度后（环氧粉云母绝缘的电动机则在常温下）不低于其额定电压1MΩ/kV时，可以不经干燥投入运行。但在投运前不应再拆开端盖进行内部作业。

表5-44 电机定子绕组绝缘电阻值换算至运行温度时的换算系数

定子绕组温度/℃		70	60	50	40	30	20	10	5
换算系数 K	热塑性绝缘	1.4	2.8	5.7	11.3	22.6	45.3	90.5	128
	B级热固性绝缘	4.1	6.6	10.5	16.8	26.8	43	68.7	87

注：本表的运行温度，对于热塑性绝缘为75℃，对于B级热固性绝缘为100℃。

当在不同温度测量时，可按上表所列温度换算系数进行换算。例如某热塑性绝缘发电机在 $t=10$℃时测得绝缘电阻值为100MΩ，则换算到 $t=75$℃时的绝缘电阻值为100MΩ/K=100MΩ/90.5=1.1MΩ。

也可按下列公式进行换算：

对于热塑性绝缘：

$$R_t = R \times 2^{(75-t)/10}$$

对于B级热固性绝缘：

$$R_t = R \times 1.6^{(100-t)/10}$$

式中 R——绕组热状态的绝缘电阻值，单位为MΩ；

R_t——当温度为 t℃时的绕组绝缘电阻值，单位为MΩ；

t——测量时的温度，单位为℃。

电动机绝缘多为B级绝缘，参照不同绝缘结构的发电机其吸收比不同的要求，规定电动机的吸收比不应低于1.2。

对于容量为500kW以下，转速为1500r/min以下的电动机，在10～30℃时测得的吸收比大于1.2即可。

凡吸收比小于1.2的电动机，都先干燥后再进行交流耐压试验。高压电动机通三相380V的交流电进行干燥是很方便的。因为大多数是由于绝缘表面受潮，干燥时间短；有的电动机本身有电热装置，所以电动机的吸收比不低于1.2是能达到的。这里给出一些新型电动机的资料，并将测得的绝缘电阻值和吸收比汇总见表5-45及表5-46。从表中可以看出，新型电动机的吸收比都可以达到1.2的标准。

表5-45 电动机的绝缘电阻值和吸收比测量记录

电机型号	额定工作电压/kV	容量/kW	绝缘电阻/MΩ			测试时温度/℃
			R60s	R15s	R60s/R15s	
YL	6	1000	2500	1500	1.66	5
JSL	6	550	670	450	1.48	4
JK	6	350	1100	9000	1.22	4
JSL	6	360	3400	1900	1.78	4
JS	6	300	1900	860	2.2	18
JS	6	1600	4000	1800	2.22	16
JS	6	2500	5000	2500	2.0	25
JSQ	6	550	3100	1400	2.21	12
JSQ	6	475	1500	500	3.0	12
JS	6	850	4000	1500	2.66	11

表5-46 交流电动机定子绕组的直流电阻测量值与误差计算表

电机型号	容量/kW	线间直流电阻值/Ω			按最小值比的误差（%）
		1～2	2～3	3～1	
JSL	550	1.400	1.406	1.398	0.57
JK	350	2.023	2.025	2.025	0.09
JSL	360	2.435	2.427	2.430	0.32
JS	300	2.850	2.856	2.850	0.21
JS2	1600	0.1365	0.1365	0.1363	0.15
JS2	2500	0.0733	0.0735	0.0739	0.81
JSQ	550	1.490	1.480	1.484	0.67

（续）

电机型号	容量/kW	线间直流电阻值/Ω			按最小值比的误差（%）
		1～2	2～3	3～1	
JSQ	475	1.776	1.770	1.770	0.34
JS	850	0.6357	0.6360	0.6365	0.12
JS	220	4.970	4.980	4.972	0.2

（3）测量绕组的直流电阻

1000V 以上或 100kW 以上的电动机，各相绕组直流电阻值相互差别不应超过其最小值的 2%，中性点未引出的电动机可测量线间直流电阻，其相互差别不应超过其最小值的 1%。新型电动机绕组直流电动机直流电阻参考值见表 5-45、表 5-46。

（4）定子绕组直流耐压试验和泄漏电流测量

1000V 以上及 1000kW 以上、中性点连线已引出至出线端子板的定子绕组应分相进行直流耐压试验。试验电压为定子绕组额定电压的 3 倍。在规定的试验电压下，各相泄漏电流的值不应大于最小值的 100%；当最大泄漏电流在 20μA 以下时，各相间应无明显差别。试验时的注意事项：

1）试验电压为电机额定电压的 3 倍；

2）试验电压按每级 0.5 倍额定电压分阶段升高，每阶段停留 1min，并记录泄漏电流。在规定试验电压下，泄漏电流应符合：

①　各相差别不应大于最小值的 50%，当最大泄漏电流为 20μA 以下时，各相间差值与出厂试验值比较不应有明显差别；

②　泄漏电流不应随时间延长而增大；

当①或②有一条不符合时，应找出原因并排除；

③　泄漏电流随电压不成比例显著增大时，应及时分析。

3）氢冷电机必须在充氢气前或排尽氢气后（含量在 3% 以下时）进行试验，严禁在置换氢气过程中进行试验。

4）水内冷电机试验时，应采用低压屏蔽法。对于汇水管与地之间无绝缘（死接地）的电机，现场可不进行此项试验。

（5）定子绕组的交流耐压试验电压，应符合表 5-47 的规定。

表 5-47　电动机定子绕组交流耐压试验电压

额定电压/kV	3	6	10
试验电压/kV	5	10	16

（6）绕线转子异步电动机的转子绕组交流耐压试验电压，应符合表 5-48 的规定。

表 5-48　绕线转子异步电动机转子绕组交流耐压试验电压

转子工况	试验电压/V
不可逆的	$1.5U_k+750$
可逆的	$3.0U_k+750$

注：U_k 为转子静止时，在定子绕组上施加额定电压，转子绕组开路时测得的电压。

（7）同步电动机转子绕组的交流耐压试验电压值为额定励磁电压的 7.5 倍，且不应低于 1200V，但不应高于出厂试验电压值的 75%。

（8）可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘电阻，当与回路一起测量时，绝缘电阻值不应低于 0.5MΩ。

（9）测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的直流电阻值，与产品出厂数值比较，其差值不应超过 10%；调节过程中应接触良好，无开路现象，电阻值的变化应有规律性。

（10）测量电动机轴承的绝缘电阻，当有油管路连接时，应在油管安装后，采用 1000V 绝缘电阻表测量，绝缘电阻值不应低于 0.5MΩ。

（11）检查定子绕组的极性及其连接应正确。中性点未引出者可不检查极性。

（12）电动机空载转动检查的运行时间可为 2h，并记录电动机的空载电流。当电动机与其机械部分的连接不易拆开时，可连在一起进行空载转动检查试验。

2. 外观及机械部分的检查

1）外观检查应无裂纹、无机械性损伤及破损，接线盒完整，端子无损，引出线牢固且绝缘护层完好，线鼻子压接或焊接良好，编号齐全，附件及备件齐全且无损伤；定子和转子分箱装运的电动机，其铁心、转子和轴颈应完整无锈蚀现象，其绕组、绝缘无破损，无过热痕迹。新电动机铭牌应完整，数字清晰，技术文件齐全，有产品合格证，外壳油漆完整，接地螺钉牢固。

2）电动机的容量、极数或转速应与设计及拖动设备相符，电动机的型式应与工作条件及拖动设备相适应。

3）盘动转子应无阻卡，不得有磁卡或撞击声音；前、后轴承的声音无异常，应为均匀的嗡嗡声，一般用螺钉旋具或铁棍试听，转速应尽量快，见图 5-27。

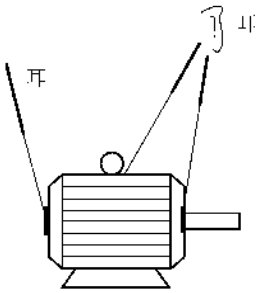
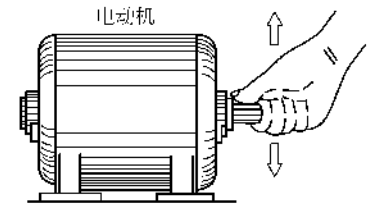


图 5-27 试听电动机声音的方法

4）打开轴承盖，检查润滑脂应正常，无变色、变质及硬化现象，性能符合电动机的工作条件。润滑脂的选择应按表 5-49 进行。

5）轴承上下无旷动，前后无窜动。用双手握住前轴颈，上下或左右扳动，轴应无明显的位移及旷量；前后推拉轴头，轴应无明显的位移，见图 5-28。必要时可将风叶罩及风叶取掉检查。电动机轴向窜动及转子径向摆动应符合表 5-50 的规定。



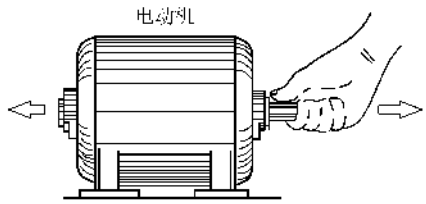


图 5-28 电动机轴承旷量的检验方法

表 5-49 润滑脂的品种、代号、物理化学性质及适用场合

名称		代号	颜色	滴点（不低于）/℃	针入度 150g 25℃/(1/10mg)	水分（不大于）（%）	游离碱（不大于）（%）	游离酸（mg·KOH/g）	灰分（不大于）（%）	矿物油粘度 50℃/(Pa·s)	机械杂质（%）	适用场合
钠基润滑脂	1 号	ZN-1	由深黄色到暗褐色的均匀油膏	130	230～270	0.50	0.20	无	4.00	0.017～0.043	—	在较高工作温度、清洁无水分的条件下，用于开启式电动机
	2 号	ZN-2		150	180～220	0.50	0.20	无	4.50	0.027～0.053	—	
钙钠基润滑脂	1 号	ZGN-1	由黄色到深棕色的均匀软膏	120	250～290	0.70	0.20	无	—	0.027～0.043	—	在较高工作温度，允许有水蒸气的条件下，用于开启式、封闭式电动机
	2 号	ZGN-2		135	200	0.70	0.20	无	—	0.027～0.043	—	
钙基润滑脂	1 号	ZG-1	从淡黄色到暗褐色，在玻璃上涂抹 1～2mm 厚的润滑脂层，在透光检查时均匀无块状物	75	310～350	1.50	0.20	—	—	0.037～0.053	0.30	用于一般工作温度、与水接触的封闭式电动机
	2 号	ZG-2		80	260～300	2.00	0.20	—	—	0.017～0.033	0.40	
	3 号	ZG-3		85	210～250	2.50	0.20	—	—	0.017～0.033	0.50	
	4 号	ZG-4		90	160～200	3.00	0.20	—	—	0.037～0.033	0.60	
石墨钙基润滑脂		ZG-S	黑色均一的非纤维状油膏	80	—	2.00	—	—	—	—	—	—
钡基润滑脂 3 号		ZB-3	由黄褐色到暗褐色的软膏	150	200～260	无	—	—	—	0.027～0.043	—	—

（续）

名称		代号	颜色	滴点（不低于）/℃	针入度 150g 25℃/(1/10mg)	水分（不大于）（%）	游离碱（不大于）（%）	游离酸（mg·KOH/g）	灰分（不大于）（%）	矿物油粘度 50℃/(Pa·s)	机械杂质（%）	适用场合
复合钙基润滑脂	1 号	ZFG-1	由淡黄色至暗褐色的光滑透明油膏	180	310～350	0.10	0.20	0.40	—	0.017～0.033	—	用于高温有严重水分场合的封闭式电动机
	2 号	ZFG-2		200	260～300	0.10	0.20	0.40	—	0.017～0.033	—	
	3 号	ZFG-3		220	210～250	0.10	0.20	0.40	—	0.017～0.043	—	
	4 号	ZFG-4		240	160～200	0.10	0.20	0.40	—	0.017～0.043	—	
铝基润滑脂	2 号	ZU-2	由淡黄色到暗褐色的光滑透明油膏	75	230～280	无	—	—	—	—	—	用于高温工作条件及有严重水分的场合，特别适用于湿热带型电动机

表 5-50　电动机转子轴向、径向移动允许范围

类别	电动机容量/kW	轴向窜动范围/mm	
		向一侧	向两侧
转子轴向窜动范围	10 以下	0.5	1.00
	10～30	0.75	1.50
	31～70	1.00	2.00
	71～125	1.50	3.00
	125 以上	2.00	4.00
	轴颈大于 200mm	轴颈直径的 2%	
转子径向摆动范围	轴颈 100～200mm 长	≤0.02mm	
	轴颈大于 200mm 长	≤0.03mm	

注：向两侧轴向窜动应根据磁场中心位置确定。

6）电刷及集电环应接触严密，弧度吻合，压力均匀，一般应在 0.015～0.025MPa 之间，可用压接纸条的方法测试；电刷的弧面及集电环应光滑无毛刺、清洁、无电火花的痕迹黑斑、无油污。连接电刷的编织带（铜辫子）应牢固，接触良好，不得与转动部分或弹簧片相碰触。电刷的绝缘垫应完好。电刷在刷握内能上下自由移动，其间隙一般为0.1～0.2mm。

上述的检查合格后，才能进行电气参数的测试，如发现盘车声音异常、轴承旷动或窜动、润滑油变质、电刷及集电环匹配不合等不妥，则应进行修理，并提取一定的费用，由供货单位认可，纳入决算，否则应更换电动机。

3. 电气参数的测试试验

（1）绝缘电阻的测试　低压电动机应用 500V 的绝缘电阻表或数字绝缘电阻测试仪的 500V 挡进行绝缘电阻的测试。新电动机相与相、相与地（机壳）间的绝缘电阻应大于 1MΩ，低于 0.5MΩ 者应进行干燥处理，仍不合格者应检查绕组或修理。

额定电压为 1000V 以上的电动机，运行温度时的绝缘电阻，定子不低于 1MΩ/kV，转子不低于 0.5MΩ/kV。

测试时，先将接线盒打开，把△联结或(联结的连片取下，见图 5-29；如果是没有接线盒而是直接引出的接线端，则应把三根线连接在一起的星点打开，或是把△联结的头尾连接点打开，见图 5-29，这时应将原来的接法作好标记，以便识别。然后用万用表的欧姆挡或绝缘电阻表测量一下每相绕组的两个端头是否相通，即 1-4、2-5、3-6（U-u、V-v、W-w），否则说明接线有错误或者内部断线，这时应用表找出三组两个端头相通的绕组，即为 U 相（1-4）、V 相（2-5）、W 相（3-6）绕组，并重新作好标记，最后再测量其绝缘电阻。

测量前先校对绝缘电阻表，轻轻摇动手把（顺时针），这时表头指应趋向∞，然后迅速使两表笔相碰，指针应立即指向零位。这时应该把两根绞在一起的绝缘电阻表的测量线分开（这是测量者往往容易忽略的地方），任意一端接在电动机的接地端子上（接线盒带有接地标志　的螺钉）或与外壳的金属部分接好，另一端接在任一相绕组的任一端；测量线应悬空放置，不得与地面或他物触及。然后一手将平置的绝缘电阻表按住，另手以 120r/min 的速度顺时针摇动手把，这时指针开始偏转，摇动时间应大于 1min，当指针停留不动时所指的数值即为该相绕组对地的绝缘电阻。用同样方便测量其他两相，测完后应将三相绕组用导线对地短接一下放电，特别是对容量较大的设备或较长的线路更要注意放电，以保安全。

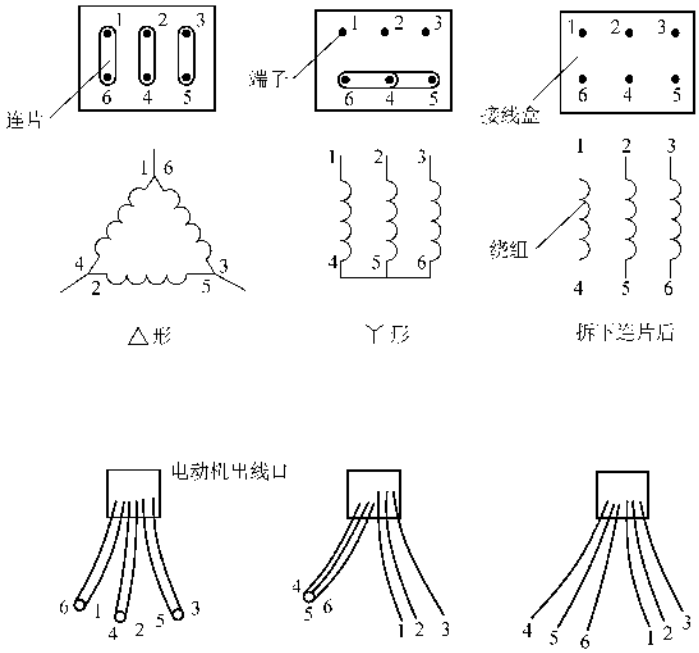


图 5-29 三相电动机接线端子的识别

然后将测量表笔分接在任意两相绕组的任一端，测量该两相的相间绝缘电阻，再测其他两相。

对于容量在 100kW 及以上的电动机均应测量吸收比。

所谓吸收比是指测量时间为 60s 的绝缘电阻 $R_{60''}$ 与测量时间为 15s 的绝缘电阻 $R_{15''}$ 的比值，一般不小于 1.2，有条件的应分相测量。

对于电动机配套的可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘电阻，当与回路一起测量时，不应低于 0.5MΩ。

关于绝缘电阻表的选用，规范规定：100～1000V 的电气设备或线路，应使用 500V 或 1000V 的绝缘电阻表；1000V 以上的应使用 2500V 或 5000V 的绝缘电阻表。超越规范的使用将会使电气设备或线路的绝缘受到损坏，减小使用寿命，或者使绝缘受到损坏的电气设备或线路在运行中烧毁。低于规范使用将起不到测量绝缘电阻的作用。

（2）绕组直流电阻的测试　直流电阻是指绕组的导线在不含有交流成分的状态下的纯电阻，测量直流电阻的目的是为了检查绕组的平衡性，以致能在交流时产生相等的阻抗和三相平衡的电流，使电动机正常运行。而绝缘电阻是指绕组在通电的情况下，绕组与绕组之间、绕组与地之间互相隔绝、绝对不能通电的电阻，它是标志设备或绕组绝缘强度的，以致在通以额定电压时或试验电压时不致于击穿，进而保证电动机的正常运行。

直流电阻的测量应使用数字万用表或直流电桥，也可用 SB2230 直流数字电阻测试仪测量，使用方法见第二章相关内容。规范规定：1000V 以上及 100kW 以上的电动机，各相绕组直流电阻的相互差别应不超过其最小值的 2%，中性点未引出的电动机可测量线间直流电阻（实际是两相绕组的和），其互相差别应不超过其最小值的 1%。对于 100kW 以下的低压电动机虽未规定，但也应测量每相的直流电阻，以便衡量电动机的好坏，为运行提供准确的数据，其值应近似相等。

同时应测量与电动机配套的可变电阻、起动电阻、灭磁电阻的直流电阻，与产品出厂数据的差值不应大于 10%，且接触良好，无开路现象。

（3）极性试验　除中性点不引出的电动机外，三相电动机应作绕组极性的试验。所谓绕组的极性是指三相绕组中每个绕组的头尾引出线是否正确，且三个绕组是否一致。在测量绝缘电阻时，我们已经用表找出三组两个端头相通的绕组，即 U 相、V 相、W 相绕组，但是每组的两个端头哪个是头，哪个是尾这很重要，如果接线中头尾倒反，这将会使电动机起动时，由于绕组中流过电流的方向变反，使电动机的磁动势和电抗发生不平衡，因此引起电动机严重振动、噪声、吼叫、三相电流不平衡、电动机过热、转速降低，甚至造成电动机不转、熔丝烧断或断路器跳闸以

致烧坏电动机等。极性的试验是保证电动机正常运行的重要途径，特别是经过修理或新出厂的电动机必须作极性试验。

极性试验的方法很多，现在介绍一种最常用的简便方法。

将电动机的三相绕组按图 5-30 接好，不管电动机原来标注的头尾，随便将一两端相通的绕组两端按图接好即可。当 S 闭合瞬间（或线头搭接一下），微安表的指针会向一个方向摆动，无论向哪个方向都行，则可确定绕组③的上为头，下为尾；

然后将微安表接在绕组②上，和绕组③的接法一样，⊕接上，⊖接下，S 瞬间闭合，如果微安表的摆动方向和上次相同，则绕组②的上为头，下为尾；方向相反，则绕组②的下为头，上为尾；

再将电源回路接在绕组③上，上接正极，下接负极，把微安表接在绕组①上，上接⊕，下接⊖，S 闭合瞬间，微安表的摆动方向和第一次相同，则绕组①的上为头，下为尾，否则下为头，上为尾。

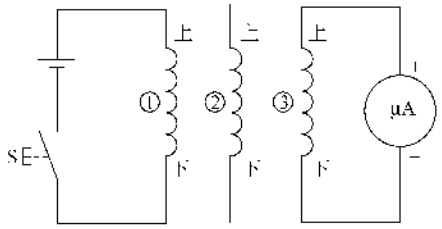


图 5-30　电动机极性简便试验示意图

在试验时，如果按绕组原来标注的头尾接线，也就是上为头，下为尾，那么测量的结果一定会有以下三种情况的其中一种。

1）测得的三相绕组的头和尾与绕组标注的完全一致。这说明原接线正确。

2）测得的三相绕组的头和尾全部和绕组标注的头和尾相反。同样说明原接线正确，这是因为头和尾是相对的，如果我们把所标注的头认为是尾，那么所有的尾即为头。

3）测得的三相绕组的头和尾，有一相或两相和绕组标注的头尾相反，则都说明原绕组接线有错误或标注有错误。

还有一种接线错误是由于个别线圈在电动机嵌线时接反，这也会使电动机出现前述故障，其检查和试验方法将在本节后面讲述。

（4）工频耐压试验　耐压试验是指绕组与机壳（地）之间，加上试验电压（大于额定电压）后能否使绝缘击穿的试验，在某种意义上讲，它和绝缘电阻的测试是相同的。工频耐压试验是检查电动机绕组绝缘的抗电强度，是发现重要部位的局部缺陷和确定能否参加运行的重要方法。工频耐压试验对电动机的绝缘有一定的破坏性，它可能使局部绝缘缺陷有所发展，因此必须按规定的试验电压和时间进行试验，否则对电动机不利。

工频耐压试验通常是用试验变压器及其配套设备进行的，也可用 TSB 高压试验变压器进行，见第二章相关内容。

电动机绕组的耐压接线见图 5-31，这里要注意，被测试绕组的另一端头均应接地，非被测试绕组应短路接地。

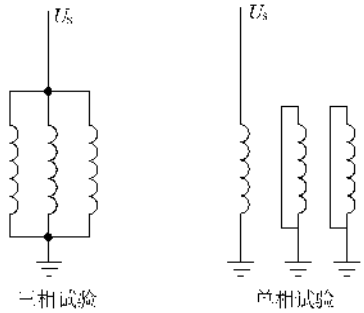


图 5-31　电动机耐压试验接线图

试验电压值及试验时间见表 5-48 和表 5-51。

表 5-51　电动机定子绕组工频耐压试验标准

电动机额定电压/kV	0.4 及以下	3	6	10
试验电压/kV	1	5	10	16
试验时间	1min			
试验标准	无击穿			

同步电动机转子绕组试验电压为额定励磁电压的 7.5 倍，但应不低于 1200V，亦不高于出厂试验电压的 75%。试验时间为 1min，无击穿。对于低压电动机进行耐压试验时，通常不用球隙放电来检验，而只用泄漏电流来参考，一般应小于 0.1mA。

对于 1000V 以上及 100kW 以上、中性点连线引出至出线端子板的定子绕组应分相进行直流耐压试验，试验电压为定子绕组额定电压的 3 倍。在规定的试验电压下，各相泄漏电流的值不应大于最小值的 100%；当最大泄漏电流在 20μA 以下时，各相间应无明显差别。

这里要说明一点，工频耐压试验和直流耐压试验概念不同，作用也不同，不能互相代替。

操作步骤及注意事项：

1）在以上试验项目做完且全部合格后才能进行

耐压试验，如果是刚通过电或刚做完耐压试验仍需继续试验时，应先放电。放电通常是先将接地线（软铜辫子）的一端和接地母线用线夹子夹好，另端夹在高压拉线杆的金属头上，然后金属头和绕组的端子迅速接触，即可把电放掉。

2）将试验变压器的高压输出 U_s 端用导线按图5-31接在被试电动机的绕组上，导线必须悬空放置，不得触及他物。被试品表面应保持清洁、干燥。试验变压器及被试物的金属外壳应可靠接地。

3）由专人检查调压器是否在零位，指示仪表是否指零，接线是否正确无误，毫安表短路开关是否合上。

4）为防止误操作或谐振过电压而损坏被试品，应调整保护球间隙，其放电电压为最高试验电压的1.1倍；间隙回路应串以足够的电阻，以防止间隙击穿后与被试品电容间引起振荡而产生过电压损坏绝缘。球间隙的调整可参考表2-75进行，图中的限流电阻一般选用水阻，即把电极插入水中，其阻值为0.5～1Ω/V。

5）合上电源开关，按四个电压等级（试验电压值的0.25、0.50、0.75、1.00倍）缓慢逐级升压，并读取各点泄漏电流值。读取各点泄漏电流值时，须等电流稳定后读取，读取后应立即将短路开关合上。

6）电压升至试验电压值后，应开始计算时间，1min后打开毫安表短路开关读取泄漏电流值，然后立即合上短路开关，并迅速均匀地将调压器降至零位，拉开电源开关。检查无误后，进行充分放电。

7）在升压和耐压过程中如有非正常现象发生，应立即停止试验，迅速均匀降压并查明原因，如电压表指针摆动很大、毫安表的指示急剧增加、绝缘烧焦或有冒烟现象、被试品发生不正常声响以及系统中有电打火等。

8）记录试验时被试物的温度和气候情况，通常应在干燥天气进行耐压试验，并注意操作安全，非工作人员禁止靠近。

9）放电后应用绝缘电阻表测试电动机的绝缘电阻，并和耐压试验前的绝缘电阻进行比较，100kW及以上的还应做吸收比的试验并进行前后比较。绝缘电阻和吸收比均应符合标准要求。

10）在整个试验过程中不应有击穿或闪络现象，否则判为电动机耐压强度不够；低压电动机对泄漏电流不作规定。经验证明，绝缘良好或耐压强度高的电动机，其交流耐压试验时的泄漏电流一般都小于0.1mA。

11）正式试验之前，一般应不接被试物，只空试一下试验设备及其线路。高压引线悬空放置，调整球隙距离，使放电电压为试验电压的1.10～1.15倍。当升至试验电压或更高一点时，系统应无异常现象，达到1.10～1.15倍时，球隙应可靠放电，否则应查出原因并修复到正常，最后将电压调回零位。

12）为了避免球隙放电的误差，事先应用丝绸之类的柔软而不脱落纤维的布料细擦铜球表面，使其干净无尘。检查两球的球心应水平或垂直，接地球必须接地良好。附近物体不得影响球隙电场的分布，一般应远离球体于4～5倍球体直径以外，附近空气中应无明显的灰尘。

13）试验装置的保护除球隙和限流电阻外，还必须在低压侧装设过电流继电器。当被试物击穿或球隙放电后，继电器动作，切断电源。过电流的整定应按试验变压器的容量确定。

14）试验变压器不能带高压断开和冲击加压，加压和断开必须在调压器基本为零时进行，否则将造成过电压，损坏设备或危及人身安全。升压的速度如设备无规定，一般从试验电压的0.25～1.00倍用10～15s的时间为宜。

15）试验变压器的容量选择是很重要的，否则将在试验回路中发生谐振现象，小则达不到试验目的，大则损害设备，详见第二章第十一节相关内容及表2-74。

16）关于高压侧电压的测量

① 小容量被试物一般用普通电压表接在低压侧进行，但试验变压器的电压比必须经过校对，表的准确度应在1.0以内。

② 对于大容量被试物，一般常用球隙和高压侧接入标准电压互感器进行。这样同时接入，以便在试验前调整球隙进行校正。

也有用高压静电电压表测量的，但应屏蔽或避开强电场区域。

但是，由于被试物的容量大，对地电容也大，因此将引起被试物所承受的试验电压增高。750kVA的变压器试验时，带上被试物同不带被试物相比，试验电压约上升20%，因此采用球隙来校验试验电压和保护过电压是非常必要的。

17）球隙的调整及校对试验电压的方法步骤：

① 使试验变压器空载，按表5-21和表2-75调节球隙，使之在0.5倍规定试验电 U_s 下放电，如加压到 $0.5U_s$ 不放电，则应调零后将间隙稍微减小，再试验，直至刚放电（火花甚小）；如加压到 $0.5U_s$ 或小于 $0.5U_s$ 时即放电，则应调零后将间隙稍微增大，再试验，直至刚放电。每次调整球隙应不大于1mm。

② 将上述调整好的球隙固定好，带上被试物，使试验变压器带负载均匀升压，直至放电，记录此时的放电电压（由电压表读取）为 U_a。

③ 同样方法先在空载之下分别调整球隙在 $0.6U_s$、$0.7U_s$、$0.8U_s$ 放电，然后带上被试物，测取负载下放电电压分别为 U_b、U_c、U_d，最后绘制成图 5-32 的曲线。

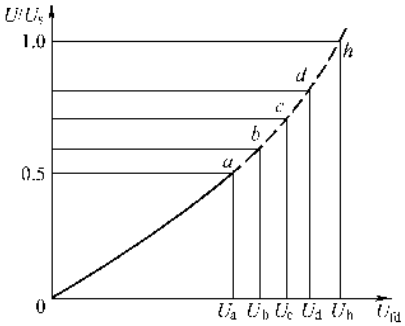


图 5-32　电压校正曲线

④ 在 $1.0U_s$ 点做水平线与曲线的延长线交于 h 点，然后从 h 点投影到横轴得到 U_h，此值即为带上被试物时所加的电压值，此值相当于 $1.0U_s$。

⑤ 再调整球隙，将试验变压器空载升压到（1.1～1.15）U_s 时放电，固定此球隙，然后接入被试物，将电压均匀升至 U_h 进行试验。

由于球隙放电受到气压、温度、环境湿度、球面粗糙度以及球隙调整的误差影响，对任一被试物在耐压前均应进行实际校验，以保证试验的准确及安全。

18）在均匀电场下及温度为 20℃、气压为 101332Pa（760mmHg）时，测得球隙与空气绝缘强度的关系见图 5-33，由于试验时的温度及各地区的海拔不同，在选用表 2-75 中的数值时应乘以校正因数 δ，即

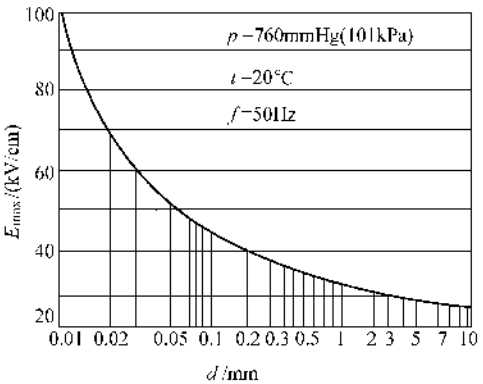


图 5-33　击穿电场强度与电极间的距离关系

$$\delta = \frac{p}{101332}\frac{273+20}{273+t} \tag{5-22}$$

式中　p——试验时的大气压，单位为 Pa；

t——试验时的温度，单位为℃。

19）关于电压谐振和电流谐振

① 电压谐振是由于被试物的电容和试验设备的漏抗相串联，在其参数匹配的情况下而产生的高电压，这个高压一般为所加电压的 3～4 倍，将会使被试物击穿。为了避免电压谐振的产生，试验回路的参数应满足式（5-23）的要求。

$$C_x < 3.18\frac{10^9}{X_{BT}} \tag{5-23}$$

式中　C_x——被试品电容，单位为 μF；

X_{BT}——归算到高压侧时的试验变压器及调压器的漏抗之和，单位为 Ω。

② 电流谐振是由于被试物的电容和试验设备空载时的电抗并联，在其参数匹配的情况下而产生的大电流，这个电流将会烧坏仪表，对试验不利。为了避免电流谐振的产生，试验回路的参数应满足式（5-24）、式（5-25）的要求：

$$C_x > 1.3\frac{P_e}{U_e^2}\times 10^{-6} \tag{5-24}$$

或

$$C_x < 0.08\frac{P_e}{U_e^2}\times 10^{-6} \tag{5-25}$$

式中　P_e、U_e——试验变压器的额定容量和额定电压。

（5）直流耐压试验和泄漏电流的测量　与电力变压器直流耐压试验基本相同，见本章电力变压器的试验及第二章相关内容。

（6）轴承绝缘电阻的测量　用 1000V 的绝缘电阻表测试轴承与带电部位的绝缘电阻，阻值不得小于 0.5MΩ。详见第七章第五节电气设备的检查和调整中的相关内容及图 7-101。

（7）可变电阻器、起动电阻、灭磁电阻的直流电阻、绝缘电阻的测试与前述基本相同，测试时应将其与外界连接部分断开，避免准确度受到影响。

4. 空载试验

经过上述检查和试验合格的电动机可进行空载试验。空载试验前应重新检查一下轴承的转动情况，并盘车转动转子试听一下转动的声音是否正常，检查有否径向或轴向的摆动或窜动，然后摇测一次绝缘，整机正常、无不妥，即可通电试验。

1）通电试验应合理选择起动电路和设备，一般

小型电动机可用刀闸熔丝开关直接起动；中型电动机应用接触器或断路器直接起动；大型电动机必须用减压起动器起动。最好是用安装好的电动机本身的起动设备，但是使用前这些设备需经检查、试验合格后方可使用。临时电源的接取要注意送电的范围，通常是先将车间的进户电源、机组的进户电源或控制柜的进户电源先临时拆下，然后将临时电源接在被拆下进户电源的总开关的上闸口。临时电源的导线、开关容量、送电距离应符合电动机的要求。一般的安装单位都有试车电源专用设备，把电源总开关、起动器及电缆都装在一辆小车上，电缆是用滚筒卷起来的，使用起来很方便。临时电源接好后，应在所有供电范围内的柜体上悬挂临时用电的警告牌，避免误操作。临时电源从正式电源的接线必须符合接线要求，不得随意绑扎。

2）相序的测量，一般可逆电动机都不测相序，但对于不可逆电动机，例如深井泵电动机，绝对不能反转，所以在接线前必须先测电源的相序，并按相序接线，只能接对，不得接错。测量相序用相序表，可将相序表用三根绝缘细导线与三相临时电源连接起来，通电后相序表的转盘则顺时针或逆时针转动，对应于不可逆电动机的转向标志箭头，按相序表测得的相序接线即可。也就是转盘的转向如和电动机箭头方向相同，即可按相序表三根导线的接线顺序和电动机的 U、V、W 连接；如果方向相反，可将相序表的三根导线任意两根对调一下，这时相序表转盘的转向和电动机箭头方向相同，即可按对调后的接线顺序和电动机连接。或者将测得的电源相序对调一下和电动机的 U、V、W 连接也可。详见图 5-34。

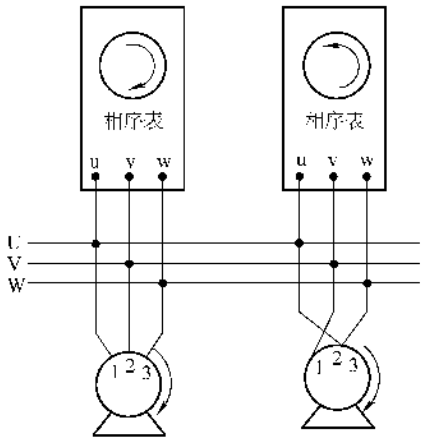


图 5-34 相序表的使用方法

3）电源电压的测量，一般用万用表交流电压 500V 挡测量三相的线电压 U_{UV}、U_{VW}、U_{WU}，应基本相等。电压无误后，即可按电动机的接法接线，见图 5-35。

4）检查无误后，即可起动电动机，先将电动机点动起车一次，观察有无异常，如声音吼叫、振动、发出电火花、绞磁、转速缓慢或不转而发出嗡嗡声等，应停车检查，找出故障所在，修复后经试验合格后才能再度起动试验。如无异常即可起动电动机，连续空载运行。如仍有异常，则应停车处理。三相异步电动机常见故障及处理方法见表 2-84。

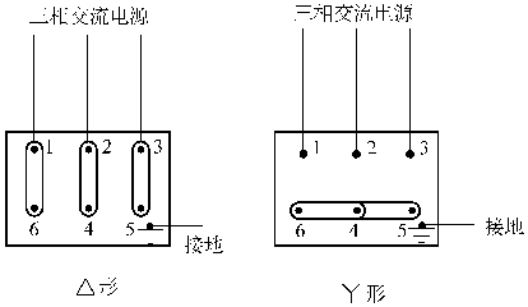


图 5-35 电动机的接线方法

5）电动机空载运行时应检测以下项目：

① 测听电动机机壳、轴承等各个部位的声音是否正常，一般应为均匀的嗡嗡声，没有断续、没有跃变且声音小而低沉，见图 5-27。

② 用钳形电流表测试三相的空载电流，一般选用$\frac{1}{2}I_N$ 的挡位，I_N 可按 2A/kW 估算；将钳口张开，分别把每根导线卡入钳口内，然后闭合钳口，一一测量。空载电流应三相平衡，误差不大于 10%，且每相空载电流约为$\frac{1}{3}I_N$ 左右。空载电流与电动机的容量、极数有关，见表 5-52。如空载电流太大，说明定子与转子之间的气隙可能超出容许值，或是定子匝数太少，或是每相绕组应一路串联而错接成两路并联；空载电流太大的电动机拖动负载时，很容易发热进而烧毁电动机。如空载电流太小，说明定子绕组匝数太多，或是三角形联结错接成星形联结，或是两路并联误接成一路串联等；空载电流太小的电动机将使转矩减小，拖不动负载，进而烧坏电动机。三相不平衡度太大，说明绕组的接线有错。

表 5-52　电动机空载电流与额定电流百分比

极数＼容量	0.125 kW	0.5kW 以下	2kW 以下	10kW 以下	50kW 以下	100kW 以下
2	70～95	45～70	40～55	30～45	23～35	18～30
4	80～96	65～85	45～60	35～55	25～40	20～30
6	85～98	70～90	50～65	35～65	30～45	22～33
8	90～98	75～90	50～70	37～70	35～50	25～35

③　用转速表测量电动机的转速是否和铭牌一致，相差太大说明电动机绕组的接线有误，或是在槽内下线时的节距有误等。电动机的转速应符合表5-53中的数值。

转速表的使用较简单，先按铭牌转速选择正确的挡位，将顶针插入表盒内，一定要卡好，另一端（橡皮头）顶在电动机轴头圆心的小坑上，转动的电动机带动顶针转动，表头即可指示出转速。顶的时候不要用力太猛，另外要注意安全。

表 5-53　电动机的转速

极数	同步转速/（r/min）	异步转速
2	3000	同步转速×［100%－（1%～6%）］，其中1%～6%的选取应按容量的大小决定，小者选下限，大者选上限
4	1500	
6	1000	
8	750	
10	600	
12	500	
16	375	
20	300	
24	250	

④　绕线转子异步电动机应在转子回路里接上起动电阻，除以上三点外，还应测量转子电压。转子电压三相应基本平衡，误差应在10%以内。另外还要观察电刷和集电环之间的电火花，正常情况不应有明显的火花及声音，应为均匀极小的嗞嗞声；无过热现象，否则说明电刷选取不合适或压力太小，或者集电环表面有污垢斑迹，或集电环椭圆度不够等。电阻的选取应用电动机起动配套的电阻，这里要注意，串联电阻后的绕线转子异步电动机的转速要降低，但转速应均匀。转子电压的不平衡和转速的不稳定，说明转子绕组有接线错误或其他故障。也可改变电阻的大小，进而观测转速的变化情况。

⑤　空载试验为2h，一般不超过4h。这时可用手触摸轴承盖、端盖、机壳各个非转动部位，其温度一般不应超过室温，也可用点式温度计测量。如有烫手或温度太高，说明轴承或轴承盖太紧，轴承配合不好或缺油，绕组匝间或相间短路、接地、缺相，通风道阻塞，电源电压过低或过高等。测温时应先用试电笔、万用表验电或穿绝缘鞋，以免触电。滑动轴承的温升不得超过45℃，滚动轴承的温升不得超过60℃。

⑥　空载电动机，即使在无地脚螺栓的情况下也应无明显的振动，否则说明转子不平衡、轴头弯曲、联轴器或带轮偏心以致电动机的磁路有误。电动机的振动（双振幅值）不应大于表5-54的规定。

表 5-54　电动机的振动标准

同步转速/（r/min）	3000	1500	1000	750及以下
双振幅值/mm	0.05	0.085	0.10	0.12

⑦　空载运行的电动机必须有专人看守，随时监视电流的大小，发现异常应立即停车，避免事故的扩大，并将测试数据及空载运行情况填入试验报告上。

第六节　低压电器的测试和试验

低压电器在电气系统中是最常见、最普遍、也是人们最不重视的电气元件，其实这是个误区。因为人们接触最多的还是低压电器，电气故障的发生大多是因为低压电器故障而引起的。因此，对低压电器的测试和试验就显得尤为重要。为了保证低压系统的安全、可靠运行，为了保证杜绝触电事故和电气事故的发生，为了保证低压系统电气工程和产品的质量及安全性能，低压电器同高压电器一样，安装前必须进行测试和试验，同时也必须纠正人们的错误认识。相比之下，低压电器的测试和试验要比高压电器简便易做。简便易做绝非是减掉不做。

1. 标准规范要求

（1）低压电器的试验项目

1）测量低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻。

2）电压线圈动作值校验。

3）低压电器动作情况检查。

4）低压电器采用的脱扣器的整定。

5）测量电阻器和变阻器的直流电阻。

6）低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压试验。

注：① 低压电器包括电压为 60～1200V 的刀开关、转换开关、熔断器、断路器、接触器、控制器、主令电器、起动器、电阻器、变阻器及电磁铁等。

② 对安装在一、二级负荷场所的低压电器，应按 2）、3）、4）款的规定进行。

（2）测量低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻值，不应小于 1MΩ；在比较潮湿的地方，可不小于 0.5MΩ。

（3）电压线圈动作值的校验 线圈的吸合电压不应大于额定电压的 85%，释放电压不应小于额定电压的 5%；短时工作的合闸线圈应在额定电压的 85%～110% 范围内，分励线圈应在额定电压的 75%～110% 范围内均能可靠工作。

（4）低压电器动作情况的检查 对采用电动机或液压、气压传动方式操作的电器，除产品另有规定外，当电压、液压或气压在额定值的 85%～110% 范围内，电器应可靠工作。

（5）低压电器采用的脱扣器的整定 各类过电流脱扣器、失电压和分励脱扣器、延时装置等，应按使用要求进行整定，其整定值误差不得超过产品技术条件的规定。

（6）测量电阻器和变阻器的直流电阻值，其差值应分别符合产品技术条件的规定。电阻值应满足回路使用的要求。

（7）低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压试验 试验电压为 1000V。当回路的绝缘电阻值在 10MΩ 以上时，可采用 2500V 绝缘电阻表代替，试验持续时间为 1min。

2. 具体试验和测试方法

（1）绝缘电阻的测量 一般应用 500V 的绝缘电阻表，630V 的矿用低压电器应用 1000 的绝缘电阻表。应测试相与相、相与地（外壳金属部位）及开关断开状态下，上闸口与下闸口的绝缘电阻以及吸合线圈的绝缘电阻。正常条件下，新产品应大于 5MΩ，最低不得小于 1MΩ，潮湿地方应大于 0.5MΩ。

（2）低压电器，动作情况及电压线圈动作值的校验（包括一般常用的低压继电器，如热继电器，电流继电器、时间继电器等）。

1）接触器的试验：用绝缘导线将接触器线圈的两端接好（将剥开绝缘的线芯压紧在线圈端子的瓦片下即可），另端接在单相闸的下闸口，取下接触器的灭弧罩，并将一小条强度较大的薄纸条，放在静触头和动触头之间的缝隙上。检查无误后，即可将单相闸合上，接触器立即吸合。这时用力抽取小纸条，如触头接触紧密，压力实足，小纸条则抽不出，或者用力抽则撕破；如接触不好，则容易抽出，这样的触头在运行中易烧坏，应调整或修复，如达不到正常使用条件，应退贷。

同时观察触头接触面应大于 90%，可根据纸条撕破的痕迹判断，否则应用 0#砂纸打磨或更换新触头。

检查触头接触情况也可用数字万用表或直流电桥，测量闭合后的动触头和静触头（也就是下闸口和上闸口）间的直流电阻，其阻值应为零，否则说明接触不好。

再用万用表测量所有辅助触头的接触电阻，线圈通电前，常开触头应为无穷大，常闭触头为 0；通电后，常开触头应为 0，常闭触头应为无穷大，否则说明接触不好，应调整。

将闸拉掉，接触器应立即释放，再合闸应立即吸合，否则说明有阻卡或铁心粘连，应找出阻卡的位置修复，用棉丝蘸酒精或汽油将铁心截面擦洗干净。线圈通电后，接触应无声响或声响微小。

试验接触器吸合情况和触头分合状态，也可以采用下面的方法。

准备三只万用表，都打在欧姆挡，一只接在辅助触头的常开触头上，一只接在辅助触头的常闭触头上，另一只接在三副主触头串联的回路里，见图 5-36。然后观察合闸和拉闸后接触器吸合和释放时的情况。主触头和辅助触头的动作应对应，否则说明接触器的触头不同步。主触头闭合后，接在主触头回路里的万用表和接在辅助常开触头的万用表，读数为零；接在辅助常闭触头的万用表，读数为无限大。主触头分开后，将与上述相反，否则说明有故障，应修复。辅助触头应一一测试，每每仔细观察。

试验时应注意安全，并且不得使主触头和辅助触头带电，更换接线时应仔细检查无误后才能合闸试验。

空投试验全部合格后，才可以进行主触头的通电试验，接线见图 5-37。

主触头的连接应使用预制好的软铜线做成的两端带接线端子的铜辫子，其规格应按接触器的额定电流来选择。线路中所有的连接应紧密可靠，电流互感器的二次不得开路，并可靠接地。

按图 5-37 接好线并检查无误后即可通电。先合上接触器线圈的电源，使接触器主触头闭合；然后再合升流器的电源开关，缓慢调节升流器，使电流升至接触器的额定电流。随着电流的递增，仔细观察触头的情况，当达到额定电流的额定值或 1.1 倍

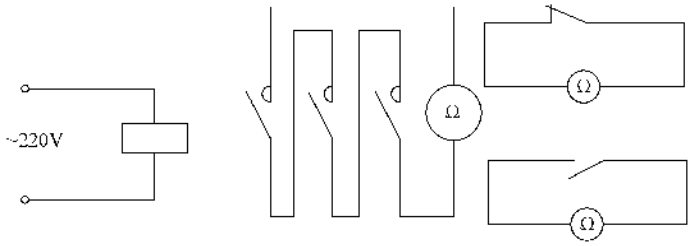


图 5-36　接触器触头的分合试验

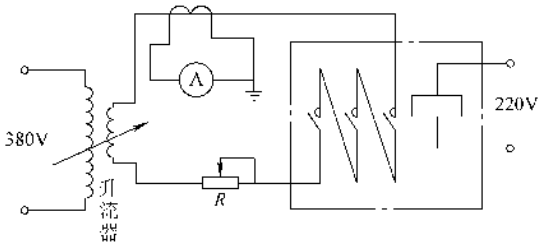


图 5-37　接触器主触头的通电试验

时，停止升流。观察 10 ~ 30min 后，用腊片试温，应不熔化；或用点式温度计测温，应小于室温，因为金属表面温度略低于室温，否则说明触头接触不良。

然后将灭弧罩上好，装时应小心，不要碰触主触头。装好后，将线圈电源的闸拉掉，然后再合上，这样反复分合 10 次。每次接通时间和间隔时间可为 2 ~ 3s。试验完后，将接触器释放，并将升流器的调节手柄置回到零位。再将灭弧罩取下，仔细检查接触头和接触面不得有任何烧伤、起弧的痕迹，否则说明触头断流能力小，灭弧能力差，使用寿命的次数少，不能用于起动控制回路。

额定电流试验合格后，再将接触器灭弧罩装好，并使其吸合，然后合上升流器的开关，缓慢升流。使电流升至 4 倍额定电流，即将接触器释放，同时使升流器断开电源。断开后立即拆开灭弧罩，测量触头温度，其值不应高于室温 10℃，触头的接触面不应有烧伤、起弧的痕迹。

这时将升流器的输出线两端短接起来，短接应用线夹进行，短接应紧固可靠，然后将升流器的电流值升至 10 倍额定电流，立即将升流器电源关掉，其调好 10 倍额定电流的手柄位置不变。将短接线夹打开，重新按图 5-37 接好，先把升流器的电源合上，这时注意，升流器的二次回路是断开的，没有电流。然后将接触器电压线圈的刀闸合上，接触器即带 10 倍额定电流吸合，合闸时间一般不超过 5s，再把接触器释放，同时将升流器电源关掉，打开灭弧罩，测量触头和触面的温度，其值不应超过室温 70℃，并无明显的烧伤和起弧的痕迹。

上述 10 倍额定电流的试验也称做通断能力的试验，可连续作三次，中间间隔时间应不大于 30s。

经过上述空投试验、通电试验和通断能力试验并合格的接触器，可用于控制柜的起动回路，否则应更换。同一厂家生产的批量接触器一般可按 10% 进行抽查，合格率应为 100%。

2）中间继电器的试验：中间继电器的试验和接触器的试验基本相同，但只作空投试验。

3）断路器的试验：DZ10 系列断路器和接触器的试验有很多相同的地方，所不同的是断路器一般型号没有合闸的电磁线圈，现以 DZ10-400/330 说明 DZ10 系列断路器的试验方法。

将断路器固定上盖的四角螺钉拧下，把上盖打开，再把灭弧罩取下，扳动手把即可合闸，然后用数字万用表或电桥即可测量触头的接触电阻；同样可用纸条法检查触头的接触状况；扳动手把合闸、拉闸空操作时，其传动应无卡自如，否则应调整。合闸后可用螺钉旋具触动电磁脱扣器的衔铁（任一相）或热脱扣器的连杆，断路器应跳闸，否则说明跳闸传动部分有卡。断路器跳闸后，应重新扳下手把，使其复位，才能重新合闸。

断路器的通电试验的接线见图 5-38。试验方法和内容同接触器。

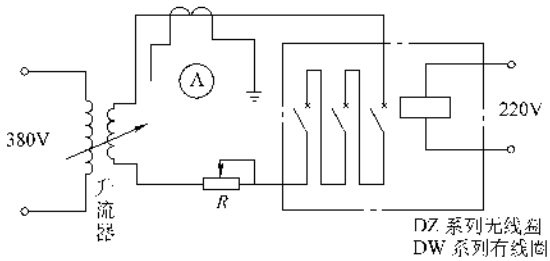


图 5-38　断路器的电流试验

当试验电流为 1 倍额定电流时，断路器长时间不动作；当试验电流为 1.1 ~ 2.0 倍额定电流时，断路

器应延时动作，延时特性可通过连杆上的螺钉与热元件动作舌片的距离进行调整；当试验电流为10倍额定电流时，断路器瞬时跳闸，动作时间小于0.2s。动作电流及动作时间可通过衔铁与铁心的距离进行调整。断路器出厂时，电磁脱扣一般都调在10倍额定电流上，热脱扣器一般不调整。通常用电磁脱扣器保护短路，瞬时动作；而用热脱扣器保护过载，延时动作，在整机调试时要重新调整。电磁脱扣器和热脱扣器是串联在每一相上的，而跳闸机构是连在一体的，因此任何一相的短路和过载，都能使断路器跳闸，这是断路器的最大优点。

4）电流继电器的试验：电流继电器的空投试验是用手将电磁铁的衔铁按下，使电磁铁在压力下吸合，这相当于负载电流大于整定电流，产生的磁动势使电磁铁吸合。这时可用万用表欧姆挡测试其微动开关触点的状况，常开触点闭合，常闭触点打开；当手松开时，衔铁在弹簧的作用下复位，这相当于负载电流小于整定电流，产生的磁动势克服不了弹簧的拉力，使电磁铁释放。这时用万用表测量，常开触点断开，常闭触点闭合。也可用两只万用表分别跨接在常开触点和常闭触点上，重复上述的试验，观察触点打开和闭合的情况。

电流继电器的通电试验，可按图5-39接线，并测试触点的动作情况。调节升流器的手柄，使继电器动作，即可测定继电流的额定电流，并说明继电器具有过电流保护的功能；同时调节衔铁的间隙，即可改变动作电流，说明电流继电器的选择性。否则说明，继电器磁路部分开路或传动部分有卡。

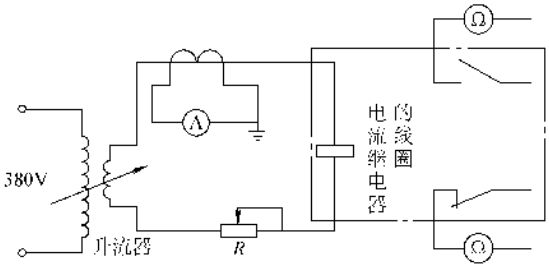


图5-39 电流继电器的电流试验

5）电磁式时间继电器的试验：电磁式时间继电器的空投试验同样是用手按下衔铁，使其在压力下吸合，这相当于线圈通电或者直接通以电源电压。对通电延时的时间继电器来讲，手按下衔铁时，其常开触点应延时闭合，常闭触点应延时打开；当手松开后（相当于线圈断电），常开触点应立即打开，常闭触点应立即闭合。对断电延时的时间继电器来讲，手按下衔铁时，其常开触点应立即闭合，常闭触点应立即打开，当手松开后（相当于线圈断电），常开触点应延时打开，常闭触点应延时闭合。对通电和断电都延时的时间继电器来讲，手按下衔铁时，其常开触点应延时闭合，常闭触点应延时打开，当手松开后（相当于断电），常开触点应延时打开，常闭触点应延时闭合。可根据微动开关动作的声音判断触点的动作情况，同样也可以用万用表欧姆挡和电秒表来观察触点的开闭及延时情况。

空投试验正常后，即可将时间继电器的线圈接到220V的单相电源上，同时将两只万用表分别接在常开触点和常闭触点上，然后把闸合上，触点的开闭情况可通过表针来显示，应和空投试验相同。同时用螺钉旋具调节时间整定螺钉，应看到延时的变化，同时可测出最大延时时间和最小延时时间。否则，时间继电器不能使用。时间继电器的试验见图5-40。

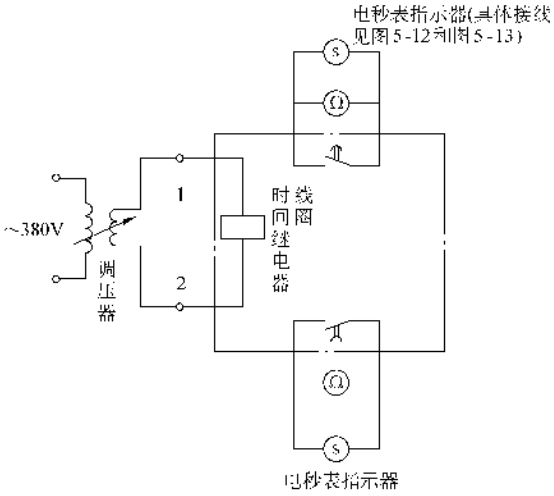


图5-40 时间继电器的试验电路

其他型号的时间继电器试验方法基本同上，读者也可参照说明书进行试验。

6）热继电器的试验：热继电器应用升流器通以电流进行试验，接线见图5-41。

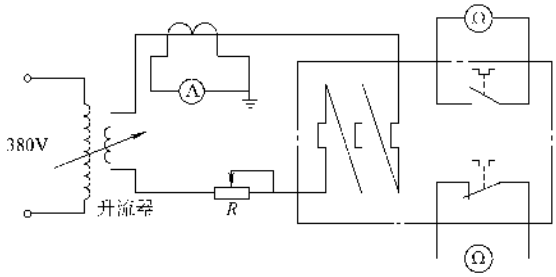


图5-41 热继电器的电流试验

热继电器的整定电流是按热元件额定电流整定的，如定货时不特别指出，厂家出售时一般配以热继电器额定电流值的热元件，见表5-55。热继电器的整定是通过调节手轮实现的。热继电器通电后的试验，可按表5-55和表5-56中的数值进行，同时观察触点的变化情况，时间可用秒表或手表测量。热继电器过载动作后，可按动复位按钮，使其复位，否则延时自然冷却后，才能重新试验。

表5-55　JR16系列热继电器热元件额定电流及调节范围

型号	热元件编号	热元件额定电流/A	整定电流范围/A	触点最大电流/A	
				常开	常闭
JR16-20/2 JR16-20/3 JR16-20/3D	1	0.35	0.25～0.3～0.35	3	3
	2	0.5	0.32～0.4～0.5	3	3
	3	0.72	0.45～0.6～0.72	3	3
	4	1.1	0.68～0.9～1.1	3	3
	5	1.6	1.0～1.3～1.6	3	3
	6	2.4	1.5～2～2.4	3	3
	7	3.5	2.2～2.8～3.5	3	3
	8	5.0	3.2～4～5	3	3
	9	7.2	4.5～6～7.2	3	3
	10	11	6.8～9～11	3	3
	11	16	10～13～16	3	3
	12	22	14～18～22	3	3
JR16-60/2 JR16-60/3 JR16-60/3D	13	22	14～18～22	3	3
	14	32	20～26～32	3	3
	15	45	28～36～45	3	3
JR16-150/2 JR16-150/3 JR16-150/3D	16	63	40～50～63	3	3
	17	85	53～70～85	3	3
	18	120	75～100～120	3	3
	19	160	100～130～160	3	3

表5-56　JR16系列热继电器保护特性

（20℃±5℃）

项　目	刻度电流倍数	动作时间（三相同时过载）	起始状态①
1	1	长期不动作	
2	1.2	小于20min	热态开始
3	1.5	小于2min	热态开始
4	6	大于5s	冷态开始

① 从热态开始是指以刻度电流加热，使热继电器发热到稳定状态（即在30min内温升的变化不超过1℃）开始。

7）其他元件的试验：

① 刀开关、转换开关、熔断器、主令电器应用上述方法进行绝缘电阻、接触电阻及动作情况的试验。

② 控制器、起动器除用上述方法对单体元件试验外，还应进行动作程序的试验。动作程序的试验必须在上述试验合格后进行。动作程序试验就是将控制器，起动器接上规定的电源，不接任何负载，按动起动、停止按钮，检查其动作情况是否正确，是否与电动起动程序相符。

③ 按钮。按钮可接在万用表欧姆挡的回路里试验，见图5-42。按动按钮，观察指针的变化；按动后应稳定一小段时间，再松手，其指针不能晃动。也可通以5A的电流进行电流试验。

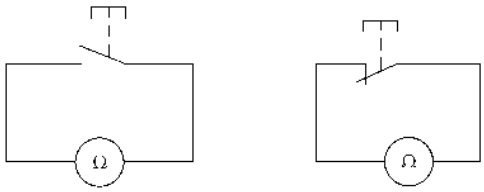


图5-42　按钮的试验

④ 指示灯。指示灯应加以额定电压试亮。

⑤ 接线端子板。接线端子板应用万用表欧姆挡对对测试，其中螺钉不得有脱扣现象，也可做5A电流试验。必要时应用绝缘电阻表摇测相邻端子的绝缘电阻，一般应≥2MΩ。

⑥ 频敏变阻器。频敏变阻器试验时应先将星点打开，按图5-43接好线试验。将升流器电源合上，即将电流快速升至4倍电动机转子额定电流，然后再缓慢将电流降回到转子额定电流，电流降的时间为20～25s，试验次数为3次，间隔不超过5s。试验完后，变阻器表面温度不应超过65℃，不得有焦糊气味，试验时不得有明显的振动和声响，否则不能使用。

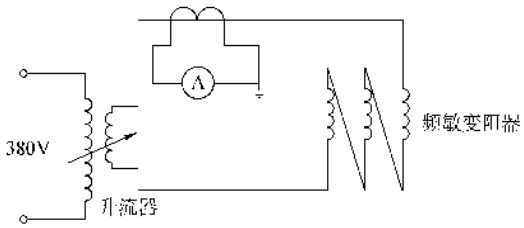


图5-43　频敏电阻器的试验

（3）其他项目的试验

1）电压线圈动作值的校验：

① 热态的吸合电压应不超过85%额定电压，冷态释放电压应大于5%额定电压。接线见图5-44。断路器的电压吸合线圈可参照图5-44试验。

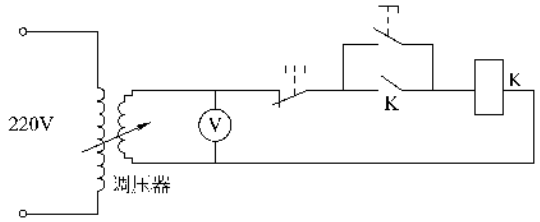


图5-44 接触器电压线圈的电压试验

测定吸合电压时，先将调压器调至1.05倍线圈额定电压，再接通线圈，使线圈发热到稳态，然后断开，重新将调压器调到额定电压，按动按钮，使其吸合，再按动停止按钮，使其释放，重复20次，都能可靠吸合，即为合格。

测定释放电压时，可将电压调至1.05额定电压，然后缓慢连续调低，并注意电压表的读数，取衔铁开始释放的电压表读数为释放电压。

② 短时工作的合闸线圈应在85%～110%额定值电压范围内可靠工作，分励线圈应在75%～110%额定电压范围内可靠工作。

电磁铁也可用这个方法校验。

2）用电动机或液压、气压传动方式操作的电器，除产品的规定外，当电压、液压、气压在85%～110%额定值范围内，电器应可靠工作。

3）各类过电流脱扣器、失电压脱扣器、分励脱扣器和延时装置等，应按设计要求进行整定，其整定值的误差（%）不得超过产品的标称误差值。

全部试验完后，试验合格的元件，应贴上标记，以免混淆。将全部数据和结果填入记录表格之内，并整理后装入设备档案袋中，备查。

（4）直流电阻测试、交流耐压试验可按元件的具体条件进行，方法同前。

第七节 电缆和绝缘导线的测试

一、电缆

1. 标准及规范要求

（1）电力电缆线路的试验项目

1）测量绝缘电阻；

2）直流耐压试验及泄漏电流测量；

3）交流耐压试验；

4）测量金属屏蔽层电阻和导体电阻比；

5）检查电缆线路两端的相位；

6）充油电缆的绝缘油试验；

7）交叉互联系统试验。

注：1 橡塑绝缘电力电缆试验项目应按本条第1）、3）、4）、5）和7）款进行。当不具备条件时，额定电压U_0/U为18/30kV及以下电缆，允许用直流耐压试验及泄漏电流测量代替交流耐压试验；

2 纸绝缘电缆试验项目应按本条第1）、2）和5）款进行；

3 自容式充油电缆试验项目应按本条第1）、2）、5）、6）和7）款进行。

（2）电力电缆线路的试验

1）对电缆的主绝缘做耐压试验或测量绝缘电阻时，应分别在每一相上进行。对一相进行试验或测量时，其他两相导体、金属屏蔽或金属套和铠装层一起接地；

2）对金属屏蔽或金属套一端接地，另一端装有护层过电压保护器的单芯电缆主绝缘做耐压试验时，必须将护层过电压保护器短接，使这一端的电缆金属屏蔽或金属套临时接地；

3）对额定电压为0.6/1kV的电缆线路应用2500V兆欧表测量导体对地绝缘电阻代替耐压试验，试验时间1min。

（3）测量各电缆导体对地或对金属屏蔽层间和各导体间的绝缘电阻

1）耐压试验前后，绝缘电阻测量应无明显变化；

2）橡塑电缆外护套、内衬层的绝缘电阻不应低于0.5MΩ/km；

3）测量绝缘用兆欧表的额定电压，宜采用如下等级：

① 0.6/1kV电缆用1000V兆欧表；

② 0.6/1kV以上电缆用2500V兆欧表；6/6kV及以上电缆也可用5000V兆欧表；

③ 橡塑电缆外护套、内衬层的测量用500V兆欧表。

（4）直流耐压试验及泄漏电流测量

1）直流耐压试验电压：

① 纸绝缘电缆直流耐压试验电压U_t可采用下式计算：

对于统包绝缘（带绝缘）：

$$U_t = 5 \times \frac{U_0 + U}{2} \tag{5-26}$$

对于分相屏蔽绝缘：

$$U_t = 5 \times U_0 \tag{5-27}$$

试验电压见表 5-57 的规定。

表 5-57　纸绝缘电缆直流耐压试验电压（kV）

电缆额定电压 U_0/U	1.8/3	2.6/3	3.6/6	6/6
直流试验电压	12	17	24	30
电缆额定电压 U_0/U	6/10	8.7/10	21/35	26/35
直流试验电压	40	47	105	130

②　18/30kV 及以下电压等级的橡塑绝缘电缆直流耐压试验电压，应按下式计算：

$$U_t = 4 \times U_0 \qquad (5\text{-}28)$$

③　充油绝缘电缆直流耐压试验电压，应符合表 5-58 的规定。

表 5-58　充油绝缘电缆直流耐压试验电压（kV）

电缆额定电压 U_0/U	雷电冲击耐受电压	直流试验电压
48/66	325	165
	350	175
64/110	450	225
	550	275
127/220	850	425
	950	475
	1050	510
190/330	1175	585
	1300	650
290/500	1425	710
	1550	775
	1675	835

注：1　上列各表中的 U 为电缆额定线电压；U_0 为电缆导体对地或对金属屏蔽层间的额定电压。

2　雷电冲击电压依据现行国家标准《高压输变电设备的绝缘配合》GB 311.1 的规定。

④　交流单芯电缆的护层绝缘直流耐压试验，可依据第（9）条的规定。

2）试验时，试验电压可分 4～6 阶段均匀升压，每阶段停留 1min，并读取泄漏电流值。试验电压升至规定值后维持 15min，其间读取 1min 和 15min 时泄漏电流。测量时应消除杂散电流的影响。

3）纸绝缘电缆泄漏电流的三相不平衡系数（最大值与最小值之比）不应大于 2；当 6/10kV 及以上电缆的泄漏电流小于 20μA 和 6kV 及以下电压等级电缆泄漏电流小于 10μA 时，其不平衡系数不作规定。泄漏电流值和不平衡系数只作为判断绝缘状况的参考，不作为是否能投入运行的判据。其他电缆泄漏电流值不作规定。

4）电缆的泄漏电流具有下列情况之一，电缆绝缘可能有缺陷，应找出缺陷部位，并予以处理：

①　泄漏电流很不稳定；

②　泄漏电流随试验电压升高急剧上升；

③　泄漏电流随试验时间延长有上升现象。

（5）交流耐压试验

1）橡塑电缆优先采用 20～300Hz 交流耐压试验。20～300Hz 交流耐压试验电压和时间见表 5-59。

表 5-59　橡塑电缆 20～300Hz 交流耐压试验电压和时间

额定电压 U_0/U/kV	试验电压	时间/min
18/30 及以下	$2.5U_0$（或 $2U_0$）	5（或 60）
21/35～64/110	$2U_0$	60
127/220	$1.7U_0$（或 $1.4U_0$）	60
190/330	$1.7U_0$（或 $1.3U_0$）	60
290/500	$1.7U_0$（或 $1.1U_0$）	60

2）不具备上述试验条件或有特殊规定时，可采用施加正常系统相对地电压 24h 方法代替交流耐压。

（6）测量金属屏蔽层电阻和导体电阻比。测量在相同温度下的金属屏蔽层和导体的直流电阻。

（7）检查电缆线路的两端相位应一致，并与电网相位相符合。

（8）充油电缆的绝缘油试验，应符合表 5-60 的规定。

（9）交叉互联系统试验

1）交叉互联系统的对地绝缘的直流耐压试验：试验时必须将护层过电压保护器断开。在互联箱中将另一侧的三段电缆金属套都接地，使绝缘接头的绝缘环也能结合在一起进行试验，然后在每段电缆金属屏蔽或金属套与地之间施加直流电压 10kV，加压时间 1min，不应击穿。

2）非线性电阻型护层过电压保护器。

①　氧化锌电阻片：对电阻片施加直流参考电流后测量其压降，即直流参考电压，其值应在产品标准规定的范围之内；

②　非线性电阻片及其引线的对地绝缘电阻：将非线性电阻片的全部引线并联在一起与接地的外壳绝缘后，用 1000V 兆欧表测量引线与外壳之间的绝缘电阻，其值不应小于 10MΩ。

表 5-60 充油电缆及附件内和压力箱中的绝缘油试验项目和要求

项目	要求		试验方法
击穿电压	电缆及附件内	对于 64/110～190/330kV，不低于 50kV 对于 290/500kV，不低于 60kV	按《绝缘油 击穿电压测定法》GB/T 507—2002 中的有关要求进行试验
	压力箱中	不低于 50kV	
介质损耗因数	电缆及附件内	对于 64/110～127/220kV 的不大于 0.005 对于 190/330～290/500kV 的不大于 0.003	按《电力设备预防性试验规程》DL/T 596—1996 中的有关要求进行试验
	压力箱中	不大于 0.003	

3）交叉互联性能检验：本方法为推荐采用的方式，如采用本方法时，应作为特殊试验项目。

使所有互联箱连接片处于正常工作位置，在每相电缆导体中通以大约 100A 的三相平衡试验电流。在保持试验电流不变的情况下，测量最靠近交叉互联箱处的金属套电流和对地电压。测量完后将试验电流降至零，切断电源。然后将最靠近的交叉互联箱内的连接片重新连接成模拟错误连接的情况，再次将试验电流升至 100A，并再测量该交叉互联箱处的金属套电流和对地电压。测量完后将试验电量降至零，切断电源，将该交叉互联箱中的连接片复原至正确的连接位置。最后再将试验电流升至 100A，测量电缆线路上所有其他交叉互联箱处的金属套电流和对地电压。

试验结果符合下述要求则认为交叉互联系统的性能是满意的：

① 在连接片做错误连接时，试验能表明存在异乎寻常大的金属套电流；

② 在连接片正确连接时，将测得的任何一个金属套电流乘以一个系数（它等于电缆的额定电流除以上述的试验电流）后所得的电流值不会使电缆额定电流的降低量超过 3%；

③ 将测得的金属套对地电压乘以上述②项中的系数后不超过电缆在负载额定电流时规定的感应电压的最大值。

4）互联箱

① 接触电阻：本试验在做完护层过电压保护器的上述试验后进行。将刀闸（或连接片）恢复到正常工作位置后，用双臂电桥测量闸刀（或连接片）的接触电阻，其值不应大于 20μΩ；

② 闸刀（或连接片）连接位置：本试验在以上交叉互联系统的试验合格后密封互联箱之前进行。连接位置应正确。如发现连接错误而重新连接后，则必须重测闸刀（连接片）的接触电阻。

2. 具体测试和试验方法

（1）绝缘电阻的测试 规范对绝缘电阻的测试未做阻值的规定，一般情况下，电力电缆应按下述要求进行，作为电缆开封或送电前绝缘状况的依据，见表 5-61。

表 5-61 电力电缆绝缘电阻阻值表

（仅供参考）

电压等级及类别	使用绝缘电阻表规格/V	绝缘电阻内容	换算到长 1km、20℃时的绝缘电阻/MΩ
3kV 及以下粘性油浸	1000	相-相 相-地（铅包）	≥50
3kV 及以下干绝缘	1000	同上	≥100
6～10kV	2500	同上	≥200
35kV	2500～5000	同上	>500

换算方法可用下式进行：

$$R_t = \alpha_t R_L \frac{L}{1000} \tag{5-29}$$

式中 R_t——换算后的绝缘电阻值，单位为 MΩ/km；

α_t——绝缘电阻温度系数，见表 5-62；

R_L——被测电缆绝缘电阻的测定值，单位为 MΩ；

L——被测电缆的长度，单位为 m。

表 5-62 绝缘电阻温度系数表

温度/℃	0	5	10	15	20	25	30	35	40
温度系数 α_t	0.48	0.57	0.70	0.85	1.0	1.13	1.41	1.66	1.92

这里要注意，电缆的绝缘测试与其他绝缘电阻的测试略有不同，应将“L 端”接被测线芯，“E 端”接地（铅包）。测量线（相）间时，“E 端”接线芯，

“G 端”为保护屏蔽端，测量电缆时应接在被测线芯的内层绝缘物上，以消除因表面漏电而引起的误差，见图 5-45。

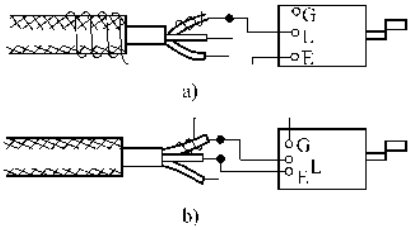


图 5-45　用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻的方法

a）对地　b）相间

测量结果，三相不平衡系数一般不大于 2.5。

1）无封端的橡皮、塑料电力电缆，即可用绝缘电阻表按上述接线方法进行绝缘电阻的测量，测量前可用蘸有汽油的棉丝将端头的线芯擦干净或者用锯将端头锯掉 10～20mm，露出新线芯，再进行测量。无封端的电缆随时可进行绝缘电阻的测量。

2）有铅包封端的各类电缆通常在制作电缆头时才进行绝缘电阻的测量，同时进行潮湿判断和直流耐压试验。因为有封端的电缆属粘油绝缘、不滴流油浸纸绝缘类，易受潮，因此开封即连续作业，直至做完；开封的同时还须将锯断处剩下不用段的端头进行铅封，以免受潮。测量方法及要求同前。

（2）潮湿判断　当对油浸纸绝缘电缆的密封有怀疑时，应进行潮湿判断。

电缆开封后，将靠近铅（铝）包处及导线线芯的绝缘纸，用干燥洁净的镊子撕下几条，用火柴点燃，若没有嘶嘶声或白色泡沫出现，即说明未受潮；或者将其放入 150～160℃的电缆油或变压器油盘内，若没有嘶嘶声或白色泡沫，亦说明未受潮。

有时也可将电缆线芯直接浸到 150℃的电缆油或变压器油锅内，同上述的方法进行判断。浸入前先用干燥洁净的钳子将线芯松成伞状。

如电缆受潮，应将电缆锯掉一截，再进行上述的试验，直至没有白色泡沫或嘶嘶声出现。每次锯割的长度，由白色泡沫或嘶嘶声的程度而定。一般情况下，每次锯割长度最大不应超过 800mm。

受潮试验完毕后，应立即进行绝缘电阻的测试、耐压试验及电缆头的制作，否则立即封头。

（3）直流耐压试验　3kV 及以上的电力电缆应做直流耐压试验，试验方法见第二章有关内容。试验时，试验电压可分 5 段均匀上升，每阶段停留 1min，并读取泄漏电流值，升到试验电压时应停留的时间及试验电压见表 5-57～表 5-59。

此外，应注意以下几点：

1）试验须在干燥无风天气进行，避免潮气侵入或灰尘滴落。否则，应有一定的防护措施。

2）电缆有封头时，开封可锯割端头或用喷灯烤化铅封，然后将外皮的钢甲、铅套管、绝缘物及防护层小心剥掉，并缓慢将线芯分开，不得使线芯根部的绝缘受损，只将端部的绝缘纸轻轻撕掉即可。线芯露出的长度一般不超 100mm，铅管露出的长度不大于 250mm。

开封时，剥切铅管或烤化铅管时，应用酒精棉球将外表擦拭干净，开封后要注意不得将脏物落入。同时应事先将试验仪器、导线、封铅、硬脂酸等试验材料，封头工具材料准备好，开封后立即进行试验，尽量缩短线芯在外暴露的时间，试验完毕应立即封头。

3）封头操作应由技术熟练者进行，要快、要严密。

封头时，先将分开的线芯从根部（铅管口处）齐根锯掉，然后用喷灯预热铅管管口，预热长度不超过 100mm，且不得伤及铅管以后的电缆；预热时间一般为 5～10min，然后将封铅料置于铅管口，边预热边将其烤化，使铅滴糊在预热好的管口上，并涂沫硬脂酸，边涂边滴；当铅滴糊满管口时，立即用干净白布按住，边按边涂，即可将封头封好。再检查一遍有无漏封或不妥之处，再用同样方法补封。整个过程要快，不得停止加热，必要时应用两只喷灯作业。封头必须封死封严，以避线芯受潮。

4）电除尘器使用的直流电缆应在敷设后进行耐压试验，试验电压为 2 倍额定电压，试验的持续时间为 10min；交流单芯电缆的护层绝缘试验标准，应按定货协议或产品出厂说明书要求进行。

5）粘性油浸纸绝缘电缆泄漏电流的三相不平衡系数应不大于 2；当 10kV 及以上电缆的泄漏电流小于 20μA、6kV 及以下电缆的泄漏电流小于 10μA 时，其不平衡系数不作规定；充油、橡皮、塑料电缆泄漏电流不平衡系数不作规定。这里要说明一点，泄漏电流只作为判断绝缘良好与否的参考，不作为决定投入运行与否的标准。

泄漏电流的测试，要减小杂散电流的影响，有人认为从泄漏电流中减去试验仪不带电缆时测出的泄漏电流来作为真正的泄漏电流值是不正确的。因此要采用适当的接线以减小杂散电流的影响，见图 5-46。表 5-63 给出了电缆允许泄漏电流的参考值。

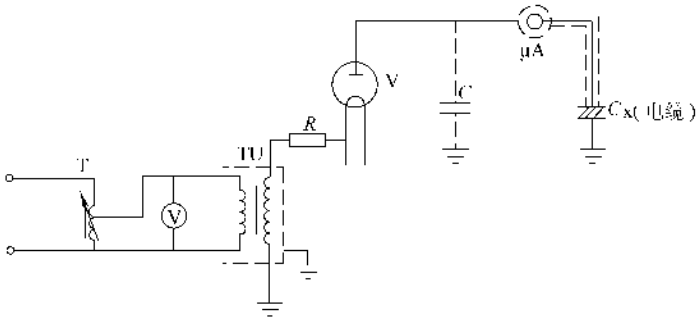


图 5-46 耐压试验、泄漏电流试验的正确接线

表 5-63 电缆长度为 250m 及以下时的泄漏电流参考值

试验接线方式	电缆型式	工作电压/kV	相当于下列试验电压时的泄漏电流		允许三相最大不对称系数
			电压/kV	电流/μA	
微安表接在高压侧，高压引线及微安表加屏蔽	三芯电缆	35	140	85	2
		20	80	80	2
		10	50	50	2
		6	30	30	2
		3	15	20	2.5
	单芯电缆	10	50	70	—
		6	30	45	—
		3	15	30	—

注：1 上表泄漏电流为 5～10min 时的值，此电流不得随时间增长及突然闪动。

2 微安表接在高压侧或采用消除杂散电流影响的其他接线方式。

3 在直流耐压过程中，应于 0.25、0.50、0.75、1.0 倍试验电压下各停留 1min 读取电流，在规定试验电压下读取 1min、5min 和 10min 的泄漏电流值，以观察电流增长情况。

4 电缆长度超过 250m 时，泄漏电流可按长度成比例适当增加。

6）试验时，泄漏电流很不稳定，或随试验时间延长有上升现象，或随试验电压升高而急剧上升者，则证明电缆绝缘有缺陷，应指出缺陷部位，并处理。

7）电缆内部缺陷的查找方法：

① 把电缆缠绕在另一木盘轴上，边缠边放边检查电缆的外部缺陷，有缺陷的地方可能是故障点。

② 继续升高电压或延长试验持续时间，把有缺陷处击穿，但当在试验电压值时能维持试验时间时，该电缆能用，继续升高电压值一般取试验电压的 1.25 倍。如无穿击部位，泄漏电流存在 6）中的现象，该电缆可降级使用。

③ 采用 1/2 处割断法，也就是电缆从 1/2 长处割断，再做耐压测试，当其中一个 1/2 长有 6）中的现象时，再从其 1/2 处割断，试验，直至找出故障点；当两个 1/2 长都有 6）中的现象时，电缆应降级使用。当找出故障点后应将其割去，把试验合格的段经过电缆头接起再使用。

④ 采用电缆故障探测仪，主要有 MD911-Ⅳ型，使用方法见第二章相关内容。把电缆展放开，然后给电缆通以额定电压，这时用仪器沿着电缆外皮缓慢移动，当经过故障时，仪器将会报警，很快可将故障点找出。必要时可将电压升至 2～3 倍额定电压。此项试验应注意安全，以防中电。

（4）交流耐压试验基本同直流耐压试验，试验电压见表 5-59。

二、绝缘导线

绝缘导线同低压电器一样，对其测试不被人们所重视，大多数低压系统的故障往往发生在导线上，特别是建筑物内敷设在管内的导线，由于绝缘不好、先天截面积减小、散热不良等原因，易造成短路、着火等事故。

因此，无论新旧导线在敷设前必须对其进行测试。这方面标准规范上无特殊的规定，根据经验，绝缘导线应做绝缘电阻测试和截面积测量的工作。

1）低压用的绝缘导线应用 500V 绝缘电阻测试仪测量线芯对外层绝缘的绝缘电阻，新导线应大于 5MΩ，旧导线或潮湿环境中应大于 1Ω。

2）用卡尺测量导线的直径，应符合标注的线径（截面积）的要求。

第八节 自备电源的测试和试验

自备发电机一致均采用 1000V 及以下电压等级的发电机组，自备电源发电机的测试和试验见表 5-64。测试和试验方法与变压器电动机的测试试验方法相同，请读者参照相关章节内容。

表 5-64　发电机交接试验

序号	部位		内容	试验内容	试验结果
1	静态试验	定子电路		测量定子绕组的绝缘电阻和吸收比	绝缘电阻值大于 0.5MΩ 沥青浸胶及烘卷云母绝缘吸收比大于 1.3 环氧粉云母绝缘吸收比大于 1.6
2				在常温下，绕组表面温度与空气温度差在 ±3℃范围内测量各相直流电阻	各相直流电阻值相互间差值不大于最小值 2%，与出厂值在同温度下比差值不大于 2%
3				交流工频耐压试验 1min	试验电压为 $1.5U_n+750V$，无闪络击穿现象，U_n 为发电机额定电压
4		转子电路		用 1000V 兆欧表测量转子绝缘电阻	绝缘电阻值大于 0.5MΩ
5				在常温下，绕组表面温度与空气温度差在 ±3℃范围内测量绕组直流电阻	数值与出厂值在同温度下比差值不大于 2%
6				交流工频耐压试验 1min	用 2500V 摇表测量绝缘电阻替代
7		励磁电路		退出励磁电路电子器件后，测量励磁电路的线路设备的绝缘电阻	绝缘电阻值大于 0.5MΩ
8				退出励磁电路电子器件后，进行交流工频耐压试验 1min	试验电压 1000V，无击穿闪络现象
9		其他		有绝缘轴承的用 1000V 兆欧表测量轴承绝缘电阻	绝缘电阻值大于 0.5MΩ
10				测量检温计（埋入式）绝缘电阻，校验检温计精度	用 250V 兆欧表检测不短路，精度符合出厂规定
11				测量灭磁电阻，自同步电阻器的直流电阻	与铭牌相比较，其差值为 ±10%
12	运转试验			发电机空载特性试验	按设备说明书比对，符合要求
13				测量相序	相序与出线标识相符
14				测量空载和负荷后轴电压	按设备说明书比对，符合要求

第九节　火灾自动报警设备的测试

1. 标准规范要求

GB50166—2007《火灾自动报警系统施工及验收规范》对系统元件的测试有明确规定（其中括号内的文字是编者加的）：

（1）火灾报警系统调试，应先分别对探测器、区域报警控制器、集中报警控制器、火灾报警装置和消防控制设备、可燃气体报警控制器、消防联动控制器、气体灭火控制器、消防设备应急电源及应急广播设备、消防电话、传输设备、消防控制中心图形显示装置、消防电动装置、防火卷帘控制器、区域显示器（盘）、消防紧急灯具等逐个进行单机（台）通电检查（测试），正常后方可进行系统调试。

（2）火灾自动报警系统通电后，应按现行国家标准《火灾报警控制器》GB 4717—2005 的有关要求对报警控制器进行下列功能检查（测试）：

1）火灾报警自检功能；

2）消音复位功能；

3）故障报警功能；

4）火灾优先功能；

5）报警记忆功能；

6）电源自动转换和备用电源的自动充电功能；

7）备用电源的欠电压和过电压报警功能；

（3）检查火灾自动报警系统的主电源和备用电源，其容量应分别符合现行有关国家标准的要求，在备用电源连续充电放电 3 次后，主电源和备用电源能自动转换。

（4）应采用专用的检查仪器对探测器逐个进行试验，其动作应准确无误。

（5）应分别用主电源和备用电源供电，检查火灾自动报警系统的各项控制功能和联动功能。

2. 具体测试试验方法

（1）人工试验和测试

1）感烟探测器：用一铁盆内装潮湿的纸、草、破布等，置于探测器垂直下方的地面上，点燃即可产生烟。可用一下端为喇叭口的钢管将烟引至探测器处。

若使用 BHTS-1 型便携式火灾探测试验中的烟杆时，可按下面的操作进行：

① 将线香点燃后放在烟杆下部的紧固座下；

② 装上烟嘴把拉伸杆安装在上面，并将其拉伸至探测器的安装位置；

③ 对烟嘴对准探测器的进烟口，操作开关使烟吹进探测器，30s 内探测器确认灯亮，即“火灾”报警。

对于防爆场所则应用烟瓶试验，应将气瓶口的波纹管对准且围住探测器，2s 后氟利昂气体喷出，15s 探测器确认灯亮，即“火灾”报警。

2）感温探测器：将电炉子与调压器接好并接通电源，手持托架将电炉子升至距探测器 300mm 处，升高电压并用点式温度计测温，当温度上升至动作温度时确认灯亮，即“火灾”报警。

若使用 BHTS-型温杆时，可按下面的操作进行；

接通 220V 电源，并将温杆头对准探测器，温度上升，至 10s 后确认灯亮，即报警。

3）感光探测器、火焰探测器：明火信号可用铁盆放木柴点明火设置，并将火盆置于探测器可探测元件部位，报警后应立即将火盆用手提灭火器熄灭，并有专人负责。

4）对“火灾”不报警的探测器，应从底座上取下，用 JB-YW-型单点式探测器试验仪进行试验，仍不报警者则为探测器本身故障，报警者则为线路或电源故障。

单点探测器试验仪的使用方法：

将探测器按正确的接线图将线接好，并按探测器的工作电压选择电压，然后将检测线插头插入面板上“探头接线”插口，接线见图 5-47。

接通仪器的电源，指示灯亮，黄灯亮则为断线故障；给探测器相应的“火灾”模拟信号，其确认灯亮且仪器发出声光信号，说明探测器正常；否则，探测器本身有故障，这里要注意火警声与故障声不同。

（2）FJ-2706/001 型火灾探测器检验仪的使用方法

FJ-2706/001 型火灾探测器检验仪是一种专供火灾自动报警装置进行检验的仪器，其面板布置见图 5-48。

1）仪器本身的试验：将转换开关拨向“732”，电源选择开关拨向“开”的位置，24V 和 12V 的指示灯亮，仪器电源正常；然后将转换开关拨向“2701”，故障灯亮，并有不变调音响，按一下“消音”钮，音响消除。按一下“复位”钮，故障灯及 24V 指示灯灭一下，说明仪器正常。

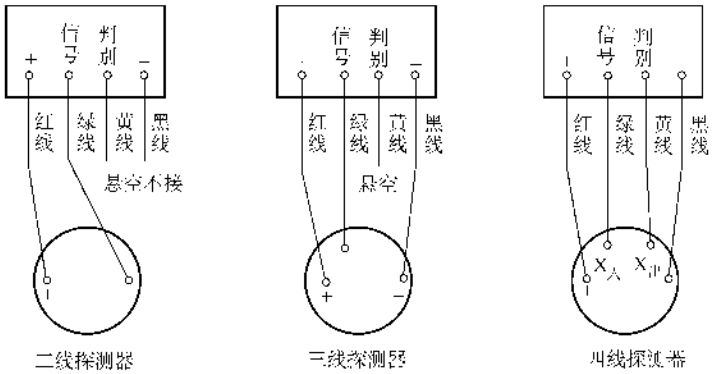


图 5-47 单点探测器试验仪的接线

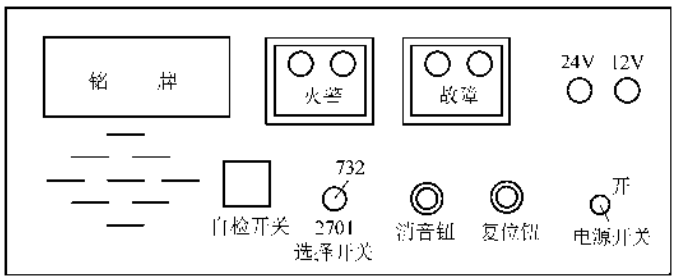


图 5-48 FJ-2706/001 型火灾探测器检验仪面板布置

2）探测器的试验：

①　F732 类型探测器。将探测器拧紧在装置盖板上的 F732 底座上，转换开关拨至“732”打开电源，此时用烟杆、温杆向探测器加以模拟火灾信号，火警灯闪亮报警，同时发出变调火警声响，说明探测器正常，否则不正常。

②　F2701 类型探测器。将探测器拧紧在装置盖板上的 F2701 底座上，转换开关拨至“2701”，打开电源，按一下自检开关，故障灯闪一下，并伴有不变调故障音，火警灯闪亮，并伴有变调报警音，再按一下自检钮使其弹起，并按一下“消音”钮和“复位”钮，使仪器复位。这时可给探测器以模拟火灾信号（用烟杆或温杆等），立即报警并发出火警音响，即探测器正常。

3）报警控制器的试验：将仪器背面的输出端子的模拟报警号和检查信号接在报警器相应的端子上即可进行试验，如报警器的声光系统、时间记录、地址显示、自检信号、电源电压及集中报警器的各种响应等。

这里要说明一点，FJ-2706/001 型火灾探测器检验仪置，主要适用于 FJ-2701、FJ-2705、JTW-CDZ-2700/015、JTW-DZ-2700/06、F732、JTY-GD-2700/001、JTW-DZ-262/062、JTW-CDZ-262/061 等系列的火灾探测器试验，其他型号的探测器应用报警器试验，报警器则可先用仪器校验合格后再进行探测器的试验。探测器及报警器厂家一般都随定货情况，提供配套的试验仪器，使用时应按其随机说明书进行。

火灾探测器检验仪的型号很多，均大同小异，可按使用说明书进行。

第十节　电缆电视设备的测试

1. 测试用的仪器仪表

（1）选频电压表　可测出 100kHz～300MHz 的高频信号电压，其输入阻抗很高，可直接测出系统各点及元件的高频信号电压，如 DW2 型宽带电压表。

（2）扫频仪　可测出部件或系统的增益、衰减、振幅频率特性以及电压驻波比等项指标，如 BT-15 型扫频仪是一种较高级的宽带扫频仪，可测出 VHF 和 UHF 频道的各项指标。

（3）噪声发生器　可测出部件的噪声系数的数值，如 FZ-2 型噪声发生器。

（4）高频标准信号发生器　可产生甚高频等幅或调幅信号，并且可用方波或脉冲来进行调制，如 XFC-6 型标准信号发生器，输出阻抗为 75Ω，与系统阻抗相同，使用时无需变换。

（5）高频示波器　可观测信号波形，与扫频仪、检波器配合可直接观测频率特性。

（6）场强仪　可用来测量电视信号在空间某一位置的场强，也可进行电视信号电平的测量，是电视电缆系统最主要的常用仪器，如 RR3A 型场强仪。

（7）万用表　除电压、电流等测量外，还能测电平。

上述仪器仪表必须按周期进行校验，使用时其应在周期之内，否则会给测量带来误差。各种仪表的使用应按使用说明书进行。

2. 测试方法

元件的测试方法很多，使用的仪器也不尽相同，本书只列出常用的测试方法和线路，供读者参考。

（1）增益和衰减量的测试　测试原理见图 5-49。

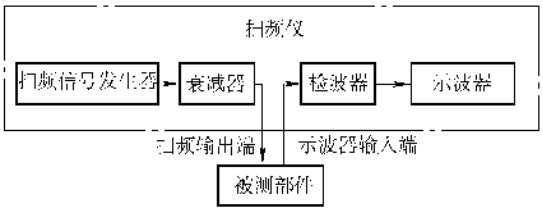


图 5-49　增益和衰减量的测试

操作步骤如下：

1）按图将线路接好，接线要正确可靠，插接要紧密匹配。

2）接通电源观察有无异常。

3）选好频段，经调整让测试频段位于示波器屏幕中央。

4）先将扫频输出端直接与检波器输入端短接在一起，然后调整衰减器，使频率响应曲线的高度适中，并记下这一高度的位置。

5）将被测元件按图接入，调整衰减器使频率响应曲线的高度和前一高度一致，这时衰减器的示值变化，就是元件被测值。如变化增加 *N*dB，那么元件的增益为 *N*dB；如果减少 *N*dB，则元件的衰减即为 *N*dB。

（2）隔离度的测试　测试方法与衰减量的测试相同，但一定要保证被测部件各端子处在匹配状态。其定义为一端子加入信号，另一端子上该信号衰减了多少分贝即为隔离度。

（3）驻波比的测试　测试原理见图 5-50。

操作步聚如下：

1）接图接好线路，注意事项同前。

2）接通电源。

3）先断开被测元件，调整衰减器，记下衰减量为1、2、4、6、8、…时屏幕上所在的位置，然后将衰减器恢复到零位。

4）然后接上被测元件，继续测试，这时曲线与无元件时的曲线重合，则可从下表查出电压驻波比 s，见表5-65。

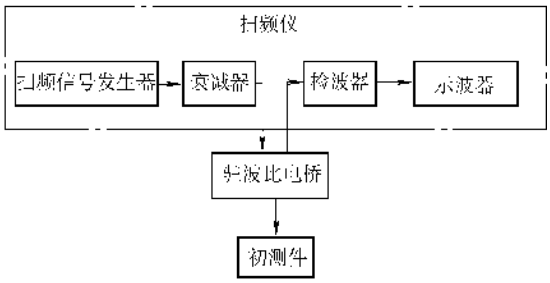


图5-50 驻波比的测试

表5-65 电压驻波比 s 与衰减量 A 的关系

A/dB	1	2	4	6	8	10
s	17.4	8.7	4.4	3.1	2.3	1.9
A/dB	12	14	16	18	20	22
s	1.67	1.5	1.38	1.29	1.22	1.17
A/dB	24	26	28	30	32	34
s	1.14	1.12	1.08	1.07	1.05	1.03

（4）噪声系数的测试　测试原理见图5-51。

操作步聚如下：

1）按图接线并接通电源，同前。

2）将噪声发生器旋转置于校准位置，使其输出噪声功率为零。

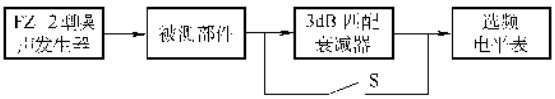


图5-51 噪声系数的测试

3）将开关S置于闭合位置，短接衰减器，读出选频电压表的读数 N。

4）将噪声发生器旋转置于“测试”位置，将S打开，使衰减器接入电路。这时调整噪声发生器的灯丝电压，使选频电压表的指示为 N，这时噪声发生器的指示刻度即为被测元件的噪声系数值。

测试中使用的衰减器，常为固定型，有T形、π形两种，见图5-52。其中电阻的选择可按表5-66中数值选取。同时衰减器也可用在系统中将信号衰减。

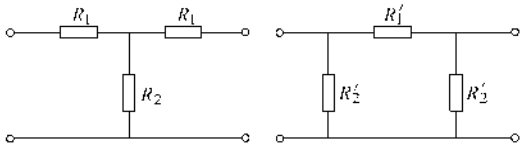


图5-52 衰减器原理图

表5-66 75Ω衰减器的电阻值

衰减量/dB	T形		π形	
	R_1/Ω	R_2/Ω	R'_1/Ω	R'_2/Ω
0.5	2.16	1300	4.32	2610
1.0	4.32	650	6.68	1305
1.5	6.46	431	13	872
2.0	8.60	323	17.4	652
3.0	12.8	212	26.4	438
4.0	16.8	157	35.8	331
5.0	21.0	124	45.5	267
6.0	24.9	100	55.9	226
7.0	28.6	83.2	67.1	196
8.0	32.3	71	79	174
9.0	35.8	60.8	92.2	157
10.0	38.9	52.6	106.5	144.2
12.0	44.9	40.2		125
14.0	50	31	181	112
16.0	54.3	24.3	230	103
18.0	58.2	19	292	96.5
20.0	61.2	15.2	371	91.6

（5）电平的测试　电平的测试通常使用选频电平表或场强仪，但元件应接入CATV系统，并在前端接入射频信号源，使输入电平为系统正常工作时的实际电平值。也可用数字万用表测量。

（6）同轴电缆应用万用表测量线芯与屏蔽层间的直流电阻，阻值越大越好，不得用绝缘电阻表测量；同时应将电缆一端的线芯与屏蔽短路，在另一端测量线芯及屏蔽层是否通。

第十一节　网络及监控设备的检测试验

一、网络系统

1. 计算机网络系统的检测

计算机网络系统的检测应包括连通性检测、路由检测、容错功能检测、网络管理功能检测。连通性检测方法可采用相关测试命令进行测试，或根据设计要求使用网络测试仪测试网络的连通性。

（1）主要项目

1）连通性检测：

①　根据网络设备的连通图，网管工作站应能够和任何一台网络设备通信；

②　各子网（虚拟专网）内用户之间的通信功能检测：根据网络配置方案要求，允许通信的计算机之间可以进行资源共享和信息交换，不允许通信的计算机之间无法通信；并保证网络节点符合设计规定的通信协议和适用标准；

③　根据配置方案的要求，检测局域网内的用户与公用网之间的通信能力。

2）对计算机网络进行路由检测，路由检测方法可采用相关测试命令进行测试，或根据设计要求使用网络测试仪测试网络路由设置的正确性。

（2）一般项目

1）容错功能的检测方法应采用人为设置网络故障，检测系统正确判断故障及故障排除后系统自动恢复的功能；切换时间应符合设计要求。

①　对具备容错能力的网络系统，应具有错误恢复和故障隔离功能，主要部件应冗余设置，并在出现故障时可自动切换；

②　对有链路冗余配置的网络系统，当其中的某条链路断开或有故障发生时，整个系统仍应保持正常工作，并在故障恢复后应能自动切换回主系统运行。

2）网络管理功能检测：

①　网管系统应能够搜索到整个网络系统的拓扑结构图和网络设备连接图；

②　网络系统应具备自诊断功能，当某台网络设备或线路发生故障后，网管系统应能够及时报警和定位故障点；

③　应能够对网络设备进行远程配置和网络性能检测，提供网络节点的流量、广播率和错误率等参数。

2. 应用软件的检测

智能建筑的应用软件应包括智能建筑办公自动化软件、物业管理软件和智能化系统集成等应用软件系统。应用软件的检测应从其涵盖的基本功能、界面操作的标准性、系统可扩展性和管理功能等方面进行检测，并根据设计要求检测其行业应用功能。满足设计要求时为合格，否则为不合格。不合格的应用软件修改后必须通过回归测试。应先对软硬件配置进行核对，确认无误后方可进行系统检测。

（1）软件产品质量检查应按照下列要求和规定执行。应采用系统的实际数据和实际应用案例进行测试。

1）商业化的软件，如操作系统、数据库管理系统、应用系统软件、信息安全软件和网管软件等应做好使用许可证及使用范围的检查。

2）由系统承包商编制的用户应用软件、用户组态软件及接口软件等应用软件，除进行功能测试和系统测试之外，还应根据需要进行容量、可靠性、安全性、可恢复性、兼容性、自诊断等多项功能测试，并保证软件的可维护性。

3）所有自编软件应提供完整的文档（包括软件资料、程序结构说明、安装调试说明、使用和维护说明书等）。

（2）应用软件检测时，被测软件的功能、性能确认宜采用黑盒法进行。

1）功能测试：在规定的时间内运行软件系统的所有功能，以验证系统是否符合功能需求。

2）性能测试：检查软件是否满足设计文件中规定的性能，应对软件的响应时间、吞吐量、辅助存储区、处理精度进行检测。

3）文档测试：检测用户文档的清晰性和准确性，用户文档中所列应用案例必须全部测试。

4）可靠性测试：对比软件测试报告中可靠性的评价与实际试运行中出现的问题，进行可靠性验证。

5）互连测试：应验证两个或多个不同系统之间的互连性。

6）回归测试：软件修改后，应经回归测试验证是否因修改引出新的错误，即验证修改后的软件是否仍能满足系统的设计要求。

3. 网络安全系统的检测

网络安全系统宜从物理层安全、网络层安全、系统层安全、应用层安全等四个方面进行检测，以保证信息的保密性、真实性、完整性、可控性和可用性等信息安全性能符合设计要求。

（1）计算机信息系统安全专用产品必须具有公安部计算机管理监察部门审批颁发的“计算机信息系统安全专用产品销售许可证”；特殊行业有其他规定时，还应遵守行业的相关规定。

（2）如果与因特网连接，智能建筑网络安全系统必须安装防火墙和防病毒系统。

（3）网络层安全的安全性检测

1）防攻击：信息网络应能抵御来自防火墙以外的网络攻击，使用流行的攻击手段进行模拟攻击，不能攻破判为合格。

2）因特网访问控制：信息网络应根据需求控制内部终端机的因特网连接请求和内容，使用终端机用不同身份访问因特网的不同资源，符合设计要求判为合格。

3）信息网络与控制网络的安全隔离：测试方法应按前面“计算机网络系统的检测”中的“连通性检测”的要求，保证做到未经授权，不能从信息网络进入控制网络；符合此要求者判为合格。

4）防病毒系统的有效性：将含有当前已知流行病毒的文件（病毒样本）通过文件传输、邮件附件、网上邻居等方式向各点传播，各点的防病毒软件应能正确地检测到该含病毒文件，并执行杀毒操作；符合本要求者判为合格。

5）入侵检测系统的有效性：如果安装了入侵检测系统，使用流行的攻击手段进行模拟攻击（如 DoS 拒绝服务攻击），这些攻击应被入侵检测系统发现和阻断；符合此要求者判为合格。

6）内容过滤系统的有效性：如果安装了内容过滤系统，则尝试访问若干受限网址或者访问受限内容，这些尝试应该被阻断；然后，访问若干未受限的网址或者内容，应该可以正常访问；符合此要求者为合格。

（4）系统层安全应满足以下要求

1）操作系统应选用经过实践检验的具有一定安全强度的操作系统。

2）使用安全性较高的文件系统。

3）严格管理操作系统的用户账号，要求用户必须使用满足安全要求的口令。

4）服务器应只提供必须的服务，其他无关的服务应关闭，对可能存在漏洞的服务或操作系统，应更换或者升级相应的补丁程序；扫描服务器，无漏洞者为合格。

5）认真设置并正确利用审计系统，对一些非法的侵入尝试必须有记录；模拟非法尝试，审计日志中有正确记录者判为合格。

（5）应用层安全应符合下列要求

1）身份认证：用户口令应该加密传输，或者禁止在网络上传输；严格管理用户账号，要求用户必须使用满足安全要求的口令。

2）访问控制：必须在身份认证的基础上根据用户及资源对象实施访问控制；用户能正确访问其获得授权的对象资源，同时不能访问未获得授权的资源，符合此要求者判为合格。

二、监控系统

1）电气设备及元件、电线电缆应按本章第一、五、六、七节相关条款进行。

2）各类传感器、变送器、电动阀门、执行器、现场控制设备及仪表按本章十三节相关条款进行。

3）网络设备及软件产品按上述网络系统相关条款进行。

第十二节　常用电工仪表的校验和检定

1. 测试或检定条件

电工仪表和互感器属国家计量标准部门管理的计量器具，应经当地计量测试部门进行检定或测试，并出示检定证书。有条件的安装企业也可以进行自检，但须具备以下条件：

1）有精度高于被检计量器具三个级别的标准计量器具，并经国家计量管理部门指定的计量检定机构检定合格，且检定设备配套齐全、技术状态良好。如盘柜常用的配套电工仪表一般是 1～2.0 级，因此须配备 0.2 或 0.1 的标准表，且有电流发生器等设备。

2）有标准器正常工作所需要的温度、湿度、防尘、防震、防腐蚀、抗干扰等的环境条件及检定场所。

3）至少有两名经当地计量部门考试合格并持有所从事检定项目的计量检定证件的计量检定人员，并熟练掌握该项目的检定规程和检定方法。

4）具有完善的管理制度。

具备上述条件后经申请且由当地政府计量管理部门考核合格发证后，才能从事计量器具的检定工作。

2. 交流电压表、电流表的测试校验

电压表、电流表检定校验的接线方法见图 5-53，可根据表的不同选择接线方法。试验方法基本同电流互感器，先调零，然后升压或升流并在至少三个刻度上停留并观察标准表和被测表的读数，读数的误差（两表的读数差）与标准表读数的比值应在被测表允许误差以内，允许误差也就是准确度等级的百分数，1.5 级即为 1.5%。一般取 0 点、1/2 刻度和满刻度，试验前应调零位。

3. 电能表的测试校验

电能表的校验装置很多，目前最常用的就是数字电压表、电流表加电脑控制的电能表校验台。无论哪种方法都是给电能表加标准电压和标准电流，再根据电能表的常数（每千瓦·小时的转数）进行综合计算分析误差的。电能表校验的接线简图见图 5-54，板面操作元件布置图见图 5-55。

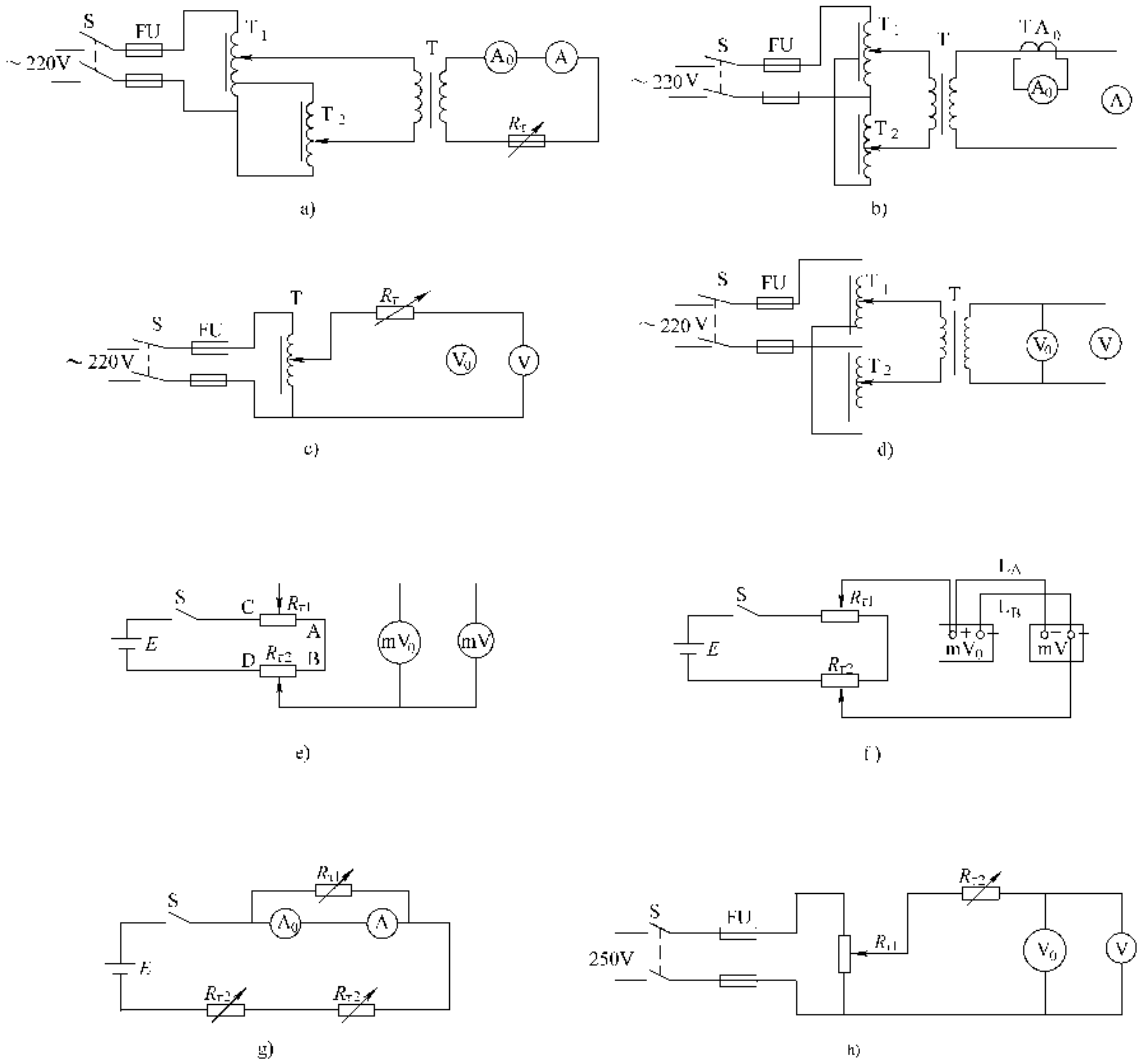


图 5-53　电压表、电流表检定校验的接线

a）有电流比电流表的试验接线

T_1—调压器，0.5～1kVA

T_2—调压器为 10% 电压细调，0.5～1kVA

T—变压器 220/20V、200VA　R_τ—可变电阻，0～5Ω、5A

b）不带电流互感器的大电流电流表试验接线

T_1、T_2—调压器，1kVA

T—大电流变压器，220/6V，2kVA

TA_0—标准电流互感器

c）交流 250V 及以下或带电压互感器的电压表试验接线

T—调压器，0.5kVA　R_τ—可变电阻 1000Ω、0.2A

d）交流 250V 以上电压表试验接线

T_1、T_2—调压器，0.5kVA　T—升压变压器，220/600V

e）直流电压表（毫伏表）试验接线

$R_{\tau1}$—可变电阻，1000Ω、0.2A

$R_{\tau2}$—可变电阻，100Ω、0.2A

E—1 号电池，1.5V、1 或 2 节

f）直流电流表试验接线（导线补偿法）

g）20A 以下内带分流器直流电流表试验接线

$R_{\tau1}$、$R_{\tau2}$—可变电阻，其阻值比例 $R_{\tau1}:R_{\tau2}=10:1$

$R_{\tau2}$—可变电阻，10Ω、5A

h）250V 及以下的直流电压表试验接线

$R_{\tau1}$—可变电阻器　$R_{\tau2}$—可变电阻器

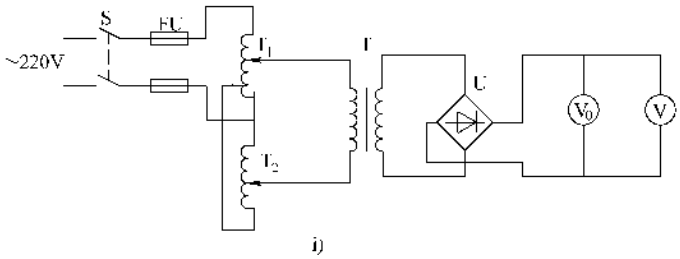


图 5-53 （续）

i）250V 以上直流电压表试验接线

T_1、T_2—调压器，0.5kVA　T—升压变压器，220/650V、200VA

U—硅整流装置，750V、0.2A

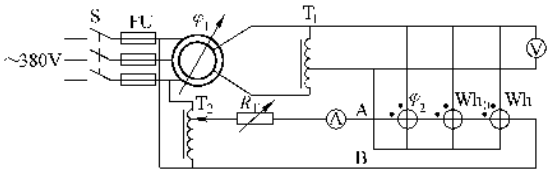


图 5-54 单相电能表校验的接线

1）先接通校验台的电源预热，这时电流表（以百分数表示）、电压表、相位表、标准表均显示零，一般预热 15min 即可。

2）将被验表挂在校验台的横梁上，然后将校验台的电压输出线夹接在电能表的电压线圈上，电流输出线夹接在电流线圈上。这里要注意，单相表要将电压线圈与电流线圈的连接挂钩或连片断开，三相表要将几个电压线圈并联，几个电流线圈串联，见图 5-56。另外要注意输出线的顺序应和电能表接线柱的顺序对应；并联电压线圈时，应将头接在一起，尾接在一起；串联电流线圈时，应将尾头相接，不要接反。

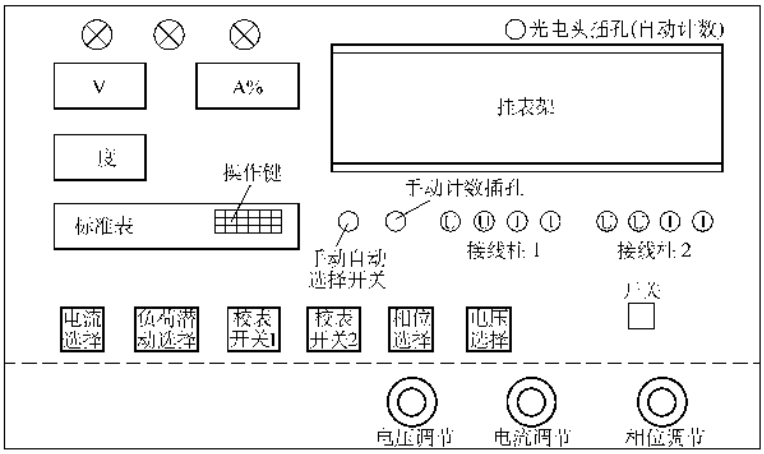


图 5-55 电能表校验台板面操作元件布置图

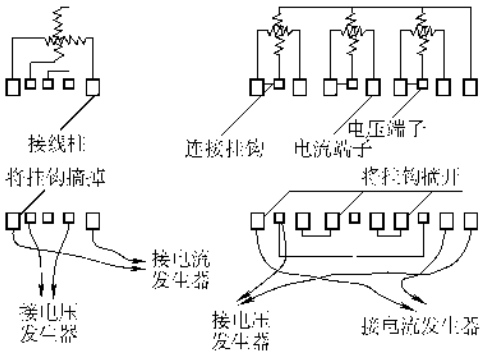


图 5-56 电能表线圈的连接

3）按被验表的电流、电压参数将每个转换开关置于所需的位置。如被校表为 2（4）A、220V，则将电流选择开关置于 2.5A 处（无 2A 挡，需在调节电流时调到 80%，即有 2.5A × 80% = 2A；若为 5（10）A，则置于 5A 挡，调节电流为 100% 即为 5A）；电压选择开关置于 220V，这里要注意三相三线表的电压线圈为 380V，则应置于 380V，经电压互感器接入的表则应置于 100V；负荷潜动开关置于负荷挡（潜动试验时再置于潜动挡）；若用第一组输出线接线柱，则应将被校 1 打开，被校 2 关掉。

4）将电流、电压调节钮的粗调、细调钮均回

到零位，相位调节钮调至中间位置，同时将相位选择开关置于零度，也就是 $\cos\phi = 0$。需 $\cos\phi = 0.866$时，相位开关可置于滞后 30°，调节相位调节钮，使相位表显示 30°，功率因数 $\cos\phi$ 即为 0.866。

5）按下启动键，即接通调压器、升流器的电源。

6）按动标准表上的按键，即可将被校表参数输出电脑。

① 按 K 键，标准表上出现 A 即额定电流，再按 0～9 的数字键，如被校表为 10A，即按动 1、再按 0；如被校表为 5A，即按动 5；也就是额定电流是多少，即输入多少。

② 再按 K 键，标准表上出现 n 即校验转数，一般取 5 转，即按数字键 5；也就是选几转即输入几转。

③ 再按 K 键，标准表上出现 V 即额定电压，被校表 220V 即输入 200，按 2、按 0、再按 0 键；被校表 380/220V 时也输入 200；被校表 380V 即输入 400。

④ 再按 K 键，标准表上出现 C 即每千瓦小时转数，也叫常数，这时按表盘上的数字输入，各种表的常数不同，有 1200，有 225，有 450 等。

⑤ 再按 K 键，标准表上出现□，即采样方式，如用光电头采样即输入 11；如手动开关采样即输入 22；为了可靠可重新连续按动 K 键，这时显示器将依次连续出现输出数据。

7）调节升压器粗调钮（外圈）将电压升至接近额值，一般差 5V 左右时即停止，然后用细调钮（内圈）将电压调至额定值，边调边观察数字电压表的指示。

8）调节升流器粗调钮（外圈）及细调钮，将电流升至额定值，这里要注意，电流表的指示是百分数，定值由选择开关选定，见前第 3）条。

9）调节相位钮，使相位表显示 360°或 0°。

10）对好光电头的焦距，使每转一周当光电头和转盘色标相遇时，即发出计数的声响；

或用手动开关计数，从看见第一次色标时按动计数按钮，然后按定值 n 数转数，转到时立即按动计数按钮。

11）按动 n/E 校验键，标准表进入校表工作状态；按 10）中方法计数，当到预置转数 n 时，显示器即显示出被校表的误差。如果配用打印机便可打出校验的结果。显示的误差如果在表的准确度等级以内或和其相等，表即为合格，否则判为不合格。

12）潜动试验：将电流调至零，将电压由 80%～110%进行调节，电能表圆盘转动不能超过一圈，如有轻微转动，转至制动钩处应停止，否则为不合格。

13）起动试验：保持电压为额定值，将电流调至额定电流的 0.5%（1.0 级或 2.0 级的表）或额定电流的 1%（3.0 级的表），$\cos\phi = 1$，转盘能连续转动即为合格。

14）轻负载试验：保持电压为额定值，将电流调至额定电流的 10%，n = 5，按前述方校验误差，应不超差即为合格。

15）最大负载试验：保持电压为额定值，将电流调至额定电流值后（　）内的数值，一般为 2 倍，n = 5，按前述方法校验误差，应不超差即为合格。

16）相位角补偿检定：调整电压、电流为额定值，变动移相器，使显示器为 90°，即 $\cos\phi = 0$，这时被试表应不转动，如果转动则说明补偿不良，应进行调整。

同时可加额定电流或 50% 额定电流、额定电压，相位为 60°或 300°，再按上述方法校验，误差应在允许范围之内。

17）注意事项：

① 电流和电压输出线的接线必须牢固正确，并经常检查线的夹头是否连接牢固。

② 每试验完一个项目后，必须将电压、电流调至零位，任何时候不允许带压、带流起动。

③ 装置使用 3×380/220V 三相四线电源，必须按相序 U、V、W、N 输入，不能接反。装置应可靠接地。

④ 各调节选择开关及其操作必须正确无误。

⑤ 校验时应观察被验表计数器是否走字，否则说明表内计数机构有脱齿现象。

4. 功率表的校验

利用上述装置可校验功率表。先按被试表选择电压、电流量程并预置电压、电流等参数，把电流线电压线接好，然后按“W”键使其进入功率检测状态。可利用数字键“0”选择采样时间，其可在 1～10s 间转换。其他基本同电能表的校验。

第十三节　自动化仪表的测试和试验

一、标准规范要求

1. 总体要求

1）仪表在安装和使用前，应进行检查、校准和试验，确认符合设计文件要求及产品技术文件所规定的技术性能。

2）仪表安装前的校准和试验应在室内进行。试验室应具备下列条件：

① 室内清洁、安静、光线充足，无振动，无对仪表及线路的电磁场干扰；

② 室内温度保持在10～35℃；

③ 有上下水设施。

3）仪表试验的电源电压应稳定。交流电源及60V以上的直流电源电压波动不应超过±10%。60V以下的直流电源电压波动不应超过±5%。

4）仪表试验的气源应清洁、干燥，露点比最低环境温度低10℃以上。气源压力应稳定。

5）仪表工程在系统投用前应进行回路试验。

6）仪表回路试验的电源和气源宜由正式电源和气源供给。

7）仪表校准和试验用的标准仪器仪表应具备有效的计量检定合格证明，其基本误差的绝对值不宜超过被校准仪表基本误差绝对值的1/3。

8）仪表校准和试验的条件、项目、方法应符合产品技术文件的规定和设计文件要求，并应使用制造厂已提供的专用工具和试验设备。

9）对于施工现场不具备校准条件的仪表，可对检定合格证明的有效性进行验证。

10）设计文件规定禁油和脱脂的仪表在校准和试验时，必须按其规定进行。

11）单台仪表的校准点应在仪表全量程范围内均匀选取，一般不应少于5点。回路试验时，仪表校准点不应少于3点。

2. 单台仪表的校准和试验

1）指针式显示仪表的校准和试验，应符合下列要求：

① 面板清洁，刻度和字迹清晰；

② 指针在全标度范围内移动应平稳、灵活。其示值误差、回程误差应符合仪表准确度的规定；

③ 在规定的工作条件下倾斜或轻敲表壳后，指针位移应符合仪表准确度的规定。

2）数字式显示仪表的示值应清晰、稳定，在测量范围内其示值误差应符合仪表准确度的规定。

3）指针式记录仪表的校准和试验应符合下列要求：

① 指针在全标度范围内的示值误差和回程误差应符合仪表准确度的规定；

② 记录机构的划线或打印点应清晰，打印纸移动正常；

③ 记录纸上打印的号码或颜色应与切换开关及接线端子上标示的编号一致。

4）积算仪表的准确度应符合产品技术性能要求。

5）变送器、转换器应进行输入输出特性试验和校准，其准确度应符合产品技术性能要求，输入输出信号范围和类型应与铭牌标志、设计文件要求一致，并与显示仪表配套。

6）温度检测仪表的校准试验点不应少于2点。直接显示温度计的示值误差应符合仪表准确度的规定。热电偶和热电阻可在常温下对元件进行检测，不进行热电性能试验。

7）压力、差压变送器的校准和试验除应符合前述第5）的要求外，还应按设计文件和使用要求进行零点、量程调整和零点迁移量调整。

8）对于流量检测仪表，应对制造厂的产品合格证和有效的检定证明进行验证。

9）浮筒式液位计可采用干校法或湿校法校准。干校挂重质量的确定，以及湿校试验介质密度的换算，均应符合产品设计使用状态的要求。

10）贮罐液位计、料面计可在安装完成后直接模拟物位进行就地校准。

11）称重仪表及其传感器可在安装完成后直接均匀加载标准重量进行就地校准。

12）测量位移、振动等机械量的仪表，可使用专用试验设备进行校准和试验。

13）分析仪表的显示仪表部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准。其检测、传感、转换等性能的试验和校准，包括对试验用标准样品的要求，均应符合产品技术文件和设计文件的规定。

14）单元组合仪表、组装式仪表等应对各单元分别进行试验和校准，其性能要求和准确度应符合产品技术文件的规定。

15）控制仪表的显示部分应按照本节对显示仪表的要求进行校准，仪表的控制点误差，比例、积分、微分作用，信号处理及各项控制、操作性能，均应按照产品技术文件的规定和设计文件要求进行检查、试验、校准和调整，并进行有关组态模式设置和调节参数预整定。

16）控制阀和执行机构的试验应符合下列要求：

① 阀体压力试验和阀座密封试验等项目，可对制造厂出具的产品合格证明和试验报告进行验证，对事故切断阀应进行阀座密封试验，其结果应符合产品技术文件的规定；

② 膜头、缸体泄漏性试验合格，行程试验合格；

③ 事故切断阀和设计规定了全行程时间的阀门，必须进行全行程时间试验；

④　执行机构在试验时应调整到设计文件规定的工作状态。

17）单台仪表校准和试验合格后，应及时填写校准和试验记录；仪表上应有合格标志和位号标志；仪表需加封印和漆封的部位应加封印和漆封。

3. 仪表电源设备的试验

1）电源设备的带电部分与金属外壳之间的绝缘电阻，用500V绝缘电阻表测量时不应小于5MΩ。当产品说明书另有规定时，应符合其规定。

2）电源的整流和稳压性能试验，应符合产品技术文件的规定。

3）不间断电源应进行自动切换性能试验，切换时间和切换电压值应符合产品技术文件的规定。

4. 综合控制系统的试验

1）综合控制系统应在回路试验和系统试验前对装置本身进行试验。

2）综合控制系统的试验应在本系统安装完毕，供电、照明、空调等有关设施均已投入运行的条件下进行。

3）综合控制系统的硬件试验项目应包括：

①　盘柜和仪表装置的绝缘电阻测量；

②　接地系统检查和接地电阻测量；

③　电源设备和电源插卡各种输出电压的测量和调整；

④　系统中全部设备和全部插卡的通电状态检查；

⑤　系统中单独的显示、记录、控制、报警等仪表设备的单台校准和试验；

⑥　通过直接信号显示和软件诊断程序对装置内的插卡、控制和通信设备、操作站、计算机及其外部设备等进行状态检查；

⑦　输入、输出插卡的校准和试验。

4）综合控制系统的软件试验项目应包括：

①　系统显示、处理、操作、控制、报警、诊断、通信、冗余、打印、复制等基本功能的检查试验；

②　控制方案、控制和联锁程序的检查。

5）综合控制系统的试验可按产品的技术文件和设计文件的规定安排进行。

5. 回路试验和系统试验

（1）回路试验应在系统投入运行前进行，试验前应具备下列条件：

1）回路中的仪表设备、装置和仪表线路、仪表管道安装完毕；

2）组成回路的各仪表的单台试验和校准已经完成；

3）仪表配线和配管经检查确认正确完整，配件附件齐全；

4）回路的电源、气源和液压源已能正常供给并符合仪表运行的要求。

（2）回路试验应根据现场情况和回路的复杂程度，按回路位号和信号类型合理安排。回路试验应做好试验记录。

（3）综合控制系统可先在控制室内以与就地线路相连的输入输出端为界进行回路试验，然后再与就地仪表连接进行整个回路的试验。

（4）检测回路的试验应符合下列要求：

1）在检测回路的信号输入端输入模拟被测变量的标准信号，回路的显示仪表部分的示值误差，不应超过回路内各单台仪表允许基本误差平方和的平方根值。

2）温度检测回路可在检测元件的输出端向回路输入电阻值或mV值模拟信号。

3）现场不具备模拟被测变量信号的回路，应在其可模拟输入信号的最前端输入信号进行回路试验。

（5）控制回路的试验应符合下列要求：

1）控制器和执行器的作用方向应符合设计规定。

2）通过控制器或操作站的输出向执行器发送控制信号，检查执行器执行机构的全行程动作方向和位置应正确，执行器带有定位器时应同时试验。

3）当控制器或操作站上有执行器的开度和起点、终点信号显示时，应同时进行检查和试验。

（6）报警系统的试验应符合下列要求：

1）系统中有报警信号的仪表设备，如各种检测报警开关、仪表的报警输出部件和接点，应根据设计文件规定的设定值进行整定。

2）在报警回路的信号发生端模拟输入信号，检查报警灯光、音响和屏幕显示应正确。报警点整定后宜在调整器件上加封记。

3）报警的消音、复位和记录功能应正确。

（7）程序控制系统和联锁系统的试验应符合下列要求：

1）程序控制系统和联锁系统有关装置的硬件和软件功能试验已经完成，系统相关的回路试验已经完成。

2）系统中的各有关仪表和部件的动作设定值，应根据设计文件规定进行整定。

3）联锁点多、程序复杂的系统，可分项和分段进行试验后，再进行整体检查试验。

4）程序控制系统的试验应按程序设计的步骤逐

步检查试验，其条件判定、逻辑关系、动作时间和输出状态等均应符合设计文件规定。

5）在进行系统功能试验时，可采用已试验整定合格的仪表和检测报警开关的报警输出接点直接发出模拟条件信号。

6）系统试验中应与相关的专业配合，共同确认程序运行和联锁保护条件及功能的正确性，并对试验过程中相关设备和装置的运行状态和安全防护采取必要措施。

二、测试试验总体要求

1. 仪表试验前的检查

1）外观应完整无损，铭牌、端子、接头、附件齐全。

2）说明书、合格证、出厂检定证等技术文件齐全。

3）电气部分绝缘良好，传动部分灵活，润滑系统良好。

2. 仪表试验的标准

1）基本误差不应超过该仪表的准确度等级，计算方法为

$$\delta = \frac{A_x - A_0}{A_1 - A_2} \times 100\% \qquad (5\text{-}30)$$

式中 δ——被验表的基本误差；

A_x——被验表的指示值；

A_0——标准表的指示值；

A_1——被验表刻度尺上限值；

A_2——被验表刻度尺下限值。

2）变差不应超过该仪表准确度等级的1/2，计算方法为

$$\Delta b = \Delta''_{max}/(A_1 - A_2) \times 100\% \qquad (5\text{-}31)$$

式中 Δb——被验表的变差；

Δ''_{max}——仪表标尺刻度同一分度线上被测量均匀增大和减小时两次读数差的最大值。

3）应保证始点正确，偏移值不应超过基本误差的1/2。

4）指针在整个行程中应无抖动、摩擦、跳跃、卡夹等现象。

5）电位器或调节螺钉等可调装置，在调校后还有调节余地。

6）仪表附有电气接点时，其动作应正确无误。控制或调节仪表能够按正确的输入信号动作或输出正确的信号。

被验表达不到以上标准时，应进行调整。

三、测试试验方法

1. 温度仪表

（1）热电阻

1）主要技术要求：外观检查，并用仪器实测。

① 热电阻保护套管、接线端子完整，电阻体绝缘物无碎裂现象，导线无短路或断路现象，电阻体骨架无弯曲现象；

② 当周围空气温度为5～35℃，相对湿度不大于85%时，铜热电阻感温元件与保护管之间的绝缘电阻不小于20MΩ，铂热电阻不小于100MΩ；

③ 0℃时电阻值和 R_{100}/R_0 电阻比值偏差，均应符合有关要求。

2）试验/检定所需仪器设备：

① 二等标准水银温度计－50～500℃一套；

② 0℃恒温槽（冰和蒸馏水混合的容器并有泄水阀）；

③ 沸点恒温器或油恒温器；

④ 0.02级低阻直流电位差计（或相应准确度等级的测温电桥）及其配套设备（检流计、直流电源）；

⑤ 0.01级的100Ω标准铂电阻；

⑥ 0～10mA的毫安表、分压器及切换开关；

⑦ 500V绝缘电阻表。

3）试验步骤：接线见图5-57。

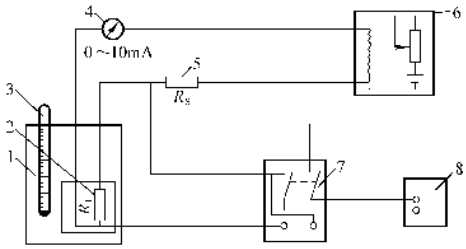


图5-57 热电阻校验接线图

1—加热恒温器 2—被校热电阻 3—标准温度计 4—毫安表 5—标准电阻 6—分压器 7—切换开关 8—电位差计

① 将被校热电阻放在恒温器内，开动加热恒温器，使它达到被校验温度并保持恒温（被校验温度一般也选择四点）；然后调节分压器使毫安表指示为4mA，不得超过6mA，将切换开关投向标准电阻 R_s 端，读出电位差计示值 U_s；再立即将切换开关投向被校热电阻 R_t 端，读出电位差计示值 U_t。按下式即可计算 R_t：

$$R_t = \frac{U_t}{U_s} \cdot R_s \qquad (5\text{-}32)$$

同样办法在同一温度下测量3次，取平均值，即为该温度下热电阻的阻值。

② 数据处理。测量 0℃ 和 100℃ 时热电阻的阻值 R_0 和 R_{100}，R_0 和 R_{100}/R_0 应符合表 5-67 的规定，把上述校验叫做纯度校验。

在不同温度点上测量热电阻的阻值，查分度表 5-68～表 5-70，求出温度误差差，应符合表 5-71 的规定，把上述校验叫做分度校验。

表 5-67　热电阻 0℃和 100℃时电阻值的允许误差

热电阻种类	精度等级	分度号	0℃时的电阻值（R_0）及其允许误差/Ω	100℃时的电阻值和 0℃时的电阻值的比（R_{100}/R_0）及其允许误差
铂热电阻（WZB 型）	Ⅰ	BA_1 BA_2	46 ± 0.023 100 ± 0.05	1.3910 ± 0.0007
	Ⅱ	BA_1 BA_1	46 ± 0.046 100 ± 0.1	1.391 ± 0.001
铜热电阻（WZG 型）	Ⅱ	G	53 ± 0.053	1.425 ± 0.001
	Ⅲ			1.425 ± 0.002

表 5-68　B_{A1} 铂热电阻分度表

$$\left(R_0 = 46.00\Omega,\ \frac{R_{100}}{R_0} = 1.391\right)$$

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
-200	7.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-190	9.96	9.76	9.56	9.36	9.16	8.96	8.75	8.55	8.35	8.15
-180	11.95	11.75	11.55	11.36	11.16	10.96	10.75	10.56	10.36	10.16
-170	13.93	13.73	13.54	13.34	13.14	12.94	12.75	12.55	12.35	12.15
-160	15.90	15.70	15.50	15.31	15.11	14.92	14.72	14.52	14.33	14.13
-150	17.85	17.65	17.46	17.26	17.07	16.87	16.68	16.48	16.29	16.09
-140	19.79	19.59	19.40	19.21	19.01	18.82	18.63	18.43	18.24	18.04
-130	21.72	21.52	21.33	21.14	20.95	20.75	20.56	20.37	20.17	19.98
-120	23.63	23.44	23.25	23.06	22.87	22.68	22.48	22.29	22.10	21.91
-110	25.54	25.35	25.16	24.97	24.78	24.59	24.40	24.21	24.02	23.82
-100	27.44	27.25	27.06	26.87	26.68	26.49	26.30	26.11	25.92	25.73
-90	29.33	29.14	28.95	28.76	28.57	28.38	28.19	28.00	27.82	27.63
-80	31.21	31.02	30.83	30.64	30.45	30.27	30.08	29.89	29.70	29.51
-70	33.08	32.89	32.70	32.52	32.33	32.14	31.96	31.77	31.58	31.39
-60	34.94	34.76	34.57	34.38	34.20	34.01	33.83	33.64	33.45	33.27
-50	36.80	36.62	36.43	36.24	36.06	35.87	35.69	35.50	35.32	35.13
-40	38.65	38.47	38.28	38.10	37.91	37.73	37.54	37.36	37.17	36.99
-30	40.50	40.31	40.13	39.95	39.76	39.58	39.39	39.21	39.02	38.84
-20	42.34	42.15	41.97	41.79	41.60	41.42	41.24	41.05	40.87	40.68
-10	44.17	43.99	43.81	43.62	43.44	43.26	43.07	42.89	42.71	42.52

（续）

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
-0	46.00	45.82	45.63	45.45	45.27	45.09	44.90	44.72	44.54	44.35
+0	46.00	46.18	46.37	46.55	46.73	46.91	47.09	47.28	47.46	47.64
10	47.82	48.01	48.19	48.37	48.55	48.73	48.91	48.09	49.28	49.46
20	49.64	49.82	50.00	50.18	50.37	50.55	50.73	50.91	51.09	51.27
30	51.45	51.63	51.81	51.99	52.18	52.36	52.54	52.72	52.90	53.08
40	53.26	53.44	53.62	53.80	53.98	54.16	54.34	54.52	54.70	54.88
50	55.06	55.24	55.42	55.60	55.78	55.96	56.14	56.32	56.50	56.68
60	56.86	57.04	57.22	57.39	57.57	57.75	57.93	58.11	58.29	58.47
70	58.65	58.83	59.00	59.18	59.36	59.54	59.72	59.90	60.07	60.25
80	60.43	60.61	60.79	60.97	61.14	61.32	61.50	61.68	61.86	62.04
90	62.21	62.39	62.57	62.74	62.92	63.10	63.28	63.45	63.63	63.81
100	63.99	64.16	64.34	64.52	64.70	64.87	65.05	65.22	65.40	65.58
110	65.76	65.93	66.11	66.28	66.46	66.64	66.81	66.99	67.16	67.34
120	67.52	67.69	67.87	68.05	68.22	68.40	68.57	68.75	68.93	69.10
130	69.28	69.45	69.63	69.80	69.98	70.15	70.33	70.50	70.68	70.85
140	71.03	71.20	71.38	71.55	71.73	71.90	72.08	72.25	72.43	72.60
150	72.78	72.95	73.12	73.30	73.47	73.65	73.82	74.00	74.17	74.34
160	74.52	74.69	74.87	75.04	75.21	75.39	75.56	75.73	75.91	76.08
170	76.26	76.43	76.60	76.77	76.95	77.12	77.29	77.47	77.64	77.81
180	77.99	78.16	78.33	78.50	78.68	78.85	79.02	79.19	79.37	79.54
190	79.71	79.88	80.05	80.23	80.40	80.57	80.75	80.92	81.09	81.26
200	81.43	81.60	81.78	81.95	82.12	82.29	82.46	82.63	82.81	82.98
210	83.15	83.32	83.49	83.66	83.83	84.00	84.18	84.35	84.52	84.69
220	84.86	85.03	85.20	85.37	85.54	85.71	85.88	86.05	86.22	86.39
230	86.56	86.73	86.90	87.07	87.24	87.41	87.58	87.75	87.92	88.09
240	88.26	88.43	88.60	88.77	88.94	89.11	89.28	89.45	89.62	89.79
250	89.96	90.12	90.29	90.46	90.63	90.80	90.97	91.14	91.31	91.48
260	91.64	91.81	91.98	92.15	92.32	92.49	92.66	92.82	92.99	93.16
270	93.33	93.50	93.66	93.83	94.00	94.17	94.33	94.50	94.67	94.84
280	95.00	95.17	95.34	95.51	95.67	95.84	96.01	96.18	96.34	96.51
290	96.68	96.84	97.01	97.18	97.34	97.51	97.68	97.84	98.01	98.18
300	98.34	98.51	98.68	98.84	99.01	99.18	99.34	99.51	99.67	99.84
310	100.01	100.17	100.34	100.50	100.67	100.83	101.00	101.17	101.33	101.50
320	101.66	101.83	101.99	102.16	102.32	102.49	102.65	102.82	102.98	103.15
330	103.31	103.48	103.64	103.81	103.97	104.14	104.30	104.46	104.63	104.79
340	104.96	105.12	105.29	105.45	105.61	105.78	105.94	106.11	106.27	106.43

（续）

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
350	106.60	106.76	106.92	107.09	107.25	107.42	107.58	107.74	107.90	108.07
360	108.23	108.39	108.56	108.72	108.88	109.05	109.21	109.37	109.54	109.70
370	109.86	110.02	110.19	110.35	110.51	110.67	110.84	111.00	111.16	111.32
380	111.48	111.65	111.81	111.97	112.13	112.29	112.46	112.62	112.78	112.94
390	113.10	113.26	113.43	113.59	113.75	113.91	114.07	114.23	114.39	114.56
400	114.72	114.88	115.04	115.20	115.36	115.52	115.68	115.84	116.00	116.16
410	116.32	116.48	116.64	116.80	116.97	117.13	117.29	117.45	117.61	117.77
420	117.93	118.09	118.25	118.41	118.57	118.73	118.89	119.04	119.20	119.36
430	119.52	119.68	119.84	120.00	120.16	120.32	120.48	120.64	120.80	120.96
440	121.11	121.27	121.43	121.59	121.75	121.91	122.07	122.23	122.38	122.54
450	122.70	122.86	123.02	123.18	123.33	123.49	123.65	123.81	123.96	124.12
460	124.28	124.44	124.60	124.76	124.91	125.07	125.23	125.39	125.54	125.70
470	125.86	126.02	126.17	126.33	126.49	126.64	126.80	126.96	127.11	127.27
480	127.43	127.58	127.74	127.90	128.05	128.21	128.37	128.52	128.68	128.84
490	128.99	129.14	129.30	129.46	129.61	129.77	129.92	130.08	130.23	130.39
500	130.55	130.70	130.86	131.02	131.17	131.33	131.48	131.63	131.79	131.95
510	132.10	132.26	132.41	132.57	132.72	132.88	133.03	133.19	133.34	133.50
520	133.65	133.81	133.96	134.12	134.27	134.43	134.58	134.73	134.89	135.04
530	135.20	135.35	135.50	135.66	135.81	135.97	136.12	136.27	136.43	136.58
540	136.73	136.89	137.04	137.19	137.35	137.50	137.65	137.81	137.96	138.11
550	138.27	138.42	138.57	138.73	138.88	139.03	139.18	139.33	139.48	139.64
560	139.79	139.94	140.10	140.25	140.40	140.55	140.70	140.86	141.01	141.16
570	141.32	141.47	141.62	141.77	141.92	142.07	142.22	142.37	142.53	142.68
580	142.83	142.98	143.13	143.28	143.44	143.59	143.74	143.89	144.04	144.19
590	144.34	144.49	144.64	144.79	144.94	145.09	145.24	145.40	145.55	145.70
600	145.85	146.00	146.15	146.30	146.45	146.60	146.75	146.90	147.05	147.20
610	147.35	147.50	147.65	147.80	147.95	148.10	148.24	148.39	148.54	148.69
620	148.84	148.99	149.14	149.29	149.44	149.59	149.74	149.89	150.03	150.18
630	150.33	150.48	150.63	150.78	150.93	151.07	151.22	151.37	151.52	151.67
640	151.81	151.96	152.11	152.26	152.41	152.55	152.70	152.85	153.00	153.15
650	153.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5-69 B_{A2}铂热电阻分度表

$$\left(R_0 = 100.00\Omega,\ \frac{R_{100}}{R_0} = 1.391\right)$$

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
-200	17.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-190	21.65	21.21	20.73	20.34	19.91	19.47	19.03	18.59	18.16	17.72
-180	25.98	25.55	25.12	24.69	24.25	23.82	23.39	22.95	22.52	22.08
-170	30.29	29.86	29.43	29.00	28.57	28.14	27.71	27.28	26.85	26.42
-160	34.56	34.13	33.71	33.28	32.85	32.43	32.00	31.57	31.14	30.71
-150	38.80	38.38	37.95	37.53	37.11	36.68	36.26	35.83	35.41	34.98
-140	43.02	42.60	42.18	41.76	41.33	40.91	40.49	40.07	39.65	39.22
-130	47.21	46.79	46.37	45.95	45.53	45.12	44.70	44.28	43.86	43.44
-120	51.38	50.96	50.54	50.13	49.71	49.29	48.88	48.46	48.04	47.63
-110	55.52	55.11	54.69	54.28	53.87	53.45	53.04	52.62	52.21	51.79
-100	59.65	59.23	58.82	58.41	58.00	57.59	57.17	56.76	56.35	55.93
-90	63.75	63.34	62.93	62.52	62.11	61.70	61.29	60.88	60.47	60.06
-80	67.84	67.43	67.02	66.61	66.21	65.80	65.39	64.98	64.57	64.16
-70	71.91	71.50	71.10	70.69	70.28	69.88	69.47	69.06	68.65	68.25
-60	75.96	75.56	75.15	74.75	74.34	73.94	73.53	73.13	72.72	72.32
-50	80.00	79.60	79.20	78.79	78.39	77.99	77.58	77.18	76.77	76.37
-40	84.03	83.63	83.22	82.82	82.42	82.02	81.62	81.21	80.81	80.41
-30	88.04	87.64	87.24	86.84	86.44	86.04	85.63	85.23	84.83	84.43
-20	92.04	91.64	91.24	90.84	90.44	90.04	89.64	89.24	88.84	88.44
-10	96.03	95.63	95.23	94.33	94.43	94.03	93.63	93.24	92.84	92.44
-0	100.00	99.60	99.21	98.81	98.41	98.01	97.62	97.22	96.82	96.42
+0	100.00	100.40	100.79	101.19	101.59	101.98	102.38	102.78	103.17	103.57
10	103.96	104.36	104.75	105.15	105.54	105.94	106.33	106.73	107.12	107.52
20	107.91	108.31	108.70	109.10	109.49	109.88	110.28	110.67	111.07	111.46
30	111.85	112.25	112.64	113.03	113.43	113.82	114.21	114.60	115.00	115.39
40	115.78	116.17	116.57	116.96	117.35	117.74	118.13	118.52	118.91	119.31
50	119.70	120.09	120.48	120.37	121.26	121.65	122.04	122.43	122.82	123.21
60	123.60	123.99	124.38	124.77	125.16	125.55	125.94	126.33	126.72	127.10
70	127.49	127.88	128.27	128.66	129.05	129.44	129.82	130.21	130.60	130.99
80	131.37	131.76	132.15	132.54	132.92	133.31	133.70	134.08	134.47	134.86
90	135.24	135.63	136.02	136.40	136.79	137.17	137.56	137.94	138.33	138.72
100	139.10	139.49	139.37	140.26	140.64	141.02	141.41	141.79	142.18	142.66

（续）

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
110	142.95	143.33	143.71	144.10	144.48	144.86	145.25	145.63	146.01	146.40
120	146.78	147.16	147.55	147.93	148.31	148.69	149.07	149.46	149.84	150.22
130	150.60	150.98	151.37	151.75	152.13	152.51	152.89	153.27	153.65	154.03
140	154.41	154.79	155.17	155.55	155.93	156.31	156.69	157.07	157.45	157.83
150	158.21	158.59	158.97	159.35	159.73	160.11	160.49	160.86	161.24	161.62
160	162.00	162.38	162.76	163.13	163.51	163.89	164.27	164.64	165.02	165.40
170	165.78	166.15	166.53	166.91	167.28	167.66	168.03	168.41	168.79	169.16
180	169.54	169.91	170.29	170.67	171.04	171.42	171.79	172.17	172.54	172.92
190	173.29	173.67	174.04	174.41	174.79	175.16	175.54	175.91	176.28	176.66
200	177.03	177.40	177.78	178.15	178.52	178.90	179.27	179.64	180.02	180.39
210	180.76	181.13	181.51	181.88	182.25	182.62	182.99	183.36	183.74	184.11
220	184.48	184.85	185.22	185.59	185.96	186.33	186.70	187.07	187.44	187.81
230	188.18	188.55	188.92	189.29	189.66	190.03	190.40	190.77	191.14	191.51
240	191.88	192.24	192.61	192.98	193.35	193.72	194.09	194.45	194.82	195.19
250	195.56	195.92	196.29	196.66	197.03	197.39	197.76	198.13	198.50	198.86
260	199.23	199.59	199.90	200.33	200.69	201.06	201.42	201.79	202.16	202.52
270	202.89	203.25	203.62	203.98	204.35	204.71	205.08	205.44	205.80	206.17
280	206.53	206.90	207.26	207.63	207.99	208.35	208.72	209.08	209.44	209.81
290	210.17	210.53	210.89	211.26	211.62	211.98	212.34	212.71	213.07	213.43
300	213.79	214.15	214.51	214.88	215.24	215.60	215.96	216.32	216.68	217.04
310	217.40	217.76	218.12	218.49	218.85	219.21	219.57	219.93	220.29	220.64
320	221.00	221.36	221.72	222.08	222.44	222.80	223.16	223.52	223.88	224.23
330	224.59	224.95	225.31	225.67	226.02	226.38	226.74	227.10	227.45	227.81
340	228.17	228.53	228.88	229.24	229.60	229.95	230.31	230.67	231.02	231.38
350	231.73	232.09	232.45	232.80	233.16	233.51	233.87	234.22	234.58	234.93
360	235.29	235.64	236.00	236.35	236.71	237.06	237.41	237.77	238.12	238.48
370	238.83	239.18	239.54	239.89	240.24	240.60	240.95	241.30	214.65	242.01
380	242.36	242.71	243.06	243.42	243.77	244.12	244.47	244.82	245.17	245.53
390	245.88	246.23	246.58	246.93	247.28	247.63	247.98	248.33	248.68	249.03
400	249.38	249.73	250.08	250.43	250.78	251.13	251.48	251.83	252.18	252.53
410	252.88	253.23	253.56	253.92	254.27	254.62	254.97	255.32	255.67	256.01
420	256.36	256.71	257.06	257.40	257.75	258.10	258.45	258.79	259.14	259.49
430	259.83	260.18	260.53	260.87	261.22	261.57	261.91	262.26	262.60	262.95
440	263.29	263.64	263.98	264.33	264.67	265.02	265.36	265.71	266.05	266.40
450	266.74	267.09	267.43	267.77	268.12	268.46	268.80	269.15	269.49	269.83

（续）

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值/Ω									
460	270.18	270.52	270.86	271.21	271.55	271.89	272.23	272.58	272.92	273.26
470	273.60	273.94	274.29	274.63	274.79	275.31	275.65	275.99	276.33	276.67
480	277.01	277.36	277.70	278.04	278.38	278.72	279.06	279.40	279.74	280.08
490	280.41	280.75	281.08	281.42	281.76	282.10	282.44	282.78	283.12	283.46
500	283.80	284.14	284.48	284.82	285.16	285.50	285.83	286.17	286.51	286.85
510	287.18	287.52	287.86	288.20	288.53	288.87	289.20	289.54	289.88	290.21
520	290.55	290.89	291.22	291.56	291.89	292.23	292.56	292.90	293.23	293.57
530	293.91	294.24	294.57	294.91	295.24	295.58	295.91	296.25	296.58	296.91
540	297.25	297.58	297.92	298.25	298.58	298.91	299.25	299.58	299.91	300.25
550	300.58	300.91	301.24	301.58	301.91	302.24	302.57	302.90	303.23	303.57
560	303.90	304.23	304.56	304.89	305.22	305.55	305.88	306.22	306.55	306.88
570	307.21	307.54	307.87	308.20	308.53	308.86	309.18	309.51	309.84	310.17
580	310.50	310.83	311.16	311.49	311.82	312.15	312.47	312.80	313.13	313.46
590	313.79	314.11	314.44	314.77	315.10	315.42	315.75	316.08	316.41	316.73
600	317.06	317.39	317.71	318.04	318.37	318.69	319.01	319.34	319.67	319.99
610	320.32	320.65	320.97	321.30	321.62	321.95	322.27	322.60	322.92	323.25
620	323.57	323.89	324.22	324.57	324.87	325.19	325.51	325.84	326.16	326.48
630	326.80	327.13	327.45	327.78	328.10	328.42	328.74	329.06	329.39	329.71
640	330.03	330.35	330.68	331.00	331.32	331.64	331.96	332.28	332.60	332.93
650	333.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5-70　G 铜热电阻分度表

$$\left(R_0 = 53.00\Omega,\ \frac{R_{100}}{R_0} = 1.425\right)$$

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电　阻　值/Ω									
-50	41.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-40	43.99	43.76	43.54	43.31	43.09	42.86	42.64	42.41	42.19	41.96
-30	46.24	46.02	45.79	45.57	45.34	45.12	44.89	44.67	44.44	44.22
-20	48.50	48.27	48.04	47.82	47.59	47.37	47.14	46.92	46.69	46.47
-10	50.75	50.52	50.30	50.07	49.85	49.62	49.40	49.17	48.95	48.72
-0	53.00	52.77	52.55	52.32	52.10	51.87	51.65	51.42	51.20	50.97
+0	53.00	53.23	53.45	53.68	53.90	54.13	54.35	54.58	54.80	55.03
10	55.25	55.48	55.70	55.93	56.15	56.38	56.60	56.83	57.05	57.28

（续）

温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电　阻　值/Ω									
20	57.50	57.73	57.96	58.18	58.41	58.63	58.86	59.08	59.31	59.53
30	59.75	59.98	60.21	60.43	60.66	60.88	61.11	61.33	61.56	61.78
40	62.01	62.24	62.46	62.69	62.91	63.14	63.36	63.59	63.81	64.04
50	64.26	64.49	64.71	64.94	65.16	65.39	65.61	65.84	66.06	66.29
60	66.52	66.74	66.97	67.19	67.42	67.64	67.87	68.09	68.32	68.54
70	68.77	68.99	69.22	69.44	69.67	69.89	70.12	70.34	70.57	70.79
80	71.02	71.25	71.47	71.70	71.92	72.15	72.37	72.60	72.82	73.05
90	73.27	73.50	73.72	73.95	74.17	74.40	74.62	74.85	75.07	75.30
100	75.52	75.75	75.98	76.20	76.43	76.65	76.88	77.10	77.33	77.55
110	77.78	78.00	78.23	78.45	78.68	78.90	79.13	79.35	79.58	79.80
120	80.03	80.26	80.48	80.71	80.93	81.16	81.38	81.61	81.83	82.06
130	82.28	82.51	82.73	82.96	83.18	83.41	83.63	83.86	84.08	84.31
140	84.54	84.76	84.99	85.21	85.44	85.66	85.89	86.11	86.34	86.56
150	86.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5-71　热电阻分度允许误差

精度等级	热电阻材料	温度间隔/℃	允许误差/℃
Ⅰ级	铂	0～+500	±（0.15+3.0×10^{-3}t）
		−200～0	±（0.15+4.5×10^{-3}t）
Ⅱ级	铂	0～+500	±（0.30+4.5×10^{-3}t）
		−200～0	±（0.30+6.0×10^{-3}t）
	铜	−50～+150	±（0.30+3.5×10^{-3}t）
Ⅲ级	铜	−50～+150	±（0.30+6.0×10^{-3}t）

注：t 为热电阻工作端温度。

（2）热电偶

1）技术要求：

①　热电偶电极表面应清洁光滑，无压斑痕迹及裂纹，焊接端圆滑牢固，接线端子牢固完整；

②　热电动势对分度表的偏差应符合表 5-72 的要求；

表 5-72　热电偶允许偏差表

名　　称	测温范围/℃	允许偏差/℃
镍铬-考铜	0～800	0～300±4
		>300±1%t
镍铬-镍硅	0～1300	0～400±4
		>400±1%t
铂铑$_{10}$-铂	0～1600	0～600±3
		>600±0.5%t
铂铑$_{30}$-铂铑$_{6}$	0～1800	0～600±3
		>600±0.5%t

注：t 为感温元件的实测温度。

③　电极的绝缘物应完整，电极与保护套管间的绝缘电阻应大于 5MΩ（在室温 20℃±5℃和相对湿度小于 80%时）；

④　热电偶的检定点（℃）：

铂铑-铂　600、800，1000、1200；

镍铬-镍硅　400、600、800、1000；

镍铬-考铜　300、400、600。

2）试验/检定所需仪器设备：

①　管式电炉：交流 220V，功率 2kW，管子内径 ϕ50～60mm，管长 600～1000mm，最高温度 1300℃；

②　冰点恒温器，内盛冰和水混合物，底部有排水口；

③　UJ-31 型直流电位差计及配套用的 AC15/4 型检流计和 YJ-24 型电源，仪器准确度为 0.05 级；

④　DWT-702 型或 WZK 型温度控制器；

⑤　二等或三等铂铑-铂标准热电偶；

⑥　二等标准水银温度计 0～50℃，最小分度 0.1℃。

3）试验/检定方法步骤：

①　铂铑-铂热电偶在检定前先进行清洗，必要时尚需退火。

②　检定线路见图 5-58。

③　铂铑-铂热电偶检定时，将被检电偶和标准电偶的工作端用铂丝扎紧，并置于炉子中心位置。检定贱金属热电偶时，为保证被检电偶和标准电偶的工

作端是同一个温度，应把电偶的工作端都放在镍块里，并放在炉子温度最高点位置，炉口用石棉绳堵严。

④ 用比较法检定热电偶的自由端应放在冰点恒温器内，并保持0℃。

⑤ 对铂铑-铂热电偶检定，一般用微差法（见图5-59）。即是将同型号的标准热电偶与被检热电偶反向串联，直接测量其热电动势差值。先测量标准电偶热电动势，然后依次序读取每一反串组的热电动势差值，每组读数不小于2次。此法炉温允许在检定点波动±10℃，冷端温度不用修正，只要保持在同一温度下即可。

微差法检定按下式计算，其对分度表的偏差 Δt 应符合表5-72的要求。

$$\Delta t = \Delta t' - C \tag{5-33}$$

式中 $\Delta t'$——标准热电偶与被检热电偶反向串联在某检定点热电动势平均值，应根据相应的分度表查得的温度值，见表5-73～表5-76。

C——标准热电偶的修正值，用温度表示。

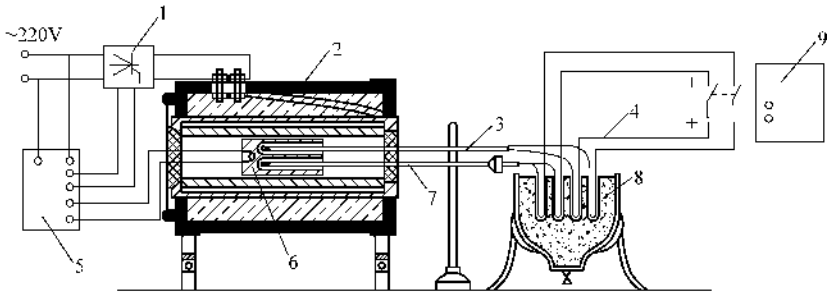


图5-58 热电偶检定装置

1—晶闸管主回路 2—管式电炉 3—标准热电偶 4—铜导线 5—温度控制器 6—镍块 7—被检热电偶 8—冰点恒温器 9—电位差计

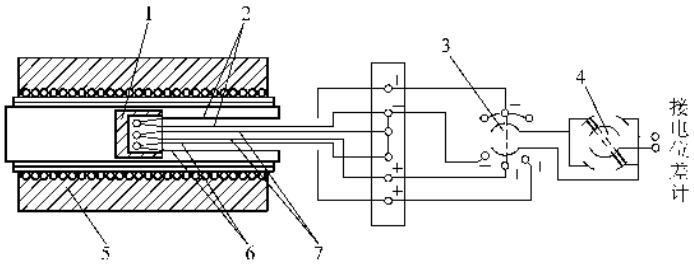


图5-59 微差法接线图

1—镍块 2—标准热电偶 3—转换开关 4—换向开关 5—管式电炉 6—被检电偶1 7—被检电偶2

⑥ 对贱金属电偶的检定一般用升温比较法（见图5-60）。当炉温调整到检定点，而在5min内温度变化不超过1～2℃时，从标准电偶依次序读取读数，每点不少于2次读数，取其平均值。

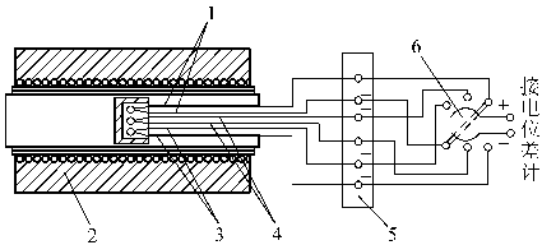


图5-60 比较法接线图

1—标准热电偶 2—管式电炉 3—被检热电偶1 4—被检热电偶2 5—冷端恒温器 6—转换开关

比较法检定按下式计算，其对分度表的偏差 Δt 应符合表5-72的要求。

$$\Delta t = t'' - t \tag{5-34}$$

式中 t''——被检热电偶在某检定点的热电动势的读数平均值，应根据相应的分度表查得的温度值，见表5-73～表5-76。

t——标准热电偶的热电动势的读数平均值，经修正后根据分度表查得的温度值，见表5-73～表5-76。

⑦ 补偿导线检定时，一端要绞合成绳状并焊接起来，然后放在沸点恒温器内，另一端放在冰点恒温器内，然后用电位差计读取读数。其热电动势技术要求见表5-77。

表 5-73　铂铑-铂热电偶分度表

分度号 LB-3（自由端温度为 0℃）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　伏（绝对伏）									
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.028	0.033	0.039	0.044	0.050
10	0.056	0.061	0.067	0.073	0.078	0.084	0.090	0.096	0.102	0.107
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.198	0.204	0.210	0.216	0.222	0.229
40	0.235	0.241	0.247	0.254	0.260	0.266	0.273	0.279	0.286	0.292
50	0.299	0.305	0.312	0.318	0.325	0.331	0.338	0.344	0.351	0.357
60	0.364	0.371	0.377	0.384	0.391	0.397	0.404	0.411	0.418	0.425
70	0.431	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466	0.473	0.479	0.486	0.493
80	0.500	0.507	0.514	0.521	0.528	0.535	0.543	0.550	0.557	0.564
90	0.571	0.578	0.585	0.593	0.600	0.607	0.614	0.621	0.629	0.636
100	0.643	0.651	0.658	0.665	0.673	0.680	0.687	0.694	0.702	0.709
110	0.717	0.724	0.732	0.739	0.747	0.754	0.762	0.769	0.777	0.784
120	0.792	0.800	0.807	0.815	0.823	0.830	0.838	0.845	0.853	0.861
130	0.869	0.876	0.884	0.892	0.900	0.907	0.915	0.923	0.931	0.939
140	0.946	0.954	0.962	0.970	0.978	0.986	0.994	1.002	1.009	1.017
150	1.025	1.033	1.041	1.049	1.057	1.065	1.073	1.081	1.089	1.097
160	1.106	1.114	1.122	1.130	1.138	1.146	1.154	1.162	1.170	1.179
170	1.187	1.195	1.203	1.211	1.220	1.228	1.236	1.244	1.253	1.261
180	1.269	1.277	1.286	1.294	1.302	1.311	1.319	1.327	1.336	1.344
190	1.352	1.361	1.369	1.377	1.386	1.394	1.403	1.411	1.419	1.428
200	1.436	1.445	1.453	1.462	1.470	1.479	1.487	1.496	1.504	1.513
210	1.521	1.530	1.538	1.547	1.555	1.564	1.573	1.581	1.590	1.598
220	1.607	1.615	1.624	1.633	1.641	1.650	1.659	1.667	1.676	1.685
230	1.693	1.702	1.710	1.719	1.728	1.736	1.745	1.754	1.763	1.771
240	1.780	1.788	1.797	1.805	1.814	1.823	1.832	1.840	1.849	1.858
250	1.867	1.876	1.884	1.893	1.902	1.911	1.920	1.929	1.937	1.946
260	1.955	1.964	1.973	1.982	1.991	2.000	2.008	2.017	2.026	2.035
270	2.044	2.053	2.062	2.071	2.080	2.089	2.098	2.107	2.116	2.125
280	2.134	2.143	2.152	2.161	2.170	2.179	2.188	2.197	2.206	2.215
290	2.224	2.233	2.242	2.251	2.260	2.270	2.279	2.288	2.297	2.306
300	2.315	2.324	2.333	2.342	2.352	2.361	2.370	2.379	2.388	2.397
310	2.407	2.416	2.425	2.434	2.443	2.452	2.462	2.471	2.480	2.489
320	2.498	2.508	2.517	2.526	2.535	2.545	2.554	2.563	2.572	2.582
330	2.591	2.600	2.609	2.619	2.628	2.637	2.647	2.656	2.665	2.675
340	2.684	2.693	2.703	2.712	2.721	2.730	2.740	2.749	2.759	2.768

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
350	2.777	2.787	2.796	2.805	2.815	2.824	2.833	2.843	2.852	2.862
360	2.871	2.880	2.890	2.899	2.909	2.918	2.928	2.937	2.946	2.956
370	2.965	2.975	2.984	2.994	3.003	3.013	3.022	3.031	3.041	3.050
380	3.060	3.069	3.079	3.088	3.098	3.107	3.117	3.126	3.136	3.145
390	3.155	3.164	3.174	3.183	3.193	3.202	3.212	3.221	3.231	3.240
400	3.250	3.260	3.269	3.279	3.288	3.298	3.307	3.317	3.326	3.336
410	3.346	3.355	3.365	3.374	3.384	3.393	3.403	3.413	3.422	3.432
420	3.441	3.451	3.461	3.470	3.480	3.489	3.499	3.509	3.518	3.528
430	3.538	3.547	3.557	3.566	3.576	3.586	3.595	3.605	3.615	3.624
440	3.634	3.644	3.653	3.663	3.673	3.682	3.692	3.702	3.711	3.721
450	3.731	3.740	3.750	3.760	3.770	3.779	3.789	3.799	3.808	3.818
460	3.828	3.838	3.847	3.857	3.867	3.877	3.886	3.896	3.906	3.916
470	3.925	3.935	3.945	3.955	3.964	3.974	3.984	3.994	4.003	4.013
480	4.023	4.033	4.043	4.052	4.062	4.072	4.082	4.092	4.102	4.111
490	4.121	4.131	4.141	4.151	4.161	4.170	4.180	4.190	4.200	4.210
500	4.220	4.229	4.239	4.249	4.259	4.269	4.279	4.289	4.299	4.309
510	4.318	4.328	4.338	4.348	4.358	4.368	4.378	4.388	4.398	4.408
520	4.418	4.427	4.437	4.447	4.457	4.467	4.477	4.487	4.497	4.507
530	4.517	4.527	4.537	4.547	4.557	4.567	4.577	4.587	4.597	4.607
540	4.617	4.627	4.637	4.647	4.657	4.667	4.677	4.687	4.697	4.707
550	4.717	4.727	4.737	4.747	4.757	4.767	4.777	4.787	4.797	4.807
560	4.817	4.827	4.838	4.848	4.858	4.868	4.878	4.888	4.898	4.908
570	4.918	4.928	4.938	4.949	4.959	4.969	4.979	4.989	4.999	5.009
580	5.019	5.030	5.040	5.050	5.060	5.070	5.080	5.090	5.101	5.111
590	5.121	5.131	5.141	5.151	5.162	5.172	5.182	5.192	5.202	5.212
600	5.222	5.232	5.242	5.252	5.263	5.273	5.283	5.293	5.304	5.314
610	5.324	5.334	5.344	5.355	5.365	5.375	5.386	5.396	5.406	5.416
620	5.427	5.437	5.447	5.457	5.468	5.478	5.488	5.499	5.509	5.519
630	5.530	5.540	5.550	5.561	5.571	5.581	5.591	5.602	5.612	5.622
640	5.633	5.643	5.653	5.664	5.674	5.684	5.695	5.705	5.715	5.725
650	5.735	5.745	5.756	5.766	5.776	5.787	5.797	5.808	5.818	5.828
660	5.839	5.849	5.859	5.870	5.880	5.891	5.901	5.911	5.922	5.932
670	5.943	5.953	5.964	5.974	5.984	5.995	6.005	6.016	6.026	6.036
680	6.046	6.056	6.067	6.077	6.088	6.098	6.109	6.119	6.130	6.140
690	6.151	6.161	6.172	6.182	6.193	6.203	6.214	6.224	6.235	6.245

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
700	6.256	6.266	6.277	6.287	6.298	6.308	6.319	6.329	6.340	6.351
710	6.361	6.372	6.382	6.392	6.402	6.413	6.424	6.434	6.445	6.455
720	6.466	6.476	6.487	6.498	6.508	6.519	6.529	6.540	6.551	6.561
730	6.572	6.583	6.593	6.604	6.614	6.624	6.635	6.645	6.656	6.667
740	6.677	6.688	6.699	6.709	6.720	6.731	6.741	6.752	6.763	6.773
750	6.784	6.795	6.805	6.816	6.827	6.838	6.848	6.859	6.870	6.880
760	6.891	6.902	6.913	6.923	6.934	6.945	6.956	6.966	6.977	6.988
770	6.999	7.009	7.020	7.031	7.041	7.051	7.062	7.073	7.084	7.095
780	7.105	7.116	7.127	7.138	7.149	7.159	7.170	7.181	7.192	7.203
790	7.213	7.224	7.235	7.246	7.257	7.268	7.279	7.289	7.300	7.311
800	7.322	7.333	7.344	7.355	7.365	7.376	7.387	7.397	7.408	7.419
810	7.430	7.441	7.452	7.462	7.473	7.484	7.495	7.506	7.517	7.528
820	7.539	7.550	7.561	7.572	7.583	7.594	7.605	7.615	7.626	7.637
830	7.648	7.659	7.670	7.681	7.692	7.703	7.714	7.724	7.735	7.746
840	7.757	7.768	7.779	7.790	7.801	7.812	7.823	7.834	7.845	7.856
850	7.867	7.878	7.889	7.901	7.912	7.923	7.934	7.945	7.956	7.967
860	7.978	7.989	8.000	8.011	8.022	8.033	8.043	8.054	8.066	8.077
870	8.088	8.099	8.110	8.121	8.132	8.143	8.154	8.166	8.177	8.188
880	8.199	8.210	8.221	8.232	8.244	8.255	8.266	8.277	8.288	8.299
890	8.310	8.322	8.333	8.344	8.355	8.366	8.377	8.388	8.399	8.410
900	8.421	8.433	8.444	8.455	8.466	8.477	8.489	8.500	8.511	8.522
910	8.534	8.545	8.556	8.567	8.579	8.590	8.601	8.612	8.624	8.635
920	8.646	8.657	8.668	8.679	8.690	8.702	8.713	8.724	8.735	8.747
930	8.758	8.769	8.781	8.792	8.803	8.815	8.826	8.837	8.849	8.860
940	8.871	8.883	8.894	8.905	8.917	8.928	8.939	8.951	8.962	8.974
950	8.985	8.996	9.007	9.018	9.029	9.041	9.052	9.064	9.075	9.086
960	9.098	9.109	9.121	9.132	9.144	9.155	9.166	9.178	9.189	9.201
970	9.212	9.223	9.235	9.247	9.258	9.269	9.281	9.202	9.303	9.314
980	9.326	9.337	9.349	9.360	9.372	9.383	9.395	9.406	9.418	9.429
990	9.441	9.452	9.464	9.475	9.487	9.498	9.510	9.521	9.533	9.545
1000	9.556	9.568	9.579	9.591	9.602	9.613	9.624	9.636	9.648	9.659
1010	9.671	9.682	9.694	9.705	9.717	9.729	9.740	9.752	9.764	9.775
1020	9.787	9.798	9.810	9.822	9.833	9.845	9.856	9.868	9.880	9.891
1030	9.902	9.914	9.925	9.937	9.949	9.960	9.972	9.984	9.995	10.007
1040	10.019	10.030	10.042	10.054	10.066	10.077	10.089	10.101	10.112	10.124

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
1050	10.136	10.147	10.159	10.171	10.183	10.194	10.205	10.217	10.229	10.240
1060	10.252	10.264	10.276	10.287	10.299	10.311	10.323	10.334	10.346	10.358
1070	10.370	10.382	10.393	10.405	10.417	10.429	10.441	10.452	10.464	10.476
1080	10.488	10.500	10.511	10.523	10.535	10.547	10.559	10.570	10.582	10.594
1090	10.605	10.617	10.629	10.640	10.652	10.664	10.676	10.688	10.700	10.711
1100	10.723	10.735	10.747	10.759	10.771	10.783	10.794	10.806	10.818	10.830
1110	10.842	10.854	10.866	10.878	10.889	10.901	10.913	10.925	10.937	10.949
1120	10.961	10.973	10.985	10.996	11.008	11.020	11.032	11.044	11.056	11.068
1130	11.080	11.092	11.104	11.115	11.127	11.139	11.151	11.163	11.175	11.187
1140	11.198	11.210	11.222	11.234	11.246	11.258	11.270	11.281	11.293	11.305
1150	11.317	11.329	11.341	11.353	11.365	11.377	11.389	11.401	11.413	11.425
1160	11.437	11.449	11.461	11.473	11.485	11.497	11.509	11.521	11.533	11.545
1170	11.556	11.568	11.580	11.592	11.604	11.616	11.628	11.640	11.652	11.664
1180	11.676	11.688	11.699	11.711	11.723	11.735	11.747	11.759	11.771	11.783
1190	11.795	11.807	11.819	11.831	11.843	11.855	11.867	11.879	11.891	11.903
1200	11.915	11.927	11.939	11.951	11.963	11.975	11.987	11.999	12.011	12.023
1210	12.035	12.047	12.059	12.071	12.083	12.095	12.107	12.119	12.131	12.143
1220	12.155	12.167	12.180	12.192	12.204	12.216	12.228	12.240	12.252	12.263
1230	12.275	12.287	12.299	12.311	12.323	12.335	12.347	12.359	12.371	12.383
1240	12.395	12.407	12.419	12.431	12.443	12.455	12.467	12.479	12.491	12.503
1250	12.515	12.527	12.539	12.552	12.564	12.576	12.588	12.600	12.612	12.624
1260	12.636	12.648	12.660	12.672	12.684	12.696	12.708	12.720	12.732	12.744
1270	12.756	12.768	12.780	12.792	12.804	12.816	12.828	12.840	12.851	12.863
1280	12.875	12.887	12.899	12.911	12.923	12.935	12.947	12.959	12.971	12.983
1290	12.996	13.008	13.020	13.032	13.044	13.056	13.068	13.080	13.092	13.104
1300	13.116	13.128	13.140	13.152	13.164	13.176	13.188	13.200	13.212	13.224
1310	13.236	13.248	13.260	13.272	13.284	13.296	13.308	13.320	13.332	13.344
1320	13.356	13.368	13.380	13.392	13.404	13.415	13.427	13.439	13.451	13.463
1330	13.475	13.487	13.499	13.511	13.523	13.535	13.547	13.559	13.571	13.583
1340	13.595	13.607	13.619	13.631	13.643	13.655	13.667	13.679	13.691	13.703
1350	13.715	13.727	13.739	13.751	13.763	13.775	13.787	13.799	13.811	13.823
1360	13.835	13.847	13.859	13.871	13.883	13.895	13.907	13.919	13.931	13.943
1370	13.955	13.967	13.979	13.990	14.002	14.014	14.026	14.038	14.050	14.062
1380	14.074	14.086	14.098	14.109	14.121	14.133	14.145	14.157	14.169	14.181
1390	14.193	14.205	14.217	14.229	14.241	14.253	14.265	14.277	14.289	14.301

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
1400	14.313	14.325	14.337	14.349	14.361	14.373	14.385	14.397	14.409	14.421
1410	14.433	14.445	14.457	14.469	14.480	14.492	14.504	14.516	14.528	14.540
1420	14.552	14.564	14.576	14.588	14.599	14.611	14.623	14.635	14.647	14.659
1430	14.671	14.683	14.695	14.707	14.719	14.730	14.742	14.754	14.766	14.778
1440	14.790	14.802	14.814	14.826	14.838	14.850	14.862	14.874	14.886	14.898
1450	14.910	14.921	14.933	14.945	14.957	14.969	14.981	14.993	15.005	15.017
1460	15.029	15.041	15.053	15.065	15.077	15.088	15.100	15.112	15.124	15.136
1470	15.148	15.160	15.172	15.184	15.195	15.207	15.219	15.230	15.242	15.254
1480	15.266	15.278	15.290	15.302	15.314	15.326	15.338	15.350	15.361	15.373
1490	15.385	15.397	15.409	15.421	15.433	15.445	15.457	15.469	15.481	15.492
1500	15.504	15.516	15.528	15.540	15.552	15.564	15.576	15.588	15.599	15.611
1510	15.623	15.635	15.647	15.659	15.671	15.683	15.695	15.706	15.718	15.730
1520	15.742	15.754	15.766	15.778	15.790	15.802	15.813	15.824	15.836	15.848
1530	15.860	15.872	15.884	15.895	15.907	15.919	15.931	15.943	15.955	15.967
1540	15.979	15.990	16.002	16.014	16.026	16.038	16.050	16.062	16.073	16.085
1550	16.097	16.109	16.121	16.133	16.144	16.156	16.168	16.180	16.192	16.204
1560	16.216	16.227	16.239	16.251	16.263	16.275	16.287	16.298	16.310	16.322
1570	16.334	16.346	16.358	16.369	16.381	16.393	16.404	16.416	16.428	16.439
1580	16.451	16.463	16.475	16.487	16.499	16.510	16.522	16.534	16.546	16.558
1590	16.569	16.581	16.593	16.605	16.617	16.629	16.640	16.652	16.664	16.676
1600	16.688									

表 5-74　镍铬-镍硅（镍铬-镍铝）热电偶分度表

分度号 EU-2（自由端温度为 0℃）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
-50	-1.86									
-40	-1.50	-1.54	-1.57	-1.60	-1.64	-1.68	-1.72	-1.75	-1.79	-1.82
-30	-1.14	-1.18	-1.21	-1.25	-1.28	-1.32	-1.36	-1.40	-1.43	-1.46
-20	-0.77	-0.81	-0.84	-0.88	-0.92	-0.96	-0.99	-1.03	-1.07	-1.10
-10	-0.39	-0.43	-0.47	-0.51	-0.55	-0.59	-0.62	-0.66	-0.70	-0.74
-0	-0.00	-0.04	-0.08	-0.12	-0.16	-0.20	-0.23	-0.27	-0.31	-0.35
+0	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
10	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76
20	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16
30	1.20	1.24	1.28	1.32	1.36	1.41	1.45	1.49	1.53	1.57

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
40	1.61	1.65	1.69	1.73	1.77	1.82	1.86	1.90	1.94	1.98
50	2.02	2.06	2.10	2.14	2.18	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
60	2.43	2.47	2.51	2.56	2.60	2.64	2.68	2.72	2.77	2.81
70	2.85	2.89	2.93	2.97	3.01	3.06	3.10	3.14	3.18	3.22
80	3.26	3.30	3.34	3.39	3.43	3.47	3.51	3.55	3.60	3.64
90	3.68	3.72	3.76	3.81	3.85	3.89	3.93	3.97	4.02	4.06
100	4.10	4.14	4.18	4.22	4.26	4.31	4.35	4.39	4.43	4.47
110	4.51	4.55	4.59	4.63	4.67	4.72	4.76	4.80	4.84	4.88
120	4.92	4.96	5.00	5.04	5.08	5.13	5.17	5.21	5.25	5.29
130	5.33	5.37	5.41	5.45	5.49	5.53	5.57	5.61	5.65	5.69
140	5.73	5.77	5.81	5.85	5.89	5.93	5.97	6.01	6.05	6.09
150	6.13	6.17	6.21	6.25	6.29	6.33	6.37	6.41	6.45	6.49
160	6.53	6.57	6.61	6.65	6.69	6.73	6.77	6.81	6.85	6.89
170	6.93	6.97	7.01	7.05	7.09	7.13	7.17	7.21	7.25	7.29
180	7.33	7.37	7.41	7.45	7.49	7.53	7.57	7.61	7.65	7.69
190	7.73	7.77	7.81	7.85	7.89	7.93	7.97	8.01	8.05	8.09
200	8.13	8.17	8.21	8.25	8.29	8.33	8.37	8.41	8.45	8.49
210	8.53	8.57	8.61	8.65	8.69	8.73	8.77	8.81	8.85	8.89
220	8.93	8.97	9.01	9.06	9.10	9.14	9.18	9.22	9.26	9.30
230	9.34	9.38	9.42	9.46	9.50	9.54	9.58	9.62	9.66	9.70
240	9.74	9.78	9.82	9.86	9.90	9.95	9.99	10.03	10.07	10.11
250	10.15	10.19	10.23	10.27	10.31	10.35	10.40	10.44	10.48	10.52
260	10.56	10.60	10.64	10.68	10.72	10.77	10.81	10.85	10.89	10.93
270	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.18	11.22	11.26	11.30	11.34
280	11.38	11.42	11.46	11.51	11.55	11.59	11.63	11.67	11.72	11.76
290	11.80	11.84	11.88	11.92	11.96	12.01	12.05	12.09	12.13	12.17
300	12.21	12.25	12.29	12.33	12.37	12.42	12.46	12.50	12.54	12.58
310	12.62	12.66	12.70	12.75	12.79	12.83	12.87	12.91	12.96	13.00
320	13.04	13.08	13.12	13.16	13.20	13.25	13.29	13.33	13.37	13.41
330	13.45	13.49	13.53	13.58	13.62	13.66	13.70	13.74	13.79	13.83
340	13.87	13.91	13.95	14.00	14.04	14.08	14.12	14.16	14.21	14.25
350	14.30	14.34	14.38	14.43	14.47	14.51	14.55	14.59	14.64	14.68
360	14.72	14.76	14.80	14.85	14.89	14.93	14.97	15.01	15.06	15.10
370	15.14	15.18	15.22	15.27	15.31	15.35	15.39	15.43	15.48	15.52
380	15.56	15.60	15.64	15.69	15.73	15.77	15.81	15.85	15.90	15.94
390	15.98	16.02	16.06	16.11	16.15	16.19	16.23	16.27	16.32	16.36

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
400	16.40	16.44	16.49	16.53	16.57	16.62	16.66	16.70	16.74	16.79
410	16.83	16.87	16.91	16.96	17.00	17.04	17.08	17.12	17.17	17.21
420	17.25	17.29	17.33	17.38	17.42	17.46	17.50	17.54	17.59	17.63
430	17.67	17.71	17.75	17.79	17.84	17.88	17.92	17.96	18.01	18.05
440	18.09	18.13	18.17	18.22	18.26	18.30	18.34	18.38	18.43	18.47
450	18.51	18.55	18.60	18.64	18.68	18.73	18.77	18.81	18.85	18.90
460	18.94	18.98	19.03	19.07	19.11	19.16	19.20	19.24	19.28	19.33
470	19.37	19.41	19.45	19.50	19.54	19.58	19.62	19.66	19.71	19.75
480	19.79	19.83	19.88	19.92	19.96	20.01	20.05	20.09	20.13	20.18
490	20.22	20.26	20.31	20.35	20.39	20.44	20.48	20.52	20.56	20.61
500	20.65	20.69	20.74	20.78	20.82	20.87	20.91	20.95	20.99	21.04
510	21.08	21.12	21.16	21.21	21.25	21.29	21.33	21.37	21.42	21.46
520	21.50	21.54	21.59	21.63	21.67	21.72	21.76	21.80	21.84	21.89
530	21.93	21.97	22.01	22.06	22.10	22.14	22.18	22.22	22.27	22.31
540	22.35	22.39	22.44	22.48	22.52	22.57	22.61	22.65	22.69	22.74
550	22.78	22.82	22.87	22.91	22.95	23.00	23.04	23.08	23.12	23.17
560	23.21	23.25	23.29	23.34	23.38	23.42	23.46	23.50	23.55	23.59
570	23.63	23.67	23.71	23.75	23.79	23.84	23.88	23.92	23.96	24.01
580	24.05	24.09	24.14	24.18	24.22	24.27	24.31	24.35	24.39	24.44
590	24.48	24.52	24.56	24.61	24.65	24.69	24.73	24.77	24.82	24.86
600	24.90	24.94	24.99	25.03	25.07	25.12	25.15	25.19	25.23	25.27
610	25.32	25.37	25.41	25.46	25.50	25.54	25.58	25.62	25.67	25.71
620	25.75	25.79	25.84	25.88	25.92	25.97	26.01	26.05	26.09	26.14
630	26.18	26.22	26.26	26.31	26.35	26.39	26.43	26.47	26.52	26.56
640	26.60	26.64	26.69	26.73	26.77	26.82	26.86	26.90	26.94	26.99
650	27.03	27.07	27.11	27.16	27.20	27.24	27.28	27.32	27.37	27.41
660	27.45	27.49	27.53	27.57	27.62	27.66	27.70	27.74	27.79	27.83
670	27.87	27.91	27.95	28.00	28.04	28.08	28.12	28.16	28.21	28.25
680	28.29	28.33	28.38	28.42	28.46	28.50	28.54	28.58	28.62	28.67
690	28.71	28.75	28.79	28.84	28.88	28.92	28.96	29.00	29.05	29.09
700	29.13	29.17	29.21	29.26	29.30	29.34	29.38	29.42	29.47	29.51
710	29.55	29.59	29.63	29.68	29.72	29.76	29.80	29.84	29.89	29.93
720	29.97	30.01	30.05	30.10	30.14	30.18	30.22	30.26	30.31	30.35
730	30.39	30.43	30.47	30.52	30.56	30.60	30.64	30.68	30.73	30.77
740	30.81	30.85	30.89	30.93	30.97	31.02	31.06	31.10	31.14	31.18

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
750	31.22	31.26	31.30	31.35	31.39	31.43	31.47	31.51	31.56	31.60
760	31.64	31.68	31.72	31.77	31.81	31.85	31.89	31.93	31.98	32.02
770	32.06	32.10	32.14	32.18	32.22	32.26	32.30	32.34	32.38	32.42
780	32.46	32.50	32.54	32.59	32.63	32.67	32.71	32.75	32.80	32.84
790	32.87	32.91	32.95	33.00	33.04	33.09	33.13	33.17	33.21	33.25
800	33.29	33.33	33.37	33.41	33.45	33.49	33.53	33.57	33.61	33.65
810	33.69	33.73	33.77	33.81	33.85	33.90	33.94	33.98	34.02	34.06
820	34.10	34.14	34.18	34.22	34.26	34.30	34.34	34.38	34.42	34.46
830	34.51	34.54	34.58	34.62	34.66	34.71	34.75	34.79	34.83	34.87
840	34.91	34.95	34.99	35.03	35.07	35.11	35.16	35.20	35.24	35.28
850	35.32	35.36	35.40	35.44	35.48	35.52	35.56	35.60	35.64	35.68
860	35.72	35.76	35.80	35.84	35.88	35.93	35.97	36.01	36.05	36.09
870	36.13	36.17	36.21	36.25	36.29	36.33	36.37	36.41	36.45	36.49
880	36.53	36.57	36.61	36.65	36.69	36.73	36.77	36.81	36.85	36.89
890	36.93	36.97	37.01	37.05	37.09	37.13	37.17	37.21	37.25	37.29
900	37.33	37.37	37.41	37.45	37.49	37.53	37.57	37.61	37.65	37.69
910	37.73	37.77	37.81	37.85	37.89	37.93	37.97	38.01	38.05	38.09
920	38.13	38.17	38.21	38.25	38.29	38.33	38.37	38.41	38.45	38.49
930	38.53	38.57	38.61	38.65	38.69	38.73	38.77	38.81	38.85	38.89
940	38.93	38.97	39.01	39.05	39.09	39.13	39.16	39.20	39.24	39.28
950	39.32	39.36	39.40	39.44	39.48	39.52	39.56	39.60	39.64	39.68
960	39.72	39.76	39.80	39.83	39.87	39.91	39.94	39.98	40.02	40.06
970	40.10	40.14	40.18	40.22	40.26	40.30	40.33	40.37	40.41	40.45
980	40.49	40.53	40.57	40.61	40.65	40.69	40.72	40.76	40.80	40.84
990	40.88	40.92	40.96	41.00	41.04	41.08	41.11	41.15	41.19	41.23
1000	41.27	41.31	41.35	41.39	41.43	41.47	41.50	41.54	41.58	41.62
1010	41.66	41.70	41.74	41.77	41.81	41.85	41.89	41.93	41.96	42.00
1020	42.04	42.08	42.12	42.16	42.20	42.24	42.27	42.31	42.35	42.39
1030	42.43	42.47	42.51	42.55	42.59	42.63	42.66	42.70	42.74	42.78
1040	42.83	42.87	42.90	42.93	42.97	43.01	43.05	43.09	43.13	43.17
1050	43.21	43.25	43.29	43.32	43.35	43.39	43.43	43.47	43.51	43.55
1060	43.59	43.63	43.67	43.69	43.73	43.77	43.81	43.85	43.89	43.93
1070	43.97	44.01	44.05	44.08	44.11	44.15	44.19	44.22	44.26	44.30
1080	44.34	44.38	44.42	44.45	44.49	44.53	44.57	44.61	44.64	44.68
1090	44.72	44.76	44.80	44.83	44.87	44.91	44.95	44.99	45.02	45.06

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
1100	45.10	45.14	45.18	45.21	45.25	45.29	45.33	45.37	45.40	45.44
1110	45.48	45.52	45.55	45.59	45.63	45.67	45.70	45.74	45.78	45.81
1120	45.85	45.89	45.93	45.96	46.00	46.04	46.08	46.12	46.15	46.19
1130	46.23	46.27	46.30	46.34	46.38	46.42	46.45	46.49	46.53	46.56
1140	46.60	46.64	46.67	46.71	46.75	46.79	46.82	46.86	46.90	46.93
1150	46.97	47.01	47.04	47.08	47.12	47.16	47.19	47.23	47.27	47.30
1160	47.34	47.38	47.41	47.45	47.49	47.53	47.56	47.60	47.64	47.67
1170	47.71	47.75	47.78	47.82	47.86	47.90	47.93	47.97	48.01	48.04
1180	48.08	48.12	48.15	48.19	48.22	48.26	48.30	48.33	48.37	48.40
1190	48.44	48.48	48.51	48.55	48.59	48.63	48.66	48.70	48.74	48.77
1200	48.81	48.85	48.88	48.92	48.95	48.99	49.03	49.06	49.10	49.13
1210	49.17	49.21	49.24	49.28	49.31	49.35	49.39	49.42	49.46	49.49
1220	49.53	49.57	49.60	49.64	49.67	49.71	49.75	49.78	49.82	49.85
1230	49.89	49.93	49.96	50.00	50.03	50.07	50.11	50.14	50.18	50.21
1240	50.25	50.29	50.32	50.36	50.39	50.43	50.47	50.50	50.54	50.59
1250	50.61	50.65	50.68	50.72	50.75	50.79	50.83	50.86	50.90	50.93
1260	50.96	51.00	51.03	51.07	51.10	51.14	51.18	51.21	51.25	51.28
1270	50.32	51.35	51.39	51.43	51.46	51.50	51.54	51.57	51.61	51.64
1280	51.67	51.71	51.74	51.78	51.81	51.85	51.88	51.92	51.95	51.99
1290	52.02	52.06	52.09	52.13	52.16	52.20	52.23	52.27	52.30	52.33
1300	52.37									

表 5-75　镍铬-考铜热电偶分度表

分度号 EA-2（自由端温度为 0℃）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
-50	-3.11									
-40	-2.50	-2.56	-2.62	-2.68	-2.74	-2.81	-2.87	-2.93	-2.99	-3.05
-30	-1.89	-1.95	-2.01	-2.07	-2.13	-2.20	-2.26	-2.32	-2.38	-2.44
-20	-1.27	-1.33	-1.39	-1.46	-1.52	-1.58	-1.64	-1.70	-1.77	-1.83
-10	-0.64	-0.70	-0.77	-0.83	-0.89	-0.96	-1.02	-1.08	-1.14	-1.21
-0	-0.00	-0.06	-0.13	-0.19	-0.26	-0.32	-0.38	-0.45	-0.51	-0.58
+0	0.00	0.07	0.13	0.20	0.26	0.33	0.39	0.46	0.52	0.59
10	0.65	0.72	0.78	0.85	0.91	0.98	1.05	1.11	1.18	1.24
20	1.31	1.38	1.44	1.51	1.57	1.64	1.70	1.77	1.84	1.91
30	1.98	2.05	2.12	2.18	2.25	2.32	2.38	2.45	2.52	2.59

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
40	2.66	2.73	2.80	2.87	2.94	3.00	3.07	3.14	3.21	3.28
50	3.35	3.42	3.49	3.56	3.63	3.70	3.77	3.84	3.91	3.98
60	4.05	4.12	4.19	4.26	4.33	4.41	4.48	4.55	4.62	4.69
70	4.76	4.83	4.90	4.98	5.05	5.12	5.20	5.27	5.34	5.41
80	5.48	5.56	5.63	5.70	5.78	5.85	5.92	5.99	6.07	6.14
90	6.21	6.29	6.36	6.43	6.51	6.58	6.65	6.73	6.80	6.87
100	6.95	7.03	7.10	7.17	7.25	7.32	7.40	7.47	7.54	7.62
110	7.69	7.77	7.84	7.91	7.99	8.06	8.13	8.21	8.28	8.35
120	8.43	8.50	8.53	8.65	8.73	8.80	8.88	8.95	9.03	9.10
130	9.18	9.25	9.33	9.40	9.48	9.55	9.63	9.70	9.78	9.85
140	9.93	10.00	10.08	10.16	10.23	10.31	10.38	10.46	10.54	10.61
150	10.69	10.77	10.85	10.92	11.00	11.08	11.15	11.23	11.31	11.38
160	11.46	11.54	11.62	11.69	11.77	11.85	11.93	12.00	12.08	12.16
170	12.24	12.32	12.40	12.48	12.55	12.63	12.71	12.79	12.87	12.95
180	13.03	13.11	13.19	13.27	13.36	13.44	13.52	13.60	13.68	13.76
190	13.84	13.92	14.00	14.08	14.16	14.25	14.34	14.42	14.50	14.58
200	14.66	14.74	14.82	14.90	14.98	15.06	15.14	15.22	15.30	15.38
210	15.48	15.56	15.64	15.72	15.80	15.89	15.97	16.05	16.13	16.21
220	16.30	16.38	16.46	16.54	16.62	16.71	16.79	16.86	16.95	17.03
230	17.12	17.20	17.28	17.37	17.45	17.53	17.62	17.70	17.78	17.87
240	17.95	18.03	18.11	18.19	18.28	18.36	18.44	18.52	18.60	18.68
250	18.76	18.84	18.92	19.01	19.09	19.17	19.26	19.34	19.42	19.51
260	19.59	19.67	19.75	19.84	19.92	20.00	20.09	20.17	20.25	20.34
270	20.42	20.50	20.58	20.66	20.74	20.83	20.91	20.99	21.07	21.15
280	21.24	21.32	21.40	21.49	21.57	21.65	21.73	21.82	21.90	21.98
290	22.07	22.15	22.23	22.32	22.40	22.48	22.57	22.65	22.73	22.81
300	22.90	22.98	23.07	23.15	23.23	23.32	23.40	23.49	23.57	23.66
310	23.74	23.83	23.91	24.00	24.08	24.17	24.25	24.34	24.42	24.51
320	24.59	24.68	24.76	24.85	24.93	25.02	25.10	25.19	25.27	25.36
330	25.44	25.53	25.61	25.70	25.78	25.86	25.95	26.03	26.12	26.21
340	26.30	26.38	26.47	26.55	26.64	26.73	26.81	26.90	26.98	27.07
350	27.15	27.24	27.32	27.41	27.49	27.58	27.66	27.75	27.83	27.92
360	28.01	28.10	28.19	28.27	28.36	28.45	28.54	28.62	28.71	28.80
370	28.88	28.97	29.06	29.14	29.23	29.32	29.40	29.49	29.58	29.66
380	29.75	29.83	29.92	30.00	30.09	30.17	30.26	30.34	30.43	30.52
390	30.61	30.70	30.79	30.87	30.96	31.05	31.13	31.22	31.30	31.39

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
400	31.48	31.57	31.66	31.74	31.83	31.92	32.00	32.09	32.18	32.26
410	32.34	32.43	32.52	32.60	32.69	32.78	32.86	32.95	33.04	33.13
420	33.21	33.30	33.39	33.49	33.56	33.65	33.73	33.82	33.90	33.99
430	34.07	34.16	34.25	34.33	34.42	34.51	34.60	34.68	34.77	34.85
440	34.94	35.03	35.12	35.20	35.29	35.38	35.46	35.55	35.64	35.72
450	35.81	35.90	35.98	36.07	36.15	36.24	36.33	36.41	36.50	36.58
460	36.67	36.76	36.84	36.93	37.02	37.11	37.19	37.28	37.37	37.45
470	37.54	37.63	37.71	37.80	37.89	37.98	38.06	38.15	38.24	38.32
480	38.41	38.50	38.58	38.67	38.76	38.85	38.93	39.02	39.11	39.19
490	39.28	39.37	39.45	39.54	39.63	39.72	39.80	39.89	39.98	40.06
500	40.15	40.24	40.32	40.41	40.50	40.59	40.67	40.76	40.85	40.93
510	41.02	41.11	41.20	41.28	41.37	41.46	41.55	41.64	41.72	41.81
520	41.90	41.99	42.08	42.16	42.25	42.34	42.43	42.52	42.60	42.69
530	42.78	42.87	42.96	43.05	43.14	43.23	43.32	43.41	43.49	43.57
540	43.67	43.75	43.84	43.93	44.02	44.11	44.19	44.28	44.37	44.46
550	44.55	44.64	44.73	44.82	44.91	44.99	45.08	45.17	45.26	45.35
560	45.44	45.53	45.62	45.71	45.80	45.89	45.97	46.06	46.15	46.24
570	46.33	46.42	46.51	46.60	46.69	46.78	46.86	46.95	47.04	47.13
580	47.22	47.31	47.40	47.49	47.58	47.67	47.75	47.84	47.93	48.02
590	48.11	48.20	48.29	48.38	48.47	48.56	48.65	48.74	48.83	48.91
600	49.01	49.10	49.18	49.27	49.36	49.45	49.54	49.63	49.71	49.80
610	49.89	49.98	50.07	50.15	50.24	50.32	50.41	50.50	50.58	50.67
620	50.76	50.85	50.94	51.02	51.11	51.20	51.29	51.38	51.46	51.55
630	51.64	51.73	51.81	51.90	51.99	52.08	52.16	52.25	52.34	52.42
640	52.51	52.60	52.69	52.77	52.86	52.95	53.04	53.13	53.21	53.30
650	53.39	53.48	53.56	53.65	53.74	53.83	53.91	54.00	54.09	54.17
660	54.26	54.35	54.43	54.52	54.60	54.69	54.77	54.86	54.95	55.03
670	55.12	55.21	55.29	55.38	55.47	55.56	55.64	55.73	55.82	55.91
680	56.00	56.09	56.17	56.26	56.35	56.44	56.52	56.61	56.70	56.78
690	56.87	56.96	57.04	57.13	57.22	57.31	57.39	57.48	57.57	57.66
700	57.74	57.83	57.91	58.00	58.08	58.17	58.25	58.34	58.43	58.51
710	58.57	58.69	58.77	58.86	58.95	59.04	59.12	59.21	59.30	59.38
720	59.47	59.56	59.64	59.73	59.81	59.90	59.99	60.07	60.16	60.24
730	60.33	60.42	60.50	60.59	60.68	60.77	60.85	60.94	61.03	61.11
740	61.20	61.29	61.37	61.46	61.54	61.63	61.71	61.80	61.89	61.97

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
750	62.06	62.15	62.23	62.32	62.40	62.49	62.58	62.66	62.75	62.83
760	62.92	63.01	63.09	63.18	63.26	63.35	63.44	63.52	63.61	63.69
770	63.78	63.87	63.95	64.04	64.12	64.21	64.30	64.38	64.47	64.55
780	64.64	64.73	64.81	64.90	64.98	65.07	65.16	65.24	65.33	65.41
790	65.50	65.59	65.67	65.76	65.84	65.93	66.02	66.10	66.19	66.27
800	66.36									

表 5-76　双铂铑热电偶分度

分度号 LL-2（自由端温度为 0℃）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
10	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
20	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
30	-0.002	-0.002	-0.001	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.000
40	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
50	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006
60	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.009	0.010	0.010	0.010	0.011
70	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.015	0.015	0.016	0.016	0.017
80	0.018	0.018	0.019	0.020	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.024
90	0.025	0.026	0.027	0.028	0.028	0.029	0.030	0.031	0.032	0.033
100	0.034	0.034	0.035	0.036	0.037	0.038	0.039	0.040	0.041	0.042
110	0.043	0.044	0.045	0.046	0.047	0.048	0.049	0.050	0.051	0.052
120	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.062	0.063	0.064
130	0.065	0.067	0.068	0.069	0.070	0.072	0.073	0.074	0.076	0.077
140	0.078	0.080	0.081	0.082	0.084	0.085	0.086	0.088	0.089	0.091
150	0.092	0.094	0.095	0.097	0.098	0.100	0.101	0.103	0.104	0.106
160	0.107	0.109	0.110	0.112	0.114	0.115	0.117	0.118	0.120	0.122
170	0.123	0.125	0.127	0.128	0.130	0.132	0.134	0.135	0.137	0.139
180	0.141	0.142	0.144	0.146	0.148	0.150	0.152	0.153	0.155	0.157
190	0.159	0.161	0.163	0.165	0.167	0.168	0.170	0.172	0.174	0.176
200	0.178	0.180	0.182	0.184	0.186	0.188	0.190	0.193	0.195	0.197
210	0.199	0.201	0.203	0.205	0.207	0.210	0.212	0.214	0.216	0.218
220	0.220	0.223	0.225	0.227	0.229	0.232	0.234	0.236	0.238	0.241
230	0.243	0.245	0.248	0.250	0.252	0.255	0.257	0.260	0.262	0.264
240	0.267	0.269	0.272	0.274	0.276	0.279	0.281	0.284	0.286	0.289

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
250	0.291	0.294	0.296	0.299	0.302	0.304	0.307	0.309	0.312	0.315
260	0.317	0.320	0.322	0.325	0.328	0.331	0.333	0.336	0.339	0.341
270	0.344	0.347	0.350	0.352	0.355	0.358	0.361	0.364	0.366	0.369
280	0.372	0.375	0.378	0.381	0.384	0.386	0.389	0.392	0.395	0.398
290	0.401	0.404	0.407	0.410	0.413	0.416	0.419	0.422	0.425	0.428
300	0.431	0.434	0.437	0.440	0.443	0.446	0.449	0.453	0.456	0.459
310	0.462	0.465	0.468	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.488	0.491
320	0.494	0.497	0.501	0.504	0.507	0.510	0.514	0.517	0.520	0.524
330	0.527	0.530	0.534	0.537	0.541	0.544	0.548	0.551	0.554	0.558
340	0.561	0.565	0.568	0.572	0.575	0.579	0.582	0.586	0.589	0.593
350	0.596	0.600	0.604	0.607	0.611	0.614	0.618	0.622	0.625	0.629
360	0.632	0.636	0.640	0.644	0.647	0.651	0.655	0.658	0.662	0.666
370	0.670	0.673	0.677	0.681	0.685	0.689	0.692	0.696	0.700	0.704
380	0.708	0.712	0.716	0.719	0.723	0.727	0.731	0.735	0.739	0.743
390	0.747	0.751	0.755	0.759	0.763	0.767	0.771	0.775	0.779	0.783
400	0.787	0.791	0.795	0.799	0.803	0.808	0.812	0.816	0.820	0.824
410	0.828	0.832	0.836	0.841	0.845	0.849	0.853	0.858	0.862	0.866
420	0.870	0.874	0.879	0.883	0.887	0.892	0.896	0.900	0.905	0.909
430	0.913	0.918	0.922	0.926	0.931	0.935	0.940	0.944	0.949	0.953
440	0.957	0.962	0.966	0.971	0.975	0.980	0.984	0.989	0.993	0.998
450	1.002	1.007	1.012	1.016	1.021	1.025	1.030	1.034	1.039	1.044
460	1.048	1.053	1.058	1.062	1.067	1.072	1.077	1.081	1.086	1.091
470	1.096	1.100	1.105	1.110	1.115	1.119	1.124	1.129	1.134	1.139
480	1.143	1.148	1.153	1.158	1.163	1.168	1.173	1.178	1.182	1.187
490	1.192	1.197	1.202	1.207	1.212	1.217	1.222	1.227	1.232	1.237
500	1.242	1.247	1.252	1.257	1.262	1.267	1.273	1.278	1.283	1.288
510	1.293	1.298	1.303	1.308	1.314	1.319	1.324	1.329	1.334	1.340
520	1.345	1.350	1.355	1.360	1.366	1.371	1.376	1.382	1.387	1.392
530	1.397	1.403	1.408	1.413	1.419	1.424	1.429	1.435	1.440	1.446
540	1.451	1.456	1.462	1.467	1.473	1.478	1.484	1.489	1.494	1.500
550	1.505	1.510	1.516	1.521	1.527	1.533	1.539	1.544	1.549	1.555
560	1.560	1.565	1.571	1.577	1.583	1.588	1.594	1.600	1.605	1.611
570	1.617	1.622	1.628	1.634	1.639	1.645	1.651	1.656	1.662	1.668
580	1.674	1.680	1.685	1.691	1.697	1.703	1.709	1.714	1.720	1.726
590	1.732	1.738	1.744	1.750	1.755	1.761	1.767	1.773	1.779	1.785

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
600	1.791	1.797	1.803	1.809	1.815	1.821	1.827	1.833	1.839	1.845
610	1.851	1.857	1.863	1.869	1.875	1.881	1.887	1.893	1.899	1.905
620	1.912	1.918	1.924	1.930	1.936	1.942	1.948	1.955	1.961	1.967
630	1.973	1.979	1.986	1.992	1.998	2.004	2.011	2.017	2.023	2.029
640	2.036	2.042	2.048	2.055	2.061	2.067	2.074	2.080	2.086	2.093
650	2.099	2.106	2.112	2.118	2.125	2.131	2.138	2.144	2.151	2.157
660	2.164	2.170	2.176	2.183	2.190	2.196	2.202	2.209	2.216	2.222
670	2.229	2.235	2.242	2.248	2.255	2.262	2.268	2.275	2.281	2.288
680	2.295	2.301	2.308	2.315	2.321	2.328	2.335	2.342	2.348	2.355
690	2.362	2.368	2.375	2.382	2.389	2.395	2.402	2.409	2.416	2.422
700	2.429	2.436	2.443	2.450	2.457	2.464	2.470	2.477	2.484	2.491
710	2.498	2.505	2.512	2.519	2.526	2.533	2.539	2.546	2.553	2.560
720	2.567	2.574	2.581	2.588	2.595	2.602	2.609	2.616	2.623	2.631
730	2.638	2.645	2.654	2.659	2.666	2.673	2.680	2.687	2.694	2.702
740	2.709	2.716	2.723	2.730	2.737	2.745	2.752	2.759	2.766	2.773
750	2.781	2.788	2.795	2.802	2.810	2.817	2.824	2.831	2.839	2.846
760	2.853	2.861	2.868	2.875	2.883	2.890	2.897	2.905	2.912	2.919
770	2.927	2.934	2.942	2.949	2.956	2.964	2.971	2.979	2.986	2.994
780	3.001	3.009	3.016	3.024	3.031	3.039	3.046	3.054	3.061	3.069
790	3.076	3.084	3.091	3.099	3.106	3.114	3.122	3.129	3.137	3.145
800	3.152	3.160	3.168	3.175	3.183	3.191	3.198	3.206	3.214	3.221
810	3.229	3.237	3.245	3.252	3.260	3.268	3.276	3.283	3.291	3.299
820	3.307	3.314	3.322	3.330	3.338	3.346	3.354	3.361	3.369	3.377
830	3.385	3.393	3.401	3.409	3.417	3.424	3.432	3.440	3.448	3.456
840	3.464	3.472	3.480	3.488	3.496	3.504	3.512	3.520	3.528	3.536
850	3.544	3.552	3.560	3.568	3.576	3.584	3.592	3.600	3.608	3.616
860	3.624	3.633	3.641	3.649	3.657	3.665	3.673	3.682	3.690	3.698
870	3.706	3.714	3.722	3.731	3.739	3.747	3.755	3.764	3.772	3.780
880	3.788	3.796	3.805	3.813	3.821	3.830	3.839	3.846	3.855	3.863
890	3.871	3.880	3.888	3.896	3.905	3.913	3.921	3.930	3.938	3.947
900	3.955	3.963	3.972	3.980	3.989	3.997	4.006	4.014	4.023	4.031
910	4.039	4.048	4.056	4.064	4.073	4.082	4.090	4.099	4.108	4.116
920	4.124	4.133	4.142	4.150	4.159	4.168	4.176	4.185	4.193	4.202
930	4.211	4.219	4.228	4.237	4.245	4.254	4.262	4.271	4.280	4.288
940	4.297	4.306	4.315	4.323	4.332	4.341	4.350	4.359	4.367	4.376

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
950	4.385	4.393	4.402	4.411	4.420	4.429	4.437	4.446	4.455	4.464
960	4.473	4.482	4.490	4.499	4.508	4.517	4.526	4.535	4.544	4.553
970	4.562	4.570	4.579	4.588	4.597	4.606	4.615	4.624	4.633	4.642
980	4.651	4.660	4.669	4.678	4.687	4.696	4.705	4.714	4.723	4.732
990	4.741	4.750	4.760	4.769	4.778	4.787	4.796	4.805	4.814	4.823
1000	4.832	4.842	4.851	4.860	4.869	4.878	4.887	4.896	4.906	4.915
1010	4.924	4.933	4.942	4.952	4.961	4.970	4.979	4.988	4.998	5.007
1020	5.016	5.026	5.035	5.044	5.053	5.063	5.072	5.081	5.091	5.100
1030	5.109	5.119	5.128	5.137	5.147	5.156	5.166	5.175	5.184	5.194
1040	5.203	5.212	5.222	5.231	5.241	5.250	5.260	5.269	5.279	5.288
1050	5.297	5.307	5.316	5.326	5.335	5.345	5.354	5.364	5.373	5.383
1060	5.393	5.402	5.412	5.421	5.431	5.440	5.450	5.459	5.469	5.479
1070	5.488	5.498	5.507	5.517	5.527	5.536	5.546	5.556	5.565	5.575
1080	5.585	5.594	5.604	5.614	5.624	5.634	5.644	5.653	5.663	5.673
1090	5.683	5.692	5.702	5.712	5.722	5.731	5.741	5.751	5.761	5.771
1100	5.780	5.790	5.800	5.810	5.820	5.830	5.839	5.849	6.859	5.869
1110	5.879	5.889	5.899	5.910	5.919	5.928	5.938	5.948	6.958	5.968
1120	5.978	5.988	5.998	6.008	6.018	6.028	6.038	6.048	6.058	6.068
1130	6.078	6.088	6.098	6.108	6.118	6.128	6.138	6.148	6.158	6.168
1140	6.178	6.188	6.198	6.208	6.218	6.228	6.238	6.248	6.259	6.269
1150	6.279	6.289	6.299	6.309	6.319	6.329	6.340	6.350	6.360	6.370
1160	6.380	6.390	6.401	6.411	6.421	6.431	6.442	6.452	6.462	6.472
1170	6.482	6.493	6.503	6.513	6.523	6.534	6.544	6.554	6.564	6.575
1180	6.585	6.595	6.606	6.616	6.626	6.637	6.647	6.657	6.668	6.678
1190	6.688	6.699	6.709	6.719	6.730	6.740	6.750	6.760	6.771	6.782
1200	6.792	6.802	6.813	6.823	6.834	6.844	6.854	6.865	6.875	6.886
1210	6.896	6.907	6.917	6.928	6.938	6.949	6.959	6.970	6.980	6.991
1220	7.001	7.012	7.022	7.033	6.043	7.054	7.064	7.075	7.085	7.096
1230	7.106	7.117	7.128	7.138	7.149	7.159	7.170	7.180	7.191	7.202
1240	7.212	7.223	7.234	7.244	7.255	7.265	7.276	7.287	7.297	7.308
1250	7.319	7.329	7.340	7.351	7.361	7.372	7.383	7.393	7.404	7.415
1260	7.426	7.436	7.447	7.458	7.468	7.479	7.490	7.501	7.511	7.522
1270	7.533	7.544	7.554	7.565	7.576	7.587	7.598	7.608	7.619	7.630
1280	7.641	7.652	7.662	7.673	7.684	7.695	7.706	7.716	7.727	7.738
1290	7.749	7.760	7.771	7.782	7.792	7.803	7.814	7.825	7.836	7.847

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　　伏（绝对伏）									
1300	7.858	7.869	7.880	7.890	7.901	7.912	7.923	7.934	7.945	7.956
1310	7.967	7.978	7.989	8.000	8.011	8.022	8.033	8.044	8.054	8.065
1320	8.076	8.087	8.098	8.109	8.120	8.131	8.142	8.153	8.164	8.175
1330	8.186	8.197	8.208	8.220	8.231	8.242	8.253	8.264	8.275	8.286
1340	8.297	8.308	8.319	8.330	8.341	8.352	8.363	8.374	8.385	8.396
1350	8.408	8.419	8.430	8.441	8.452	8.463	8.474	8.485	8.497	8.508
1360	8.519	8.530	8.541	8.552	8.563	8.574	8.586	8.597	8.608	8.619
1370	8.630	8.642	8.653	8.664	8.675	8.686	8.697	8.709	8.720	8.731
1380	8.742	8.753	8.765	8.776	8.787	8.798	8.809	8.820	8.832	8.843
1390	8.854	8.866	8.877	8.888	8.899	8.911	8.922	8.933	8.945	8.956
1400	8.967	8.978	8.990	9.001	9.012	9.023	9.035	9.046	9.057	9.069
1410	9.080	9.091	9.103	9.114	9.125	9.137	9.148	9.159	9.170	9.182
1420	9.193	9.204	9.216	9.227	9.239	9.250	9.261	9.273	9.284	9.295
1430	9.307	9.318	9.329	9.341	9.352	9.363	9.375	9.386	9.398	9.409
1440	9.420	9.432	9.443	9.455	9.466	9.477	9.489	9.500	9.512	9.523
1450	9.534	9.546	9.557	9.569	9.580	9.592	9.603	9.614	9.626	9.637
1460	9.649	9.660	9.672	9.683	9.695	9.706	9.717	9.729	9.740	9.752
1470	9.763	9.775	9.786	9.798	9.809	9.821	9.832	9.844	9.855	9.866
1480	9.878	9.890	9.901	9.913	9.924	9.936	9.947	9.959	9.970	9.982
1490	9.993	10.005	10.016	10.028	10.039	10.051	10.062	10.074	10.085	10.097
1500	10.108	10.120	10.131	10.143	10.154	10.166	10.177	10.189	10.200	10.212
1510	10.224	10.235	10.247	10.258	10.270	10.281	10.293	10.304	10.316	10.328
1520	10.339	10.351	10.362	10.374	10.385	10.397	10.408	10.420	10.432	10.443
1530	10.455	10.466	10.478	10.490	10.501	10.513	10.524	10.536	10.547	10.559
1540	10.571	10.582	10.594	10.605	10.617	10.629	10.640	10.652	10.663	10.675
1550	10.687	10.698	10.710	10.721	10.733	10.745	10.756	10.768	10.779	10.791
1560	10.803	10.814	10.826	10.838	10.849	10.861	10.872	10.884	10.896	10.907
1570	10.919	10.930	10.942	10.954	10.965	10.977	10.989	11.000	11.012	11.024
1580	11.035	11.047	11.058	11.070	11.082	11.093	11.105	11.116	11.128	11.140
1590	11.151	11.163	11.175	11.186	11.198	11.210	11.221	11.233	11.245	11.256
1600	11.268	11.280	11.291	11.303	11.314	11.326	11.338	11.349	11.361	11.373
1610	11.384	11.396	11.408	11.419	11.431	11.442	11.454	11.466	11.477	11.489
1620	11.501	11.512	11.524	11.536	11.547	11.559	11.571	11.582	11.594	11.606
1630	11.617	11.629	11.641	11.652	11.664	11.675	11.687	11.699	11.710	11.722
1640	11.734	11.745	11.757	11.768	11.780	11.792	11.804	11.815	11.827	11.838

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫　伏（绝对伏）									
1650	11.850	11.862	11.873	11.885	11.897	11.908	11.920	11.931	11.943	11.955
1660	11.966	11.978	11.990	12.001	12.013	12.025	12.036	12.048	12.060	12.071
1670	12.083	12.094	12.106	12.118	12.129	12.141	12.152	12.164	12.176	12.187
1680	12.199	12.211	12.222	12.234	12.245	12.257	12.269	12.280	12.292	12.303
1690	12.315	12.327	12.339	12.350	12.362	12.373	12.385	12.396	12.408	12.420
1700	12.431	12.443	12.454	12.466	12.478	12.489	12.501	12.512	12.524	12.536
1710	12.547	12.559	12.570	12.582	12.593	12.605	12.617	12.628	12.640	12.651
1720	12.663	12.674	12.686	12.698	12.709	12.721	12.732	12.744	12.755	12.767
1730	12.778	12.790	12.802	12.813	12.825	12.836	12.848	12.859	12.871	12.882
1740	12.894	12.906	12.917	12.929	12.940	12.952	12.963	12.974	12.986	12.998
1750	13.009	13.021	13.032	13.044	13.055	13.067	13.078	13.089	13.101	13.113
1760	13.124	13.136	13.147	13.159	13.170	13.182	13.193	13.205	13.216	13.228
1770	13.239	13.250	13.262	13.274	13.285	13.296	13.308	13.319	13.331	13.342
1780	13.354	13.365	13.376	13.388	13.399	13.411	13.422	13.434	13.445	13.456
1790	13.468	13.479	13.491	13.502	13.514	13.525	13.536	13.548	13.559	13.571
1800	13.582									

表 5-77　补偿导线特性

热电偶名称	补偿导线				$t=100℃$ 和 $t_0=0℃$ 时的热电动势/mV	20℃时的电阻率/（$\Omega\cdot mm^2/m^2$）
	正　极		负　极			
	电极材料	绝缘颜色	电极材料	绝缘颜色		
镍铬-考铜	镍铬（NiCr9）	紫	考铜（BMn43～0.5）	黄	6.95±0.3	1.25
镍铬-镍硅	铜（T）	红	康铜（BMn40～1.5）	黄	4.10±0.15	0.684
铂铑$_{10}$-铂	铜（T）	红	铜镍（B0.6）	绿	0.643±0.023	0.0484

注：铂铑$_{30}$-铂铑$_6$ 热电偶不用补偿导线。

（3）温度变送器

1）调校所需仪器设备：调校所需的仪器设备列于表 5-78。

表 5-78　调校所需仪器设备

序　号	名　称	规　格	数　量
1	DFX-01 信号发生器（或 0.1 级直流电位差计）	0～10mA	1
2	标准电阻	1Ω，10Ω	各 1
3	毫安表	0～10mA，0.5 级	2
4	毫安表	0～1.5mA，0.5 级	1
5	ZX-21 型电阻箱		1
6	调压器	0～250V	1

2）主要技术指标：

① DBW-110 <10mV，1 级；

≥10mV，0.5 级；

DBW-120 1 级；

② 输出无摆动现象。

③ 恒流性：0～1.5kΩ，输出变化为基本误差的 1/2。

④ 电源电压波动：电源电压在 190～240V 之间变化时，仪表输出变化不超过基本误差。

3）调校条件：

① 环境温度 +20℃ ±5℃；

② 相对湿度 ≤85%；

③ 周围应无外磁场；

④ 无振动；

⑤ 电源电压为 220V×（1±1%），频率为 50Hz×（1±0.5%）。

4）调校接线图：调校接线示于图 5-61 和图 5-62。

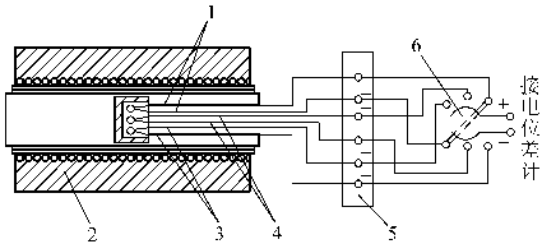


图 5-61 热电偶温度变送器接线图

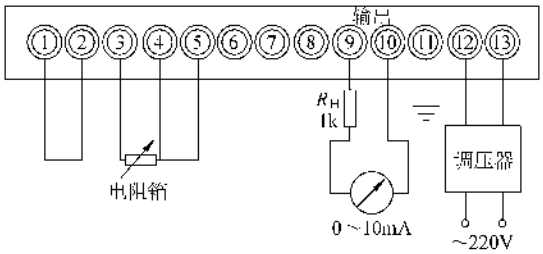


图 5-62 热电阻温度变送器接线图

5）调校方法：

① 桥路电流。桥路电流为（0.5±0.01）mA，把量程为 1.5mA 的毫安表串在外接线端子③和锰铜电阻 R_{Mn}之间，调整电位器 W_4。如桥路电流不准确，就不能达到冷端温度完全补偿。

冷端温度补偿电阻 R_{Cu}根据下式计算：

$$R_{Cu}=\frac{E_t}{I\alpha t} \tag{5-35}$$

式中 E_t——热电偶冷端温度为 0℃，热端温度为 t℃时的热电动势值；

I——桥路电流 0.5mA；

α——铜电阻 R_{Cu}的温度系数；

t——仪表最高使用环境温度，45℃。

根据不同分度的热电偶，铜电阻 R_{Cu}为：

LB-3：$R_{Cu}=3.1\Omega$，$R_{Mn}=3.1\Omega$

EU-2：$R_{Cu}=21\Omega$，$R_{Mn}=21\Omega$

EA-2：$R_{Cu}=34.4\Omega$，$R_{Mn}=34.4\Omega$

LL-2：$R_{Cu}=0$

为调校方便 R_{Cu}用 $R_{Mn}=21\Omega$ 代替，也就是将仪表外部接线端子③、④之间接上 $R_{Mn}=21\Omega$。

② 仪表接线完备，将“工作—检测”开关置于“检测”一侧，预热 30min，仪表输出应在 4～6mA 处。否则，认为仪表不正常，即应检查故障部位，排除了故障之后再进行调校。

③ 零点调整。输入满量程的 10% 的信号，调整“调零”电位器 W_1，使仪表输出 1mA。对 DBW-110 型温度变送器，零点迁移超过 25mV；对 DBW-120 型温度变送器，超过 50Ω，断开 R_0 的短接线，可以扩大零点迁移范围。

④ 量程调整。输入满量程的 90% 的信号，调整“量程”电位器 W_2 使仪表输出 9mA。对 DBW-110 型温度变送器，量程超过 25mV；对 DBW-120 型温度变送器，超过 50Ω 时断开 R_0 短路线，扩大量程范围。

⑤ 仪表输出在 1mA 和 9mA 处反复调整“调零”电位器 W_1 和“量程”电位器 W_2，使仪表输出满足要求后，再输入满量程的 10%、30%、50%、70%、90%，仪表输出为 1mA、3mA、5mA、7mA、9mA。误差不得超过基本误差。

⑥ 仪表外接线端子⑨、⑩上，把 1kΩ 负载电阻换成电阻箱。仪表输出 9mA 处，改变电阻箱的阻值 0～1.5kΩ，查看恒流性，不得超过基本误差的一半。

⑦ 仪表电源接在稳压器上，改变供电电压 190～240V。仪表输出变化不得超过基本误差。

⑧ 仪表输出应无明显摆动现象。

⑨ 仪表工作正常后，DBW-110 型温度变送器把锰铜电阻 R_{Mn}换成相应的铜电阻 R_{Cu}，仪表即可投入系统使用。

2. 压力仪表

（1）电接点压力表

1）技术要求：

① 表壳、表盘完整、清洁、标志齐全清晰。

② 加压至仪表上限值，并恒压 15min 后，示值不应下降。压力除掉后，仪表回零的偏差值不大于准确度等级允许的误差；

③ 仪表的示值误差、变差和电接点的信号误差，均不能大于仪表准确度等级的允许误差；

④ 记录时间误差在 24h 内不应超过 ±5min；

⑤　记录笔尖与时间弧线间的偏差，不应超过±1mm；

⑥　氧压表禁止进入油污，如已被油污，可用四氯化碳清洗弹簧管；

⑦　电接点压力表的拨针器应工作灵活，接点之间和接点对地间的绝缘应良好，接点应通过继电器与负载连接；

⑧　氧气调节器应完整不漏气，输出压力在调节范围内应连续可调。

2）检定所需仪器设备：

①　相适应的压力范围的压力校验器（或活塞式压力计）和标准压力表；

②　XJQ 型真空表校验仪或一台真空泵和一台标准真空表；

③　检定氧压表时需有一个自制的隔离容器或用冲入甘油的压力校验器，使油不进入氧压表内。

压力表的校验（检定）常用比较法，见图5-63。

3）电接点压力表的校验：装置见图 5-63。

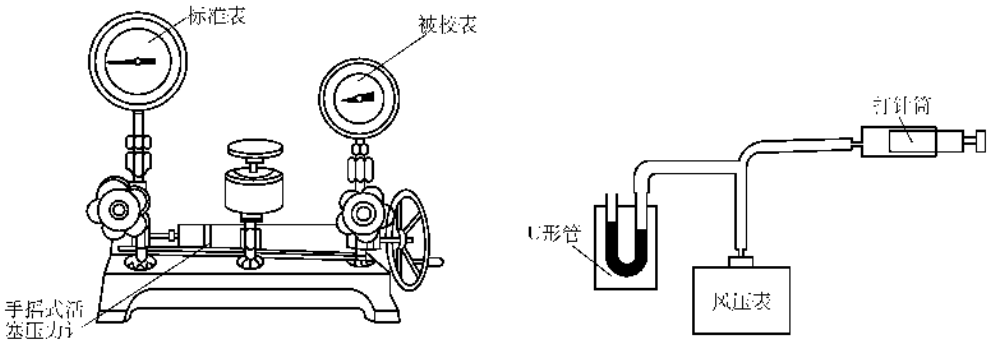


图 5-63　比较法校验压力表

①　把被校表和标准表分别安装在活塞式压力计右边和左边的接头上，接头内装上纯铜垫圈，使用两把扳手操作，一把卡住活塞式压力计的接头六角螺母，另一把卡住被校表接头的六角螺母，一正时针扳动，一逆时针扳动，直到不漏油为止。

②　把进油阀和油杯阀全打开，指针应在零位，然后把阀关紧。

③　在表盘全刻度范围内均匀选取五点，顺时针摇动手柄，压力上升，标准表指针到达校验点时，停止摇动，观察被校表示值，并轻轻敲动表壳，观察被校表表针晃动情况，将上面示值记录下来，同样方法校验其他四点，直到满刻度。

④　逆时针摇动手柄，压力下降，同样方法校验回程四点，直到零位。整个过程不得有“卡针”现象。

⑤　数据处理：示值误差、来回变差、轻敲误差都不得超过基本误差的绝对值即为合格。

⑥　注意事项：

a）活塞式压力计应放在坚固、平稳、无振动的工作台上，调节四角高低，校准水平，使其处于水平位置；

b）操作前先打开标准表侧的阀，摇动手柄，将工作油液管路内可压缩的空气排出，然后将阀关闭；再打开油杯阀，摇动手柄反转，缸内吸进油液，数量足够后再将其关闭，即可投入使用。

c）各个部位不得漏油。

d）摇动手柄时不得使丝杠受到弯曲力矩影响而产生变形。

⑦　接点试验。一般用两只万用表分别接在上限接点和下限接点上，见图 5-64。当读取上限压力和下限压力时，表针应指向零位，当温度偏移后，表针应指向最大刻度。

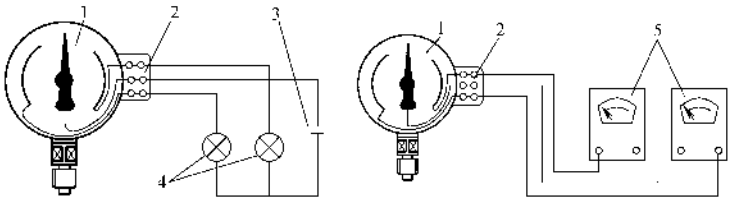


图 5-64　电接点信号试验图

1—被检仪表　2—接线盒　3—1.5V 干电池　4—1.5V 灯泡　5—万用表

4）螺旋管弹簧压力表检定：螺旋管弹簧压力表的检定，一般不直接安装在压力校验器上，而是用接

头和细纯铜管把仪表引到一个安装架上，方法同上。

5）氧压表检定及其调节器的试验：

① 氧压表检定是把氧压表安装在隔离容器上，见图 5-65。把隔离容器安装在压力校验器上，在检定时使水进入氧压表内。如果用冲入甘油的专用压力校验器，其甘油需定期更换。

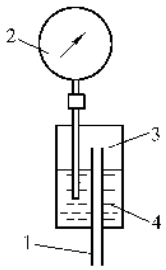


图 5-65 隔离容器示意图

1—接压力校验器

2—被检氧压表 3—油 4—水

② 氧气调节器的整体试验，可在氮气瓶（或氧气瓶）上进行试验。

（2）膜盒压力表的试验校验 方法同上。

1）技术要求：

① 表盘和表壳应干净，表盘标志应齐全；

② 传动机构、表盘、指针应紧固牢靠，螺钉齐全；

③ 仪表加压至上限 1.5 倍 15min 后，不应有泄漏，除掉压力后，指针应回零位；

④ 仪表传动部位不应有摩擦或卡住现象，传动轴孔不应过于松动，活动部位均应加钟油润滑；

⑤ 测量误差不大于刻度上限值的 ±2.5%；

⑥ 测量不灵敏限不大于刻度上限值的 ±0.5%；

⑦ 最大变差不大于刻度上限值的 ±1.0%；

⑧ 继电器触点动作误差不大于刻度上限值的 ±2.5%；

⑨ 检定方法采用直接比较方法。

2）检定所需仪器设备：

① 倾斜微压计（或补偿式微压计）一台；

② 对测量上限在 200mmH_2O㊀以上的膜盒压力表，需用一只充水的 0～1000mmH_2O 的标准单管压力计；

③ 对测量上限在 1000mmH_2O 以上的膜盒压力表，需用一只充水银的 0～1000mmHg㊁的标准单管压力计；

④ 压力源一般用橡皮球或用压缩空气装一台专用的校验装置。

（3）双波纹管差压仪表

1）主要技术要求：

① 表壳、表盘应清洁，表盘标志应齐全；

② 传动机构、表盘、指针或笔尖应紧固牢靠，螺钉齐全；

③ 仪表加差压至上限刻度值的 1.5 倍后不应有泄漏，去掉差压后，示值应返回零位；

④ 仪表的传动部位不应有摩擦或卡住现象，传动轴孔不应过于松动，所有活动部位均应加钟油润滑；

⑤ 示值误差和变差均不大于仪表的准确度等级要求；

⑥ 记录时间在 24h 内，其偏差不应超过 ±5min；

⑦ 记录应清晰不断线；

⑧ 记录笔尖应和记录纸的时间弧线平行移动；

⑨ 积算器的传动机构必须灵活好用；

⑩ 积算器本身积算误差不应超过 ±0.5%；

⑪ 仪表系统总误差不超过 1.5%；

⑫ 控制点误差不超过全刻度的 ±1.0%；

⑬ 比例范围和积分时间的实际值误差不应超过表 5-79 的要求；

表 5-79 比例范围和积分时间允许误差

比例范围分度值（%）	允许误差（%）	积分时间分度值/min	允许误差
10～30	±4	0.05	±1s
>30～80	±8	1	±25s
>80～200	±12	20	±8min
>200～250	±30	全关	> ±100min

⑭ 比例范围不同心度误差，当比例范围在 20%～500% 分度内转动时，输出压力的变化不超过 ±15mmHg。

2）检定所需仪器设备：

① 对于测量压力的波纹管压力表，需一台压力校验仪和一只标准弹簧管压力表；

② 对于测量上限在 200mmH_2O 以下的波纹管差压仪表，需一台倾斜式微压计或补偿式微压计；

③ 对于测量上限在 1000mmH_2O 以下的波纹管差压仪表，需一台充水的 0～1000mmH_2O 的单管标准压力计；

④ 对于测量上限在 1000mmH_2O 以上的波纹管差压仪表，需一台充水水银的 0～1000mmHg 的单管

㊀ 1mmH_2O = 9.80665Pa，后同。

㊁ 1mmHg = 133.322Pa，后同。

标准压力计或 0～1.0kgf/cm²㊀的标准弹簧管压力表；

⑤　检定原理系统见图 5-66。检定时需打开阀门 8，关闭平衡阀门 7；对测量压力的波纹管压力表和弹簧管压力表的检定相同。

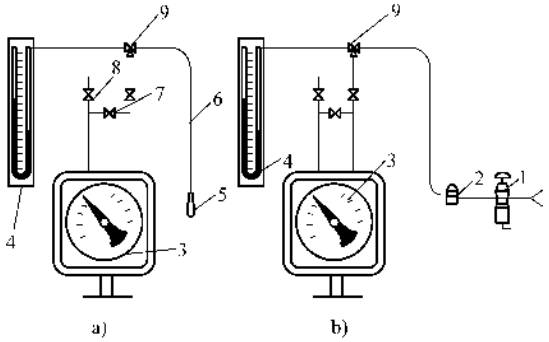


图 5-66　差压仪表检定系统图

a）用橡皮球加压　b）用定值器加压

1—过滤器减压阀　2—定值器　3—差压仪表

4—U 形管压力计　5—橡皮球　6—橡皮管

7—平衡阀门　8—阀门　9—三通管

（4）差压变送器

1）调校所需仪器设备：

①　0～40～160mmH_2O 补偿式微压计；

②　0～250mmH_2O 补偿式微压计；

③　单管水柱，0～1～1.6mH_2O，0.10 级；

④　单管水柱，0～2.5mH_2O，0.10 级；

⑤　标准压力表，YB-250，0～0.4～0.6kgf/cm²，0.10 级；

⑥　标准压力表，YB-250，0～1～1.6kgf/cm²，0.10 级；

⑦　标准压力表，YB-250，0～2.5kgf/cm²，0.10 级；

⑧　活塞式压力计，YS-6，0～0.4～6 kgf/cm²，0.05 级；

⑨　活塞式压力计，YS-60，1～60 kgf/cm²，0.05 级；

⑩　活塞式压力计，YS-600，10～60 kgf/cm²，0.05 级；

⑪　UJ-31 型电位差计；

⑫　AC10/1 检流计；

⑬　BC2 型饱和标准电池，1.01860V，Ⅱ级；

⑭　ZX-21 型调节用电阻箱；

⑮　C21-mA 毫安表，0～10～20mA，0.5 级；

⑯　500V 的绝缘电阻表；

⑰　MF47 型万用表；

⑱　605 真空管毫伏计；

⑲　84-A 恒温干燥箱；

⑳　微位移发生器，最小分度为 1μm。

2）整机调试：试验接线见图 5-67。

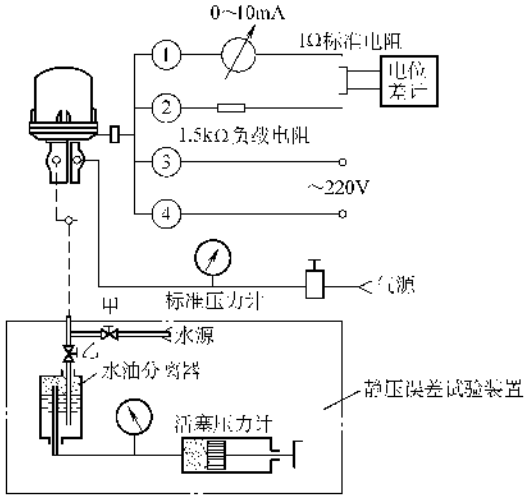


图 5-67　试验接线图

①　全量程范围内零点变化量的调整：

a）初始状态的检查（量程支点处于低量程的位置）：

ⓐ　松开推板上的两只埋头螺钉；

ⓑ　将限位螺母拧开，使副杠杆在该处约有 1mm 的间隙；

ⓒ　调零弹簧座向后约有 2～3mm 的位移量；

ⓓ　调整检测线圈的位置，使它与铝片之间的距离约为 1mm；

ⓔ　副杠杆与量程支点接触的情况下，基本与导磁体平行，动圈与导磁体孔端相平。

b）零点变化量的调整：

ⓐ　接通电源，调整检测线圈，使输出电流为零，然后锁紧调节杆；

ⓑ　连接推板上的两只埋头螺钉，观察零点电流变化应小于 0.5mA，否则要重新调整推板和搭板的间隙；

ⓒ　调整机械零点，使输出为 0mA；

ⓓ　将量程支点由低往高处滑动（一般只须观察支点在低、中、高三个位置），在量程支点接触可靠的前提下，零点电流的变化量不大于 3mA，且应以负值为佳。同时在各位置时，通过调整机械零位，应该使仪表能调到 +0.5mA 的数值。

全量程范围内零点变化量达到要求后的仪表，在以后的各项调校中，除为修正高量程的静压误差外，不宜再用调整检测线圈的位置来改变仪表的零点。

㊀　1kgf/cm² = 0.0980665MPa，后同。

ⓔ 当全量程范围内零点变化量超出要求时，可以将量程支点重新调回低量程位置，用机械方法调零后，再松开推板。断开电源，旋动调零螺杆，改变副杠杆的倾角，然后再依上述ⓐ～ⓓ条检查零点变化量，直至符合要求。

c）需要注意的问题：

ⓐ 量程支点不宜顶得太紧，一般在旋转空心螺栓，使偏心与副杠杆支承面刚接触，然后旋转1/4～1/2圈，锁紧空心螺栓。

ⓑ 副杠杆倾角不宜过大（指副杠杆的上端太靠近导磁体），但又不宜过小，因为那样会出现支点向上调整而脱开的现象。

ⓒ 调零弹簧在副杠杆处于自由状态时，有微弱的拉伸量。调零弹簧装弹簧座后总长度应为（43±0.5）mm，太长或太短都会给装配带来困难，甚至调不出来。

② 静压误差的调整：静压误差是仪表正、负容室，即膜盒两侧同时受到静压力作用后，变送器的输出零点所产生的漂移量。

对静压有要求的且大于0.1MPa的差压变送器，须将量程支点放在对应低量程位置，进行静压误差试验，然后将量程支点移至中量程和高量程，在只准进行机械零点调整的前提下，进行静压误差试验，三个位置时的静压误差均应小于技术条件规定的指标。使用者亦可只在所使用量程处进行静压试验。

a）低量程静压误差调整方法（以水校为例）：

ⓐ 打开水源阀甲，使高低压容室同时进水，分别拧开容室两侧的排气螺钉，直至冒水后，拧紧排气螺钉和阀甲。

ⓑ 接通电源，进行机械调零。

ⓒ 用活塞式压力计加压至125%额定静压，保持压力3min，去除压力，观察仪表的零点变化不应太大，一般控制在0.5mA内，否则应检查主杠杆是否有上窜现象，测量膜盒是否有严重变形（此变形由膜盒的灌充、焊接质量不佳等引起），而后予以修理和更换。

ⓓ 进行机械调零（也可调至某一值）。用活塞式压力计加压至100%的额定静压，观察仪表在升压及降压过程中零点电流变化量，其值不大于技术要求所规定的数值，一般观察点不应少于四个。

当静压误差超出要求，并出现下列三种情况时，调整方法如下：

Ⅰ）随着静压数值的增大，零点电流单调地增大（或单调地减小）：

在低静压结构：拧下排污螺钉，用内六角扳手松开主杠杆下端的螺母4（内六角扳手尺寸，除DBC-330、DBC-430的对边S为5mm外，其余型号的对边S为6mm）。使测量膜盒和下杠杆脱开，并按图5-68a指出的方向，即把主杠杆往导磁体（或放大器）一侧倾斜。然后拧紧螺母4和排污螺钉，按上面第ⓐ条方法加水，松开推板上螺钉，进行机械调零，再拧紧推板上螺钉，调零（亦可调至某一值）后，加压至额定值，再次检查仪表的静压误差，如不合格，则重复上述步骤，直至合格为止。

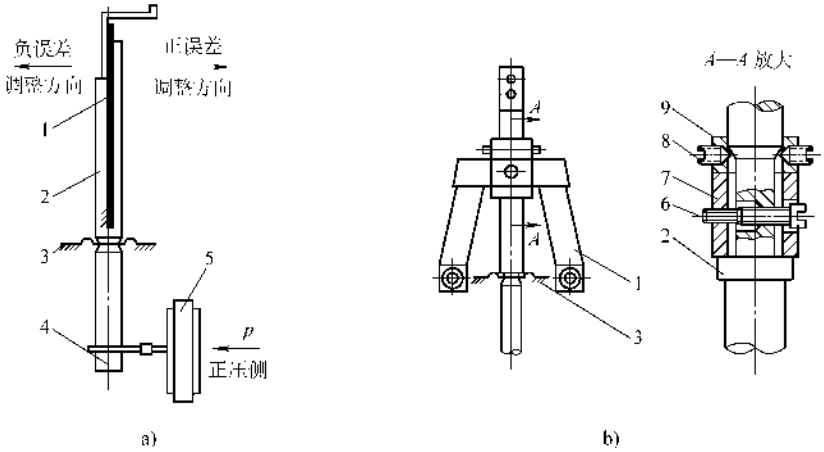


图5-68 静压误差调整装置

a）低静压结构 b）高静压结构

1—拉条 2—主杠杆 3—轴封膜片 4—螺母 5—膜盒 6—差动螺钉

7—定位件 8—螺钉 9—套环

在高静压结构：稍放松图 5-68b 中的两螺钉 8，卸下放大器塑料罩，用螺钉旋具穿过印制板孔，顺时针转动差动螺钉 6 可消除正的静压误差；逆时针转动差动螺钉 6 可消除负的静压误差。然后参照前述的方法，松开推板上的两个 M3 埋头螺钉，重新连接主副杠杆，调零，重复做静压试验。经几次调整后，亦可使静压误差达到规定的要求。

Ⅱ）随着静压数值的增大，零点电流忽正忽负地变化：如零点电流变化的区间小于允许静压误差绝对值的 2 倍时，可采用Ⅰ）条的方法调整，把正负误差均匀分布，使之符合要求。如零点电流变化的区间大于允许静压误差绝对值的两倍时，应该进行仪表的重新装配。应检查拉条是否平直，容室上轴封机座的螺钉是否均匀拧紧，膜盒是否灌满。

Ⅲ）去除静压后，仪表的零点总是变化：或是静压保护拉条下端的螺钉未拧紧；或是定位件下端平面未贴紧主杠杆台肩，而使主杠杆有较大的上窜量，轴封膜片产生较大的塑性变形，使零点总是变化，这时可检查推板与搭板间的间隙，是否仍为 0.5mm 左右。如果发现搭板翘曲，间隙比原来增大，则肯定是主杠杆产生了上窜，严重的要更换轴封膜片和重新装配。

支点接触可靠性的检查：此项检查仅对静压误差调整后，误差数值属负值的仪表需要。检查方法：再次通入静压，观察仪表在升压过程中，量程支点接触可靠，否则原来合格的静压误差是虚假的，应重新调整。

b）全量程静压误差的调整：为保证变更量程后，仪表在各种量程下，静压误差均能符合要求，还需要进行全量程静压误差的调整，方法如下：

高量程静压误差的调整：把量程支点由低量程往高量程调整，调整机械零点（不准调电气零点），通入静压，一般会出现静压误差正向超差；然后将量程支点返回低量程，进行机械调零，再松开推板上的两个 M3 埋头螺钉，增加调零弹簧的拉伸量，使副杠杆倾角减小，再通过电气调零，重新连接推板和副杠杆，把量程支点升至高量程；重复上述步骤，检验高量程的静压误差数值，直至调试符合技术要求。

高量程静压误差调整合格后，需检查支点接触可靠性。

中量程静压误差的兼顾：低、高量程静压误差合格后，应将支点放在中间位置，进行静压检查。其方法是将低量程静压误差数值调得稍偏负些，高量程静压误差稍偏正些，即中量程静压误差就能得到兼顾。

偏心位置对静压误差影响的调整：将量程支点放在低量程位置，然后把偏心轴调至左右两个极限位置，作静压误差试验。如出现偏心在一侧合格，在另一侧超差现象时，应该松开推板上 M3 埋头螺钉，改变副杠杆所存在的扭曲现象。最后使偏心在任意位置时，静压误差均能符合要求。

③　高温零点稳定性的试验与调整：

a）高温零点稳定性的试验：将量程支点放在该型号仪表低量程所对应的位置，然后放入高温箱内，调整机械零点后，加热至 60℃，稳定 3h，测量高温下零点的漂移量，应符合技术要求。高温试验回原温后，仪表的输出值不应超过基本误差的绝对值。

b）高温零点补偿方法：高温时，仪表零点的漂移量如超出技术要求的 +2% ~ -3% 时，可进行补偿，并重新进行高温试验，直至合格。超差量太大的仪表不能采用补偿的办法，而应重新检查装配质量、零件加工质量和测量元件的好坏。

补偿办法有电气的、机械的两种方法，其补偿效果均指对低量程而言的近似值，随着量程变大，补偿效果逐渐降低。对不同结构形式的测量元件，其补偿效果也不一。测量元件刚度大的（如膜盒），补偿效果大些；测量元件刚度小的（如橡胶膜片、波纹管），补偿效果小些。

ⓐ　机械补偿法：利用不同膨胀系数的材料达到温度补偿的目的。如 1250∶01 偏心轴，其材质为 HPb59-1 黄铜、45 钢、4 J 36 合金。补偿效果（指低量程）：HPb59-1 黄铜比 45 钢能正补偿 3% ~4%；45 钢比 4 J 36 合金能正补偿 3% ~4%。

更换不同材质偏心轴时，应该保持原输出零点的数值和偏心的位置，以便全量程性能不发生变化。

ⓑ　电气补偿法：利用不同电容温度系数来达到温度补偿的目的。采用“O”、“H”、“L”三组。电容温度系数为：“O”——$(0 \pm 30) \times 10^{-6}$/℃

“H”——$(-750 \pm 100) \times 10^{-6}$/℃

“L”——$(-1300 \pm 200) \times 10^{-6}$/℃

当电容量 C_{1a}、C_{1b}增加或电容量 C_{2a}、C_{2b}降低时，输出电流 $I_{出}$ 增加。当温差为 40℃，电容 C_{1a}、C_{1b}、C_{2a}、C_{2b}温度系数组别的改变，可以得到不同组合的补偿量。现以生产中 C_{1a}、C_{1b}为温度系数“O”组，C_{2a}、C_{2b}为温度系数“H”组作为原组别。不同组别的补偿效果（均指低量程而言的近似值）其中几组见表 5-80。

表 5-80 不同组别的补偿效果

电容符号	原组别	换后组别所能补偿量					
		-4%	-2%	-2%	+2%	+2%	+4%
C_{1a}	O	H	O	H	H	O	L
C_{1b}	O	H	O	O	H	O	L
C_{2a}	H	O	H	H	H	L	H
C_{2b}	H	O	H	O	H	L	H

④ 量程的调整：

a）粗调量程：将量程调节机构滑至所需量程对应的位置，调整机械零点，通入 100% 的测量信号，观察输出电流是否达到 10mA。如大于 10mA，将量程支点向上滑；如输出小于 10mA，将量程支点向下滑；当输出接近 10mA 时，锁紧量程调节机构。

去除测量信号，调整机械零点，再次通入 100% 测量信号，调整量程支点位置，使输出达 10mA；去除测量信号，再次调整机械零点，然后进行量程的细调。

b）细调量程：通入 100% 的测量信号，转动偏心轴调整输出电流数值，偏心往上转，输出减小；偏心往下转，输出增大。最后使输出达 10mA，去除测量信号，调整机械零点。

c）微调量程：通入 100% 的测量信号，当输出与 10mA 的偏差小于 0.2mA 时，可以调整分磁螺钉。分磁螺钉旋进，输出电流增大；分磁螺钉旋出，输出电流减小。

⑤ 带迁移装置的仪表的调整：

a）仪表的初校：按上述的整机调试①～④进行仪表的调整。

迁移前仪表的量程为：

迁移前量程 = 测量上限 - 测量下限

b）量程复校：根据迁移量的要求，决定迁移的性质，装上迁移装置，进行量程的复校。

迁移弹簧的号码，可根据迁移值 K 的大小来选择。

$$K=\frac{\text{迁移前测量下限的绝对值}}{\text{仪表的最高量程}}\times 100\%$$

当 $K\leqslant 10\%$ 时，选用 DBC-310Q，5000∶01/3 钢丝 $\phi 0.8$

$K\leqslant 50\%$ 时，选用 DBC-310Q，5000∶01/2 钢丝 $\phi 1.2$

$K\leqslant 100\%$ 时，选用 DBC-310Q，5000∶01/1 钢丝 $\phi 1.5$

装迁移后，仪表的输出会稍微缩小 1% ～2%，只须用细调及微调的方法即可。

3）检验

① 精度的检验。按被校量程的差压均分为四等份或五等份，分别通入被匀分的差压值，仪表的输出电流实际值与标准值之差，不应大于基本误差的绝对值，来回变差也不应大于基本误差的绝对值。

② 恒流性能检验。输入端加测量信号，使输出电流为 9.9mA 时，将负载电阻从 0～1.5kΩ 范围内变化，其输出电流的变化值，应小于 0.05mA。

③ 输出交流分量的检验。输出负载电阻为 200Ω 时，加测量信号，使输出电流在 0～10mA 内变化，然后将真空管毫伏表接入输出电路 200Ω 上，其交流电压不应超过 20mV。

④ 绝缘电阻检验。当环境温度为 10～35℃，相对湿度不超过 85% 时，用 500V 绝缘电阻表测试，其绝缘电阻应符合：

a）输出端子对机壳不小于 20MΩ；

b）电源端子对机壳不小于 50MΩ；

c）电源端子对输出端子不小于 50MΩ。

⑤ 电源中断影响检验。加入差压测量信号，使输出电流为 9mA，然后切断电源（测量信号不变），1min 后重新通电，再稳定 10min 后，其输出电流变化不应超过允许基本误差绝对值之半。

（5）压力传感器 压力传感器的校验较为复杂，一般采用激波管校验法，可用微机型试验装置，见图 5-69。

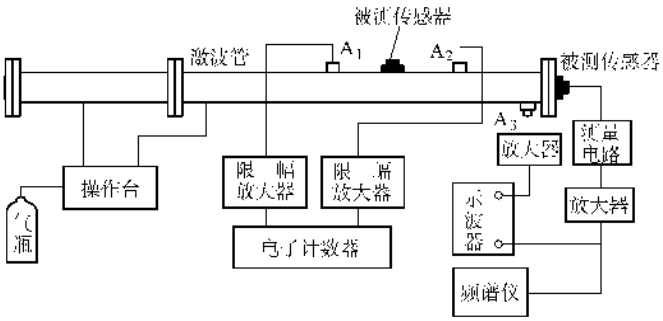


图 5-69 压力传感器的动态校验装置

整个校验装置可分激波管、气源、测速和记录四个部分。

1）气源部分用于供给激波管以压缩空气。压缩空气由气瓶供给，经减压器、控制阀至激波管内。减压器用于控制所加高压的上限，以免出现损害被测传感器的现象，或造成其他事故。控制阀用于控制进气量，膜片爆破后立即关闭控制阀。减压器、控制阀均装在操作台上。在操作台上还装有放气阀和压力表。压力表用于读取膜片破裂时高压室和低压室的压力值，放气阀用于每次做完试验后，将激波管内的气体放掉。

2）测速部分由压电式传感器、电荷放大器、限幅器和电子计数器组成。当入射激波掠过传感器 A_1 时，A_1 输出一信号，经电荷放大器和限幅器加至电子计数器，电子计数器开始计数；入射激波再继续前进，掠过传感器 A_2 时，A_2 输出一信号，经电荷放大器和限幅器加至电子计数器，使其停止计数，从而可以获得入射激波的速度。用于测速的传感器要求有较高的频率响应，为减小测速误差，A_1、A_2 两传感器的特性应当一样，测速部分的开门系统与关门系统的固有误差应在试验前校正。

3）记录部分由测量电路、放大器、记忆示波器和频谱仪组成。

被测传感器可装在低压室侧壁上，也可装在低压室端面上。传感器装在侧壁上，感受入射激波压力，它掠过传感器敏感元件表面，比较符合实际应用中的情况，但由于入射激波压力值较低，故在校验中较少采用。在端面的反射激波压力则较大，激波波前又平行于传感器表面，所以在校验中常常是将传感器装在激波管末端。

校验时，记忆示波器处于等待扫描状态。A_3 是触发传感器，当它感受到激波压力后输出一信号，经放大，加至记忆示波器外触发输入端，从而产生扫描信号。紧接着被测传感器又被激励，被测传感器和测量电路配合，输出一信号，经放大器送至记忆示波器输入端，于是被测传感器的过渡过程由记忆示波器记下。

被测传感器的过渡过程，还同时加到 PFD-2 数字式动态频谱分析仪，因这台仪器是对某一过程进行功率频谱密度测量的，频谱仪上示数最大的通道的中心频率即为被测传感器的固有频率。

用激波管校验压力传感器的方法，一般适用于具有较高固有频率的传感器。其准确度可达 5%。具体使用测试方法见仪器使用说明书。

3. 流量仪表

流量仪表的型式很多，仅以靶式流量计和椭圆齿轮流量计为例说明其校验方法。

（1）靶式流量计　靶式流量计在具备通用的可靠实验数据条件下，仪表刻度标尺可由计算及采用砝码挂重的校验决定，而不必每台单独进行流量标定。但一般产品出产时，产品规格上示出的流量值（m^3/h），是以水作为介质进行标定的，因此当测量介质的重度、粘度不同时，产品规格上所标明的流量与实际上能够测量的流量是不一致的，所以必须进行重新校验和调整。

1）干校：采用砝码挂重，代替靶上受力的办法，以校验靶上受力与变送器输出信号之间的线性对应关系，并调整变送器零点和满量程，这种挂重的校验，称为干校。

当靶上不挂砝码时，变送器的输出信号应等于下限值；当靶上挂有砝码的重量为最大时，变送器的输出信号应达到上限值，并且中间各点应符合线性要求，其误差不得超过允许范围。

所挂砝码的最大重量 W_{max}，由仪表流量标尺的上限值 Q_{Hmax} 代入流量公式求得，即

$$W_{max} = F_{max} = \frac{Q_{Hmax}^2 d^2 \gamma}{(14.129K_a)^2(D^2 - d^2)^2} \quad (5\text{-}36)$$

式中　K_a——流量系数；

D——变送器管道内径；

d——靶径；

γ——被测介质的重度；

F_{max}——作用于靶上最大的力。

在实际场合下，F_{max} 往往不是整数。这时为了校验方便，W_{max} 可取 F_{max} 中的整数部分。例如：F_{max} = 5.25kgf㊀，则 W_{max} 可取 5kgf㊀，然后通过换算得到与 W_{max} 整数相对应的变送器的输出信号。对气动靶式流量计来讲，它的换算公式为

$$p_0 = \frac{0.8W_{max}}{F_{max}} + 0.2 \quad (5\text{-}37)$$

式中，如果 F_{max} = 5.25kgf，取 W_{max} = 5kgf 时，则

$$p_0 = \left(0.8\frac{5}{5.25} + 0.2\right)\ \text{kgf} = 0.962\text{kgf/cm}^2$$

即砝码最大挂重 W_{max} = 5kgf 时，流量变送器的输出气压 p_0 应等于 0.962kgf/cm²。

2）湿校：用水作为介质，进行流量和变送器相应的输出信号值之间的对应关系的校验，称为湿校或水校。

由于靶式流量计所测的介质种类繁多，仪表制造

㊀ 1kgf = 9.80665N，后同。

厂一般只能统一采用水作为介质进行流量校验或标定。在需要进行水校时，必须指出由于被测介质的不同，即使是相同的流量下，靶上所受到的推力却是不等的。因此，对于不同介质的流量校验，应通过流量方程式，先换算成相应的水流量计算值 Q_w，然后再与实测的水流量 Q'_w 相比较，以判断其流量误差。

由于水校的目的是校验实际介质流量计算值和实际值之间的偏差，因此按流量计的输出信号相同的条件，将实际被测介质流量换算成的水流量 Q_w，然后和水流量实际值 Q'_w 比较，而流量计的输出信号是与靶上所受到的推力成比例的，故实际被测介质的水流量换算，可按在相同推力条件下进行。则由靶式的流量方程式得出：

$$\frac{Q^2 d^2 \gamma}{(14.129K_a)^2(D^2-d^2)^2} = \frac{Q_w^2 d^2 \gamma_w}{(14.129K_{aw})^2(D^2-d^2)^2} \tag{5-38}$$

则 $$\frac{Q_w}{Q} = \frac{K_{aw}}{K_a}\sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_w}}$$

式中 Q——被测流量值；

Q_w——水流量计算值。

如果在所需要的流量测量范围内，当使用时和水校时的雷诺数 Re 均能使流量系数保持为常数的话，则可认为 $K_{aw}=K_a$，则

$$\frac{Q_w}{Q} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_w}} = K_a \tag{5-39}$$

式中 K_a——被测介质的重度换算系数。

式（5-37）即为水校换算公式。

在进行水校时，为了达到上述在推力相等的条件下，作量程范围内的分点水校，故在水校之前，需要进行分点，以确定各校验点，因此可对实际被测介质流量为最大时，所求得的最大推力 F_{max} 进行数等分来确定流量计量程范围内的各校验点，则 F_{max} 可按干校流量公式求得。

然后把各校验点的推力 F_i（$i=1, 2, 3\cdots$）代入下列流量方程式：

$$Q = 14.129K_a\frac{D^2-d^2}{d}\sqrt{\frac{F}{\gamma}}\ (\mathrm{m^3/h}) \tag{5-40}$$

求得各校验点相对应的实际被测介质的流量值 Q_i。最后将各 Q_i 值乘上水校换算公式中的重度换算系数 K_a，即得与各校验点实际被测介质流量值 Q_i 相对应的水流量计算值 Q_{wi}。到此，水校前的分点和流量换算工作准备完毕。

这样，在进行水流量实际校验时，只要使流量计的输出信号分别保持在预定的各校验点数值上，用水流量校验装置分别测得各校验点的水流量实际值 Q'_{wi}。比较 Q'_{wi} 和 Q_{wi}，便可确定靶式流量计的流量测量误差。

（2）椭圆齿轮流量计

1）标准槽法，见图 5-70。

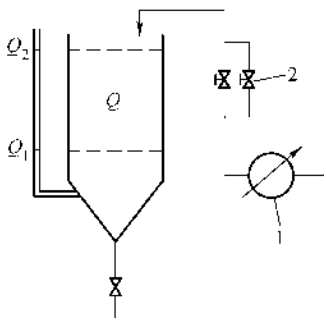


图 5-70 椭圆齿轮流量计标准槽法校验

1—被校流量计 2—阀门

流动开始时，流量计读数为 I_1，标准槽标尺读数为 Q_1；流量终了时，流量计读数为 I_2，标准槽标尺读数为 Q_2，则

$$误差\ E = \frac{(I_2-I_1)-(Q_2-Q_1)}{I_2-I_1}\times 100\% \tag{5-41}$$

2）标准名称和标准密度计的方法，见图 5-71。

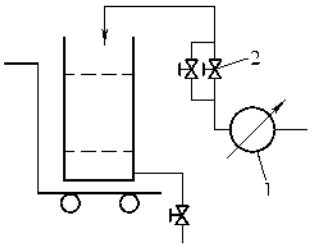


图 5-71 椭圆齿轮流量计标准名称和标准密度计的校验

1—被校流量计 2—阀门

流动开始时，流量计读数为 I_1，名称的读数为 W'_1，误差为 W_1；流量终了时，流量计读数为 I_2，名称的读数为 W'_2，误差为 W_2，液体密度为 d，空气浮力的补正值为 0.0011，则

$$误差\ E = \frac{1}{a}\left[\frac{(W'_2-W'_1)-(W_2-W_1)}{I_2-I_1}+0.0011\right]\times 100\% \tag{5-42}$$

3）标准流量计的方法，见图 5-72。

流动开始时，被校流量计的读数为 I_1，标准流量计的读数为 I_{s1}；流量终了时，被校流量计的读数为 I_2，标准流量计的读数为 I_{s2}，标准流量计的误差为

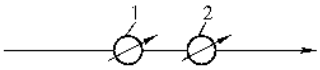


图 5-72　椭圆齿轮流量计标准流量计法校验

1—被校流量计　2—标准流量计

E_s，则

$$E = 1 - \frac{I_{s2} - I_{s1}}{I_2 - I_1}(1 - E_s) \qquad (5\text{-}43)$$

4）粘度误差校正：

①　当被测量流体粘度超过 10CP 时，而试验流体同样超过 10CP 时，不必进行粘度纠正。

②　当测量流体与试验流体的粘度相差超过 ±25% 时，就应该考虑粘度对测量精度的影响。

③　两种流体的内插法。

$$E = E_2 + (E_1 + E_2)\frac{\mu_1(\mu - \mu_2)}{\mu(\mu_1 - \mu_2)} \qquad (5\text{-}44)$$

式中　E——仪表精度的百分值（测量流体粘度为 μ 时）；

E_1——当试验流体粘度为 μ_1 时的器差；

E_2——当试验流体粘度为 μ_2 时的器差；

μ——测量流体粘度；

μ_1——试验流体粘度（1）；

μ_2——试验流体粘度（2），$\mu_1 < \mu < \mu_2$。

4. 物位仪表

物位仪表型式很多，仅以浮力式物位仪表和差压式物位仪表为例，说明其校验方法

（1）浮力式物位仪表

1）刻度校验：稳定供给空气源压力为 1.5kgf/cm²。将连杆连接在密度刻度“1”上，比例带刻度范围置于 100%，当液位为 50% 时，调节喷嘴和挡板距离，使输出压力稳定在 0.6kgf/cm²，关闭重定阀，然后将液位分别稳定在 20%、40%、60%、80%、100%。其输出压力应和液面刻度相对应，即 0.2～1kgf/cm²，误差不应超过最大刻度范围的 ±1.5%。

2）比例范围校验：调节液位为 50% 时，调整喷嘴与挡板间的距离，使输出压力等于 0.6kgf/cm²，将比例范围依次分别放在 80%、60%、40%。然后对上述不同比例范围分别进行校验，其实际比例范围的允许误差为 ±5%。

$$\text{比例范围} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \times 100\% \qquad (5\text{-}45)$$

式中　Δx——液位升高或降低的数值（以最大测量范围作 100% 的百分数表示）；

Δy——液位升高或降低 Δx 时，输出压力变化值（以额定输出压力范围 0.8kgf/cm² 为 100% 的百分数表示）。

3）重定机构的检查：比例范围置于 100%，液位定于 50%，将重定阀从全关缓慢地旋向全开，此时观察其输出压力变化速度应为均匀递增。

4）设定装置的检查：全开重定阀，比例范围置于 100%，旋转设定机构螺钉，调整液位，使输出压力稳定于 0.6kgf/cm²，此时给定液位和实际液位相符，允许误差为 ±5%。

5）相对密度变换：相对密度变换是通过改变全量程液位变化的方法来模拟确定的。假如需相对密度为 0.5，测量范围是 300mm，先将测量范围换算成 x，即

$$x = \frac{300\ (\text{测量范围}) \times 0.5\ (\text{需要相对密度})}{1\ (\text{水的相对密度})}\text{mm}$$

$$= 150\text{mm}$$

按 150mm 的全量程，用水校验，调整连杆的固定位置，可使输出压力为 0.2～1kgf/cm²。

如相对密度大于 1，换算得来的全量程大于测量范围，可用缩小输出压力范围来适应测量范围和确定相对密度点。

（2）差压式物位仪表　利用差压法测量液位是非常广泛的，可测量开口容器或常压容器的液位，也可测量有压密封容器的液位。凡测量压力或差压的仪表，只要量程合适，都可用于测量液位。像玻璃管差压计、膜片差压计、双波纹管差压计，与气动单元组合仪表配套的气动差压变送器或与电动单元组合仪表配套的电动差压变送器等，都可以用来测量液位。

差压式物位仪表校验方法可按浮力式物位仪表和差压变送器的校验方法进行，不再赘述。

5. 成分分析仪表

成分分析仪表的型式很多，仅以氧化锆测氧计和氢分析器为例，说明成分分析仪表的校验方法，其他可参照使用说明书和这里讲述的方法进行。

（1）氧化锆测氧计

1）氧浓差电池输出电动势与氧分压特性试验：氧浓差电池输出电动势与氧分压特性要求符合理论计算值，同时要求稳定不变。

试验时，可将氧化锆测氧元件置于校验电炉中，分别恒温在 650℃、700℃、750℃、800℃、850℃ 五个温度点上。氧化锆内壁通入空气，外壁通入 2.4% O_2、4.7% O_2、7.4% O_2 三种标准气样。每点稳定 10min，用 UJ36 电位差计测出内外电极上的输出电压。测试结果与式（5-46）的计算结果相比较，就可算出误差。误差不超过 ±2% 为合格。

$$E = -T\ (0.0337 + 0.0496\lg P_c) \qquad (5\text{-}46)$$

式中　E——热力学温标为 T 时的氧浓差电动势，单

位为 mV；

T——开尔文温度，单位为 K；

P_c——被测气体的氧分压（氧浓度）。

2）直插补偿式氧化锆测氧计的调试：见图5-73，在 800℃ 时，氧浓差电池输出电动势为 0（20.6% O_2）~69.89mV（1% O_2），调整氧浓差毫伏变送器 DBW 的量程电位器，使输入为 0~69.89mV 时，输出氧浓差电流 I_{O_2} 为 0~10mA。当含氧量为 10% 时，氧浓差电池输出电动势为 16.65mV，相当于输出电流 I_{O_2} 为 2.38mA。为了提高灵敏度，放大表计的刻度，亦可将氧浓差输出电流 I_{O_2} 调整为 2.38~10mA。

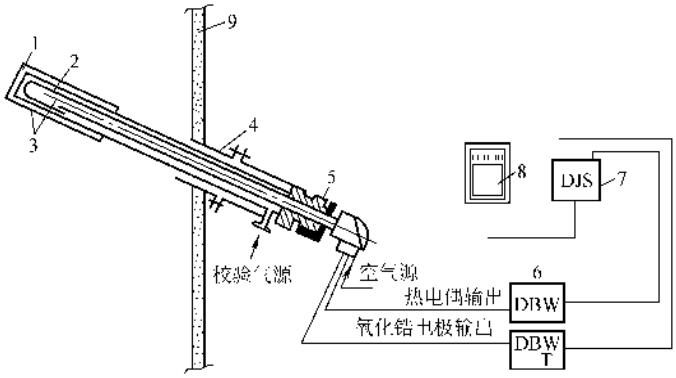


图 5-73 直插补偿式氧化锆测氧计测量系统

1—过滤器 2—氧化锆管 3—热电偶 4—法兰

5—活接头 6—温度变送器 7—乘除器 8—显示仪表 9—炉墙

当采用 EU 热电偶时，调整温度补偿变送器 DBW-T 的量程，使输入为 0~33.29mV（0~800℃）时，输出的温度补偿电流 I_T 为 2.54~10mA。

若氧浓差电池工作在 800℃，则温度补偿电流 I_T 为 10mA，就用两台 UJ36 电位差计作为氧浓差毫伏变送器和温度补偿变送器的输入信号，对二次表（即除法器的输出电流 I）进行标定刻度。保持温度变送器 DBW-T 的输入为 32.29mV（即 800℃ 为 10mA），调整氧浓差毫伏变送器 DBW 的输入毫伏分别为含氧量 1.0%、1.2%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%、5.0%、6.0%、7.0%、8.0%、9.0%、10.0% 时氧浓差电池的输出毫伏值，见表5-81。在二次表标尺上记下每一点含氧量的相应位置，反复两次，准确无误后，即可取出标尺，画刻度。画成后，装回二次表上再核对一次。然后固定一个含氧量值（如 2% O_2），根据不同的温度值，相应地成组调整氧浓差毫伏变送器 DBW 和温度补偿变送器 DBW-T 的毫伏输入值，此时二次表的指示应保持不变化（仍指示在 2% O_2 处）。

表 5-81 氧浓差电池的输出电势与氧分压的关系

含氧量（% O_2）	氧浓差电池输出电动势/mV					
	600℃（873K）	650℃（923K）	700℃（973K）	750℃（1023K）	800℃（1073K）	850℃（1123K）
0.10	100.22	106.02	111.69	117.48	123.17	128.91
0.15	92.59	97.95	103.19	108.54	113.79	119.10
0.20	87.99	92.23	97.16	102.19	107.14	112.13
0.30	79.55	84.16	88.66	93.25	97.77	102.33
0.40	74.15	78.43	82.64	86.91	91.13	95.37
0.50	69.94	73.99	77.95	81.99	85.96	89.97

（续）

含氧量（%O_2）	氧浓差电池输出电动势/mV					
	600℃（873K）	650℃（923K）	700℃（973K）	750℃（1023K）	800℃（1073K）	850℃（1123K）
0.60	66.51	70.37	74.13	77.97	81.74	85.55
0.70	63.61	67.30	70.89	74.57	78.18	81.83
0.80	61.10	64.64	68.10	72.63	75.10	78.59
0.90	58.89	62.30	65.63	69.03	72.37	75.74
1.00	56.89	60.20	63.42	66.71	69.89	73.20
1.20	53.47	56.57	59.60	62.69	65.72	68.79
1.50	49.28	52.13	54.92	57.77	60.57	63.39
2.00	43.85	46.41	48.89	51.42	53.88	56.41
2.50	39.66	41.97	44.22	46.51	48.73	51.04
3.00	36.23	38.34	40.39	42.48	44.51	46.62
3.50	33.34	35.27	37.17	39.08	40.96	42.87
4.00	30.83	32.61	34.37	36.14	37.88	39.66
5.00	26.63	28.17	29.69	31.22	32.73	34.26
6.00	23.21	24.55	25.87	27.20	28.52	29.85
7.00	20.31	21.48	22.64	23.80	24.95	26.11
8.00	17.79	18.82	19.84	20.86	21.87	22.88
9.00	15.57	16.48	17.36	18.26	19.13	20.04
10.00	13.55	14.38	15.11	15.94	16.65	17.45

（2）氢分析器　氢分析器在试验室内是利用标准氢气（装在带有减压阀组的贮气瓶内）进行校验的。因此，室内不应有易燃物品和火源，所有氢气连接管路、阀门和接头应严密，且通风良好，并有消防器材等防爆设施。

校验 QRD 型热导式氢分析器时，按图 5-74 将电气线路连接好。电阻 R_a 和 R_b 是线路调整电阻，其值应使发送器到显示仪表间的每一根线路的电阻值为 2.5Ω。标准氢气瓶接于调节器组入口，经发送器后的氢气可以排至室外（注意室外应无明火）。检验步骤如下：

1）检查调整桥臂供电电压：通电后，测量并调整发送器工作电桥和比较电桥的供电电压，一般为 3V 左右（方法同热磁式氧量分析器）。

2）相位校正：在通入测量范围内的任一种含量的气样时，若显示仪表的指示值超出上限或下限之外而达到限位点时，须改变显示仪表或变送器的相位。当改变供电电源相位后，指示仍然超出上限或下限之外而达到限位点时，可将发送器 1、2 两端子的连接线对换，使发送器与显示仪表的相位正确。

3）用标准气样调整分析器的示值误差：

①　始点示值调整。将含氢量 80% 左右的标准气样通入发送器，把气体流量调整到使转子流量计的转子保持在标尺刻度线内，待仪表指示值稳定后，读

取指示值。若其指示值与标准气样相差超过分析器允许基本误差时，可调整零位电位器 R_{11}。

② 终点示值调整。将含氢量接近 100% 的标准气样通入发送器，调节好流量，待仪表指示值稳定后，读取指示值。若误差超过要求，可用电阻箱代替工作电桥的上限限流电阻 R_{10} 进行调整。

上述调整互相有影响，须反复进行，直至始点和终点指示值都合格为止。

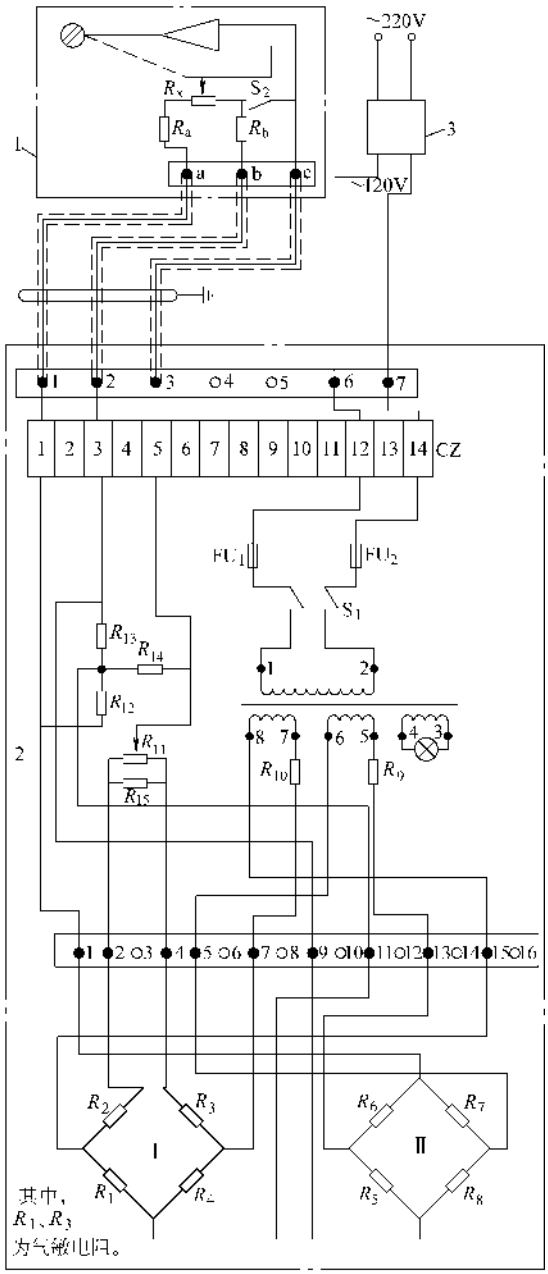


图 5-74 氢量发送器与显示仪表配套的电气系统

Ⅰ—工作电桥 Ⅱ—比较电桥

1—显示仪表 2—发送器 3—稳压器

6. 动圈表

动圈表是一种用途极为广泛的仪表，在自动化仪表系统中始终占有重要位置。它的最大优点是价格低廉、用途广泛。按传感元件的配置，可测量温度、压力、流量、物位等参数。

（1）主要技术要求

1）测量指示部分：

① 机械零点的校正器的可调整范围，刻度起点向左为2%，向右为15%。调准零点，经示值检定后，不回零位的偏差不超过标尺弧长的0.3%。

② 对于配用热电阻的仪表，电零位的偏差不大于电量程的±0.5%。

③ 断偶保护的作用，能使指针移到满刻度。

④ 仪表从水平工作位置向任一方向倾斜5°时，其示值改变不超过电量程的±1%。

⑤ 示值误差不超过电量程的±1%。

⑥ 示值的来回变差不超过电量程的0.5%。

⑦ 仪表阻尼时间㊀不超过7s。

⑧ 仪表指针不回机械零位不超过标尺弧长的0.3%。

2）继电器输出的位式调节仪表：

① 仪表控制点误差（给定误差）不超过1mm（±1%）。

② 仪表不灵敏区不超过0.5mm（0.5%）。

3）时间比例调节仪表：

① 仪表控制点误差不超过1mm。

② 仪表不灵敏区不超过0.5mm（开环状态）。

③ 继电器动作周期为（40±10）s。

④ 仪表比例带范围为3.3～5.5mm。

4）电流输出PID调节仪表：

① 仪表控制点误差不超过1mm。

② 仪表不灵敏区不超过0.3～0.4mm（开环状态）。

③ 仪表比例带范围为3.3～5.5mm。

④ 当输入偏移给定1%阶跃信号，输出符合PID的动态特性，动态特性曲线平滑，其最大波动量不大于0.2mA。

5）调节仪表的检测线圈对指针无吸引或排斥现象。

6）当电源电压的改变为额定值的±10%时，调节仪表的各技术要求仍能满足。

（2）检定所需仪器设备

1）毫伏发生器或DFX-01型校验信号发生器。毫伏发生器的原理线路见图5-75。

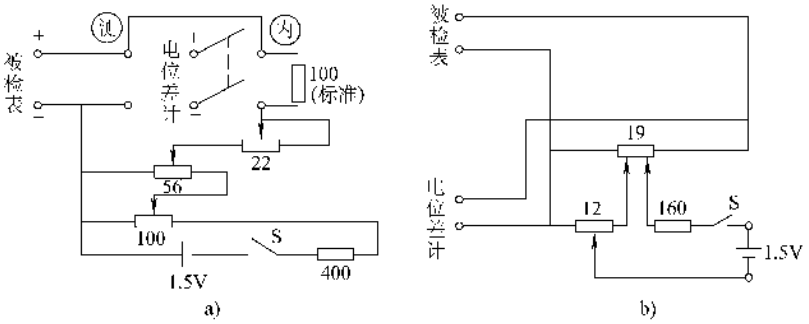


图5-75　毫伏发生器原理线路

2）UJ-37型（也可作为毫伏发生器使用）和UJ-31型电位差计。

3）ZX-25-1型精密电阻箱。

4）ZX-21型调节用电阻箱。

5）AC-15/4型光点检流计。

6）数字式万用表。

7）DYC-5型电子管电压表。

8）QJ-23型单臂电桥。

9）0～15mA和0～30mA直流电流表。

10）0～250V交流电压表。

11）调压器（500V，1kVA）。

12）秒表两只。

（3）示值检定

1）配用热电阻仪表示值的检定，见图5-78。

2）配用热电偶仪表示值的检定，见图5-76。

3）检定示值是否超差，首先检定满刻度值，然后按刻度粗线检定。仪表示值和标准值比较，其偏差值应满足技术要求。

㊀ 用秒表测定自突然加上相当于中间刻度的被测信号的瞬时起，至指针距最后静止位置不超出标尺弧长±1%范围内时止的时间，称为仪表阻尼时间。

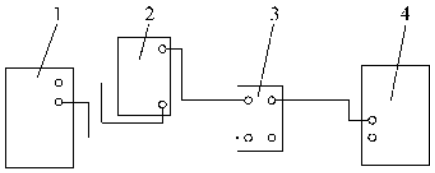


图 5-76 配用热电偶仪表的检定原理线路图

1—XCZ-101 仪表 2—调节用电阻箱（替代 R_N） 3—毫伏发生器 4—直流电位差计

4）调节部分的技术要求检定，可参见各线路板部分的调试。

（4）XCZ-102 温度动圈式指示仪表的校验

这里详细讲述配热电阻仪表的校验，配热电偶仪表的校验可参考进行。

1）可动部分平衡检查和调整：动圈式仪表测量机构的可动部分示意见图 5-77，其中平衡锤和平衡杆用来调节可动部分的重心位置，使可动部分的重心与转轴中心重合，以减小由于不平衡带来的误差。

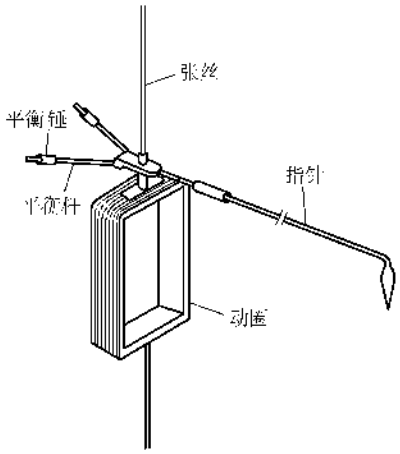


图 5-77 动圈表可动机构示意图

先检查指针是否平直，平衡锤、杆与指针的夹角应对称，否则应调整。一般是将指针调至零点，也可通电使指针指在标尺中间，然后将仪表向左、向后或向右、向前倾斜，观察指针的偏移情况。若将仪表向左倾斜，指针向右；而仪表向后倾斜时，指针不偏移，则说明平衡锤太重，因此应将平衡锤的力臂缩短。若仪表向左倾斜，指针向右；而仪表向后倾斜时，指针仍向右，则说明右平衡锤太重，因此应将右锤向里推，使其力臂缩短。如此反复，直至仪表向前、后、左、右倾斜 5°～10°，指针偏离零位误差不超过基本误差的绝对值。仪表向左与向后倾斜时，指针偏移情况与平衡锤的关系见表 5-82。平衡调整后，应在重锤上涂以少许漆片使之固定，但用量不得影响平衡。

表 5-82 指针与平衡锤平衡关系

仪表向后倾				
	指针偏转方向	向左	正	向右
仪表向左倾	向左	右锤轻	左右锤都轻	左锤轻
	正	左锤重 右锤轻	平衡	右锤重 左锤轻
	向右	左锤重	左右锤都重	右锤重

2）示值校验：接线见图 5-78，校验前先将线路调整电阻按表计规定调整好，接通电源后，按照表 5-68～表 5-70 的热电阻温度对照表改变标准电阻箱的电阻，观察被校表各点指示值的误差是否超出允许范围。

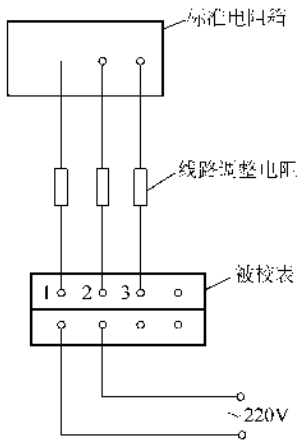


图 5-78 XCZ-102 动圈表校验接线图

1—标准电阻箱 2—线路调整电阻 3—被校表

3）误差调整：见 XCZ-102 的原理图图 12-379。

① 将标准电阻箱调整在仪表标尺始端点的电阻值上。

② 调整仪表的机械零位，使其在始端刻度线上。

③ 接通电源，检查电气零位与机械零位是否重合，如果指针偏离始端刻度，则按以下方法调整：

指针偏零上，则增加 R_6'或减小 R_8'；

指针偏零下，则增加 R_8'或减小 R_6'。

④ XCZ-102 动圈指示仪线路中各电阻的数值见表 5-83。

4）故障分析：常见故障分表头部分和测量部分故障，现将故障现象及原因分析列入表 5-84 和表 5-85 供参考。

表 5-83　XCZ-102 仪表线路中各电阻的数值（仅供参考）

XCZ-102 仪表		R_8/Ω	R_6/Ω	R_5、R_7/Ω	$R_{串}/\Omega$	R_9/Ω
分度号	测量范围/℃					
G $R_0=53\Omega$	0～50	47	100	700	634	1000
	0～100	347	400	400	523	1000
	0～150	447	500	300	650	800
BA_1 $R_0=46\Omega$	0～50	54	100	700	448	1000
	0～100	254	300	500	514	800
	0～150	354	400	400	685	800
	0～200	454	500	300	700	800
	0～250	554	600	200	595	1000
	0～300	554	600	200	750	800
BA_2 $R_0=100\Omega$	0～50	200	300	500	605	800
	0～100	500	600	200	485	1000
	0～150	500	600	200	865	800
	0～200	600	700	100	580	1000
	0～300	600	700	100	918	800
	0～400	600	700	100	1216	700

表 5-84　XCZ-102 动圈指示仪测量桥路常见故障和原因分析

故障现象	原　因　分　析
通电后，加入信号，指针不动	1）稳压电源中的二极管有的损坏 2）稳压电源限流电阻有的虚焊或断路 3）稳压电源的铜电阻或锰铜电阻断路或虚焊 4）稳压管被击穿 5）R_5、R_7 或 R_6、R_8 同时虚焊
通电后指针打向极右	1）R_8 或 R_5 虚焊或断路 2）热电阻 R_t 线路短路
通电后指针打向极左	1）R_6 或 R_7 虚焊或断路 2）热电阻 R_t 线路短路
指示不稳定	1）电源变压器输出电压不够或绕组部分有短路 2）稳压电源电容 C_1 虚焊或接反 3）稳压管焊接不良或质量不好 4）铜电阻或锰铜电阻虚焊后产生接触不良现象

表 5-85　热电阻测温线路可能发生的故障及原因

故障现象	原　因　分　析	修　理　方　法
1. 仪表指示值无限大	热电阻所在桥臂上的线路断路，如热电阻、接线端子、切换开关、线路调整电阻等断路	用万用表逐段检查断路部位，修复或更换

（续）

故障现象	原 因 分 析	修 理 方 法
2. 仪表指示反向	1）热电阻桥臂上的线路短路，如热电阻接线端子等短路 2）XCZ-102 动圈指示仪接线端子“2”的线路断路 3）XCZ-102 动圈指示仪接线端子“2”与“3”接线接反 4）三线制接线的负电源线在热电阻接线端子上的线号接错。例如，误将图 12-386 的 A、C 两线接在同一端子上，B 线接在另一端子上，或将 B、C 两线接在同一端子上，A 线接在另一端子上	1）用万用表逐段检查短路部位，修复或更换 2）用万用表逐段检查断路部位，修复之 3）重新换接 4）查对线号，将 C 线接在一个端子上，A、B 两线合接在同一端子上
3. 指示偏高	1）热电阻桥臂上的电阻过大，如热电阻温度计电阻值、线路调整电阻、切换开关和连接导线的接触电阻等过大 2）另一桥臂的电阻过小，如该桥臂线路调整电阻短路或过小等 3）电源电压过高	1）用万用表逐段测量电阻值，检查故障部位，修复之 2）用万用表逐段测量该桥臂线路电阻，检查故障部位，修复之 3）用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
4. 指示偏低	1）热电阻桥臂上的电阻过小，如热电阻温度计局部短路或受潮后绝缘降低，线路调整电阻短路或过小等 2）另一桥臂的电阻过大，如该桥臂的切换开关和连接导线接触电阻、线路调整电阻过大等 3）电源电压过低	1）用万用表逐段测量阻值，检查故障部位，修复之 2）用万用表逐段测量阻值，检查故障部位，修复之 3）用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
5. 指示波动	1）热电阻保护套管内有水，引起断续短路 2）线路连接点或供电线路上有接触不良的现象	1）将水清除，并将热电阻干燥至绝缘良好 2）用万用表逐段测量阻值，检查故障部位后，使接点接触良好

7. 恒流定值器

（1）调校所需仪器设备

1）直流毫安表，0～10mA，0.5 级。

2）直流电位差计或数字电压表。

3）标准电阻，10Ω。

4）可变电阻箱，0～10000Ω。

5）双刀双掷开关。

6）调压器，0～250V，1kVA。

（2）调校方法　新表或仪表经修理后，需对以下三项基本技术要求进行校验。校验线路见图 5-79。

1）输出范围调节：分别调节定值Ⅰ及定值Ⅱ的两个多圈电位器，仪表应能输出 0～10mA 连续可调的直流电流，并且当多圈电位器调至最大时，仪表的输出电流应略大于 10mA。

2）电源波动校验：先将调压器调到 220V，调节定值Ⅰ旋钮，使输出电流在 10mA 左右（在 R_{S1} 上测得的电压相应为 100mV 左右），记下此电流为 I_1；然后将调压器调到 190V，记下此时的输出电流为 I_2，按下面公式计算仪表在电源波动时输出电流的稳定性误差 δ_1：

$$\delta_1 = \frac{|I_1 - I_2|}{10}\% \leqslant 0.25\% \qquad (5\text{-}47)$$

最后将调压器调到 240V，记下此时的输出电流 I_3，按上面同样方式计算此时的输出稳定性误差 δ_2：

$$\delta_2 = \frac{|I_1 - I_3|}{10}\% \leqslant 0.25\%$$

调节定值Ⅱ的旋钮，测 R_{S2} 上的输出，用以上同样的方法和计算可校验第二个通道在电源波动时输出电流的稳定性误差。

3）当外部负载电阻变化时对输出电流的影响：将调压器调至220V，将 R_{L1} 放在0，调节定值Ⅰ旋钮，使仪表输出在10mA左右（在 R_{S1} 上测得的电压相应为100mV左右），记下此时的输出电流为 I_1；再将 R_{L1} 分别置于1kΩ、2kΩ、3kΩ，并分别记下对应的输出电流 I_2、I_3、I_4，取其中电流变化最大的一次输出（假设是 I_4），按下式计算仪表在负载变化时输出的稳定性误差 δ_3：

$$\delta_3 = \frac{|I_1 - I_4|}{10}\% \leqslant 0.25\%$$

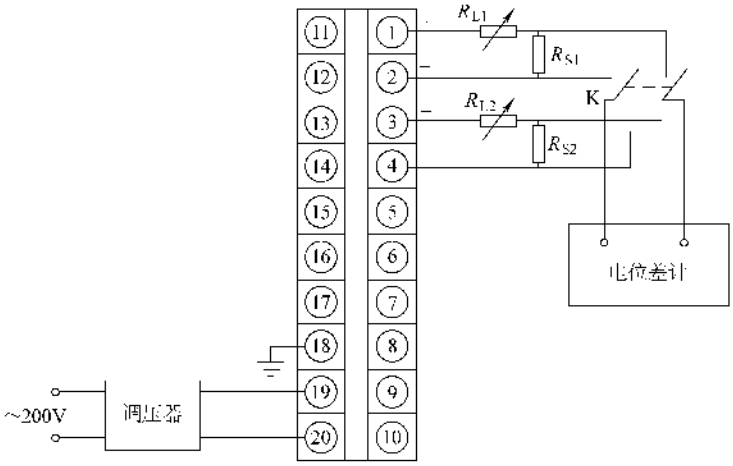


图5-79　校验接线图

R_{L1}、R_{L2}—0～10kΩ电阻箱　R_{S1}、R_{S2}—10Ω标准电阻　K—双刀双掷开关

8. 调节器

（1）调试设备

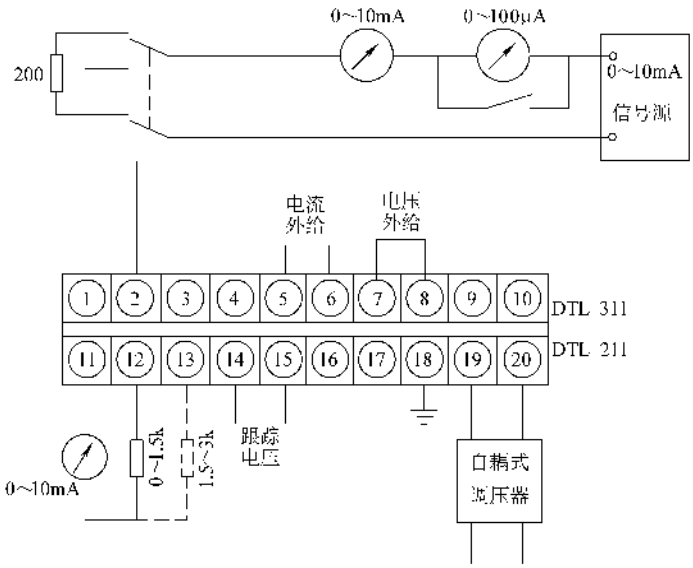
1）标准直流电流表，0～10mA、0～100μA。

2）标准直流信号源，0～10mA。

3）自耦式调压器。

4）标准电阻，200Ω、0～1.5kΩ、1.5～3kΩ、0～3kΩ。

（2）试验电路　见图5-80～图5-83。



a)

图5-80　DTL-311、211型调节器校验接线与线路原理图

a）DTL-311、211型调节器校验接线图

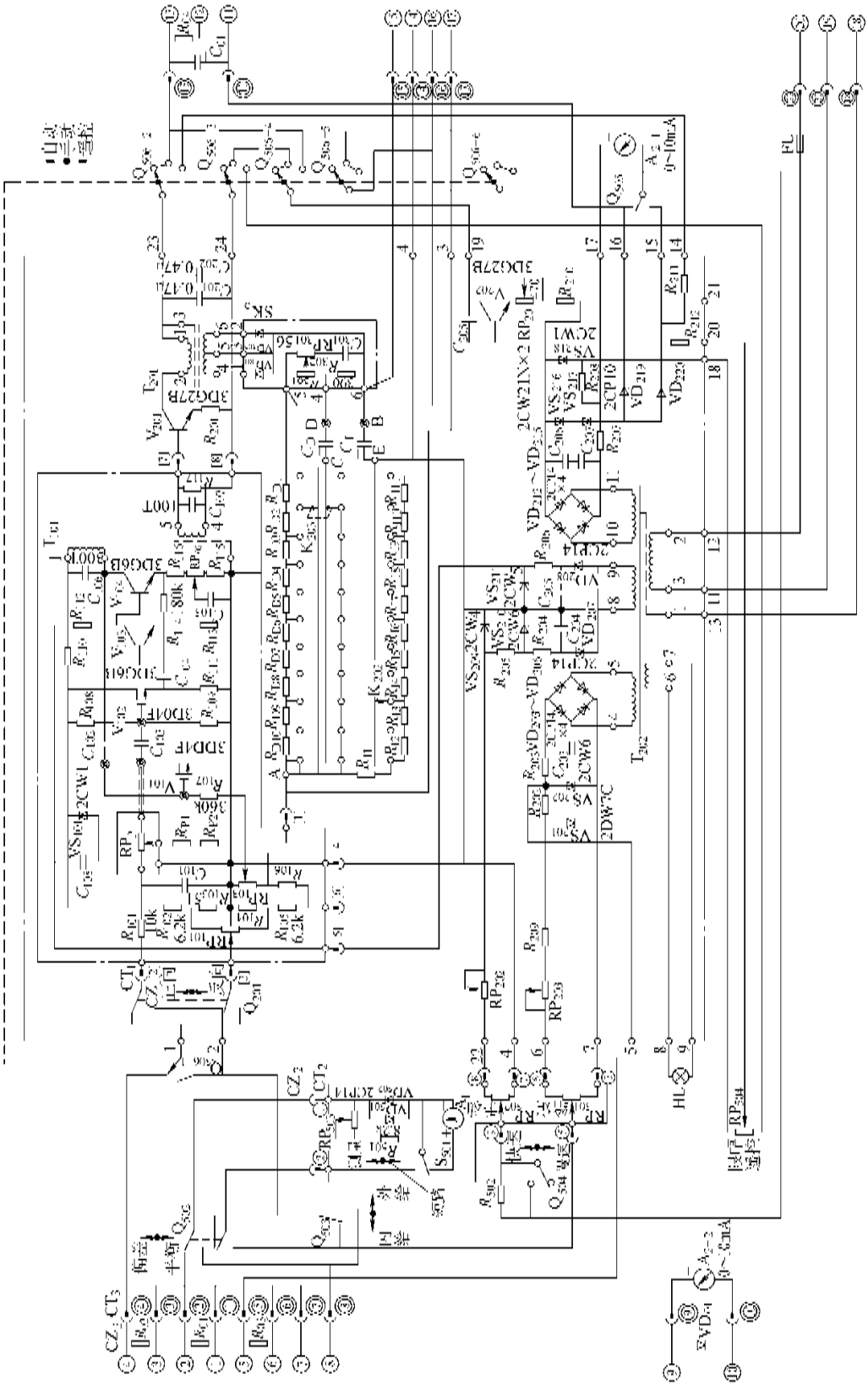


图 5-80 （续）

b）DTL-311 型调节器线路原理图

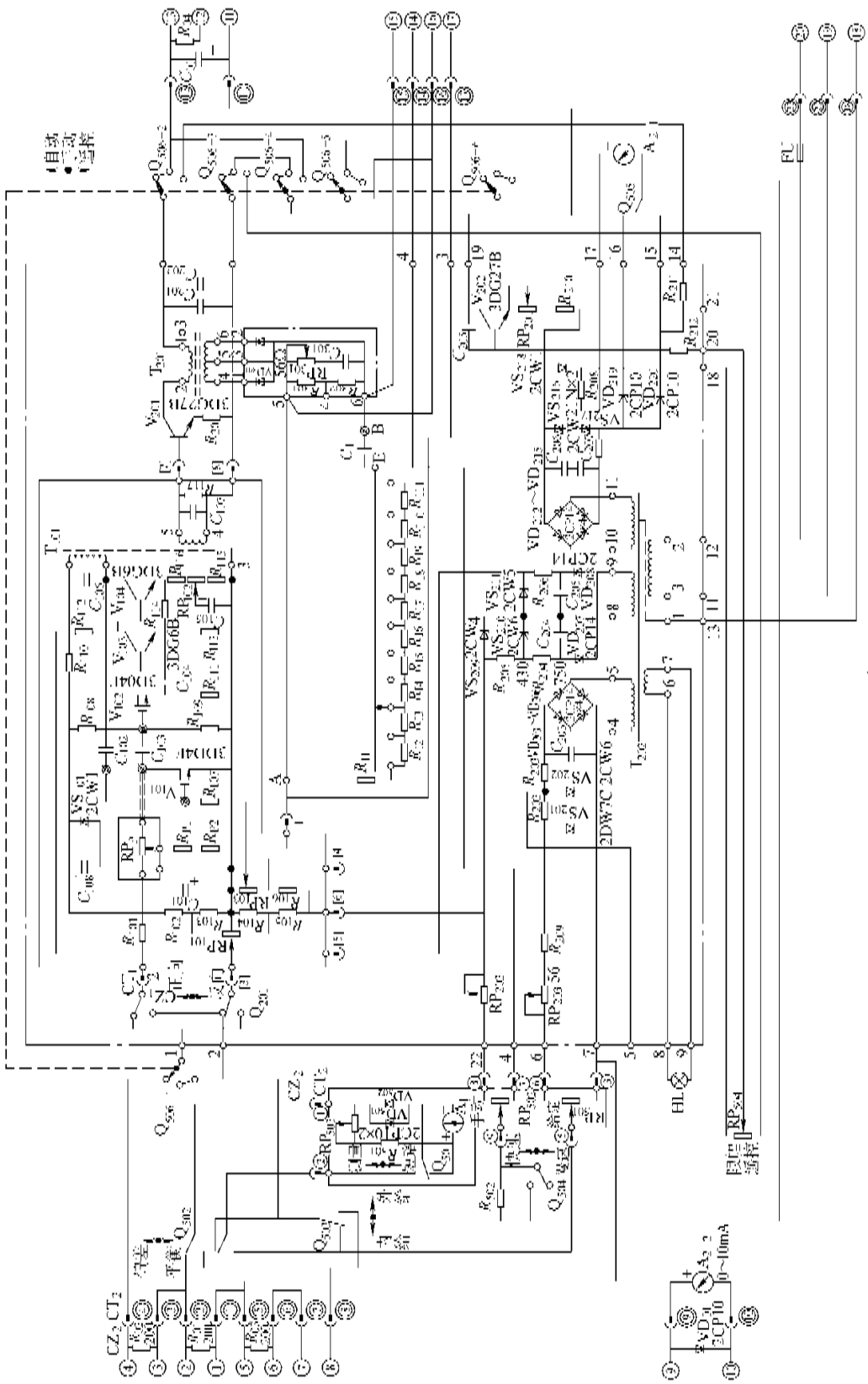


图 5-80　（续）

c）DTL-211 型调节器线路原理图

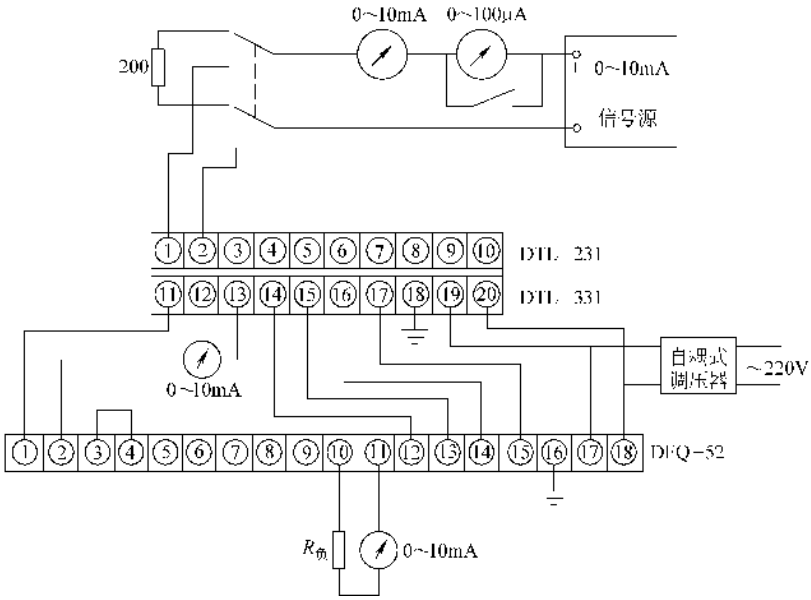


图 5-81 DTL-231、331 型调节器校验接线图

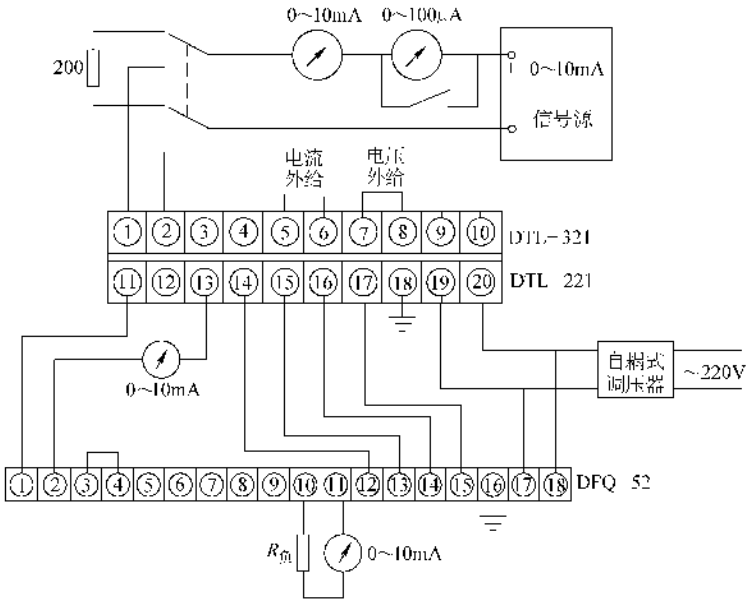


图 5-82 DTL-321、221 型调节器校验接线图

（3）遥控输出校验

1）DTL-311 型、DTL-211 型产品遥控输出校验："自动-手动-遥控"拨杆置于遥控位置，遥控拨杆置于双针阀位指示表"100"位置，仪表输出值应在 10～10.5mA，否则重新调整 V_{202} 发射极电位器 W。

2）DTL-331 型、DTL-231 型、DTL-321 型、DTL-221 型、DTL-341 型产品上限限幅校验：仪表输入一信号（$P<100\%$），使仪表输出电流值指示在 10～10.5mA，否则重新调整 V_{202} 发射极电位器 W。

（4）开环放大倍数校验　将"内给-外给"开关置于"外给"位置，"短路-测量"开关置于"短路"位置，"正向-反向"开关置于"正向"位置，切换

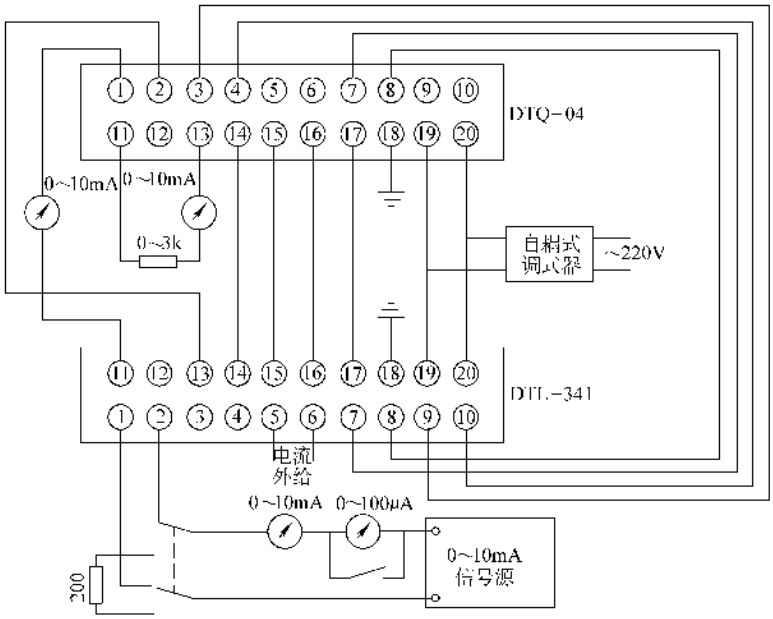


图 5-83　DTL-341 型校验接线图

开关置于“自动”位置，比例带置于1%，积分时间置于最大位置，微分时间置于最小位置，并短接外接线端子⑭、⑮。

1）零点调整：输入通道Ⅰ不加信号时，仪表输出电流应在1～1.5mA，否则调整调零电位器 RP_{101}，直至输出电流在1～1.5mA。

2）零点调整毕后，在输入通道Ⅰ加入50μA信号，仪表输出电流变化增量略大于或等于5mA，否则调整 V_{104} 增益电位器 RP_{102}。

由于增益电位器的调整会使仪表零点电流变化，所以调零电位器 RP_{101} 和 V_{104} 发射极增益电位器 RP_{102} 要协调反复调整。

3）在放大倍数调整过程中可能出现以下两种现象：

①　放大器放大倍数太低：当其发射极电位器 RP_{102} 已调到最小阻值位置，仪表输出增量仍小于5～5.5mA，可将 V_{104} 射极电阻改成图5-84a形式后重新调整放大倍数。

②　放大器放大倍数太高：当发射极电位器 RP_{102} 已调到最大阻值位置，仪表输出增量仍大于7～8mA，可将 V_{104} 射极电阻分别改成图5-84b或图5-84c形式后重新调整放大倍数。

（5）跟踪校验　将比例带置于实测比例带100%，积分时间置于最大位置，微分时间置于最小位置，在积分电容器两端（外接线端子⑭、⑮）加入0V、2V、4V、6V、8V、10V直流电压信号，仪表输出电流应相对应为0mA、2mA、4mA、6mA、8mA、10mA，其输出电流误差值不应超过±0.3mA。

如果实测比例带误差很大或闭环不起作用，这是反馈回路有故障，应先排除故障后再进行跟踪调试。

当仪表输出满度10mA时，变压器 T_{201} 一次绕组（1-2）的交流电压约为5V，二次交流电压值（绕组4-5和绕组6-5）分别应为10V左右，电阻 $R_{301}+R_{302}$ 两端直流电压约为10V。若电压值不符合，应检查变压器 T_{201} 有无断线，二极管 VD_{301}、VD_{302} 是否坏，电阻 R_{301}、R_{302} 是否变值。

（6）比例带校验　将积分时间置于最大，微分时间置于最小，积分电容器短路（外接线端子⑭、⑮），比例带置于被测挡，在输入通道Ⅰ加入3mA信号，对应输出值为 x，实测比例带 $P_{实}$ 为

$$P_{实}=\frac{3}{x}\times 100\%$$

$$\delta_P=\frac{P_{实}-P_{刻}}{P_{刻}}\times 100\% \leqslant \pm 25\% \qquad (5\text{-}48)$$

式中　$P_{刻}$——被测比例带；

δ_P——比例带误差。

如果比例带误差大，应检查电位器 RP_P 及电阻 R_{P1}、R_{P2} 的阻值。

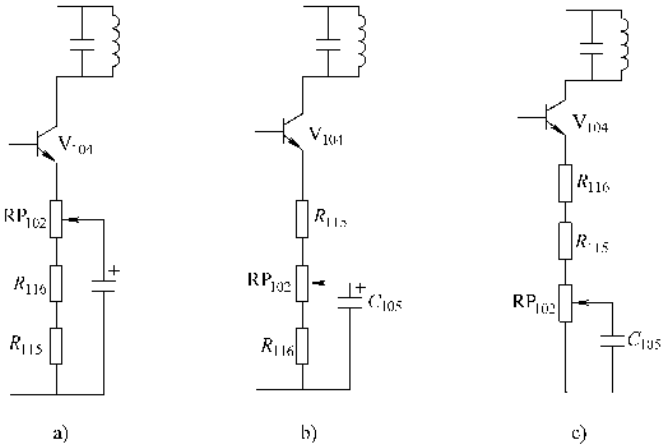


图 5-84 放大器输出调整线路

（7）闭环零点值校验　将积分时间置于最大，微分时间置于最小，比例带置于实测 100%，这时仪表输出值应小于 0.2mA。若输出值大于 0.2mA，可将晶体管 V_{201} 的基极-射极短路；若输出值不变，则是 V_{201} 的漏电流太大；如果输出值变小了，便是调制管 V_{101} 的夹断电压太高，重新调整电位器 RP_{103}。应注意，既能满足起振和开环放大倍数，又能满足闭环零点的电流值小于 0.2mA。

（8）积分时间校验　将比例带置于实测比例带 100%，微分时间置于最小值，积分时间分别置于最大值、最小值和中间任意两挡位置，短路积分电容器（外接线端子⑭、⑮），输入通道Ⅰ加入 3mA 信号，对应输出为 3mA。然后断开⑭、⑮短接线，同时启动秒表，待输出值上升到 6mA 时，停止记时，所历时间 $T_{I实}$ 即为实测积分时间，其误差为 δ_{TI}。

$$\delta_{TI} = \frac{T_{I实} - T_{I刻}}{T_{I刻}} \times 100\% \leqslant \pm^{50}_{25}\% \qquad (5\text{-}49)$$

式中　$T_{I刻}$——被测积分时间；

δ_{TI}——积分时间误差。

如果误差太大，应检查元件有无脱焊及元件变值、连线断线等现象。

（9）微分时间校验　将比例带置于实测比例带 100%，积分时间置于最大，微分时间分别置于最大值、最小值和中间任意两挡位置，短路积分电容器（外接线端子⑭、⑮），微分电容器短接，输入通道Ⅰ加入信号 2mA，对应输出值约为 10mA。打开微分电容器短接线，同时启动秒表记时，待输出下降到 5mA 时停止记时，所历时间 $T_{D测}$ 乘以微分增益 K_D 即为实测积分时间 $T_{D实}$。

$$T_{D实} = K_D T_{D测} \qquad K_D = \frac{I_{出}}{2}$$

$$\delta_{TD} = \frac{T_{D实} - T_{D刻}}{T_{D刻}} \times 100\% \leqslant {}^{+50}_{-25}\% \qquad (5\text{-}50)$$

式中　$T_{D刻}$——被测微分时间；

δ_{TD}——微分时间误差。

如果微分时间误差很大，应检查波段开关上焊接电阻有无脱焊、微分电容器是否失效。

DTL-331 型调节器微分时间测试方法、误差值的计算同上。这里要注意的是，微分增益可调，阶跃信号输入值是加在 V 通道，$T_{D实}$ 就是 $T_{D测}$，不乘以微分增益 K_D。

（10）独立微分通道残余电流校验　将 DTL-331 型调节器 V 通道“正-反”开关置于“正向”位置，外接线端子⑯、⑰短接，实测比例带为 100%，微分时间置于最小，微分增益置于最大。在 V 通道加入 10mA 信号，2h 后去掉该信号。同时断开外接线端子⑯、⑰的短接线，再在 V 通道加信号，使输出值为 10mA 的阶跃信号，然后把微分时间置于最大位置，经 10 倍 T_D 时间后测得输出电流值即为残余电流 $I_{残}$。

$$I_{残} = 0.1 K_D T_D + 25\mu A \qquad (5\text{-}51)$$

式中　T_D——最大微分时间；

K_D——最大微分增益。

如果残余电流很大，则是钽电容器 C_{403} 失效（C_{403} 具体位置应见产品说明书）。

（11）Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ副通道系数校验　将比例带置于实测 100%，积分时间置于最大，微分时间置于最小，Ⅱ通道系数刻度盘置于最小值（允许有 0.2mA 输出值）。否则，重新调整刻度盘位置，然后再在Ⅱ

通道输入信号10mA，系数刻度盘置于被测挡。此时，对应于被测挡有一输出值 $I_{出}$，误差计算为

$$\frac{I_{出}}{10}\times 100\% \pm 10\% \leqslant 被测挡刻度值 \quad (5\text{-}52)$$

Ⅲ通道、Ⅳ通道校验同上。

（12）手动轮刻度校验　DTL-311 型、DTL-211 型产品带手动操作。将“自动-手动-遥控”拨杆置于“手动”位置，当手动轮置于0%时，输出值允许有0.2mA。否则，重新调整手动轮位置。当手动轮置于100%时，输出值对应为10～10.5mA，否则调整刻度电位器 RP_{202}。各分挡刻度误差为±5%。

（13）积分增益校验　积分增益校验之前，应先将放大器开环放大倍数校验好。然后，将比例带置于实测100%，积分时间置于120s，微分时间置于最小。在积分电容器（外接线端子⑭、⑮）加入电压信号，使输出电流值为9.8mA，经5min后，去掉积分电容器上的电压。同时在Ⅰ通道加入55μA信号，待40min后观察输出值，若输出值大于9.8mA，则积分增益大于180倍。否则，调整电位器 RP_{301}。影响积分增益的因素较多，校验过程中要综合分析处理。

（14）内给定刻度校验　将比例带置于100%，“内给-外给”开关置于“内给”位置，“测量-短路”开关置于“测量”位置，“偏差-平衡”开关置于“偏差”位置，DTL-231 型调节器偏差表指示开关置于“输入Ⅰ-给定”位置。

1）偏差表机械零点调整：调整偏差表右上方调零螺钉（此时“测量-短路”开关应置于“短路”位置），使红指针尖端与表门上绿带中的黑线重合。调整时，红指针上下偏离的位置应超过绿带宽度。

2）偏差表电气零点的调整：旋动内给定刻度轮，使刻度带1%刻度与表门绿带中间的黑线重合，这时红指针应与刻度0%重合，则认为电气零点为零。

3）内给定刻度校验：旋动内给定刻度轮，使内给定刻度分别为0%、20%、40%、60%、80%、100%，相对应在输入Ⅰ通道加入0mA、2mA、4mA、6mA、8mA、10mA信号，其红指针指示的偏离不应超过±1%，否则重新调整电位器 W_{203}。

（15）偏差指示刻度校验　将“内给-外给”开关置于“外给”位置，“测量-短路”开关置于“测量”位置。旋动内给定刻度轮，使刻度50%与表门绿带中黑色重合。在输入通道Ⅲ分别加入±1mA信号，红指针应相应指示60%±1%、40%±1%。否则，重新调整偏差表右上方电位器 RP_{503}。

9. 开方积算器

（1）主要技术要求

1）基本误差：

①　仪表的开方输出电流基本误差应符合表5-86的规定。

②　积算基本误差应符合表5-86的规定。

2）小信号切除性能：仪表的小信号切除系指仪表在小信号输入时（切除点以下）不进行积算。仪表的开方输出电流亦被切除，即为零。仪表的小信号切除性能符合下述要求：

表5-86　仪表的开方输出电流基本误差和积算基本误差

输入电流 $I_{入}$ /mA	开方输出电流基本误差（%）	仪表积算误差（%）
<0.1	不计误差（被切除）	不计精确度（被切除）
0.1～0.4	±1%	±1.5%
>0.4	±0.5	±1.0%

注：仪表的开方输出电流基本误差是以满量程输出值的百分数表示的；代表积算基本误差是以单位时间（小时）满量程计数值或满量程计数频率的百分数表示的。

①　对输出信号而言，仪表的小信号切除点应在（0.8±0.15）mA内；

②　在切除过程中，开方输出电流不允许缓慢地跟随输入信号成线性的变化。

3）来回变差：仪表开方输出及计数频率的来回变差不应超过基本误差的绝对值。

4）输出抖动：

①　仪表开方输出的抖动不应超过25μA；

②　计数频率不稳定性不应超过基本误差绝对值之半。

5）开方输出电流恒流性能：当负载电阻从零变化到最大允许负大电阻（600Ω）时，仪表输出电流的变化不应超过满量程输出值的±0.5%。

6）电源电压变化影响：电源电压从额定值220V变化到190V或240V时，仪表开方输出电流和计数频率的变化均不应超过基本误差的绝对值。

7）长期运行漂移：

①　仪表通电4h，连续运行48h，仪表的开方输出电流与计数频率的漂移均不应超过基本误差的绝对值。

②　仪表通电4h后，连续运行48h，仪表在最大输入电流的计数值不应超过基本误差，计数器不得有停跳等故障。

（2）调校所需仪器设备　调校所需仪器设备列于表5-87。

表 5-87 调校所需仪器设备

序号	名　　称	规格及精度等级	数　量
1	直流电流表	0～10mA 直流，0.2 级	2
2	直流电流表	0～100μA，0.5 级	1
3	可调恒流表	0～10mA，0～100mA 直流，长漂（0.25%）	1
4	电子计数频率仪	E312	1
5	标准电阻	10Ω，0.05 级	2
6	调压器	0～250V，1kVA	1
7	十进电阻箱	0～9999Ω，0.1 级	1
8	交流电压表	0～300V，0.5 级	1
9	隔离变压器	一次侧 220V，二次侧 220V、6V	1
10	数字电压表	最小量程 200mV，5 位数字（或 UJ31 电位差计一套）	1
11	交流稳压器	2.5 级	1

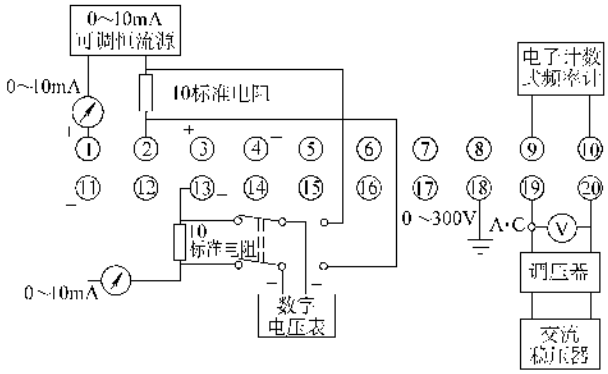


图 5-85 调校接线图

（3）调校方法

1）调校接线：调校可按图 5-85 接线。在调试时，应在下列要求下进行：

① 环境温度：(20±5)℃；

② 相对湿度不大于 85%；

③ 电源电压 220V±2.5V；

④ 接通电源后，使仪表有满量程输出，稳定 30min；

⑤ 开方部分的输出负载电阻置于比例积算部分输入电阻 800Ω；积算速度除注明外，置于 1000 字/小时挡。

2）基本误差校检：校检的积算速度为 1000 字/小时、10mA 校验时改变输入电流，仪表计数周期精度应符号表 5-88 的范围。

如不符合表 5-88 要求，应先分析是开方器部分不准，还是比例积算器部分不准，然后分别处理。

表 5-88 计数周期及开方输出特性

（1）10mA 输入时，1000 字/小时，(10000 字/小时，只须将下表小数点向前移一位)

输入/mA	10	8.1	6.4	4.9	3.6	2.5	1.6	0.9	0.4	0.1
计数周期标准值/s	3.6	4	4.5	5.143	6	7.2	9	12	18	36
允许值 +1.0%/s	3.564	3.956	4.444	5.070	5.901	7.059	8.782	11.619	16.73×(1+1.5%)	31.30×(1+1.5%)
允许值 -1.0%/s	3.636	4.045	4.557	5.217	6.010	7.347	9.231	12.414	19.46×(1-1.5%)	42.35×(1-1.5%)

（续）

（2）10mA 输入时，3600 字/小时										
输入/mA	10	8.1	6.4	4.9	3.6	2.5	1.6	0.9	0.4	0.1
计数周期标准值/s	1	1.1111	1.25	1.4286	1.6666	2	2.5	3.333	5	10
允许值 +1.0%/s	0.9901	1.1989	1.2345	1.4034	1.6393	1.9608	2.439	3.2258	4.650×(1+1.5%)	8.70×(1+1.5%)
允许值 -1.0%/s	1.0101	1.1236	1.2658	1.4492	1.6944	2.0408		3.4482	5.40×(1-1.5%)	11.76×(1-1.5%)
（3）10mA 输入时，400 字/小时										
输入/mA	10	8.1	6.4	4.9	3.6	2.5	1.6	0.9	0.4	0.1
计数周期标准值/s	9	10	11.25	12.86	15	18	22.5	30	45	90
允许值 +1.0%/s	8.911	9.8901	11.111	12.676	14.754	17.647	21.951	29.032	41.85×(1+1.5%)	78.25×(1+1.5%)
允许值 -1.0%/s	9.091	10.112	11.392	13.043	15.254	18.367	23.077	31.034	48.65×(1-1.5%)	106×(1-1.5%)
（4）开方部分输出特性										
输入/mA	10	8.1	6.4	4.9	3.6	2.5	1.6	0.9	0.4	0.1
输出/mA	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
允许误差/mA	±0.05									

① 开方部分不准：若满度不准，调整“量程”电位器 RP_{103}。

若在 I_o = 1mA 处不准，则要先调整“零点”电位器 RP_{101}，然后再调满度，反复检查调整。

若上述两点准而中间不准，可调整“精度”电位器 RP_{102}，调后应重调零点和满度，但需反复检查调整。

② 比例积算部分不准：若满度不准，可调整精度（细）多圈电位器 RP_2。

若在输入 I_i = 0.1mA 时（实际输入比例积算部分为 1mA），计数周期不准，可调调零电位器 RP_1，调后需重调满度，反复检查调整。

精度电位器 RP_3 出厂时已调准，在 1000 字/小时挡以下，可不予调整；对于 1000 字/小时以上的积算速度，如仅调零点满度仍不能使中间线性符合要求，可调节该电位器。这样配合调节精度（细）电位器和调零电位器，反复几次调整后，即可将线性调好。

③ 小信号切除校验：为校验方便，可仅检查开方部分。

缓慢从零增大输入信号，开方输出从 0 突变至上某一值，读得 $I_{切上}$。

再缓慢减小输入信号，开方输出从某值突降至零，读得 $I_{切下}$ 均应在（0.8±0.15）mA 的范围内。否则可调整“切除”电位器 RP_{104}。

④ 机械计数器校验：用仪表上的六位电磁计数器与电子频率计同时计数，并观察两值是否一致。

如用户无电子计数式频率计，校验和调准也可用累积法。即输入电流累积 10～30min，读得累积值，再折算为 1h 的累积值。

10. 自动平衡显示仪

（1）主要技术指标

1）外观检查：仪表内外清洁，表盘字型规整、符号完整准确。外壳无掉漆、碰伤和腐蚀现象。零部件完整，表锁好用。

2）指示基本误差：在指示标尺所有分度线上，仪表的基本误差不应超过电量程的 ±0.5%。

3）记录基本误差：在记录标尺所有分度线上，仪表记录的基本误差、长图记录仪表不应超过电量程的 ±1%，圆图仪表不应超过电量程的 ±1.5%。

4）指示不灵敏区：仪表的指示不灵敏区，不应超过电量程的 0.25%。

5）走纸速度误差：记录仪表在各种走纸速度下的走纸速度误差不超过 ±0.5%。

6）抗端间干扰指标：将相当于仪表电量程 100% 的 50Hz 干扰电压加到仪表输入端，所引起仪表指示值的改变不超过仪表电量程的 0.5%；仪表指示不灵敏区的改变，不超过电量程的 0.4%。

7）抗对地干扰指标：将 50V、50Hz 的干扰电压加在仪表输入端对地之间，引起仪表指示值的改变不应超过电量程的 ±0.5%；仪表指示不灵敏区的改变，不应超过电量程的 0.4%。

8）阻尼特性：指示及多点打印记录仪表、指示器不应超过 3 次半周摆动。

9）行程时间：仪表的指示器在标尺 90% 范围内，

由任一起始位置移动到标尺刻度的任一位置所需的时间，不应超过额定行程时间。

10）绝缘电阻：当环境温度为 5～35℃、相对湿度不大于 85% 时，仪表测量电路与外壳、测量电路与电力电路之间的绝缘电阻均不应小于 20MΩ。

11）控制误差：带电接点控制仪表的控制误差，要求不超过仪表电量程的 ±1%。

（2）检定所需仪器设备

1）0.1 级和 0.05 级直流电位差计各一台；

2）按电桥校正号自制的标准电阻箱；用作检定电桥时的信号源（如果没标准电阻箱，则可用滑线电阻、双刀转换开关和实验室用电桥来做信号源部分）；

3）0～50℃的水银温度计一只；

4）计时用的秒表一只；

5）500V 的绝缘电阻表一只；

6）冰点槽；

7）与被检电位计校正号相符的补偿导线两根；

8）取代补偿电阻的锰铜电阻（R_{w0} 或 R_{w25}）一只；

9）能输出 0～15mA 的直流信号源；

10）0～10mA 量程的 0.5 级的直流毫安表一只。

（3）电子电位差计的检定

1）冷端在常温下检定法：冷端在常温下进行检定的线路见图 5-86。由于电子电位差计桥路内装有温度补偿电阻，因此在进行检定时，加进被校表的电动势值，应该是仪表刻度相对应的电动势减去室温所对应的电动势值。为了检定方便，现将不同室温下应加进仪表的电动势值列于表 5-89 和表 5-90。

2）冷端恒定法：被检仪表与冰点容器间连接补偿导线，冰点容器到标准电位差计间的连接则用铜导线。冰点容器保持在 0℃。这样，补偿导线产生的反电动势与被检表内温度补偿电阻产生的补偿电动势相抵消。因此，在检定仪表时，输入桥路的电动势就不受室温变化的影响了。检定接线见图 5-87。

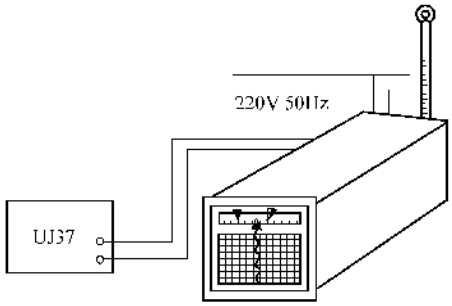


图 5-86 冷端在常温下电位差计检定接线图

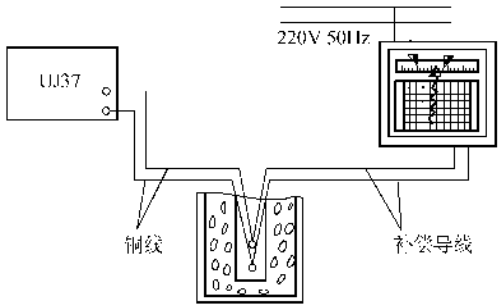


图 5-87 冷端恒定情况下电位差计检定接线图

3）用锰铜电阻 R_{w0} 或 R_{w25} 取代温度补偿电阻 R_{Cu}：在检定电位差计时，就不必考虑室温的变化了。如果用 R_{w0} 取代 R_{Cu}，在检定时输入被检表的电动势，可直接采用电动势-毫伏刻度对照表。如果用 R_{w25} 取代 R_{Cu}，则可运用表 5-89 或表 5-90 中室温在 25℃时的毫伏-温度对照值即可。其中，R_{w0} 为 R_{Cu} 在 0℃时相应的锰铜电阻值；R_{w25} 为 R_{Cu} 在 25℃时相应的锰铜电阻值。

4）毫安刻度显示仪表的检定：如果检定毫安刻度的显示仪表，那就不存在室温补偿的问题了。可直接将毫安信号源、被检表与标准毫安表串联在一起就行了。

表 5-89 检定电子电位差计时消除室温影响的换算表（EA 刻度）

示值/℃ 毫伏 室温/℃	0	100	200	300	400	500	600
11	-0.72	6.23	13.94	22.19	30.77	39.44	48.30
12	-0.78	6.17	13.88	22.13	30.71	39.59	48.24
13	-0.85	6.10	13.81	22.06	30.64	39.31	48.17
14	-0.91	6.04	13.75	22.00	30.58	39.25	48.11
15	-0.98	5.97	13.68	21.93	30.51	39.18	48.04

（续）

示值/℃ 毫伏 室温/℃	0	100	200	300	400	500	600
16	-1.05	5.90	13.61	21.86	30.44	39.11	47.97
17	-1.11	5.84	13.55	21.80	30.38	39.05	47.91
18	-1.18	5.77	13.48	21.73	30.31	38.98	47.84
19	-1.24	5.71	13.42	21.67	30.25	38.92	47.78
20	-1.31	5.64	13.35	21.60	30.18	38.85	47.71
21	-1.38	5.57	13.28	21.53	30.11	38.78	47.64
22	-1.44	5.51	13.22	21.47	30.05	38.72	47.58
23	-1.51	5.44	13.15	21.40	29.98	38.65	47.51
24	-1.57	5.38	13.09	21.34	29.92	38.59	47.45
25	-1.64	5.31	13.02	21.27	29.85	38.52	47.38
26	-1.70	5.25	12.95	21.21	29.79	38.46	47.32
27	-1.77	5.18	12.89	21.14	29.72	38.39	47.25
28	-1.84	5.11	12.82	21.07	29.65	38.32	47.18
29	-1.91	5.04	12.77	21.00	29.58	38.25	47.11
30	-1.98	4.97	12.68	20.93	29.51	38.18	47.04
31	-2.05	4.90	12.61	20.86	29.44	38.11	46.97
32	-2.12	4.83	12.54	20.79	29.37	38.04	46.90
33	-2.18	4.77	12.48	20.73	29.31	37.98	46.84
34	-2.25	4.70	12.41	20.66	29.24	37.91	46.77
35	-2.32	4.63	12.34	20.59	29.17	37.85	46.70
36	-2.38	4.57	12.28	20.53	29.14	37.78	46.64
37	-2.45	4.50	12.21	20.46	29.04	37.71	46.57
38	-2.52	4.43	12.14	20.39	29.97	37.64	46.50
39	-2.59	4.36	12.07	20.32	28.90	37.57	46.43
40	-2.66	4.29	12.00	20.25	28.83	37.50	46.36

表 5-90　检定电子电位差计时消除室温影响的换算表（EU 刻度）

示值/℃ 毫伏 室温/℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
11	-0.44	3.66	7.69	11.77	15.96	20.21	24.47	28.71	32.88	36.93	40.88	44.72
12	-0.48	3.62	7.65	11.73	15.92	20.17	24.43	28.67	32.84	36.89	40.84	44.68
13	-0.52	3.58	7.61	11.69	15.88	20.13	24.39	28.63	32.80	36.85	40.80	44.64
14	-0.56	3.54	7.57	11.65	15.84	20.09	24.35	28.59	32.76	36.81	40.76	44.60
15	-0.60	3.50	7.54	11.61	15.80	20.05	24.31	28.55	32.72	36.77	40.72	44.56
16	-0.64	3.46	7.49	11.57	15.76	20.01	24.27	28.51	32.68	36.73	40.68	44.52

（续）

示值/℃ 毫伏 室温/℃	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
17	0.68	3.42	7.45	11.53	15.72	19.97	24.23	28.47	32.64	36.69	40.64	44.48
18	-0.72	3.38	7.41	11.49	15.68	19.93	24.19	28.43	32.60	36.65	40.60	44.44
19	-0.76	3.34	7.37	11.45	15.64	19.89	24.15	28.39	32.56	36.61	40.56	44.40
20	-0.80	3.30	7.33	11.41	15.60	19.85	24.11	28.35	32.52	36.57	40.52	44.36
21	-0.84	3.26	7.29	11.37	15.56	19.81	24.07	28.31	32.48	36.53	40.48	44.32
22	-0.88	3.22	7.25	11.33	15.52	19.77	24.03	28.27	32.44	36.49	40.44	44.28
23	-0.92	3.18	7.21	11.29	15.48	19.73	23.99	28.23	32.40	36.45	40.40	44.24
24	-0.96	3.14	7.17	11.25	15.44	19.69	23.95	28.19	32.36	36.41	40.36	44.20
25	-1.00	3.10	7.13	11.21	15.40	19.65	23.91	28.15	32.32	36.37	40.32	44.16
26	-1.04	3.06	7.09	11.17	15.36	19.61	23.87	28.11	32.28	36.33	40.28	44.12
27	-1.08	3.02	7.05	11.13	15.32	19.57	23.83	28.07	32.24	36.29	40.24	44.08
28	-1.12	2.98	7.01	11.09	15.28	19.53	23.79	28.03	32.20	36.25	40.20	44.04
29	-1.16	2.94	6.97	11.05	15.24	19.49	23.75	27.99	32.16	36.21	40.16	44.00
30	-1.20	2.90	6.93	11.01	15.20	19.45	23.71	27.95	32.12	36.17	40.12	43.96
31	-1.24	2.86	6.89	10.97	15.16	19.41	23.67	27.91	32.08	36.13	40.08	43.92
32	-1.28	2.82	6.85	10.93	15.12	19.37	23.63	27.87	32.04	36.09	40.04	43.88
33	-1.32	2.78	6.81	10.89	15.08	19.33	23.59	27.83	32.00	36.05	40.00	43.84
34	-1.36	2.74	6.77	10.85	15.04	19.29	23.55	27.79	31.96	36.01	39.96	43.80
35	-1.41	2.69	6.72	10.80	14.99	19.24	23.50	27.74	31.94	35.96	39.91	43.75
36	-1.45	2.65	6.68	10.76	14.95	19.20	23.46	27.69	31.87	35.92	39.87	43.71
37	-1.49	2.61	6.64	10.72	14.91	19.16	23.42	27.66	31.83	35.88	39.83	43.67
38	-1.53	2.57	6.60	10.68	14.87	19.12	23.38	27.62	31.79	35.84	39.79	43.63
39	-1.57	2.53	6.56	10.64	14.83	19.08	23.34	27.58	31.75	35.80	39.75	43.59
40	-1.61	2.49	6.52	10.60	14.79	19.04	23.30	27.54	31.71	35.76	39.71	43.55

（4）电子平衡电桥的检定

1）专用电阻箱法：根据被检电桥的分度号、检定刻度而做成与刻度点相对应的电阻若干个。再把这些电阻组装在一个电阻箱内，作为被检电桥的信号源，见图 5-88 与图 5-89。在检定时，可根据被检刻度，输出对应的固定电阻即可。其缺点在于插头接触电阻大，产生附加校验误差。

2）可变电阻作信号源法：首先将可变电阻滑到按被校刻度要求的阻值，并用标准电桥测量好，然后再把测量好的电阻用转换开关转到被检表输入端作为信号源，其接线见图 5-90。

用可变电阻作信号源检定电桥的刻度时，除加进线路电阻 6 之外，还要在电阻箱 4 内按刻度对应阻值再加进一个线路电阻值。

3）高精度电阻箱作信号源法：采用 ZX25a 型旋转式直流电阻箱作信号源，直接输入电桥内进行校验。此电阻箱接触电阻小、精度高、读数方便，校验线路也很简单。所以，这种校验方法现正在被广泛采用。

（5）记录仪的调整及试验　这里介绍一种与热电阻或其他产生电阻变化的变送器配合使用的电子平衡电桥记录仪的调整试验方法。

1）零位的调整：先将笔盒腹部的插口槽插入笔杆，直至笔尖上部圆柱的外圆与笔杆顶端圆弧接触即

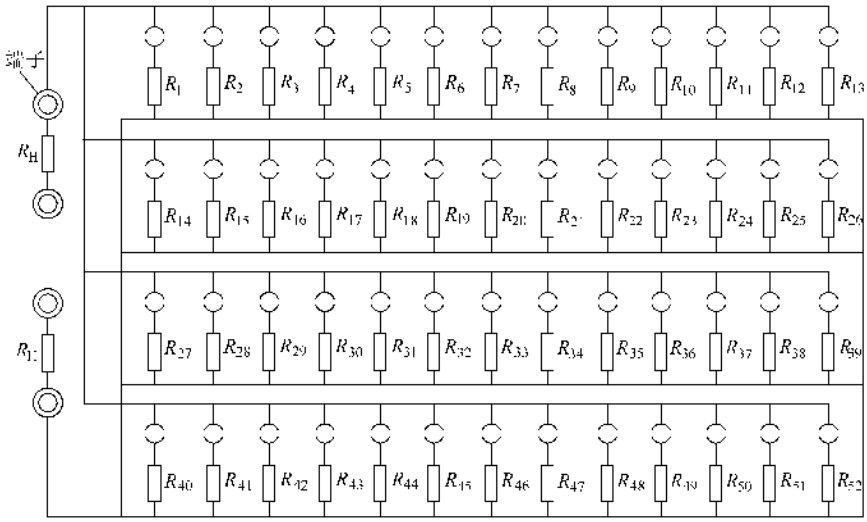


图 5-88　专用电阻箱原理线路

$R_1 \sim R_{52}$—被检电桥检定刻度对应的阻值（锰铜线）

R_H—被检电桥的外线电阻（2.5Ω）

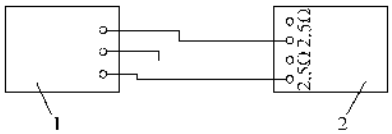


图 5-89　用专用电阻箱检定电桥接线图

1—被检电桥　2—自制标准电阻箱

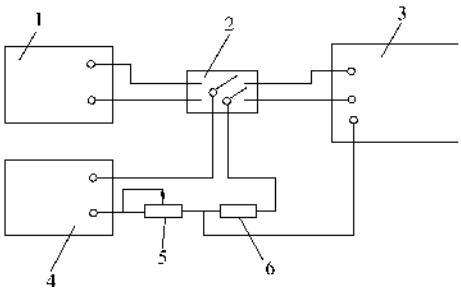


图 5-90　用可变电阻做信号源检定电桥的接线图

1—标准电桥　2—双刀切断开关　3—被检定电桥　4—旋柄式电阻箱　5—线绕滑线电阻　6—线路电阻（一般为 2.5Ω）

可。

然后检查刻度在始点位置上指针指示和记录笔的一致性。指针在起始刻度线时，记录笔也应在起始刻度线上，否则可移动标尺或移动记录笔架上的指针位置。可松开记录笔架的压线片，移动笔架，达到要求再进行紧固。

2）示值及变差的校验：校验的接线见图 5-91。校验前附加外路电阻必须调整到 2.5Ω，其导线连接电阻不能大于允许误差的 0.1（以 Ω 计）。

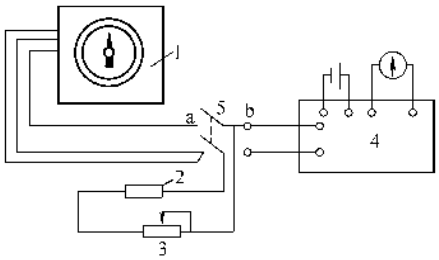


图 5-91　电子平衡电桥记录仪的校验

1—被校电子平衡电桥　2—四位或六位旋转式电阻箱　3—1～3Ω 可变电阻　4—直流标准电桥及检流计电池　5—双极转换开关

①　将平衡电桥通电预热，这里要注意相线和零线不能接反，要按接线端子上的标志接好。然后进行零位调整，并查出每条标度线的相应的电阻值，见表 5-68～表 5-70。

②　打开开关 5，将可变电阻箱 2 和可变电阻 3 调到比校验的标度线 R_1 值小 5Ω 左右。

③　用开关 5 接通被校表，然后慢慢增加电阻，使指针达到标线为止。

④　把开关合到标准电桥 4 上，电桥平衡后进行读数，其值为 R_1，即正向读数。

⑤　把电阻调至比 R_1 大 5Ω，用上述方法测出 R_2，即为反向读数。

⑥　用上述方法一直校验到最大值。

⑦ 示值处理。如测量范围为 0～500℃ B_{A1} 铂电阻分度的仪表，400℃一点，由表 5-68 查得为 114.72Ω，如正向读数 R_1 为 114.75Ω，反向读数 R_2 为 114.68Ω，则

正向误差

$\delta_1 = R_t - R_1 =$ （114.72－114.75）Ω ＝ －0.03Ω

反向误差

$\delta_2 = R_t - R_2 =$ （114.72－114.68）Ω ＝ ＋0.04Ω

变差 $V =$ （114.75－114.68）Ω＝0.07Ω

仪表准确度为 0.5%，500℃时的电阻值为 130.55Ω，0℃为 46Ω，故允许误差为

$$\delta = \frac{130.55 - 46}{100} \times 0.5\Omega = 0.423\Omega$$

故此点校验合格，因为 0.423＞0.07＞0.04＞0.03。

3）误差的调整：

① 当仪表各点误差示值均相等，且误差不太大时，可移动标尺或指针的位置，移动时可松开标尺上的螺钉或指针压板螺钉。也可以松开测量桥路上滑动臂的紧固螺钉，移动触头的位置进行调整。

② 对于平衡电桥的始端误差，可调整 r_Z，减小 r_Z，始端左移；增大 r_Z，始端右移。对于测量范围的误差，可调整 r_M，减小 r_M，测量范围缩小；增大 r_M，测量范围增大。

4）全行程时间的测定：连续改变输入电阻，用秒表测定指针从标尺始端走向终端或从终端走向始端的时间，测三次的平均值，应为每个方向上的行程时间。

5）走纸速度的校验：

① 装记录纸。用手将送纸筒向左稍用力一顶，即可取下纸筒，把两端支套从纸芯筒上取下，套在记录纸两端，然后按取下的相反方法装上，注意左端具有弹性。从送纸筒上将记录纸拉出少许，然后按图 5-92 穿卷方向穿过转轴、经过滚筒、并使纸两边的钉道孔套入滚筒的销钉上，再经转轴处送往收纸筒。收纸筒可按送纸筒取下的方法取下，左端也具有弹性收缩，但与送纸筒结构上有所不同，不得倒反弄错。最后将记录纸插入收纸筒的缝隙中，卷上 2～3 圈后装入卷纸机构上，拨动收纸手轮，使记录纸平整收紧。有的记录仪的卷纸机构与上述不同，可参照图 5-93 进行。

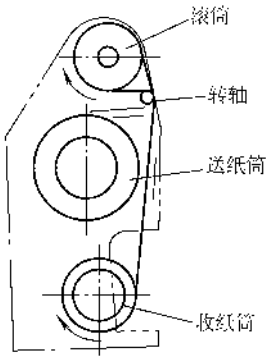


图 5-92 记录纸穿卷方向

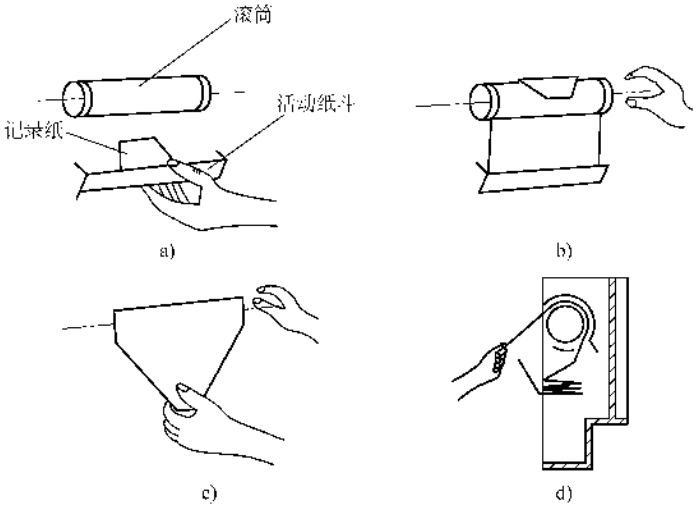


图 5-93 记录纸的放置方法

a）将纸斗转开，把记录纸放入并将始端拉出 b）把记录纸撒开并卷入滚筒 c）将记录纸拉下并折选数次后，放入主支架下部的贮纸斗中 d）记录纸的正确安置示意图

② 走纸速度的校验应在记录机构运转10min后进行，误差不得大于0.5%，校验时可在任意一挡走纸速度下进行。先使记录笔尖或打印架指在记录标尺中点附近，再用电钟记下记录纸移动至少500mm（但不得少于30min），所经过的时间，然后按下式计算记录走纸速度误差 $\delta_{纸}$：

$$\delta_{纸}=\frac{T_{示}-T_{实}}{T_{实}}\times 100\% \qquad (5\text{-}53)$$

式中 $T_{示}$——时间标尺上记录纸移动时间间隔示值，单位为s；

$T_{实}$——用电钟读出的记录纸移动时间间隔实际值，单位为s。

6）绝缘电阻的测定：一般用500V绝缘电阻表测量，测量线路对仪表外壳、周围动力线路对仪表外壳及测量线路对动力线路的绝缘电阻应大于或等于20MΩ。测量时，应先将测量线路与桥路输入端断开，以免击穿。

7）控制误差的校验：在校验指示误差的同样条件下，在标尺的50%和90%两点附近的分度线上进行校验。当仪表指针到达给定位置时，控制接点应动作，可用万用表检测，这时指针应平稳移动，使控制接点完成断和通的动作。动作误差可用电秒表测定，误差不大于0.02s。

8）灵敏度的调整：灵敏度一般不必调整，如有不妥通常用放大器中的灵敏度调节旋钮进行调节。灵敏度调整过高，指针产生抖动或不规则摆动；灵敏度过低，不灵敏区太大，指针动作迟缓或停止不动。一般情况下，指针摆动两个半周，不灵敏区即可达到要求，信号可按0.1、0.5、0.9加入输出端，应返复加入，观察其摆动次数。

9）试验过程中故障的处理方法：故障处理时，以可逆电动机运转是否正常为界，若正常，故障则发生在测量系统，可检查测量桥路有否断路或元件不妥、短路等；若不正常，则应先单试可逆电动机，可拆开电动机的控制绕组，用6.3V交流电压正反交替加在控制绕组上，如正常运转，故障则在放大器上；如不运转，故障在可逆电动机上。

11. 晶闸管调压器

（1）主要技术要求

1）预给电压由电阻 R_4 给出，约为0.45V。

2）调压器“手动”使用时，电表M示值应在0～90%范围内变化。

3）调压器“自动”使用时，反馈量调到当输入信号10mA时，输出电压应为加热电压的90%，反馈量不应小于整个调节范围的20%，过小则工作不能稳定。

（2）调校方法

1）控制接线图见图5-94b。

2）按图5-94将输入、电源、反馈和地线等接好（室内调试可用电烙铁或灯泡代替负载），将开关 S_1 放在“手动”位置，接通电源仪表开始工作。

3）把电位器 RP_{12} 的旋钮向下旋到底，电表M示值向上限方向偏转，从零逐渐增至90%左右。然后反向调整“手动”旋钮，使电表M示值减至45%左右（如负载为电炉），稍待片刻温度上升，此时表示“手动”调节工作正常。

4）如果“手动”旋钮已旋到底，而电表M示值很小，这时可逆时针方向调节表头电位器 RP_{11}，即可使电表M示值增至90%处。

5）向上慢慢调节“手动”旋钮，观察电表有无变差、呆滞等现象，同时使电表M回零，“手动”部分则调试结束。

6）开关 S_1 切向“自动”位置，反馈电位器 RP_6 逆时针旋到底（反馈量最小），输入信号为零，此时电表M示值在3%～4%处，预给电压在0.45V左右，顺时针调反馈电位器 RP_6，使电表M回零。

7）输入10mA信号，使电表M示值向上限偏移，调整反馈电位器 RP_6，使电表M示值达到90%。当减小信号到5mA，电表M示值应在45%～50%；再减小信号电流，电表则回零。经调试使反馈量调在输入信号10mA时，输出电压为加热电压的90%。

（3）使用注意事项

1）首先检查接线，尤其是晶闸管 VT_1、VT_2 的接线要正确。

2）接通交流电源时，注意调压器必须与晶闸管采用同一电源，否则失控。

3）反馈量不应小于整个调节范围的20%，如过小则仪表不能稳定工作。

4）调压器与XCT-191型控制仪表使用时，反馈量可在25%～50%范围内选用。

5）如用“手动”控制使用时，反馈量可稍大，可以用到100%。

6）晶闸管 VT_1、VT_2 在电流突变时容易损坏，在电炉升温或停电时，应先将 K_1 放在“手动”位置，调整负载电流逐渐上升或下降为宜。

7）手动粗调电位器 RP_{11} 和反馈电位器 RP_6 出厂前已调好，一般情况不要随意变动。

12. 电动执行器

（1）试验设备

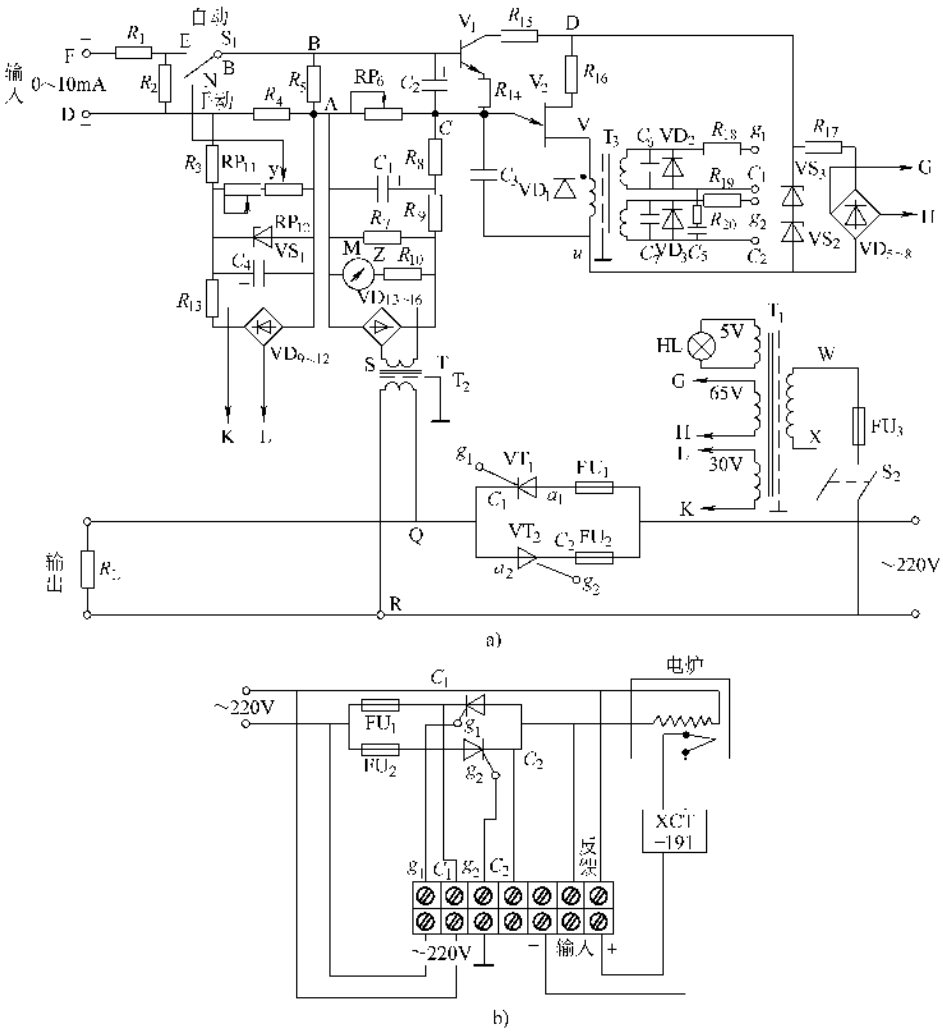


图 5-94 ZK-50 型晶闸管调压器原理线路及控制接线图

a）ZK-50 型晶闸管调压器原理线路图 b）ZK-50 型晶闸管调压器控制接线图

1）标准直流信号源，0～10mA。

2）标准毫安表，0～10mA。

3）标准电阻，1.2kΩ。

4）开关及电源，～220V。

DKJ 型电动执行机构通常与 DFD 型电动操作器配合使用，伺服放大器、执行机构和电动操作器之间的电气连接线见图 5-95。

（2）伺服放大器的校验步骤和要求

1）先将伺服放大器按图 5-96 所示进行接线。

2）合上开关 S_1 接通电源，输入端不加信号，用直流电压表测量伺服放大器内 a、b 两点的磁放大器输出电压，调整机内“调零”电位器使 a、b 两点的电压为零。

3）合上开关 S_2 接通信号，并改变开关 S_3 的位置，变化信号极性，给伺服放大器输入 ±150μA 直流电流，测量磁放大器的输出电压应在 ±0.7V 左右，把输入电流增加到 ±10mA 时，磁放大器的输出电压应在 ±3V 左右。

4）以 100W、220V 的白炽灯 HL_1 和 HL_2 作为伺服放大器的负载，合上开关 S_4。当断开开关 S_2，无信号时，伺服放大器应无输出，HL_1 和 HL_2 应均不亮。

5）接通开关 S_2，把输入信号分别调到 150μA 和 10mA，用开关 S_3 改变信号极性。当输入正信号时，HL_1 亮；输入负信号时，HL_2 亮。并迅速改变开关 K_3 的位置，连续多次改变输入信号极性时，HL_1 与 HL_2 迅速交替发亮，用交流电压表分别测量 HL_1 与 HL_2 两端的电压，应接近电源电压。

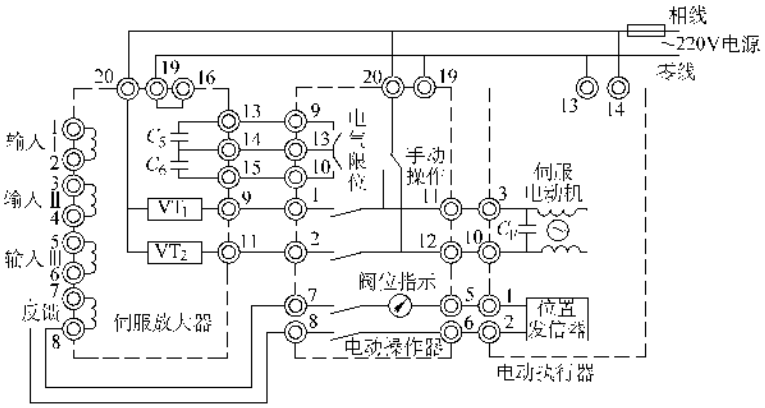


图 5-95　DKJ 型比例式电动执行机构接线图

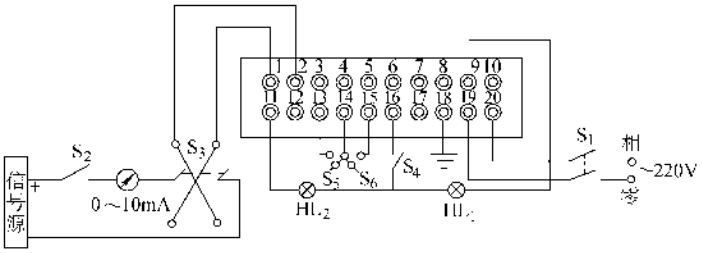


图 5-96　伺服放大器校验接线图

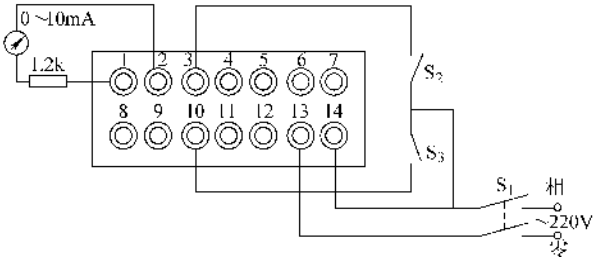


图 5-97　执行机构校验接线图

6）当输入正信号时，HL_1 亮，接通开关 S_5，HL_1 应熄灭；输入负信号时，HL_2 亮，接通开关 S_6，HL_2 应熄灭。

（3）执行机构校验步骤和要求

1）先将执行机构按图 5-97 所示进行接线。

2）合上开关 S_1，接通电源，将伺服电动机端盖上的“手动-自动”旋钮拨到“手动”位置，转动摇手柄使执行机构输出曲柄逆时针旋转到与限位挡块相碰，作为曲柄零位，这时毫安表指示的位置发信器输出电流应为零。

3）转动摇手柄 1 使执行机构输出曲柄顺时针旋转 90°，这时位置发信器输出电流应为 10mA。如果不是 10mA，可打开位置发信器罩壳，调整机内电位器。位置发信器的输出电流应与输出曲柄的转角相对应。

4）将电动机端盖上旋钮拨到自动位置，当接通开关 S_2 时，输出曲柄应顺时针旋转，接通开关 S_3 时，输出曲柄应逆时针旋转。

（4）执行机构闭环系统的检验和要求

1）闭环系统包括伺服放大器、执行机构和电动操作器三部分，按图 5-95 接线。

2）将电动操作器切换开关拨向“手动”位置，接通电源后，“手动”指示灯亮。把操作开关拨向“开”方向时，输出曲柄应顺时针方向旋转，阀位指示电表的指针从 0 向 100% 变化；把操作开关拨向“关”方向时，曲柄应逆时针方向旋转，阀位指示电表指针从 100% 向 0 方向变化。

3）将电动操作器切换开关拨向“自动”位置，“自动”指示灯亮，同时输出曲柄应向规定的零位旋转。如果曲柄旋转方向相反，则应检查位置反馈信号

极性是否接反。若发现执行机构有自振荡现象时，可调节伺服放大器内中的稳定电位器，降低放大倍数，若仍不能消除振荡现象，可适当增加 R_{13}、R_{14} 的阻值，直到稳定为止。

4）在伺服放大器输入端加入 0～10mA 直流电流，执行机构输出曲柄的位置应与输入电流成正比，其误差应符合技术指标的规定。

第十四节　空气调节自动控制系统电气元件的测试和试验

空气调节自动控制系统电气元件，除常规的低压电器及线缆桥架外，主要的电气元件有电磁阀、电动阀、湿度传感器、温度传感器、压差开关、变送器、水流开关、三速开关、控制器（压力、温度、湿度等）、直接数字控制器（DDC）、高湿断路恒温器、低湿断路恒温器、CO_2 浓度分析传感器及仪表等。

这些元件的测试和试验与前述基本相同，可参照前述方法进行。其中，水流开关应接在流水的管道里进行试验，水流压力不小于 0.1MPa。DDC 应按模拟输入、输出信号和数字输入、输出信号进行试验。

第十五节　一般电器的测试和试验

一般电器指上述未曾提到的各类低压电器，其试验或测试项目主要有：绝缘电阻、额定电流，线圈电压、导电回路接触电阻和机械传动动作试验。

读者可参照前述方法进行试验，当试验机械传动动作时，如果发现有卡涩或传动不畅时，则应先在各转动或传动部位的轴隙等机械部位点少许机油（一定是少许），并使其动作让油传递开来，然后再按要求进行传动试验，一般条件下均能达到满意结果。

第十六节　特殊电器的测试和试验

特殊电器是上述均未曾提到过的电器元件，其试验测试项目主要有：绝缘电阻、额定电流、线圈电压、导电回路接触电阻、机械传动动作、程序动作等试验。如果是高压电器，还应做耐压试验、直流泄漏、分合试验等。

读者可参照前述方法进行。特殊电器的试验必须先阅读其使用说明书，并按照其上面的要求、程序、方法、标准进行。任何人不得随意、更不得跨过试验测试，否则将会给工程带来无法挽救或不可弥补的损失。

第十七节　新型电气控制设备的调整试验要点

随着技术的进步和发展，电气控制设备趋向智能化、微机化的步伐越来越快，传统的控制方法有的已不适宜生产和工作需要。特别是新型电气控制设备的调整试验，应是安装电工必须掌握的技术技能。限于篇幅的关系，这里仅将新型电气控制调整试验要点列出，供读者学习参考。

一、电气控制设备调整试验准备工作及要求

调试前，应先了解生产工艺，掌握电气传动控制系统的设计原理、性能参数和要求达到的各项指标，熟悉系统中各种元器件及控制单元的性能，还应熟悉调试中使用的各种仪器、设备的性能及使用方法。在此基础上，制定周密的调试计划，按计划实施调试。

1. 常规检查

电气控制设备安装就位后，应首先进行外观检查，着重检查电气控制设备和相关设备（包括电动机、变流装置、互感器和变压器等）的数量、型号、规格及技术参数等是否符合相应的规范要求；检查各项设备及元器件安装质量是否符合相应的规范要求；检查各动力线与控制线的型号、规格是否符合设计要求；检查各项设备的接地线及整个接地系统是否符合设计要求。

检查线路时应根据原理图或接线图检查各电气控制设备内部及外部连线是否正确。查线时应注意连接线头是否有松动、虚焊和接触不良等。

2. 绝缘检查

绝缘电阻检查包括：

1）导电部件对地。

2）两个不相同的导电回路之间，如交流的各相之间，电流回路、电压回路、控制回路、信号回路等相互之间。

3）电动机的轴承与底座之间（直接接地者除外）。

3. 操作控制电路检查

1）主电路电源断开，接通操作电路电源进行空载操作，以检查操作电路各环节和元器件动作的正确性。

2）先应按原理图检查各有触点操作电路和主电路电器元件，行程控制器、各种电流继电器、超速离心开关等，可以采用人为模拟的方法检查；有些电器，如高压开关、直流快速断路器和大容量低压断路器等，应避免多次操作。应保证各电器元件接线正确、动作灵活，不得有卡住、粘住或滞缓现象；噪声及线圈温度应正常；各触点接通时均应接触导通良好，特别是保护、联锁环节动作时应能迅速可靠地切断系统。

3）对于无触点逻辑控制系统，例如可编程序控

制器等，一般是先单个程序块调试，后整个程序调试；先单机调试，后全线（自动线）调试。为便于调试，在进行程序设计时，有条件的还应设计自动检查程序。

4. 控制单元调试

根据原理图，首先检查单元的电源电压与极性，并参照该单元的检查试验规范进行调试。一般的调试内容包括运算放大器、乘法器、除法器及其他模拟量器件的调零，输入输出特性的检查（包括检查有无自激振荡），限幅值的整定，以及逻辑控制信号的检查等。

在所有单元调试好后，可以按原理图将单元逐步接入系统中，并送入给定和联锁控制信号，检查控制系统的输入输出通道、封锁及逻辑状态等，均应符合设计要求，为系统调试做好准备。

5. 故障检测元器件动作值的整定

系统调试前，应整定故障检测元器件的动作值，以保证系统调试及运行安全。所有故障检测动作值均应按系统设计的规定值整定。对于无触点故障检测单元，可以进行模拟整定；对于有触点故障检测单元，如过电流、过电压、接地和失磁等继电器，以及直流快速断路器、大容量低压断路器和超速离心开关，也应尽量用间接方法或专用设备来整定。例如，超速离心开关可用小容量配有调速装置的直流电动机拖动进行整定。当无法用间接方法整定时，应采取适当的保护措施，使直接整定过程尽量缩短，避免不慎发生破坏性事故。

二、自动化设备调整试验

1. 自动化设备安装要求及注意事项

1）自动化设备的安装应远离高温、强磁等设备，电缆敷设的走向和配线槽要与动力线保持一定的距离；应将交流线和高能量快速断路器的直流线与低能量的信号线隔开；针对闪电式浪涌，应安装合适的浪涌抑制设备；外部电源不要与 DC 输出点并联用作输出负载，这可能导致反向电流冲击输出，除非在安装时使用二极管或其他隔离栅。

2）自动化设备的接地要求与动力设备的接地分开，为独立接地。两者共用一个接地网时，各自的接地干线不得混接，应分别接至接地网。安装中，如果把传感器的供电 M 端子接到地上，可以获得最佳的噪声抑制。将 PLC 的所有地线端子同最近接地点相连接，以获得最好的抗干扰能力。DC 24V 电源电路与设备之间，以及 AC 120/230V 电源与危险环境之间，必须提供安全电气隔离。

3）确保需要通信电缆连接的所有设备，或者共享一个共同的参考点，或者进行隔离，以防止产生误导电流。故障或设备损坏。连接操作面板、编程设备时，要按照规范正确连线，以防止通信口的意外损坏。

4）网络电缆要使用符合其通信协议规定的电缆。表 5-91 列出了 Profibus 网络电缆的总规范。电缆的最大长度有赖于波特率和所用电缆的类型。表 5-92 列出了采用满足表 5-91 中列出的规范电缆时，Profibus 网络段的最大长度。利用中继器可以延长网络距离，给网络加入设备，并且提供了一个隔离不同网络段的方法。

表 5-91　Profibus 网络电缆的总规范

通用特性	规范
类型	屏蔽双绞线
导体截面积	24AWG（0.22mm^2）或更粗
电缆电容	<60pF/m
阻抗	100～120Ω

表 5-92　Profibus 网络段的最大电缆长度

传输速率/（bit/s）	网络段的最大电缆长度/m（ft）
9.6～93.75	1200（3936）
187.5	1000（3280）
500	400（1312）
1000～1500	200（656）
3000～12000	100（328）

5）模拟量模板的安装和使用需要注意以下几点：

① 确保 24V 传感器电源无噪声、稳定；

② 传感器线尽可能短，使用屏蔽的双绞线，仅在传感器侧屏蔽接地；

③ 未用通道应短接；

④ 避免将导线弯成锐角；

⑤ 通过把输入信号隔离或选择外部 24V 电源的公共端作为输入信号参考点，从而确保输入信号范围在技术规范所规定的共模电压之内。

2. 自动化设备的现场调整试验

（1）准备工作

1）收集有关资料：

① 工艺说明书或设计规格说明书（包括工艺流程、工艺参数）；

② 控制系统框图及功能说明书；

③ 控制系统内各种设备位置图；

④ 控制系统各单元设备接口硬件说明书；

⑤ 控制系统内各种设备的接口图；

⑥ PLC 系统及各单元设备硬件说明书；

⑦ PLC 编程手册；

⑧ PLC 软件程序清单，PLC 系统参数配置表，PLC 的 I/O 地址设置表，I/O 接口表，内部标志分配表，定时器、计数器使用情况一览表；

⑨ PLC 软件程序存储介质（如软盘或 EPROM）。

2）熟悉并阅读有关资料和说明书：

① 阅读 PLC 编程手册，掌握编程方法；

② 阅读 PLC 硬件说明书，掌握有关单元板的使用方法，了解其性能、技术数据和注意事项；

③ 熟悉编程器的各种功能，掌握编程器的使用方法；

④ 阅读工艺说明书或工艺设计规格书，熟悉生产工艺和控制要求；

⑤ 阅读 PLC 接口图和有关电气图样，检查 PLC 接口信号与电气系统信号相对应，且电压等级、信号状态或信号类型（开关量或模拟量）等均应一致；

⑥ 阅读软件程序，对照工艺说明书检查控制程序是否符合工艺要求；工艺说明书要求的各种控制功能是否齐备；电气联锁功能是否完整、正确；

⑦ 熟悉并了解基础自动化系统构成，掌握有关的通信协议及通信方式；

⑧ 编制调试方案。

3）准备调试用仪器仪表：

① 编程器，包括现成的系统软件或自编软件；

② 数字万用表；

③ 绝缘电阻表；

④ 示波器；

⑤ 脉冲信号发生器；

⑥ 交直流稳压电源。

（2）调试程序及步骤

1）线路检查测试。

2）设备检查测试。

3）设备通电检查测试。

4）接口检查试验。

5）通信接口检查。

6）单机控制程序调试。

7）传动设备控制程序调试。

8）区域自动控制调试。

9）整机自动控制程序调试。

（3）硬件检查

1）电源电路检查：

① 根据 PLC 使用的工作电源，检查供电电源与其是否一致，接线是否正确；

② 检查各单元板或器件电源电压等级、接线是否符合说明书的要求；

③ 各种辅助电源（输入信号电源和输出信号电源）是否符合说明书的要求，接线是否正确；电压等级是否相同，不同开关控制的电源 0V 线不应混接；

④ 检查各电源开关容量及过载保护，是否与负载匹配；

⑤ 线路绝缘是否符合要求；

⑥ N 和 PE 线是否与电源系统的 N 和 PE 线连接正确；

⑦ 导线在端子上连接是否牢固、接触是否良好。

2）信号线、控制线检查：

① 检查线路连接是否正确、接触是否良好。带屏蔽的电缆，屏蔽线应按照图样和产品说明书的要求连接到正确的位置上，一般应连接在柜内带有 PE 标志的端子上；

② 信号和控制电缆应敷设在单独的电缆槽内，禁止与动力电缆敷设在同一槽内；

③ 模拟量信号和脉冲计数信号应用屏蔽电缆；

④ 线路绝缘应符合要求。

3）设备接线检查：

① 检查各种设备上的接线是否符合设备说明书；

② 检查设备接地、屏蔽接地是否符合设备说明书要求。

4）PLC 接地检查：

① 接地电阻值应符合设计要求，一般接地电阻不大于 1Ω；

② 检查各种接地线安装是否正确，并确认它和其他接地系统之间没有混接；

③ PLC 地线与强电地线应各自分开，不得混接；两者若共用一个接地网时，各自的接地干线不得混接，应分别接至接地网。

5）光缆线路检查：

① 检查光缆头是否清洁，光缆的制作是否符合要求；

② 光缆的线路检查方法：用手电筒照射光缆，在另一端观察光缆端头光点是否清晰明亮。若不清晰明亮，说明光缆头污染，应重新制作光缆头。

6）设备检查：

① 检查 PLC 型号是否与设计图样一致；各种单元板、附件的型号及数量是否与设计图样一致；

② 检查各种设备外观有无损伤，安装是否牢固，有无锈蚀、变形等；

③　根据 PLC 硬件说明书，检查 PLC 各种配置及安装位置是否与设计图样一致及是否符合说明书的要求；

④　检查 PLC 各单元设备上的开关位置、地址设置、跨接线连接是否正确；

⑤　设备清洁，无杂物。

（4）硬件通电检测

1）PLC 通电顺序：先供电装置送电，再 PLC 本体送电，然后 PLC 外围设备送电。

2）供电装置送电检查：检查电压波动范围是否符合产品出厂要求；通风散热良好，散热风机旋转方向正确、无杂音，运转良好，过滤网清洁。

3）PLC 本体受电：

①　检查 PLC 的 CPU 电池安装是否正确；

②　在 CPU 送电后，用编程器检查内存，清除用户存储空间所有内容，将 CPU 状态开关拨至“RUN”，检查应无任何硬件报警及错误显示；否则根据 PLC 硬件说明书进行检查，直至排除。用 CPU 板的状态开关检查 CPU 的运行、停止、清零等各种功能正常；

③　若有测试程序，应用测试程序对 CPU 进行检查；

④　用编程器正确填写 I/O 地址分配表，送入 CPU 中或由 I/O 板上开关设定；

⑤　用编程器对 PLC 系统参数进行设置。

4）输入/输出单元公用电源送电：同一台 PLC 可同时使用多种不同性质和电压值的输入/输出电源，以适应外部被控设备和检测设备的电源规定，因而在输入/输出公用电源送电前，必须仔细确认电源与接口插件板的额定值要求是否一致。

一般可从 I/O 插件板上卸下接线端子板，逐个送上所用的各种电源，并在端子板上测定。确认无误后恢复端子板，正式逐个送电，避免因配线或其他原因造成不同电压电源信号之间的混乱而发生事故。

5）PLC 外围设备送电：按常规方式逐个检查各外围设备和控制器件，并分别对各单体设备送电，检查各单体设备工作是否正常。

（5）接口检查试验

1）硬接口检查试验：

①　输入接口试验。由输入信号源，如转换开关、限位开关、检测元件、接触器触头等以实际或手动模拟方式给出输入信号，检查 PLC 输入板上对应指示灯（发光二极管）的亮、灭；用编程器检查 PLC 中对应的输入寄存点状态“1”或“0”，应符合该输入点的规定。无法实际或模拟给出信号的信号源，可在信号源装置的输出接线端子上模拟，但不允许简单地在 PLC 端子板上加信号来模拟，否则无法判断信号源及接线是否正确。模拟量输入信号还应用编程器检查 PLC 的对应寄存器中，经模数转换后的数值与模拟量输入信号的一致性关系。

②　输出接口试验。用编程器强制确定开关量输出点状态，检查输出末端被控设备应产生相应的开关动作；编程器强制对模拟量输出点的数模转换数据单元置数，检查输出对象被控设备接收到的电压或电流信号与被置数相对应，并符合设计规定。

无强制功能的 PLC 编程器，应自编一段简单程序，通过程序运行来检查所要求的输出信号。

2）通信接口的检查试验：

通信接口检查试验必须在通信双方已装入通信协议程序并投入运行的情况下才能进行。试验方法是在发信方写入一段数据传送程序，检测收信方指定数据存储单元字中正确地接收到由发信方传来的数据/信息的正确性。同一台 PLC 须对发信和接收两种工作方式进行检查试验。

（6）软件程序/用户程序的检查和调试

1）软件程序检查调试流程：

①　系统参数的设定和检查；

②　I/O 地址设置检查；

③　用户程序装入；

④　各单体设备控制程序的检查和调试；

⑤　区域联动调试；

⑥　各类信号显示、报警；

⑦　PLC 网络通信功能调试；

⑧　全线联动功能调试。

2）软件程序的检查调试：

①　系统参数的设定和检查。根据图样、PLC 使用手册及硬件的实际配置，用编程器检查系统参数的设定、主要程序的运行方式及各种软件的功能设置。

②　I/O 地址设置检查。该项检查已在 I/O 接口试验阶段已完成，本处系再次根据 PLC 控制程序软件中 I/O 分配表和实际的输入信号源装置、输出被控设置点的名称、配置，对彼此的一一对应关系予以确认。

③　用户程序装入。在装入用户程序前，一般应先将用户程序存储区内全部数据清零，然后通过编程器将用户程序下载到 PLC 存储区中，如果程序简单，亦可通过编程器键盘逐条将用户程序键入到 PLC 中。

为防止装入程序过程中，某些输出点可能产生输出信号，使被控设备误动，因此在程序装入时，可将 PLC 的 CPU 设置为 STOP 状态，亦可断开输出侧的控制电源。

全部程序装入后，用编程器将已装程序逐条调出到显示器上，与设计提供的程序清单逐一校核，应正确无误。

3）各单体设备控制程序的检查和调试：

① 程序执行过程的检查。与继电器-接触器控制系统中空操作相似，试验前被控设备的动力源（电动设备的电源、液压系统的液压泵电源或压力管阀门）应可靠地切断。试验时，由于 PLC 不同于继电器-接触器控制系统，无法靠手动方法使 PLC 的内部继电器动作，只能从输入端给出输入信号，辅之以编程器对 PLC 中的内部单元用强制的方法来进行试验。

一般要准备一组通、断两方向的开关，组成开关信号模拟器，用试验电源或实际的输入电源，和电位器组成模拟量信号的模拟器，将它们组装在专用的模拟试验板/箱上。模拟板各信号送到 PLC 输入接口板上的各输入点（原有实际信号配线临时断开），并在模拟板上注明各开关或电位器所模拟的信号名称（如某限位开关常闭点、轴承测温等）和它在 PLC 中的输入点编号。

试验时根据应用程序中各条程序排列次序，给出该条程序的输入信号条件，即所对应的开关信号或模拟量信号，用编程器检查该条程序的执行情况。如该条程序尾端是驱动一个输出点，还应观察输出插件板上相应的输出点上输出显示发光二极管的明灭，以判定本条程序的正确执行。对定时控制程序，还应注意观察、估计延时长短。如此逐条程序检查到与被控单体设备有关的程序的执行，直到全部认可为止。

② 程序控制功能的检查。同有触点的继电器-接触器程序的空操作相似，被试设备主动力源不得投入，应注意的是本步骤中判断正确与否不再是程序清单，而是按被控设备工艺要求进行控制的试验。

试验前，根据工艺运行控制要求编制出调试程序表，列出该设备的运行方式，各运行方式下起动、运行、停车等动作过程以及各步动作时各选择开关、限位开关，检测装置的动作情况、量值大小等。同时列出被控设备运行可能产生的故障及故障后的响应动作。

试验时，先按正常运行控制用模拟板给出运行选择信号，再给出“起动”模拟开关信号，检查“起动”给出后按工艺要求应产生动作的对应输出点上发光二极管的响应情况。例如，给出“起动”后，与“预告响铃”对应的输出点应亮灯，过 10s 后“主接触器合”输出点亮灯等；接下来将与“接触器已合上”对应的输入点的模拟开关给上等。在假想的运行过程中，给出“前限位到”输入点对应的模拟开关，检查输出板上“主接触器合”的显示发光二极管应灭。这样，将所有工艺控制动作和故障（如“电动机过热”、输入点模拟开关等）响应均作出模拟验证。如果 PLC 输出实际动作情况与工艺要求有不相符之处，则应对有关程序清单内容进行修改。试验过程中，若能直接检查输出点所驱动的实际设备（从电气柜内观察接触器的动作），将使调试验证结果更为准确。

经程序控制功能检查通过之后，就可恢复输入接线，取消模拟板，直接由现场操作开关，并投入现场检测设备进行设备试运行的调试。在实际试运行时，对前述模拟试验无法认定的参数（如限位开关设定距离、有关延时值等）进行整定。实际运行中，也可能出现与工艺控制要求不一致之处，这种情况出现后，应停止设备运行，断开主电源开关，返回程序清单进行分析和处理，本阶段亦包括有关显示、报警程序的检查和调试。

（7）联动调试

1）区域联动调试：区域联动调试在单体设备已经完成调试运行检查考核的条件下进行。先用模拟板（箱）对本区域内各设备之间的相互联锁控制的控制信号的状态、时序等进行检查，再将逐台单机投入运行，检查实际发出的联锁信号，逐步扩大联动运行的范围。联动调试时，应注意检查各种不同运行方式下的联动过程以及不同故障情况下的联动响应，包括后状态显示信号、报警信号等。

2）全线联动功能调试：第一步，是确认网络上所有设备运行正常，然后以模拟方式（各自 PLC 的编程器）通过简单程序进行 PLC 之间信息交换的检查和调试，确认“发送-接收”通信功能及信息传输的正确性，包括传送对象的正确性和被传送数据信息、状态信息的准确性两个方面。这一检查工作亦可提前在区域联动调试阶段进行，同时检测相关区域间有关过程信息的传送情况，信息发送方处于试运行状态，接收方不运行，仅作对接收信息的检测，以避免信息传输错误时产生误动，造成事故危害。根据生产工艺和程序设计的要求，对传送信息的处理变换参数等做出调整。

联动试车的目的是检查确认全系统各台设备是否完全正确地按生产工艺流程规定的时序、量值（如转速、行程等）完成被控动作过程，同时对全部显示和报警信号系统工作情况进行检查确认，并对系统中有关参数做出必要的调整。

① 无负载联动是不实际投料试生产的联动，部

分检测信号，如料位、金属检测、温度、气体压力、流量、物料或产品质量大小等，还需取自模拟板/箱；对于可实际取得的信号，如选择开关、限位、转速、行程等，均必须取自实际信号，不得再模拟给出。调试时的运行操作与工艺参数设定均必须从操作台上按正式生产运行要求给出。

②　负载联动试运行投料试生产运行调试阶段，由生产部门工艺人员和操作维护人员上岗操作，配合调试人员进行检查和调整。重点在于与产品有关的控制参数或数学模型的调整，全部自动化仪表也均应投入到整个工艺控制过程中，因此要处理好自动化仪表的接口与综合调试问题。在负载联动试运行过程中，PLC 的所有输入信号均应为真实的过程信号，原则上禁止使用模拟板。

三、直流调速装置调整试验

操作控制电路的检查、控制单元调试及故障检测元器件动作值的整定基本同一、3～5。

1. 晶闸管整流装置的调试

（1）测相序

1）测试相序使用电源同步示波器，使用示波器时，应注意以下几点：

①　被测电压大于 440V 时，示波器的交流电源要经过隔离变压器再接入，见图 5-98。

②　要经过专用分压测量头（衰减头）测量。当被测点电压过高时，应采用分压电路测量，见图 5-98。不能在被测点与示波器测量线之间串接电阻。

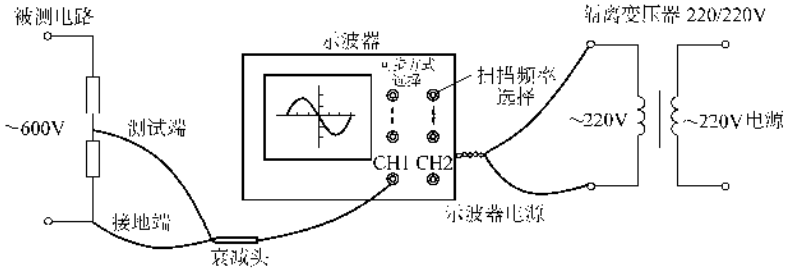


图 5-98　示波器的使用

③　测量时，示波器的外壳因有被测电压而带电，当被测电压高时，应将示波器放在绝缘物支撑的架或台上，测试人员要站在绝缘垫上，并带绝缘手套，以防触电。

④　两根测量线的极性必须正确，应用不同颜色区别开，并有足够的绝缘强度和长度。

2）测试相序的方法：

①　示波器上的触发同步选择开关转换到电源同步的位置；

②　示波器接地调零，使测试波形处于示波器屏幕的中心线上；

③　测量 A 相电压时，示波器上带正极性的测量线接三相引入线的 A 相线，带负极性者（示波器上的公共地线）接三相电源的中性点，调整扫描频率，使被测电压一个周波在 X 轴上占 6 大格（每大格约为 60°电角度）。

如果电源进线没有中性线，则可测量 A 相到 B 相之间的线电压 U_{AB}，此时正极性测量线接 A 相，负极性测量线接 B 相，如图 5-99 的实线所示，其波形调整与上述一样。

④　然后按上述方法依次测量 B 相和 C 相的波形，如果 A、B、C 三相按顺序依次滞后 120°（X 轴上两大格），则表明相序正确。同样，如果测 B 相和 C 相、C 相和 A 相之间的线电压 U_{BC} 和 U_{CA}，也应该依次滞后 120°，如图 5-99 上虚线所示。但要注意，测量线的极性必须正确。

如果测出的相序不对，则只要将三相电源线中的任意两相相互调换一次，但只能调换一次，然后再按上述方法重测一次，直至相序正确为止。

3）按上述方法测量同步变压器的三相进线电压，其相序应与图 5-98 所示波形完全一致。

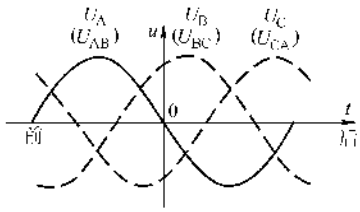


图 5-99　用示波器测相序

（2）定相及空升电压　定相就是使晶闸管的触发脉冲的起始相位与阳极电压保持在一定的相位差上。对电感电路来说，触发脉冲的起始相位处在 $\alpha = 90°$ 的位置上，在控制信号作用下，应能在约 ±90°的位置内移相。

1）主电路不要合闸，将电流环设为开环工作方式，设定开环 α 角为 90°。

2）用示波器测量晶闸管 VT1 触发脉冲的起始相位。按照前面测试相序的同样方法，用同步示波器测试 A 相到 B 相的电压 U_{AB}，要注意示波器正极性测量线接到 A 相上，并使 U_{AB} 一个周波在示波器 X 轴上占 6 大格（每一大格为 60°电角度），同时记住 U_{AB} 波形在示波器屏幕上的位置，然后将示波器的测量线接到 VT1 的触发器脉冲输出端上，从示波器屏幕上观察脉冲应出现在滞后 U_{AB} 正过零点 150°的位置上，见图 5-100，也就是离开 U_{AB} 波形的零点（从负半波走向正半波的零点）为 2.5 大格的位置。图 5-100 上表示的是双脉冲，调试时以前面的第一个脉冲（全黑的脉冲）为准。

3）按照同样方法测试 VT2 到 VT6 触发脉冲的起始相位。此时只要记住 VT1 触发脉冲的位置，以后依次观察 VT2、VT3、VT4、VT5、VT6 触发器的偏移，使其每个触发器的第一个脉冲以 VT1 的第一个脉冲为基准依次滞后 60°，从屏幕上观察，就是以 VT1 为基准依次向右相差一个大格的位置。要注意在上述的调整过程中，示波器的 X 轴位移和 X 轴增幅旋钮千万不要再去旋动，否则就看不准了。图 5-100 表示在 $\alpha=90°$时，VT1～VT6 各组触发脉冲的起始相位。

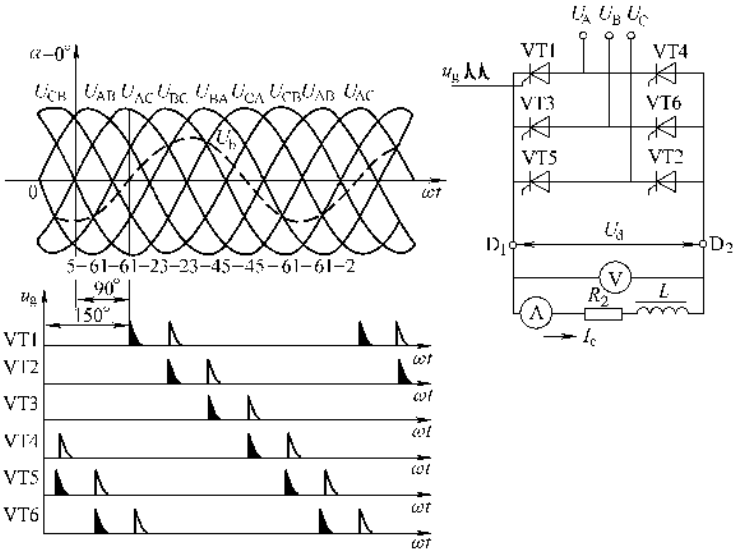


图 5-100　三相桥式电路 $\alpha=90°$时各触发脉冲的起始相位

4）减小开环 α 角的给定，观察 VT1～VT6 的脉冲应当同时向前（即在屏幕上向左）移动，同时检查最小触发延迟角 α_{min} 限制是否有效。增加开环 α 角给定，观察 VT1～VT6 的脉冲应当同时向后（即在屏幕上向右）移动，同时检查最小触发超前角 β_{min} 限制是否有效。

（3）空载整流特性测试

1）测试前须做下列检查和试验：

① 通过测量绝缘电阻，肯定主电路不接地；

② 将整流装置的输出端与电动机断开，接一个电阻或其他的电阻-电感负载，其阻值选择以保证晶闸管维持导通为原则，一般负载电流为几安即可；

③ 若整流变压器一次为高压，对高压开关和变压器应按规定做试验检查，变压器应连续空载运行规定时间，确认良好后，才能向装置送电；

④ 装置与整流变压器连接好后，应进行 5～10 次变压器一次电源通断操作，并连续通电 1～2h，考核装置承受操作过压性能，检查阻容保护和压敏元件有无异常；

⑤ 按前述方法连接示波器，若整流电压高，一定要加信号衰减电阻，信号经衰减后，输入示波器，不可直接引入；

⑥ 调整触发控制角，同时记录 α 角值和整流电压值。

2）整流特性测试方法：

① 单方向调试，将反向组封锁，慢慢地减小 α 角，当触发延迟角 $\alpha=90°$时，此时示波器上开始出现图 5-101a 所示的波形（电阻-电感负载时），电压表和电流表中开始有读数，当 $U_d=0.2\sim0.3U_{dm}$（U_{dm} 为整流输出电压的最大值）时，仔细观察示波器上 6 相脉动波形是否对称，即观察每一条波形的高度、形状以及起点和终点的位置是否都一样。

②　继续减小 α 角，观察电压表和电流表上的读数，应缓慢平稳地增大。当 $U_d = 0.5 \sim 0.7U_{dm}$ 时，再从示波器上仔细地检查各相波形是否都对称。

③　继续减小 α 角，直到 $U_d = U_{dN}$（U_{dN} 为额定电压），检查整流电压波形及装置有无异常现象。

④　将 α 角从 90°减小到 0°值，观察整流电压的波形应当缓慢平稳地从图 5-101a 所示变化到图 5-101f 所示。中间没有突跳，各相波形都对称，则表明正向组变流器的空载特性已调好。

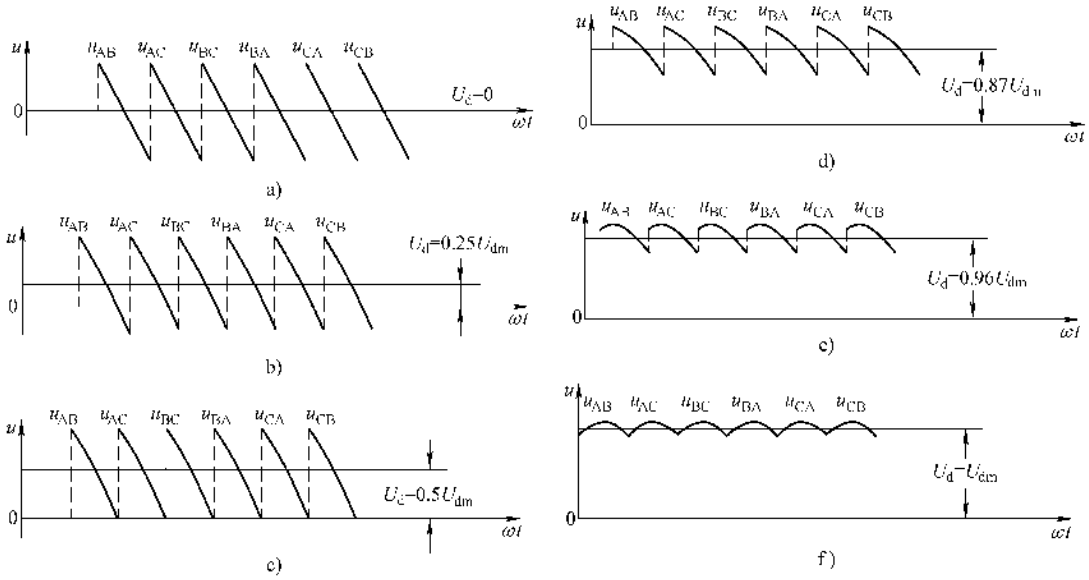


图 5-101　整定三相桥式整流电压波形

⑤　将 α 角由 90°向 180°的方向增大，此时变流器工作在逆变状态，观察不到逆变电压波形，但可以用示波器检查触发脉冲移相变化情况，随着 α 角由 90°向 180°的方向增大，各相的触发脉冲从 90°位置上逐渐向后（示波器上向右）移动。在同样的触发角给定值下，各相脉冲移动的角度应当相同，继续加大 α 角，直到脉冲移到 β_{min}。

⑥　按上述步骤和方法再调试反向组变流器，试验时，必须将正向组的触发脉冲封锁。

⑦　在正、反向两组变流器都调试好以后，切断电源电压，在主电路无电压的情况下，改变给定电压极性，再次确认在任何情况下，都只有一组变流器有脉冲，另一组变流器无脉冲，确认无误后再次接通电源，分别观察两组变流器输出的电压、电流波形和整流电压的移相变化。如果一切都正常，则表明变流器的空载特性已调好。

2. 双闭环调速系统的调试

（1）电流环调试

1）准备工作：

①　电动机电枢电路绝缘；

②　使整流装置产生很低整流电压，让电动机低速运转，观察其安装和换向、润滑情况，判断电流反馈极性，并加大反馈强度；

③　停车后，切除磁场电流，为防止大电流下电动机可能因剩磁而转动，应将电动机转子卡住，如用千斤顶或铁棍卡住；

④　进行电动机堵转下的电流环调整前，一定要开环整定好直流快速断路器和过电流继电器等电流保护能可靠动作；

⑤　注意限制电流给定值，对于反并联装置可分别调整正向和反向，将另一组脉冲封锁或将反并联电路断开；

⑥　有风机的电动机和装置要通风冷却。

2）电流闭环短路实验步骤：

①　判断操作电路和信号系统工作正常、电流反馈极性正确后，进行电流闭环短路实验；

②　切断励磁柜主交流电源和励磁柜控制电路的电源，以保证电动机励磁电流为零，并解除零励磁信号对信号系统的联锁作用；

③　将系统设定为电流环工作方式；

④　合高压开关给整流变压器送电，整流电路电压表指示较小虚电压；

⑤　在运转控制器封锁系统的状态下，合直流快速断路器；

⑥ 在给定积分器加一给定信号，解除运转控制器对系统的封锁作用后即可做电流环的短路实验；

⑦ 在实验中断或完成后，一定要清除给定信号，使运转控制器封锁系统，然后再进行其他操作。在进行电流闭环实验时，要注意电抗器、整流柜和电动机的冷却风机，以防损坏设备。

3）调整内容：

① 根据电动机正常工作过载倍数确定电流反馈系数；

② 整定无环流零电流动作值：零电流动作电平的高低，关系到系统的可靠性，一定要慎重，决不允许零电流检测器在电流连续或临界点出现翻转。现在中小功率的数字系统是由几个参数来调整的，一般出厂值不需要调整。大功率的数字系统中，仍设有电平比较电路，需要调整。

整定方法如下：将电流给定值减小，用同步示波器观察电流实际值的波形；当图 5-102 所示的电流波形断续约有 14°电角度时，调整零电流检测电平，使零电流信号的输出波形如图 5-102b 所示，其低电平约有 28°的电角度。

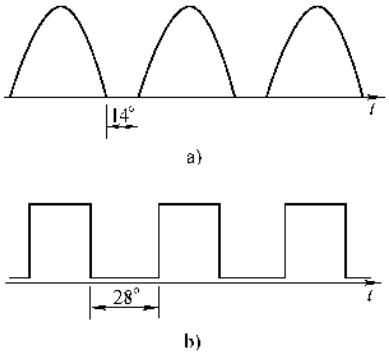


图 5-102 电流断续时电流检测波形

a）电流波形 b）零电流信号的输出波形

③ 特性调试。通过改变电流调节器的比例积分参数和电流微分反馈作用，在电动机电流变化率允许的条件下，使过渡过程指标（电流起调时间、超调量、振荡次数）满足系统设计要求。无规定时，可按电流起调时间为 8～20ms、超调量小于 6%、振荡次数不大于 1 来考虑。应尽可能加快电流响应过程，只有这样，才有可能提高速度外环的快速性。

如过渡过程波形中出现平顶段，则应减小阶跃给定量后重新测试。图 5-103 为突加给定时的电流波形。图 5-104 为电枢电流正反向切换的动态过程。

④ 电流断续自适应系统的调整。电枢电流断续区的调整，先初始设定稳定电流波形是断续的，再给

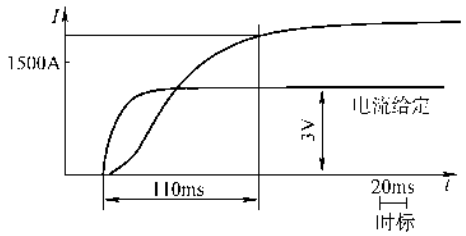


图 5-103 突加给定电流波形

出阶跃给定信号（稳定电流仍是断续的），测定过渡过程波形，调整与断续自适应相对应的参数，使之和前述的电流连续时的动态指标相近。

⑤ 提高测量精度的措施和方法。利用系统输出通道的数值处理功能，将被测量的基值消去，只将阶跃变动分量的波形记录下来，以获得高精度的测量结果。

对于多组桥并联装置，还应测试各桥动静态均流情况，可在开环并短接电枢绕组下进行。

（2）速度环调试

1）粗调：调试前要满足通风冷却、润滑、超速离心保护投入等条件，同时将电动机和机械间联轴器脱开为佳。

① 检查与电动机有关的操作联锁和保护动作是否正常，尤其是超速、欠励磁保护等；

② 将速度反馈信号断开，使电动机先开环在低速旋转，检查电动机和测速编码盘安装情况与输出电压波形，同时检查速度反馈信号极性，速度反馈信号极性正确以后，才能将速度反馈信号接上；

③ 预先将速度调节器整定在一组稳定裕量较大的参数，速度微分暂不加入；

④ 将速度环开环，若系统振荡，应改变速度调节器参数，使系统稳定，然后慢慢地增大速度给定信号，并在较低的转速下，校准系统设计的速度反馈系数；

⑤ 将速度给定信号、速度实际值信号、电动机电枢端电压、电流反馈信号等分别接到示波器上，摄取速度闭环以后低速下正、反向起动时的波形变化，分析系统的工作是否正常。

2）精调：调试时，速度给定信号采用小阶跃信号，系统各环节都不饱和，即工作在线性区域，若系统中有给定积分器，则此时应绕过给定积分器，使阶跃信号直接加在速度调节器的输入端。调试开始时，先检查速度调节器的各环节参数是否与设计值相符，然后适当改变一点参数，如调节比例系数、积分时间、微分反馈的强度等，直到获得较满意的过渡过

程。动态特性指标无规定时，按起调时间为 100 ~ 200ms、超调量小于 5%、振荡次数不大于 1 考虑。过渡过程可用光线示波器拍摄，也可用长余辉示波器观察。

图 5-105 为加小阶跃给定信号时，速度的几种不同的过渡过程。其中，图 5-105a 表示响应过慢，速度无超调。图 5-105b 表示速度几乎无超调，过渡过程平稳，类似中频区展宽的三阶预期系统，适应于要求电动机跟随速度给定值频繁变速和可逆运转的系统。图 5-105c 表示转速有一定的超调，但响应较快，电流上升快，类似三阶预期系统中中频段偏窄的情况，适用于那些有突加负载而又要求转速波动不大的系统。图 5-105d 表示转速的稳定性较差，类似三阶预期系统中中频段过窄的情况，系统不能运行，需要重新调试。

在上述的动态品质满足要求后，应观察或记录电动机转速从零→正向高速→反向高速→零过渡过程波形。

采用弱磁调速的系统，还应先确定在几个不同的弱磁点上，测试系统的阶跃响应过程。

在完成精调后，应测试速度系统闭环特性数据，见表 5-93。还应用光线示波器记录系统的阶跃响应波形。图 5-106 为带钢热连轧机主传动系统的阶跃响应，超调量为 15%。

（3）带负载工作精调

1）转动惯量测定：将电动机和机械设备间的联接轴连接好，盘车检查后，将速度调节器输出限幅定为与电动机额定电流相同的值。给出速度给定信号，使电动机以额定电流由 0 加速到 80% 额定转速，在示波器上记录并量取电流稳定段的转速变化幅度和经历时间，按下式可计算出时间常数 T，供系统最佳化调试参考：

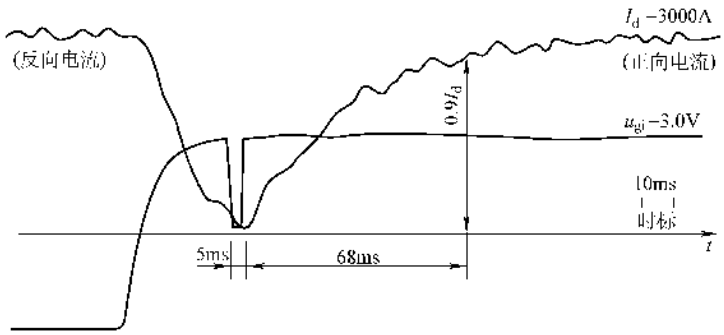


图 5-104　电枢电流正反向切换的动态过程

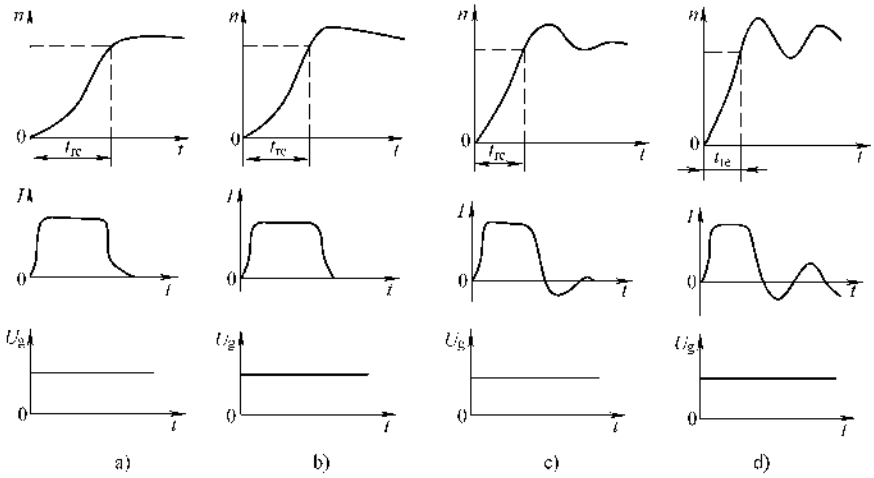


图 5-105　调速系统阶跃响应（对给定）

表 5-93 调速系统静特性（实例）

U_g/V	0.4	1.0	1.5	2.1	3.1	3.95	5.0	5.9	7.0	8.0
U_M/V	100	185	280	410	623	628	631	634	637	639
i_L/A	42.6	42.6	42.6	42.6	42.5	24.2	18	14.5	12.3	10.6
n/(r/min)	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800

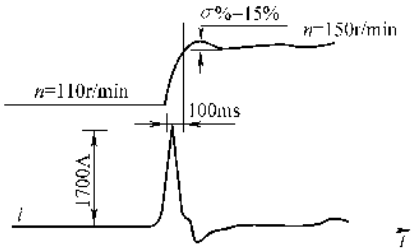


图 5-106 1000kW 带钢热连轧主传动系统对给定阶跃响应

$$T_e = C_m \Phi I_e = \frac{GD^2}{375} dn/dt \qquad (5\text{-}54)$$

式中 T_e——额定励磁条件下的额定电磁转矩。

式中，忽略了摩擦等阻力。由上式可知时间常数 T 为

$$T = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{1}{C_m \Phi} = I_e \Delta t / \Delta n \qquad (5\text{-}55)$$

2）阶跃响应动态参数调整：在 80% 左右恒定转速情况下，给出转速阶跃变化的给定信号，对速度闭环动态响应进行检查和调整，使起调时间、超调量、振荡次数均达到指标要求。

3）模拟动态过程的检查：在特殊要求场合（设计或工艺对负载扰动时传动特性有明确规定时），可做模拟扰动试验，电动机运行于额定转速的 80% 左右，人为强制与电枢并联的能耗制动电阻投入，示波记录转速动态速降及恢复到原设定速度所需的恢复时间。调整速度闭环控制中的参数，使之满足指标要求。应注意的是：扰动特性应和阶跃响应特性配合调整，兼顾两种特性的要求；能耗制动电阻投入运行的时间要短，一般控制在 1～2s 内即将它脱开，以防过热烧损制动电阻，电阻退出时转速有一个突升再恢复的过程，该特性（动态升速和恢复时间）亦应满足指标要求。

无负载联动试车后，要进行带负载试车。如，带钢热连轧机，应把调轧机主传动系统动态特性与起落动作结合起来，避免咬钢时，堆钢叠轧或拉钢断带等事故。应记录各种调整运行数据，拍摄示波照相波形，并写出调整总结报告，资料归档，以供今后维修使用。

3. 非独立弱磁控制的直流调速系统

图 5-107 中，电枢电压控制部分与前述恒定励磁直流调速系统除串联了由除法器构成的自适应环节外，均为典型的非独立弱磁速度、电流双闭环控制系统。

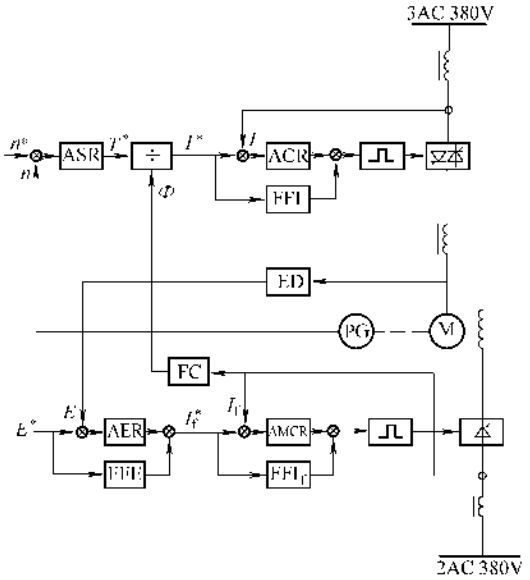


图 5-107 非独立弱磁控制的直流调速系统框图

ASR—速度调节器 ACR—电枢电流调节器 AER—电动机电动势调节器 AMCR—励磁电流调节器 FFI—电枢电流前馈（预控） ED—电动机电动势检测 FC—电动机励磁特性 FFI_f—励磁电流前馈预控 FFE—电动机电动势前馈（预控）

（1）电动势运算及电动势调节器 电动势调节器将弱磁起始点电动势与实际电动势信号作比较，当电动机运行于基速以下时，电枢电动势信号小于弱磁起始点设定，电动势调节器饱和，输出额定磁通信号，经磁化特性变换为励磁电流给定信号，完成励磁电流闭环控制。当电动机运行超过基速时，电动势调节器退出饱和，输出弱磁信号，使总的励磁电流给定值减小，实现弱磁升速控制。弱磁起始点一般为电动机额定电动势的 90%～95%，有些系统中不设弱磁起始点计算，可以以此为原则直接设定。

（2）磁化特性曲线 磁化特性曲线部分为一函数发生器，先在坐标纸上描绘电动机的励磁特性曲线，横坐标为额定转速的百分数，纵坐标为额定励磁电流

的百分数。将该曲线参数输入系统。有的系统，比如西门子公司的 6RA70 系列全数字调速装置，提供励磁特性曲线的自动测试功能。

（3）电流环调试

1）投入励磁整流器交流电源，开环给定触发延迟角 α，确认励磁电流能稳定在小于额定励磁电流的数值上。检查励磁电流反馈信号正确后，闭环给定励磁电流，使励磁电流上升到额定励磁（满磁）电流值，且电压符合设计规定值。

2）整定和校验欠励磁和过励磁保护。可调节整流器触发控制单元中的 β_{min} 限幅来保证最小励磁电流为规定的限幅值。

3）在励磁电流调节器输入端加入阶跃给定信号，用与电枢电路调试一样的方法，测定励磁电流动态响应特性，做出最佳化调整。

（4）系统综合调试　系统综合调试的方法和步骤基本同“2. 双闭环调速系统的调试”。注意的是要在基速以下和基速以上不同弱磁工作点（通常取两点）多次进行试验和调整，以取得整个运行区间均有良好的动态特性。一般情况下，先做满磁运行（基速以下）的调试，速度调节器参数得以基本确定。接着做弱磁运行调试时，主要对励磁控制部分的电流调节器参数进行调整，使弱磁运行阶段的动态指标满足设计要求。必要时，可兼顾基速以下和基速以上两种情况，对速度调节器参数做出修正。

4. 调试中的异常现象

（1）逆变时颠覆　在制动过程中，电动机工作在发电状态，变流器逆变。如果晶闸管换相失败，就会发生短路故障。引起换相失败的原因有：

1）晶闸管失去阻断能力。

2）脉冲变压器绝缘损坏。

3）晶闸管误导通：产生误导通的原因有 du/dt 过高、触发脉冲电路受静电感应产生高频干扰脉冲、晶闸管门极电路受到相邻电路的电磁干扰，如由于流过主电流而受到电磁感应；脉冲变压器靠近主电路时，因安装角度和变压器的结构不同而易受电磁感应；脉冲变压器绕组之间的静电电容耦合而产生干扰。

4）晶闸管不导通：该导通的晶闸管不导通或已导通的晶闸管不能关断。原因有：晶闸管质量不良；触发脉冲功率或幅值不够；当几台变流装置同时共用一个交流电源时，由于其他变流装置换相时的重叠角而引起阳极电压产生缺口，如果换相点正好在此缺口处，则晶闸管不能导通；此外在小电流时，也可能因其他变流装置换相时引起电压畸变而使晶闸管不能导通，预防的方法是可以按图 5-108 所示加交流进线电抗器 $L_1 \sim L_3$ 和 RC 电路。

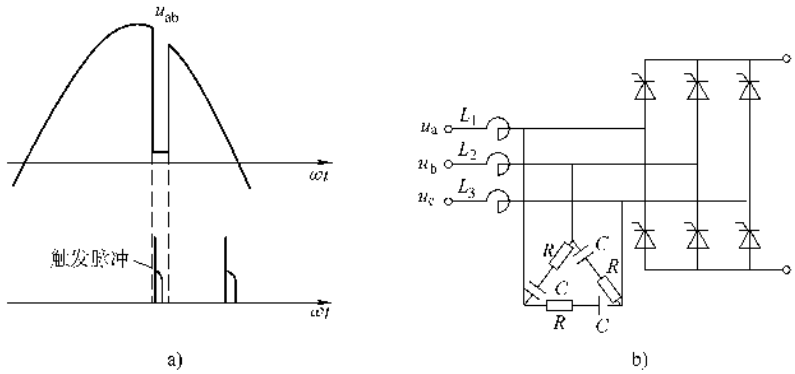


图 5-108　整流电源电压缺口的改善措施

5）最小触发超前角 β_{min} 整定得过小，由于负载电流过大，晶闸管关断时间过长而使所需的 β'_{min} 大于设置的 β_{min}。

6）供电电源电压过低、瞬时停电、断相或三相严重不平衡。

7）触发器电源不正常。如整流电源交流断相、电压过低或断电、相间不平衡、波形畸变等。

（2）整流特性有突跳　当直流侧电感大时，容易发生这种现象，为此可在直流侧并联电阻、电容回路。

（3）接地电流　当晶闸管导通时，会通过电缆和电动机的对地分布电容而流过高频接地电流，此电流可能使接地保护继电器产生误动作。消除的方法是在继电器线圈两端加高频滤波器。

（4）系统振荡

1）测速发电机与直流电动机安装偏心，测速发

电机质量不佳，如电刷接触不良等。

2）系统动态参数未调好，如中频段过窄或内外环参数未配合好。

3）调节对象参数变化，如在弱磁后电动机积分时间常数发生变化，使系统发生振荡，要适当改变速度调节器参数等。

4）电枢回路电流严重断续，容易使系统在空载时发生振荡，这时应适当加大主电路滤波电抗器，改善断续状态，或加入电流断续自适应调节；否则只有改变速度调节器参数，降低系统指标，适当提高无环流逻辑切换单元的零电流动作值也有一定效果。图 5-109 为空载时，由于零电流动作值偏小而产生的振荡波形。

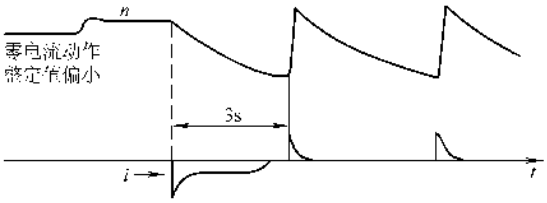


图 5-109　调速系统振荡时示波图（例）

5）引起振荡的另一个主要原因是由于电动机与生产机械或位置检测器与生产机械的联轴器或齿轮之间存在较大间隙，或由于外环调节器漂移引起，应予消除。

6）由于机械传动轴系有一固定弹性振荡频率，若转速闭环系统响应频率过高，两者会产生共振，使系统振荡。为此，应适当压低速度闭环系统的响应频率或改善机械传动轴系的连接方式。

（5）虚焊点或接插件接触不良导致的突发故障　此类故障往往由于生产机械振动大而异常，停机后查找较困难，应提高产品质量。

5. 通用装置的调试

下面就以西门子 6RA70 系列全数字直流调速装置为例说明这种装置的调试要点。图 5-110 是该系统各主要调节部分的一个简图。

（1）装置参数确定　6RA70 系列装置设计有标定该装置额定输出的各项参数，例如 P076.001 代表该装置的额定电枢电流，P076.002 代表该装置的额定励磁电流等，而且可以做细微调整。调试前，应首先检查装置的型号是否与设计一致，能否满足电动机工作制的要求，并做相应的调整。

（2）电动机参数设定　与负载电动机相关的信息在 6RA70 系列装置中都设有对应的参数。这些参数提供了装置与负载之间的对应关系，是必须设定的。例如电动机电枢额定电流 P100、电动机电枢额定电压 P101、电动机励磁额定电流 P102 等。

（3）系统结构参数及保护参数设定　6RA70 系列装置是通用化的数字装置，调试工程师可以根据不同的工艺和系统要求做结构调整。这种结构的修改和重建都是使用一系列参数实现的。例如 P433 选择给定源、P083 选择速度实际值源、P084 可以选择系统工作模式等。

系统能正常工作离不开一系列的保护设定，像正负电流限幅（P171、P172），最小触发角限制 α_{min}（P150）、β_{min}（P151），超速动作值（P380、P381）等，都需要提前设定好。

（4）励磁回路控制方式选择及调整　6RA70 系列装置中的励磁回路控制有几种方式可供选择（P082）。如果选择了 P082 = 2，就表示该 6RA70 系列装置带有励磁控制功能，而且带有停机励磁控制，可以使用 P257（停机励磁电流设定）预先调整电动机的励磁回路。如果又选择了 P081 = 1 就表示该 6RA70 系列装置带有弱磁控制功能，其弱磁方式是维持 EMF 恒定。弱磁点 = P101 − P100 × P110，其中 P101 表示电动机额定电压，P100 表示电动机额定电流和 P110 表示电动机电枢电路的总电阻。

（5）电流环调整、速度环调整、弱磁调整　可以使用装置的自动优化功能来进行调整。手动调整可参见上述 2. 和 4. 的有关内容。

6. 模块式装置的调试

典型的模块式装置，其最大的改变就是所有的控制功能都是以软件组态的方式，通过特定的硬件完成的。系统中的应用软件可以提前在出厂前编好，并通过模拟测试检验其正确性。系统中相关的时间延时、调节器参数、逻辑关系、保护整定值等可以随时修改。这些都为现场调试提供了便利。上述 2. ~4. 适用于模拟和数字系统的调试。

现代调速装置已不再只满足于完成简单的双闭环控制功能。实际上已成为一个多处理器系统，不仅可以自带远程输入输出站，完成复杂的逻辑控制，而且还可与上级自动化系统组成多级控制系统，完成更复杂的工艺要求以及实现更智能化、更模拟人性化的监控功能，这样其相应的组网功能是非常强大的，在现场调试中则有相当部分的工作是与其他设备的通信调试工作，要提前约定双方通信的协议方式和数据量的大小，节省现场调试时间。

四、交流调速装置的调试

1. 通用变频装置

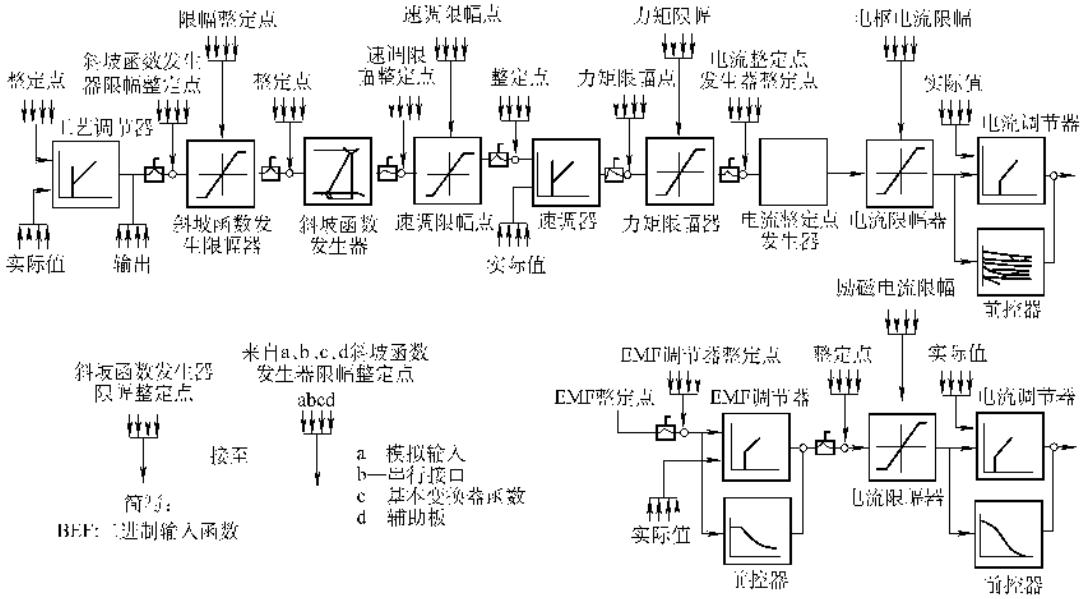


图 5-110　6RA70 系列全数字调速系统简图

（1）变频器的安装及其电磁兼容性（EMC）

变频器长期可靠稳定运行的必要条件就是确保变频器的运行环境满足其所规定的要求，变频器的电缆布局和安装应遵循以下原则：

1）信号电缆线和电源电缆线敷线时尽最大可能离得远一些，如果不可能使电缆保持适当的距离，则必须使用屏蔽良好的屏蔽电缆和接地良好的电缆管道（用金属制成）。

2）在控制柜内的所有电缆都应该尽量贴近金属外壳部件，例如控制柜面板、安装板、横梁、金属导轨，干扰就可以被耦合掉（天线效应）。

（2）将 EMC 影响减为最小的措施

1）确保传动柜中的所有设备接地良好，使用短和粗的接地线连接到公共接地点或接地母排上。特别重要的是，连接到变频器上的任何控制设备（比如一台 PLC）均要与其共地，同样也要使用短和粗的导线接地。最好采用扁平导体（例如金属网），因其在高频时阻抗较低。电动机电缆的地线应直接连接到相应变频器的接地端子（PE）上。

2）安装变频器时，应使用无漆镀锌钢板，以确保变频器的散热器和安装板之间有良好的电气连接。

3）为抑制电磁波的辐射和传导，变频器的电动机电缆必须采用屏蔽电缆，屏蔽层的电导必须至少为每相线芯电导的 1/10。

4）控制电缆使用屏蔽电缆。控制电缆的屏蔽层应直接在变频器的内部接地，另一侧通过一个高频小电容（例如 33μF/3000V）接地。当屏蔽层两端的差模电压不高和连接到同一地线上时，也可以将屏蔽层两端直接接地。信号线和它的返回线绞合在一起，能减少感性耦合引起的干扰。绞合越靠近端子越好。模拟信号的传输线应使用双屏蔽的双绞线。不同的模拟信号线应该独立走线，有各自的屏蔽层，以减少线间的耦合。不要把不同的模拟信号置于同一个公共返回线。低压数字信号线最好使用双屏蔽的双绞线，也可以使用单屏蔽的双绞线。

5）电动机的电缆应独立于其他电缆走线，其最小距离为 500mm。同时应避免电动机电缆与其他电缆长距离平行走线，这样才能减少变频器输出电压快速变化而产生的电磁干扰。如果控制电缆和电源电缆交叉，应按 90°角交叉。同时必须用合适的夹子将电动机电缆和控制电缆的屏蔽层固定到安装板上。

6）变频器运行在一个对噪声敏感的环境中，可以采用射频干扰（RFI）滤波器减小来自变频器的传导和辐射干扰。同时为达到最优的效果，应确保 RFI 滤波器与安装板之间有良好的接触。

7）进线电抗器串接在电源和变频器功率输入端之间。如使用了 RFI 滤波器，则 RFI 滤波器应串接在进线电抗器和变频器之间。

8）交流接触器线圈并联 *RC* 抑制器、直流接触并联压敏电阻抑制器。

9）设计控制柜柜体时要注意 EMC 的区域原则，把不同的设备规划在不同的区域中。每个区域对噪声发射和抗扰度有不同的要求。区域在空间上最好用金属壳或在柜体内用接地隔板隔离。

2. 变频调速器的调试

（1）通电前检查

1）确认环境温度、湿度、振动是否达标；表面有无灰尘、水滴等；周围有没有放置工具等异物。

2）主电路、控制电路电压等级是否与设计相符。

3）螺栓等紧固件是否有松动或脱落，机器、绝缘体有无变形、裂纹、破损的现象，导体、电线、接线端子有无偏斜，电线外皮是否破损。

4）滤波电容、制动电阻有无漏液、变色、裂纹、外壳膨胀，是否有显著膨胀或其他明显变形。

5）变压器、电抗器有无异常的响声或怪味。

6）电磁接触器、继电器工作时有无振动或噪声，触头有无虚接。

7）冷却风扇通风道有无异常声音或异常振动，进排气口是否堵塞或附有异物。

（2）参数设置　利用操作面板对变频器进行操作和设置参数。

1）装置进线电压；

2）选择电动机类型（异步电动机/同步电动机）；

3）选择开/闭环控制类型；

4）电动机额定电压；

5）电动机额定电流（成组传动应该设所有电动机电流之和）；

6）电动机额定效率；

7）电动机额定频率；

8）电动机额定转速值；

9）电动机极对数；

10）控制系统的工艺限制条件，比如从 0Hz 升高到电动机额定频率的加速时间、从电动机额定频率减速到 0Hz 的减速时间等。

电动机热保护、自动再起动、U_{dmax}闭环控制、直流制动功能等参数设置时一定要认真阅读变频器的说明书，做到心中有数。一旦发生故障，就能及时找到故障的原因，修改相应的参数，使变频器正常运行。

（3）故障诊断　通用型变频器的可靠性很好，并具有多种保护功能。其中，液晶显示的数字操作面板，不但可以给出变频器发生故障的种类符号，而且可以给出故障发生的顺序，记忆故障的历史，可以十分方便地根据操作面板给出的信息分析变频器产生的故障，而且在故障表中还能查找故障可能的原因和解决措施。

（4）注意事项

1）在选择变频器时，应考虑变频器的过载能力与变频器的工作制、控制方式以及变频器的安装高度和环境的关系。

2）接地。变频器正确接地是提高控制系统灵敏度、抑制噪声能力的重要手段。变频器接地端子 PE 接地电阻越小越好，接地导线截面积应不小于 $2mm^2$，长度应控制在 20m 以内。变频器的接地必须与动力设备接地点分开，不能共地。信号输入线的屏蔽层，应接至变频器 PE 上，其另一端绝不能接地，否则会引起信号变化波动，使系统振荡不止。变频器与控制柜的 PE 之间应电气连通，如果实际安装有困难，可利用铜芯导线跨接。

3）用带有电动机 I^2t 监视器的变频器软件为电动机提供保护时，需考虑电动机当时的转速，这种检测不可能 100% 准确，因为电动机温度仅是计算值而并非测出来的，而且周围温度也没考虑在内。

4）维护。变频器试运行过程中，可以从设备外部目视检查运行状况有无异常，巡检时可以通过操作面板查阅变频器的运行参数，如输出电压、输出电流、输出转矩、电动机转速等，掌握变频器日常运行值的范围，以便及时发现变频器及电动机中存在的问题。

3. 交-交变频装置的调试

（1）调试内容

1）资料准备及接线检查；

2）开关柜本体调试；

3）变压器及电动机本体试验；

4）送电前模拟试验及检查；

5）变频器本体调试；

6）变频器带电动机空载调试；

7）变频器、电动机带负载调试。

（2）系统框图简介

1）SIEMENS 全数字交-交变频系统框图：采用 SIEMENS 全数字交-交变频系统，主电路为公共交流母线进线方式，电动机的三相定子绕组采用开口星形联结，每相单独导通，仅采用 1 台双绕组变压器，未采用偏置技术。其原理框图见图 5-111。

2）全数字矢量控制模块图：图 5-112 给出了全数字矢量控制模块图。这些模块都在矢量变换控制的程序包（TVC）中，它们具有不同的功能。

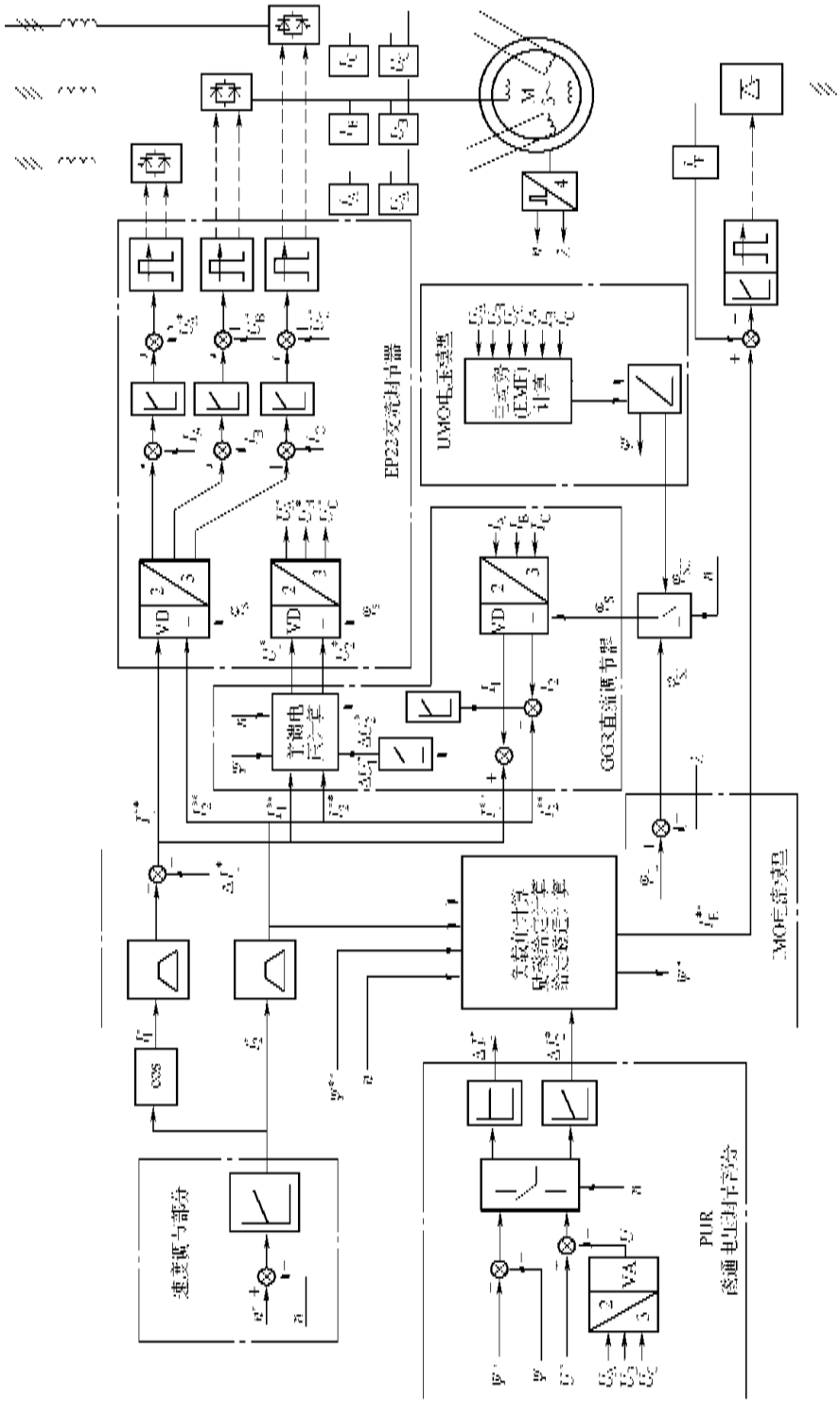


图 5-111　SIEMENS 公司用于轧机主传动的同步电动机全数字矢量控制系统原理框图

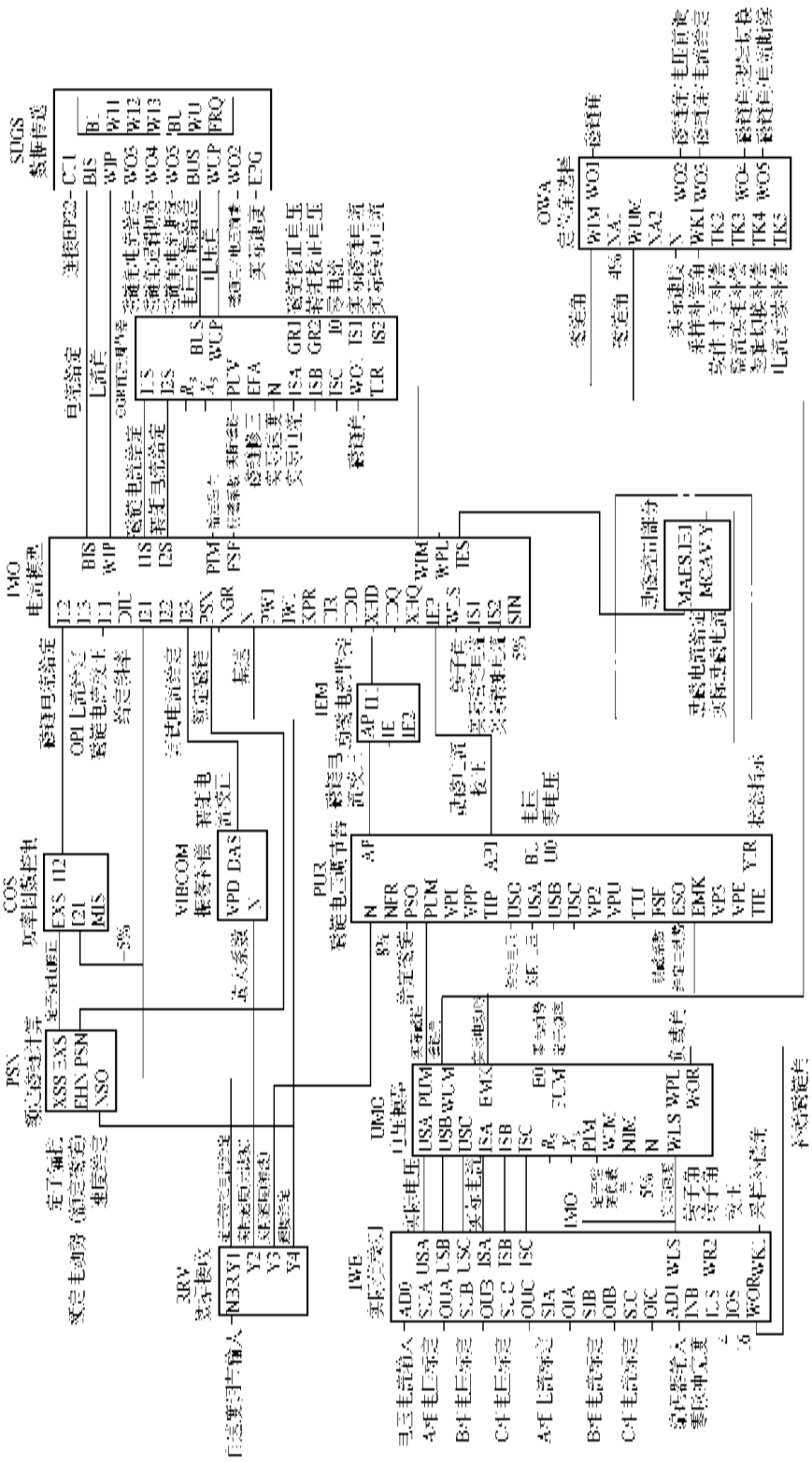


图 5-112 SIEMENS 用于轧机主传动系统的同步电动机全数字矢量控制模块图

① 实际值检测模块（IWE）。其主要功能是将实测的电压、电流及速度信号引入矢量控制模型。

以 A 相电流为例，为获得准确的电流信号 I_{SA}，首先在静态方式下进行电流标定。借助一个外加的电流源信号，通过自动标定程序，可以确定 A 相电流的比例系数 SIA 和偏移系数 OIA（它们代表输入输出特性的一条直线的斜率和截距），由此可确保 I_{SA} 准确等于输入电流。三相电流分别标定正确后，在动态方式下，引自晶闸管主电路的三相电流信号经过适当的变换后，在 ADO 端输入，在 ISA、ISB 和 ISC 端输出。同样，引自晶闸管主电路的三相电压信号也在 ADO 端输入，在 USA、USB 和 USC 端输出。

在电动机非传动侧安装的编码器带有相位差为 90°的 2 个脉冲通道和 1 个标志脉冲，每转输出 1024 个脉冲，经软件转换后，可得到以 4096 个脉冲表示的转子角位置信号。在电动机运转状态下，这个转子角信号在 AD1 端输入，在 WLS 端输出。在电动机未转动状态下，为确定初始转子角，在 WOR 端引入了由电压模型计算得到的初始磁通角。在初始状态下，在电动机建立励磁电流的过程中，定子绕组感应出三相电压，经电压模型积分运算可计算初始磁通角。由于此状态下的定子电流为零、负载角等于零，故初始转子角等于该初始磁通角。

② 电压模型（UMO）。其主要功能是计算实际磁通 PUM 和磁通角 WUM。

电动机位于高速段时，根据三相电压和电流的实际值，以及定子电阻 R_s 和加阻尼定子漏抗 X_s，由电动势方程可以分别计算出三相电动势值。在此基础上，通过积分运算，得到磁通。最终，电压模型计算出磁通的幅值（PUM）、位置角（WUM）及定子旋转频率（FUM）。

在电动机进入低速段（$n<5\%$）时，为避免由定子电阻引起的较大误差，电压模型的实际磁通直接采用自电流模型输入的给定磁通（PUM = PIM = IMO. PIM），而磁通角等于实际转子角与电流模型计算的负载角的和（WUM = WIM = IWE. WLS + IMO. WPL）。

③ 磁通电压调节器（PUR）。其主要功能是对同步电动机磁通进行闭环调节，并满足弱磁控制的要求：在基速以下，保持磁通恒定，电动机恒转矩调速；在基速以上，保持电压恒定，磁通按比例减小，电动机恒功率调速。具体实施方案是在电动机转速 $n>8\%$（此时，电压模型已有足够的精度）后，分别计算出定子电流磁通分量的校正值 AP 和励磁电流给定值的校正分量 API，向电流模型输出 AP 和 API，对电动机磁化电流的两个分量进行校正。

磁通电压调节器包括一个比例调节器（输出 AP）和一个比例积分调节器（输出 API）。在基速以下，磁通电压调节器工作在磁通闭环模式下，对给定磁通和实际磁通的差值进行调节，其比例调节器的放大系数为 VP1，比例积分调节器的放大系数和时间常数分别为 VPP 和 TIP。在基速以上，磁通电压调节器工作在电压闭环模式下，对给定电压和实际电压的差值进行调节（调节器的参数切换为 VP2、VPU 和 TIU），同时，由电流模型输出的给定磁通也按比例减小。在调速的动态过程中，两个调节器同时输出对定子电流磁通分量和励磁电流给定值的校正分量，对磁通进行快速调节（以 AP 为主）。在稳态时，则由比例积分调节器实现磁通的无静差调节。

④ 电流模型（IMO）。其主要功能包括：输出定子电流在直角坐标系下的磁通分量（磁通电流给定 I_{1S}）和转矩分量（转矩电流给定 I_{2S}），以及在极坐标系下的幅值（电流给定 BIS）和相角（电流角 WIP）；输出同步电动机的给定磁通（PIM）；输出用于电动机励磁控制的励磁电流给定（I_{ES}）；输出用于矢量回转变换的磁通角（WIM）。

在电流模型中，定子电流给定部分综合考虑了多项给定值的影响。在工作状态下，磁通电流给定值（I_{12}）按最佳功率因数的要求来确定；转矩电流给定值（I_{23}）直接由速度调节器的输出确定。在调试状态下，磁通电流给定值（I_{13}）由机旁操作箱 OP1 的按键输入确定，转矩电流给定值（I_{22}）由应用软件的设定值确定。在模型中还设置了给定积分器，给定值的变化斜率由 DIU 确定。此外，定子电流给定的 2 个分量都分别附加了磁通电流校正值（I_{11}）和转矩电流校正值（I_{23}）。这些多项给定值的综合结果为 I_{1S} 和 I_{2S}，再经过直角坐标和极坐标的变换，可以得到 BIS 和 WIP。

同步电动机的给定磁通（PIM）按弱磁控制规律确定：在基速以下，给定磁通等于额定磁通；在基速以上，给定磁通按速度的反比关系减小。

电流模型计算励磁电流给定值（I_{ES}）和负载角（WPL 为转子坐标系到磁通坐标系的夹角）的方法与模拟系统的算法基本一致。电流模型的 PW1 和 IW1 分别表示反磁化曲线上第一点的磁通和电流（共取 3 点）；KPR 和 TIR 为比例积分调节器的放大系数和时间常数；TDD、XHD 和 TDQ、XHQ 分别为 D 轴和 Q 轴的阻尼时间常数和饱和电抗；IEP 为励磁电流校正值。

在计算出负载角 WPL 后，将它与实际值检测模

块输出的转子角 WLS 相加，就得到了电流模型输出的磁通角 WIM。

⑤ 直流调节器（GGR）。其主要功能是输出用于电压前馈补偿的定子电压给定值，在极坐标下表示为电压前馈给定（BUS）和电压角（WUP）。

直流调节器计算定子电压给定值的方法与模拟系统的算法基本一致，详见使用说明书。其中，R_s 为定子电阻，X_s 为加阻尼定子漏抗。数字系统中采用了比例积分调节器，其放大系数和时间常数分别为 K_p 和 T_{IR}，其中，T_{IR}的实际取值比较大（约 200ms）。在磁通电流和转矩电流的给定值，以及给定值与实际值的误差均大于设定值的条件下（SSK = 5%，SSI = 1%），直流调节器投入工作，并以极坐标形式输出电压前馈给定和电压角。

⑥ 定位角选择模块（OWA）。其主要功能为按速度值大小，选择用于矢量回转变换的磁通角，实现电流模型与电压模型之间的平滑过渡，同时考虑各种补偿因素，输出三相电流控制所需要的实际磁通角。

选择磁通角 WO1 的依据为：实际速度 <4% 时，取电流模型的磁通角；实际速度 >8% 时，切换为电压模型的磁通角。在 WO1 的基础上，统一考虑对实际值采样和软件计算时间的补偿后（WK1、TK2），向 EP22 输出的实际磁通角为 WO2 ~ WO5。其中 WO2 为附加对整流换相的补偿（TK3），用于对电压前馈给定的变换；WO3 为无其他附加补偿，用于正常状态下对电流给定的变换；WO4 为附加对两组整流桥逻辑切换的补偿（TK4），用于切换状态下对电流给定的变换；WO5 为附加对电流断续的补偿（TK5），用于断续状态下对电流给定的变换。

⑦ 闭环数据传送模块（SUGS）。其主要功能是接收来自电流模型的电流给定（BIS，WIP），来自直流调节器的电压前馈给定（BUS，WUP），以及来自定位角选择模块的实际磁通角（WO2 ~ WO5），并将它们传送到交流调节器 EP22 模板内（EP22 是西门子公司专为交-交变频控制系统开发的专用控制板），用于实施坐标反变换和三相交流电流调节。

⑧ 功率因数控制模块（COS）。其主要功能是用于计算定子电流磁通分量的给定值，主要输入参数包括：定子电流转矩分量的给定值、定子漏抗及其修正系数、系统的弱磁系数和最小磁通电流（MIS = -5%），以及理想的外功率因数角。由于最小磁通电流设定为 -5%，在无负载及稳定运转时，定子电流的磁通分量保持为 -5%，转矩分量为零，电动机的空载电流较大（约为 9%）。但在轧制及加速过程中，定子电流的磁通分量减为零，定子电路输出全部为转矩电流。

⑨ 励磁电流监控模块（IEM）。其主要功能是用于保证在主传动快速和强烈的负载变化条件下，励磁电流不会由于定子回路的去磁反应而减为零。在出现实际励磁电流小于设定值（IE1 = 2%）的情况时，磁通电压调节器将被禁止工作。只有在实际励磁电流大于设定值的范围内，磁通电流校正值 AP 才被传送到电流模型。

⑩ 数据接收模块（RRV）及速度调节部分。数据接收模块（RRV），主要功能是由它将定子电流转矩分量的给定值，以及速度的给定值和实际值传送到相关模块中去。

速度调节部分主要包括：速度给定选择、给定积分器、实际速度输入、速度调节器、数据传送等。主传动的速度给定在工作状态下由轧机主控制器根据轧制要求来确定；在需要轧机停止时，速度给定由定位控制部分自动确定，将工作辊准确停在预定的角度位置上；在点动状态下，速度给定由操作台的按钮指令确定，按照一个预定的速度向前或向后点动；在调试时，速度给定由 OP1 确定。速度给定值经综合后送到给定积分器，对加速度和减速度分别做一定的限制，最后送到速度调节器。电动机的实际速度信号来自速度编码器的输出，它是以每转 1024 个脉冲表示的速度信号，经软件转换后，直接送到速度调节器。

速度调节器是一个比例积分调节器，带速度自适应、电流限幅自调节、动态转矩补偿等功能。

速度调节部分需要向矢量控制模型传送的数据最终汇总到数据传送模块，由它集中传递到矢量控制部分的数据接收模块（RRV）。

除上述主要模块外，还包括交流调节器接口模块（SEND1），用于向 EP22 传送系统数据和控制数据；开环数据生成及传送模块（DSGS），用于完成系统调试状态下的数据生成及向 EP22 传送数据的功能；电动机数据模块（DPD），用于输入同步电动机及其编码器的基本数据，并将它们输出到矢量控制软件包中的相关模块中。

（3）调试步骤

1）系统中高低压电气设备，如变压器、电动机、电力电缆以及各种保护、控制元器件的测试调整等，应按前述各节的方法进行。

2）变频系统的一般检查：

① 检测 I/O 开关量和模拟量信号及 PT100 温度检测装置信号。

② 对系统进行空操作，模拟脱扣调整、试验紧急停车和紧急跳闸信号，调整接地监视。

③　与高压接口的试验，最后的紧急制动是切断高压和励磁供电。为了检查，开关小车推到试验位置。核对只有在“合闸允许”时才可能合上闸。同样要校核脱扣回路，为此必须既通过软件，还要通过硬件（气体继电器、离心开关）跳闸。

④　绝缘检查。在合闸前对变压器、传动装置，如可能还要对辅助传动，分别进行合闸前绝缘检查。试验电压是取决于被试部分的工作电压。

如果是主传动，绕组不可能通过主接触器或直流快速断路器与晶闸管柜及变压器隔离，绝缘检查就必须在绕组接线之前进行。绝缘检查时要断开接地检查的接线。

⑤　保护整定。变压器开关的过电流切断应仅覆盖2个点：合闸电流（合闸浪涌）和二次侧短路。合闸浪涌可能达到变压器额定电流的15倍，它与变压器的容量、剩磁及合闸时刻有关。对短路的整定值应通过跳闸门槛电压写入软件，延时应为500ms（反时限跳闸）。

⑥　调整同步电压组件。同步电压组件SA60.1是通过拨码开关来选择电压等级的。为此必须事先将其调整为同步电压所处范围。同步电压送上后，必须检查同步电压的相序为顺时针相序，记录其幅值，调整欠电压门槛值。

⑦　对晶闸管柜的检查。检查晶闸管触发脉冲序列、相位、幅值等，晶闸管导通监视，熔断器监视，柜门接点信号等。对励磁柜，还要检查励磁回路过电压（直流侧）、过电压保护熔断器监视（交流测）等。

⑧　电流实际值与电压实际值标定。电流、电压实际值信号的输入及校准。校准环节包括PS16矢量控制、EP22电流调节器、励磁调节器及电动机保护。相电流调节用电流实际值的校正与TVC的电流实际值校正并行处理。

3）辅助传动合闸：在所有电源和信号试验以后，可通过接通控制（软件）将辅助传动合闸。对所有风机和泵、曳引机等转向要求的设备必须核对转向。

4）高压合闸和测定同步偏置角（定向）：第一次合变压器时，二次应开路。将二次侧断开，使得各导线容易识别。在晶闸管柜送电之前必须保证下列各点无误：

①　所有连接的导线都经识别（无二次侧短路）。

②　保护继电器调整正确，功能经过检查。

③　通过了绝缘测量。

④　主接触器或直流快速断路器（如果有的话）断开。

⑤　所有危险区域都被封锁。

合闸后检查变频器输入端应为顺时针相序。测量主电源与同步电源之间的偏置角，并写入程序，使触发器与变流器的供电电源同步化，完成定向。定子和励磁电路调试方法与上述的一样。

5）励磁装置调整：

①　励磁电流实际值和励磁电压实际值标定。

②　受控运行，在确定了偏置角以后，可以使励磁电流受控地运行。这项试验是用于检查变流器、偏置角和实际值检测。用示波器测量励磁电流和励磁电压。

③　调节运行，如果在控制运行中未出现问题，就可将励磁电流调节投入运行。

6）定子变流器调试：

①　定子变流器相电流检查。在确定了偏置角以后，可以使全部相受控地运行。这项试验是可以检查变流器，校核偏置角、实际值和零电流信号等是否正确。用示波器测量定子电压、电流及零电流信号，这些信号在SE20.2的诊断插座上都有相应的测量点。

对全部的相在每个力矩方向上进行试验，重点还是在软件上检查电流实际值。如果选了力矩方向I，在TVC和相电流调节中应该显示正实际值；在力矩方向II时2个实际值应为负。相电流调节的控制运行是通过FP－TVC.SENDIA.I9＝1来允许的，然后接着选择所需调整的相和力矩方向。对应力矩方向I，EP22上相应的一个绿色发光二极管亮，对应II为红色发光二极管亮。SENDIA的端与相及力矩方向的对应关系见表5-94。

表5-94　SENDIA的端与相及力矩方向的对应关系

SENDIA的端	相	力矩方向
I10	A	I
I11	A	II
I12	B	I
I13	B	II
I14	C	I
I15	C	II

②　调节运行。为试验电流调节器，TVC中设置了DSG（三相电流发生器信号处理器），DSG运行时，励磁电流调节器自动地建立空载励磁电流。

a）DSG运行：传动的第一次转动是用DSG运行方式实现的。此时要注意检查电动机轴承的供油。DSG运行需要检查以下各点：

● 转速实际值可以在转速调节器和电动机保护处读出，并带有符号。

● 三个电流和电压，构成右旋的三相系统。

● 模拟电流实际值与其数字量相同。

b）断续电流适应调节：为调整断续电流适应，需调整端子 SEND1. X33 和 X34，使得定子电流的转矩分量 Is_phi2 的脉动尽量小。

c）转子定位及 TVC 运行：为了确定相对于定子轴的转子位置实际值，需利用定子电压，电动机运行后由 TVC 进行自动测量。定位由 TVC 中的 FGS 起动。

当控制字 1（FGS. SW1）为 OH000F 时，系统将励磁投入，励磁投入后的一段时间（FGS. ZIO）中，可测量到清晰的定子感应电压信号，经过另一段时间（FGS. ZIA），磁通达到其给定值，只有在 ZIA 之后 TVC 才被允许运行。

7）转速控制运行：如果 DSG 运行和定位没有问题，系统就可进行转速调试运行。首次试转是在磁通恒定 PUR_NFR = 100% 下进行，此时励磁调节器被封锁。通过操作盘接通励磁，然后给一转速给定值。此值应以每次 1% ~2% 逐渐提高。

① 直流量调节器。为了调整 GGR. EF（能控度调整因数）使电动机在达到 80% 基速的不同转速下运行，在示波器上观察端子 GGR. GR2，调整 GGR. EFA 使 GR2 在整个基速区最小并大致相等。

② 励磁电流给定值预给定。电流模型（IMOS）给出定子系统中的励磁电流给定值，折算到转子侧是由励磁电流调节中的 MAES 计算。可用端子 MAES. EFA 来改变因数 g，用端子 IMO-EXD. EXQ 可将主电抗的计算值匹配到 d 轴和 q 轴方向。

③ 磁通调节器最优化。磁通调节器既作用到励磁电流（PI 调节器），也作用到定子电流励磁分量（P 调节器），因此在稳定状态下定子电流不受磁通调节器影响。磁通调节器由三种控制器组成，端子 PUR. YIR 给出 PUR 处于什么状态：100% 磁通调节、0% 电压调节器、100% EMF 调节器，通过阶跃变化到磁通给定值可以校核磁通调节器调整的情况。

④ 功率因数调节。检查电流及电压模型之间的定向和相互关系，并做相应的补偿，如需要，可同时调整两种模型。

⑤ 转速调节。在调整好后，可用通常的方法优化速度调节器，起调时间和超调应按设备要求调整。

⑥ 空载总结试验。在不带联轴器的状态下，电动机可以自身加负载，检查定位过程的质量、调节过程的稳定性和弱磁时的磁通特性。

⑦ 热试车。在轧制工况下，精调 TVC 。

五、电源设备的调试

1. 出厂调试

（1）外观检查

1）所有控制柜外观检查：控制柜的电气控制设备均按照 GB/T3797—2005 标准中的相关要求进行外观检查。

① 所有机械操作零部件、柜门、限位、联锁等运动部件的动作是否灵活，动作是否正确。

② 插件的接触是否良好，应对插头（座）的接触进行必要的抽查。

③ 导线的规格、色标是否符合有关标准的要求，用电笛检查线路正确无误。

④ 电气间隙和爬电距离是否符合技术条件及标准的要求。

⑤ 外壳防护等级是否符合要求。

⑥ 柜体面板应平整无凸凹现象，漆层表面整洁、美观，不得有气泡、裂纹和划痕等缺陷。

⑦ 所有紧固件均应有防松装置。紧固件必须将弹簧垫圈拧平，无松动现象。

⑧ 产品的安全措施和防电保护措施完善。

⑨ 装置内部的电器元件动作时，所产生的冲击振动，应不致引起同一装置内或与其相临的装置内电器元件的误动作。

⑩ 铭牌、符号牌、各种文字、符号标志应符合图样的要求和标准的规定。

2）整流器的外观检验：

① 检查整流器件的阴阳极方向是否安装正确；用扭矩板手或夹具的压力指示器确认整流器件和散热器、直流母排压接的紧固力是否满足整流器件规定的扭矩值；阻、容保护接线是否正确、牢固；脉冲变压器一次、二次侧接线是否正确、牢固。

② 检查快速熔断器与母排连接螺钉的弹簧垫圈是否压平；快速熔断器上的微动开关触点的动作和连接是否正确。

③ 检查整流器外连插座插针号与内部触发脉冲线、快速熔断器微动开关信号线及整流器件的桥臂是否正确对应。

④ 检查所有母排紧固螺栓（通电用的和安装固定用的）的弹簧垫圈是否压平。

⑤ 检查所有水路的水管接头是否均已拧紧。

⑥ 对于晶闸管整流器，必须仔细确认进线母排的相位与整流变压器制造厂商提供的二次侧出线端子相位完全一致；晶闸管触发脉冲顺序号必须与该晶闸管所在桥臂顺序号对应。

（2）绝缘检试

1）绝缘电阻测试：与前述相同。

2）介电试验：

①　主电路及与主电路直接连接的辅助电路的介电试验电压按 GB/T3797—2005 中的相关要求执行。

②　不与主电路直接连接的辅助电路的介电试验电压按 GB/T3797—2005 中的相关要求执行。

③　对不能承受高电压的半导体器件、印制电路板、电容器、数字表及高阻值的电阻和线圈均应短路或拆除。

④　频率为 4.5～63Hz 的试验电压，应从零缓升到规定值的一半，然后升至全电压，维持 1min 后切断电源，试品应无击穿或闪络现象，升压装置在试品发生击穿或闪络时，应能自动切断电源。

⑤　所有控制柜、箱均按上述规定进行；整流器应进行交、直流母线之间及交、直流母线对地耐压试验，考虑到同相逆并联对器件保护的特殊性，整流器的交、直流母线之间的耐压试验，应在未安装器件前进行，试验电压应高于标准值为好；脉冲变压器对主电路及脉冲变压器对地；微动开关对主电路及微动开关对地试验。

⑥　介电试验前，脉冲变压器二次、整流器件、换相电容、快速熔断器、微动开关、交流三相进线、直流正负汇流排均用熔丝短接。在主电路对地试验后，可将主电路与地连通，再作脉冲变压器对地试验；在作脉冲变压器对地试验前，将脉冲变压器二次接地，以进行相互间的绝缘试验。

（3）水冷却回路系统泄漏试验　必须保证水冷却回路的无泄漏，通常水压为 0.2～0.3MPa。在水冷却回路系统连通之前，对水系统的每段水管用清水进行冲洗，确保水管内无杂质、尘粒，以免堵塞散热器。整流器的水冷却回路全部连接完成后，需进行以下试验：

1）用 0.6MPa 的水压进行 30min 的静压试验，水冷却回路无泄漏。

2）用 0.4MPa 的水压进行 8h 的静压试验，水冷却回路无泄漏。

3）水冷却回路充氮气气压试验，用氮气向水路系统充至 0.4MPa 压力保持 30min，用肥皂水检查各接头应无漏气现象。

4）整流器水冷却回路进出水主管路与纯水冷却装置接通，由纯水冷却装置向整流器供水，并进行水循环试验。

试验时水压应逐步提高，水路不畅时，要适当排气，保证所有水管路完全充满水，达到规定的水压后，试验 8h。整个试验过程中，各接口及正、负汇流排，各水冷母排应无渗水漏水现象。

（4）控制系统通电检查

1）按电气原理图检查所有控制柜，各种电源、开关、接触器、保护继电器、指示灯、熔断器等元器件工作应正常。

2）检查 PC 的输入、输出状态，确认各种保护、操作和指示信号动作是否符合安全和工艺要求，完善 PC 的软件程序。

3）设定稳流自动调节系统的各种参数：额定值、电流给定和反馈值、限幅值、报警值、极限值、α_{min}、β_{min}、调节器的 PID 等参数。

4）相位检查：用示波器检查同步电源与主电路的相位是否正确对应，特别注意输入晶闸管稳流系统的同步电压的移相角与该整流机组整流变压器的移相角是否一致（允许有 ±1°电角度偏差）。

5）触发脉冲检查：用示波器检查每个晶闸管门极的触发脉冲的相位是否正确；触发脉冲波形的强触发和平台幅值和脉宽是否正确；触发脉冲能正确控制移相且有良好的对称度。

（5）低压大电流短路试验　低压短路大电流试验用于检验整流器的紧固件、连接母排、整流器件、快速熔断器的温升和并联整流器件的均流系数、发热情况。

1）短路试验的配置：短路试验的整流变压器 T2 一次侧为 380V，二次侧为两组相位差 180°、电压为 24～36V 的星形联结绕组。T2 的二次额定电流应保证短路试验的直流电流能达到额定电流的 70% 即可，此时测得的桥臂并联器件的均流系数与负载额定电流时的值基本一致。均流系数的最终值可在现场带满负载运行时测定。短路试验电气原理框图见图 5-113。

为了补偿线路和变压器压降，在短路试验整流变压器 T2 前，增设一调压变压器 T1。连接时应保证变压器 T2 的正、反组交流输出线与整流桥的正、反组进线相位对应，同步电压相位应与主电源进线相位相对应，直流侧用母线短接，按下列步骤进行试验。

2）电流调节系统电流开环试验：先将电流调节系统电流开环；触发脉冲推至 β_{min}，然后变压器 T2 通电向整流器供电，手动控制触发脉冲由 β_{min} 向 α 角缓慢移动，使直流电流输出约为 10% 的额定电流，观察三个交流电流表 A1、A2、A3 的读数是否对称，并与直流电流测量仪 CT4 读数对比，确认两者电流比值合理，检查电流反馈值正确且已输入电流调节器，用示波器检测直流输出电流波形，观察电流波形是否正常、对称；控制触发脉冲退回 β_{min}，电源停电。

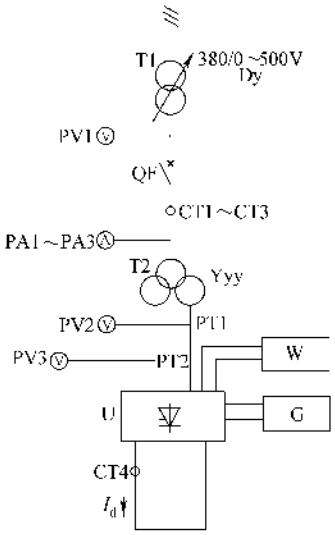


图 5-113 短路试验电气原理框图

T1—调压变压器 T2—整流变压器
QF—低压断路器 V1～V3—交流电压表
CT1～CT3—交流电流互感器 A1～A3—交流电流表 CT4—直流电流测量仪
U—晶闸管整流器 G—电流调节柜
W—纯水冷却机组 PT1、PT2—电压互感器

3）电流调节系统电流闭环试验由变压器 T2 供电，逐级增加给定，直到变压器 T2 达到额定电流，在每一级直流输出电流下的运行时间不得少于 30min。

4）桥臂均流系数测试：快速熔断器的压降应在每级电流运行 20min 后测定，按下列公式计算桥臂的均流系数 K_1：

$$K_1 = \Sigma U_{Fi}/(NU_{Fmax}) \qquad (5\text{-}56)$$

式中 U_{Fi}——并联的各个快速熔断器的电压降，单位为 mV；

N——并联的整流器件数；

U_{Fmax}——U_{Fi}中的最大压降值，单位为 mV；

ΣU_{Fi}——N 个 U_{Fi}的算术和，单位为 mV；

K_1——均流系数，应达到 0.86～0.90。

如果大部分桥臂的均流系数均达不到规定值，应考虑集肤效应的影响，调整桥臂各支路的连接铜排的长度，一般可采用在电压降小的支路连接铜排上打孔的措施来提高均流系数；如果某桥臂的均流系数达不到规定值，则应测量快速熔断器压降高的支路上各个接触电阻（即接触点的压降），对接触电阻高的接触面进行紧固、清洁或平整等处理；核对该整流器件的管压降是否与其他并联器件匹配，采取相应措施。校对同相逆并联的两组整流桥的负载均衡系数，其值应在 0.9 以上。

5）温度测量：大电流整流器的特点是电流大，因而整流器件、母排、接触面、紧固件等都会有较大温升，设计、制造、加工、安装等任何一个环节出现问题都会导致某个部件过热。一般采用红外线测温仪测量，这样操作简易、快捷、安全。并检查、紧固所有螺栓连接部位。

被测对象的测试位置、材质和表面状态对红外线测温仪的测量值有较大影响，应根据其他精确的测量值予以修正；在同样测试条件下，作为相对值是有参考价值的，可以快速、安全地完成批量测试。

整流器件的壳温用红外线测量仪难以正确测量，一般测量整流器件瓷壳温度作为参照值，以判断哪一个整流器件温升不正常，进而检查该器件与散热器和快速熔断器的接触电阻（测量接触点压降）、散热器水路和整流器件的电压波形等参量。

（6）高压小电流试验 高压小电流试验的目的是，检验在额定直流输出电压时整流器的绝缘强度和整流器件的耐压性能。高压小电流试验的电气原理框图如图 5-114 所示。其配置与短路试验基本一致，但整流变压器 T2 的二次侧的额定电压应为整流器的额定电压的 110% 以上，以满足电网波动范围的要求；而额定电流仅为整流器的额定电流的 1% ～2% 即可。调压变压器 T1 是用于与不同系列电压整流器额定电压的匹配。

电流调节系统电流开环试验时，调节变压器 T1 的输出电压，使变压器 T2 二次侧的输出电压为整流器输入额定电压的 20%，手动控制触发脉冲推至 β_{min}，接通变压器，使触发脉冲由 β_{min}向 α 角缓慢移动，观察整流器有无异常现象；用示波器观察直流输出电压波形的对称性；检验其平均电压值是否与直流电压表相吻合；检查各晶闸管的电压波形，若一切正常，脉冲退至 β_{min}角。

将变压器 T2 的输出电压调到整流器输入额定电压的 100% 和 110%，重复上述步骤，如一切正常，则试验结束。

2. 现场调试

（1）水冷却回路检查 将整流器主水进出水口与纯水冷却机组进出水口通过一段绝缘水管连通，并保证足够的绝缘强度；纯水冷却机组通电运行，检查主水的压力、流量及纯水水质达到规定值；控制保护系统动作正常；观察水路有无渗漏、堵塞现象；循环水运行直到整流器所有水路全部充满水。

（2）操作控制系统检查 通电检查整流器的操作

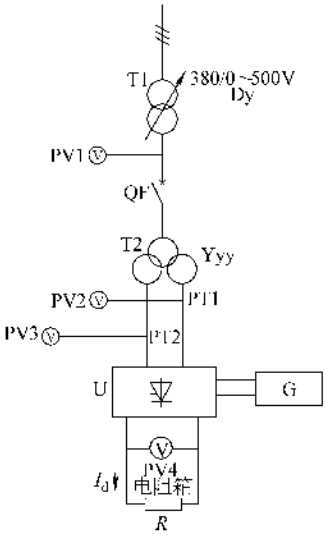


图 5-114　高压小电流试验的电气原理框图

T1—调压变压器　T2—整流变压器　QF—断路器　V1～V3—交流电压表　PT1、PT2—交流电压互感器　U—晶闸管整流器　G—电流调节柜　V4—直流电压表　R—负载电阻

控制系统与外部设备的操作和联锁保护动作正常。

（3）相位检查　整流器与变压器主电路各相接线正确；确认该变压器铭牌上的相移角与自动稳流系统同步电源相移角一致；在变压器作浪涌冲击试验时用同步示波器测定各相进线相位，变压器断电后，用同步示波器测定输入自动稳流系统同步电压的相位，确认相位匹配正确。

（4）整流器短路试验　将整流器输出母排短接，现场短路试验仍采用低电压方式进行，其步骤同低压大电流短路试验，但直流电流应达到的额定电流值，并运行 8h 以上，检查主、副水的进出水温差是否在规定值之内，停电后应将所有螺栓紧固件全部紧一遍。

（5）单台整流器负载试验　单台整流器带负载运行，调整电流调节器的动态参数 PI 值，使输出电流稳定运行，对照直流电流与交流电流的比值是否正确；在额定电流运行有阳极效应时测量并计算动态稳流精度 δ_I。

$$\delta_I = \Delta I / I_{DN} \tag{5-57}$$

式中　I_{DN}——直流额定电流，单位为 A；

ΔI——输出直流电流与 I_{DN} 的最大偏差值，单位为 A。

（6）多台整流器并联负载试验

1）在每台整流器完成负载试验后，进行多台整流器并联运行，考虑到变压器合闸浪涌电流对电网的冲击，应在每台变压器稳定运行后再投入下一台。

2）各台整流器均衡增加电流，当总电流约为 20% 系列额定电流时，投、切谐波滤波器。

3）用同步示波器检查各台整流器的电流反馈波形、系列直流输出电压波形。

4）判断机组的运行噪声、振动是否正常，并采取相应措施。

5）巡回检查器件、母排的温度，如有异常应停机检查、排除故障。

6）运行一段时间后，复测整流器的均流系数和系列电流的稳流精度。

六、整理试验报告

上述各种试验应现场记录所有数据，填写试验报告，并由监理认可。

第六章　照明电路及单相电气设备的安装

照明电路及单相电气设备在工业电气工程中占总容量的比例较小，控制电路简单；而在民用建筑的电气工程中，特别是高层建筑中占总容量的比例较大，且线路较长，控制回路复杂，接线部位多，与动力电路相比安装上要简单得多，但同样要引起重视。照明电路及单相电气设备在安装工程中一是要使三相的容量尽量均衡，且保证零线有足够的容量和强度而不易断开；二是要控制相线（火线）；三是要注意有感性元件（如荧光灯镇流器、单相电动机）的回路中导线截面积的选择；四是要保证灯具及设备安装的美观整齐和接线的正确可靠；五是要注意做好接地或接零保护。

照明电路及单相电气设备的安装主要包括元件的检查、测试，线路的敷设，控制箱、灯具及开关元件的安装、接线、试灯直至竣工验收等工序。

照明电路及单相电气设备的安装应符合电气装置施工及验收规范的要求，标准号：GB50303—2011、GB50254—1996、GB50169—2006、GB50150—2006。

第一节　总 体 要 求

一、总则

（1）为保证电气装置配线工程的施工质量，照明电路及单相电气设备安装工程的设计应由具有相应资质的单位进行。

（2）照明电路及单相设备电气安装工程应由具有相应资质的安装单位进行。

（3）配线工程及照线装置、单相设备的施工应按已批准的设计进行。当修改设计时，应经原设计单位同意，方可进行。

（4）采用的设备和器材及其运输和保管，应符合国家现行标准的有关规定；当产品有特殊要求时，尚应符合产品技术文件的规定。

（5）设备和器材到达施工现场后，应按下列要求进行检查：

1）技术文件应齐全。

2）型号、规格及外观质量应符合设计要求和规范的规定。

二、配线工程

（1）配线工程施工中的安全技术措施，应符合国家现行标准规范及产品技术文件的规定。

（2）配线工程施工前，建筑工程应符合下列要求：

1）对配线工程施工有影响的模板、脚手架等应拆除，杂物应清除。

2）对配线工程会造成污损的建筑装修工作应全部结束。

3）在埋有电线保护管的大型设备基础模板上，应标有测量电线保护管引出口坐标和高程用的基准点或基准线。

4）埋入建筑物、构筑物内的电线保护管、支架、螺栓等预埋件，应在建筑工程施工时预埋。

5）预留孔、预埋件的位置和尺寸应符合设计要求，预埋件应埋设牢固。

（3）配线工程施工结束后，应将施工中造成的建筑物、构筑物的孔、洞、沟、槽等修补完整。

（4）电气线路经过建筑物、构筑物的沉降缝或伸缩缝处，应装设两端固定的补偿装置，导线应留有余量。

（5）电气线路沿发热体表面上敷设时，与发热体表面的距离应符合设计规定。

（6）电气线路与管道间的最小距离，应符合有关规定。

（7）配线工程采用的管卡、支架、吊钩、拉环和盒（箱）等黑色金属附件，均应镀锌或涂防腐漆。

（8）配线工程中非带电金属部分的接地和接零应可靠。

（9）配线工程的施工及验收，应符合国家现行的有关标准规范的规定。

三、电气照明装置

（1）电气照明装置施工前，建筑工程应符合下列要求：

1）对灯具安装有妨碍的模板、脚手架应拆除。

2）顶棚、墙面等抹灰工作应完成，地面清理工作应结束。

（2）电气照明装置施工结束后，对施工中造成的建筑物、构筑物局部破损部分，应修补完整。

（3）当在砖石结构中安装电气照明装置时，应采用预埋吊钩、螺栓、螺钉、膨胀螺栓、尼龙塞或塑料塞固定；严禁使用木楔。当设计无规定时，上述固定件的承载能力应与电气照明装置的重量相匹配。

（4）在危险性较大及特殊危险场所，当灯具距地面高度小于2.4m时，应使用额定电压为36V及以下的照明灯具，或采取保护措施。

（5）安装在绝缘台上的电气照明装置，其导线的端头绝缘部分应伸出绝缘台的表面。

（6）电气照明装置的接线应牢固，电气接触应良好；需接地或接零的灯具、开关、插座等非带电金属部分，应有明显标志的专用接地螺钉。

（7）电气照明装置的施工及验收，应符合国家现行的有关标准规范的规定。

四、单相设备

单相设备控制较简单，一般由普通开关、插座控制。因此，对其安装要求非常严格。

（1）当交流、直流或不同电压等级的插座安装在同一场所时，应有明显的区别，且必须选择不同结构、不同规格和不能互换的插座；配套的插头应按交流、直流或不同电压等级区别使用。单相设备的额定电压一般为220V，接线时必须核定电压。

（2）插座接线应符合下列规定：

1）单相两孔插座，面对插座的右孔或上孔与相线连接，左孔或下孔与零线连接；单相三孔插座，面对插座的右孔与相线连接，左孔与零线连接。

2）单相三孔、三相四孔及三相五孔插座的接地（PE）或接零（PEN）线接在上孔。插座的接地端子不与零线端子连接。同一场所的三相插座，接线的相序一致。

3）接地（PE）或接零（PEN）线在插座间不串联连接。

（3）特殊情况下插座安装应符合下列规定：

1）当接插有触电危险的家用电器的电源时，采用能断开电源的带开关插座，开关断开相线。

2）潮湿场所采用密封型并带保护地线触头的保护型插座，安装高度不低于1.5m。

（4）照明开关安装应符合下列规定：

1）同一建筑物、构筑物的开关采用同一系列的产品，开关的通断位置一致，操作灵活、接触可靠。

2）相线经开关控制；民用住宅无软线引至床边的床头开关。

（5）吊扇安装应符合下列规定：

1）吊扇挂钩安装牢固，吊扇挂钩的直径不小于吊扇挂销直径，且不小于8mm；有防振橡胶垫；挂销的防松零件齐全、可靠。

2）吊扇扇叶距地高度不小于2.5m。

3）吊扇组装不改变扇叶角度，扇叶固定螺栓防松零件齐全。

4）吊杆间、吊杆与电动机间螺纹连接，啮合长度不小于20mm，且防松零件齐全、紧固。

5）吊扇接线正确，当运转时扇叶无明显颤动和异常声响。

（6）壁扇安装应符合下列规定：

1）壁扇底座采用尼龙塞或膨胀螺栓固定；尼龙塞或膨胀螺栓的数量不少于2个，且直径不小于8mm；固定牢固可靠。

2）壁扇防护罩扣紧，固定可靠，当运转时扇叶和防护罩无明显颤动和异常声响。

第二节　安装条件及元件的检查、测试和验收

一、土建工程及开工应具备的条件

1）土建工程已基本完工，除装灯时配合的装修工程外，其他装修工程已完，室内已清扫干净，门窗齐全、玻璃和门锁已装。

2）所有管路、箱盒已在配合土建时按设计要求预埋，铁管与铁箱盒已电焊且点焊牢固，明装线路的木砖、T形铁杆也按设计要求预埋，否则应修补。

3）和土建工程有关的孔洞已预留且位置、标高、截面积均符合设计要求；箱盒处的抹灰或装修符合设计要求，不妥之处已修复。

4）管路、箱盒的预埋及其他预埋件的标高、位置、规格、数量等经验收合格；同一元件（如开关、插座、箱）标高不一致的现象应在土建配合下修整合格。

5）组织工长、班长对土建工程及箱、盒、管的预埋进行验收，不合格的要进行纠正。

二、元件及材料的检查、测试和验收

1）开关箱及内部元件、各类开关（包括拉线开关、扳把开关、按键开关、电扇调速开关等）、灯具、插座等元件的外观应完整，没有明显的机械损伤及变形。配件齐全，油漆或电镀完整，焊缝无裂纹。开关应灵活，关断的声音正常，标志清晰可见而规范。所有的元件应有产品合格证及使用说明书，铭牌完整规则。

2）规格、型号、数量、开关箱回路个数应和设计图样相符。

3）用500V绝缘电阻表测试元件相与相、相与地、正常带电部分与正常不带电部分的绝缘电阻，应不小于1MΩ。

4）用万用表欧姆档测试开关的开关特性，断开时趋于∞，闭合时趋于0；对于刀开关和熔断器，还应检查刀闸接触的严密性及可靠性，端口必须接触紧密，闸口应与刀口对正，接线螺钉或压接熔丝的螺钉

与螺纹啮合应良好。

5）绝缘导线的规格型号应符合设计要求、外观整齐美观、绝缘层完好、有合格证，必要时须测试导线的直流电阻和导线的直径，要测量芯与芯、芯与绝缘层的绝缘电阻（用500V绝缘电阻表）。

直流电阻的测试应在整盘导线的头与尾间进行，也能查出中间是否断线。导线的直径应用千分尺测量。

6）断路器应做过载和短路试验，并按负载的情况将其过载整定在额定电流的1.2～1.5倍上。单相小断路器出厂时已整定好，可不必重新整定。接触器、按钮、继电器应进行试验，带漏电保护的断路器要进行漏电保护试验，通常是按动试验按钮试验，也要通电后进行模拟漏电试验，应动作可靠及时，必要时要用秒表计时，不合格的要退回供应商。

7）仪表（电压表、电流表、电能表）必须校验，无检定合格证的要进行检定，特别是电能表，必须在安装前进行检定。根据经验，电能表的不合格率在3%～5%，有的是超差，有的是停走，有的潜动（无负载时走字）不合格，这样的表对用户来说是不负责的。

8）查校电表箱、控制箱的接线是否正确、牢固可靠，特别是电能表。根据经验，电能表的接线错误在10%以上。

9）单相电气设备如单相电动机、风扇、窗式空调器、炊事机具等，除进行外观合格证检查外，通常应测试绝缘电阻，单相电动机要按三相电动机测试必要的项目，合格后应进行通电试验，正常运转后才能入库，以免残杂伪品混入。

10）建设单位供应的材料应及时将其质量情况反馈到监理单位。

三、施工组织设计的到位情况

1）施工图样已会审，标准规范或标准图册已到位。

2）施工工艺程序及施工方案已组织编制完成，并已成册到位。

3）质量目标已确定，技术措施及质量计划已组织编制完成。

4）安全目标已确定，安全措施已落实，并组织工长、班长进行验收合格。安全管理方案已编制完成。

5）工期及进度计划已确定，保证措施已编制完成。

6）环境目标、环境管理方案及措施已落实、完成。

7）现场管理机构已成立，施工组织及人员设置已落实，对人员按照进度计划已仔细安排和分工，并留有裕量。

8）施工机具已运至施工现场，并入库保管，临时用电已组织验收。

9）主要材料、导线、元件、设备器具已部分运至现场，并由材料员进行验收和保管。

10）施工平面图已布置，食住、办公、临建已完成，并由项目经理、工长进行验收合格。

11）事故应急预案已编制完成，并已由主管部门批准。

12）安装人员已进入现场，并由项目经理、技术负责人及工长组织进行开工前的学习并提出要求，主要有：质量目标、质量计划，安全目标、安全方案，环境目标、环境方案，应急预案，工期及进度计划，安全技术措施及安全交底，安装技术措施及技术交底，施工方案及工艺程序等。并对机具使用、临电使用、材料节约、食住行、环境保护、卫生等方面提出要求和注意事项。

同时强调施工安全及注意事项，必要时应公布现场行为规范和禁令，确保安全生产。

13）上述内容应责成确定的人选进行监督和检查，并与每个人的绩效挂钩，纳入年终评比。

第三节　照明电路及单相电气设备的安装

根据电气线路敷设形式的不同，照明电路和单相电气线路可分为暗装和明装两种。暗装线路已在土建工程中将管路、箱盒预埋在建筑物的地板、墙上或顶板上；明装线路也已在土建工程中将木砖、T形铁件预埋在建筑物的墙上、顶板上。有的明装线路则在安装时才把固定件安装在墙上或顶板上。无论采用哪种方式，国家都有规范标准，本节将详细讲述各种单相设备及线路的安装。

一、暗装线路及灯具、开关的安装

（一）用空压机的压缩空气吹除管路

方法同前。吹除后的管路，特别是管口向上的垂直管路，在没有穿线前应用塑料布包扎严密，以免异物落入发生堵塞。

（二）清除箱盒内的杂物

一般用皮老虎或压缩空气。并检查管口有无毛刺或预埋上有何不妥，否则应修整，以免滑伤导线绝缘层或给安装带来不利。紧固螺钉的螺孔丝扣，应用安装时使用的合格的螺杆试拧一次，不合适的要更换螺钉或用与螺钉配套的丝锥将螺孔重攻丝一次。

（三）穿线

穿线方法见第二章相关内容，但应注意以下几点：

（1）根据图样或变更后的安装实际情况，核对管路中导线的根数。

（2）确定管路中导线的根数应先确认灯头的控制方式，是集中控制还是单独控制。一般情况下，民用住宅、办公间及较小的房都采用单独控制，即一个开关控制一个灯；工业车间、大厅、会议室、公共场所及较大的房间都采用集中控制。无论是集中控制，还是单独控制，都要确认控制的回路个数。集中控制时，一个开关控制一个回路或两个回路，最多不超过三个回路，但是容量较大的回路，如大厅中的多管荧光灯带，一个回路则又分成几个控制回路，分别由开关控制。

（3）单元或房间的灯头为集中控制时，管路中导线根数的确定方法。

系统采用三相四线制（包括金属管路为保护线的三相五线制）：

1）在开关箱内控制时，由开关箱送至每个回路管内的导线为两根，而送至开关箱的电源线有两种情况：当采用单相供电时，为两根导线；当采用三相供电时，为四根导线，并在箱内将三相电源按各个回路的容量均匀分开。

2）由开关箱外的开关控制时，单独一个开关时，则进线及出线均为两根；几个开关并列在一起安装时，有两种情况：当采用单相供电时，电源进线及每个回路的出线均为两根，相线和零线均在接线盒内按回路个数分开；当采用三相供电时，电源进线为四根，每个回路的出线为两根，在盒内将三相电源按回路的容量均匀分开。

3）当控制灯的回路里装有单相插座时，则由控制点到被控灯的管路里为三根导线，即一根控制灯的相线，一根常相线，一根公共零线。由灯盒到插座的管路里为两根导线。

4）容量较大的灯带或灯组，其盒与盒或组与组之间管路内导线的根数是由控制方式决定的，见图 6-34 ~ 图 6-36。

系统采用三相五线制时，上述各段管路均增加一根导线,即保护零线。当金属管路为保护线时同（1）。

（4）单元或房间的灯头为单独控制时，管路中导线根数的确定方法

系统采用三相四线制（包括金属管路为保护线的三相五线制）：

1）采用单相供电时，进入开关箱的导线为两根，并在开关箱内将相线和零线按回路分开；采用三相供电时，进入开关箱的导线为四根，并在开关箱内将三相电源按回路的容量均匀分开。

2）从开关箱到任一单元或房间的第一个接线点的管路中为两根导线，第一个接线点通常均为开关。此点如为几个开关，则从开关到第一个被控制灯（其他被控灯一般是从这个灯盒分出去，而不采用直接由开关引线的方法。）间的管路内为 $n+2$ 根导线，其中 n 为被控灯的个数，一根常相线，一根公共零线，常相线是为第一个被控灯盒到其他支路的电源，公共零线则为所有回路及灯头的零线。

3）房间内若由开关点引入电源，引入管内为两根导线；引出管为一根时，管内的导线为 $n+2$ 根，其中 n 为引入点开关的数目（或所控灯的数目），一根为常相线，另一根为公共零线。引出管通常在屋内中央的灯盒中将各支路分开；引出管为 n 时，分别控制各灯，则管内为两根导线，一根控制相线，一根零线。

4）房间内若由灯具或插座点引入电源，引入管内仍为两根导线；而引至开关点的导线则为 $n+1$ 根，其中 n 为开关个数，即 n 根控制相线，另一根为常相线。如果由这些开关点有通往他处的支路，则导线根数应为 $n+2$，除上述导线外再加一根零线。

5）n 个开关并排安装控制 n 个（组）灯时，从开关处到第一个灯处的管路应有 $n+1$ 根导线，即 n 根控制相线，一根公共零线。灯与灯之间的管路内导线的根数则由管路与第一个灯的接线点到最末一个被控灯之间灯的总个数决定，如果灯的个数为 x，则从接线点到最近一个灯的管路内导线的根数为 $x+1$，然后每经过一个灯，管路内的导线则减少一根，到最末一个灯时为两根导线。如果在这些灯有通至他处的电源（灯或插座），则从这个灯前面所有的管路中应增加一根常相线。

6）由灯到插座管路内的导线为两根，但送入灯的管路内至少应有三根导线，即常相线、零线和控制相线，其中常相线接插座，控制相线接灯具，零线为插座和灯具的公用线。

7）灯具、开关、插座在图上画在一起时，进线管路内为两根线，开关和灯不在同一标高处时，其间管路内的导线为三根，即常相线、控制相线、零线各一根。

在确定导线根数时，必须熟练掌握常相线、控制相线、零线及地线的用途，才能准确确定导线根数。

系统采用三相五线制时，上述各段管路均增加一根导线，即保护零线，这是所有元件的公用线。

（5）导线根数确定后，应根据导线绝缘层的颜色、线标或标注记号确定导线的用处，如常相线、零线、保护地线及第一控制相线、第二控制相线等，干线中的导线用处应根据记号标注在图中。在一个系统中，相线、零线、保护地线的记号一经确定后便不得更改，以免接线发生贻误。

（6）穿线的顺序一般是电源—总开关箱—各分路开关箱—各个支路—灯盒或开关盒—插座盒；照明线路的导线每经过一个箱或盒都是断开的，目的是为了方便接线；但是有的干线则不断开，而是在接线盒处将其预留一定的长度，作成倒“Ω”形，接线时即可在双环头上进行。照明线路的接线通常用倒人字接头，而不采用T形接头或一字形接头。

（7）穿线时盒内预留长度不得超过300mm，箱内预留长度不得超过箱体的半个周长，相同部位的预留长度应一致。

（8）不同回路、不同电压和交流与直流的导线应遵守动力电路中管内穿线的规定。此外，照明花灯的所有回路，在管子内截面积允许的条件下，可以穿在同一根管子内；同类照明的几个回路，在管子内截面积允许的条件下，也可以穿在同一根管子内，但管内导线总数不应多于8根。

（9）穿线后应用500V绝缘电阻表测试线与线、线与地（管壁）的绝缘电阻，一般应大于1MΩ。

（四）控制箱的安装和接线

控制箱的安装是分两个阶段进行的，无论是木制、钢制或其他形式的控制箱都是在配合土建中将其外框敷设在墙内，管路也已引入其内，穿线时即可在箱内上下左右牵引导线。当进入安装阶段时，再将开关板和门装上去，并进行接线。控制箱的安装顺序是总开关箱—分路开关箱—支路开关箱，每个开关箱的安装工艺是基本相同的。

（1）将开关箱的开关板（俗称二层底）、边框和门扇及其辅件螺钉准备好并试装一次，观察有无阻卡、关闭是否严密、是否方正及有无其他不妥，正式安装前应将不妥修复。合格的标准产品同类型间均有互换性，自制的开关箱安装时应注意边框、门与箱体的对应性。

（2）把开关板上的开关元件、表计安装好，并把元件间的连线或二次线配好，方法同开关柜的制作。由厂家成套供应的开关箱出厂时已将元件及连线装配好，不需要现场配线，但应检查、试验或测试。

（3）把三相或单相电源进线（管内已穿好）从开关板后侧穿入上闸口的进线孔，这时应开始注意导线是否已编号，并严格按编号穿线接线。如果进线为三相，则应根据分路开关的个数或容量（按图中标注），将其平均分配给总开关的下端口，应尽量保证三相负载的平衡，一般可按单元、房号分配并对应图样中的标注。

然后按每个分路或开关控制的最大容量包括估算插座的容量计算并选择跨接导线，同时将其分别从板后穿入总开关下闸口的出线孔，另一端分别对应穿入每个分路开关的上闸口；跨在两孔之间板后的导线不宜长且不得交叉，敷在板后即可，伸出出线孔的长度能满足与开关触点接线即可，一般不超过150mm。

（4）送出回路的导线（管内已穿好）应根据编号标记一一从板后穿入分路开关下闸口的出线孔。这里要注意，送出回路的零线和保护接地线通常应在板后直接（不经过开关）和电源进线的总零线和总保护地线用套管压接，小容量的（小于10A的）可以用导线缠绕，最后包扎一层黄蜡绸，外层用胶布再包扎三层。零线和保护接地线的接头宜采用倒人字接头，缠绕时可用自身导线或另用绑线，并用钳子叼紧绑线将线头缠紧，直至最后用小辫收尾，见图6-1。

前面述说是只控制相线而不控制零线的接法，通常使用单极或三极开关；但有的设计常使用双极刀开关控制小单元、小房间的照明回路，有时也将零线接入刀开关，做法基本同上，先采用倒人字接头将分路

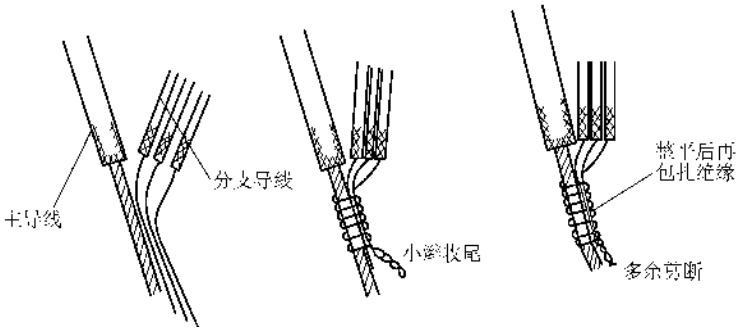


图6-1 倒人字接头的绑扎方法

开关的零线接好，然后与相线同时穿入刀闸的上闸口，这时应注意面对开关的左极接零线，右极接相线，送出线则应按上述方法接好。但保护接地线任何时候都不得通过开关。

穿入导线时，应将开关板置于开关箱边框门口的左侧且垂直于开关箱的安装面，一方面预测导线的预留长度，便于操作；另一方面也便于将来维修，能使开关板取出并离开边框一定的距离。穿入木板时，木板应装瓷套管护口；穿入钢板时，钢板应装橡皮绝缘护口，保护导线。接线前应用与导线相适的塑料套管穿入导线至管口处，加强管口处的绝缘及导线强度，塑料管长一般为200mm，入管100mm。

（5）检查开关板接线无误后，即可把开关板慢慢推入边框进入箱内，使其和固定孔（指金属箱）或木带（指木制箱）慢慢贴紧，这时要注意穿入穿出的导线不应有挤压卡阻现象，管口的导线不得有死弯；如导线较粗、根数较多使开关板不能贴紧时，可适当使开关板往前移一定的距离，和固定点间再垫以木块且保证开关板与箱框的垂面平行，任何时候不得硬砸死敲开关板，以免损坏元件或导线。将开关板找正后即可用机螺钉（金属箱）与固定点、或木螺钉（木制箱）与木带固定，机螺钉最好涂黄油少许。有时为了查找故障，可将开关板放入箱框即可，等系统检查无误后再固定。

（6）将总开关上闸口的引入电源线和各分路开关下闸口的引出负载线比好与开关的接线尺寸，将多余部分剪掉，剥去绝缘皮，将导线与开关的螺钉接好，方法与要求同动力电路。连接时，同类开关导线的弯曲应一致，导线裸露部分的长度应一致，一般不超过3mm。采用螺旋式熔断器的熔断器盒，电源相线应接在中间触点的端子且该端子的方向应在上方，负载线应接在螺纹口的端子上且该端子的方向应在下方。与端子连接的导线应套一截黄绿红任一色的塑料管，以区分相序，管长以从接线端子至穿过二层底为准。

（7）装门　金属门一般通过门轴与箱体边框连接，插入即可，同时调整门的严密性及门锁；木门一般是门和门框已由木工组装好，将门框与箱体的边框找正后用木螺钉连接紧固即可。门的安装垂直偏差不得大于2mm，门框四边缘应紧贴墙面，墙面在箱体四周的孔洞残缺应用灰抹好。

（8）装有电能表的计量（开关）箱接线时应遵循下列原则：

1）三相电能表接线时应注意，每相的电压线圈应和同相的电流线圈对应，特别是采用互感器时更要注意。电压线圈必须并接在电压回路里，电流线圈必须串联在用电电流回路里。照明或单相设备回路中，常采用三相四线电能表，电压线圈的额定电压为220V，动力电路中，常采用三相三线电能表，电压线圈的额定电压为380V。电压线圈的接线必须与电路电压相符且电压线圈的额定电流不能超过电压互感器的负载电流；电流线圈的总阻值不能超过电流互感器二次所允许的电阻值。接线前必须正确确认哪个是电流线圈，哪个是电压线圈。

2）配有互感器的电能表要注意互感器二次绕组的接地，接地必须可靠。

3）无论三相或单相表，电源的进线应先进电能表，电能表的出线再进开关，开关的出线即送至所控的回路。

4）接线必须参照电能表制造厂家提供的接线图，一般在接线盒盖的背面都印有接线图。使用互感器时必须把电流线圈始端与电压线圈始端的连接片取掉，才能接线。

（9）以图6-2说明装有电能表的照明箱的接线方法。图6-3是该图的系统图，图6-2是二层箱底板面布置图，其中虚线表示的电流互感器是为大电流而设置的。

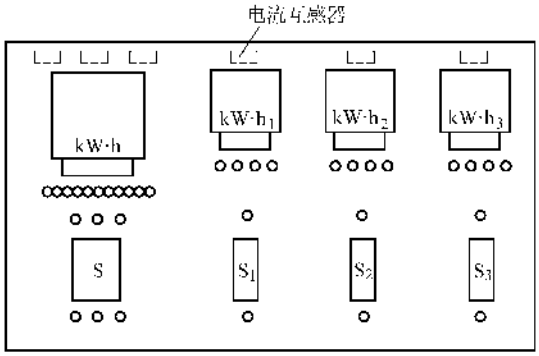


图6-2　照明箱开关板板面布置图

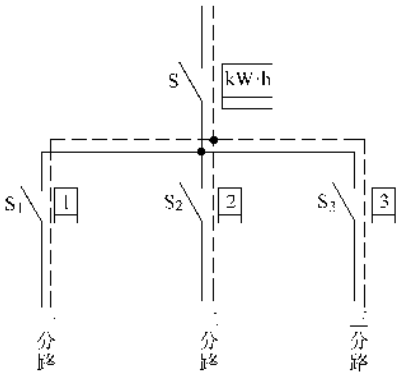


图6-3　照明箱系统图

1）把三相电源的进线（最好用黄绿红三色区分开）从板后穿入三相电流表的进线孔，按顺序从左至右穿入1、4、7（或2、5、8）。这里要说明一点，由于目前市场上的电能表不统一，每相电流线圈和电压线圈的始端标注不一，有的将电流线圈的始端放在1#端子，将电压线圈的始端放在2#端子，3#端子为电流线圈的末端，即出线端；而有的则将电流线圈的始端放在2#端子，把电压线圈的始端放在1#，3#端子仍为电流线圈的末端。因此接线时必须按厂家提供的接线图为准并确认电流线圈及电压线圈的端子。

然后用三根同径的黄绿红色线从板后分别穿入至3、6、9孔，导线的另端引至总开关的上闸口进线孔；同时将电源的零线从板后穿入至10孔，再将送出的零线从板后穿入11孔，另端经倒人字接头后分别接至单相电能表的4#端子。也可将零线直接在板后经倒人字接头接好接至单相表的4#端子。

2）从板后总开关的下闸口三个出线孔穿线并分别引自单相电能表1#进线孔，同时将电能表3#端子从板后穿线分别引自三只单极断路器的上闸口进线端，三只单极断路器的下闸口接每个用户回路的相线。用户回路的零线直接从板后穿进单相电能表的5#出线孔即可，不必经过开关，如用刀闸亦可经过开关。

3）经检查无误后，按上述方法将多余导线剪掉，把从穿线孔引来的导线对应接在电能表和断路器的接线端子上。

4）上述接线见图6-4。

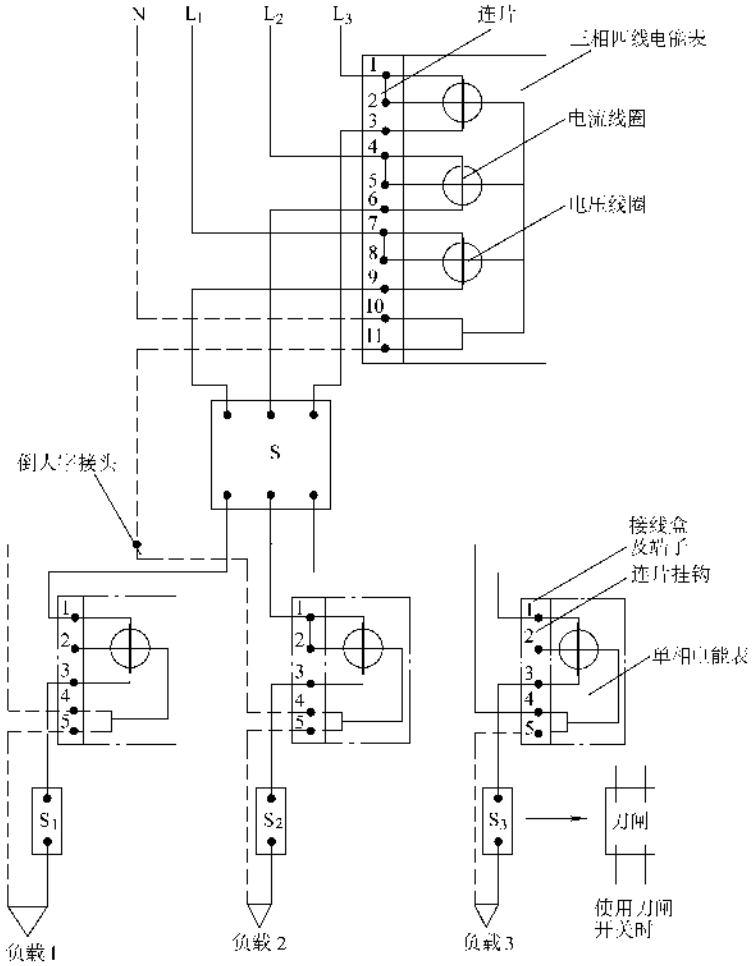


图6-4 照明电表箱接线图

5）图 6-4 如容量较大，均采用电流互感器，接线图见图 6-5，接线方法基本同上，但应注意以下几点：

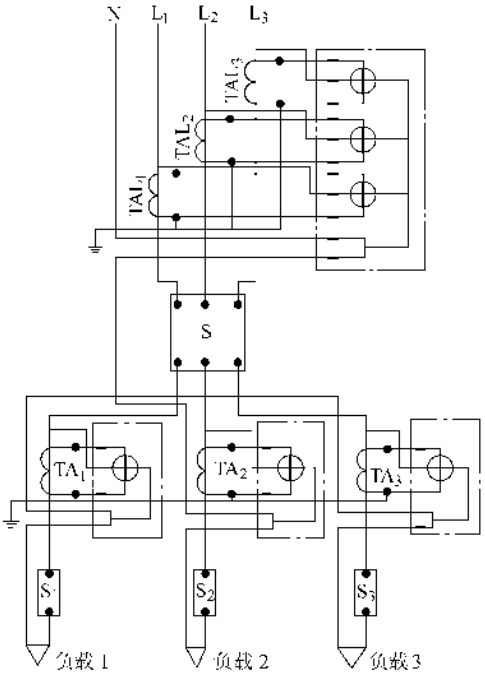


图 6-5　有电流互感器照明电表箱接线图

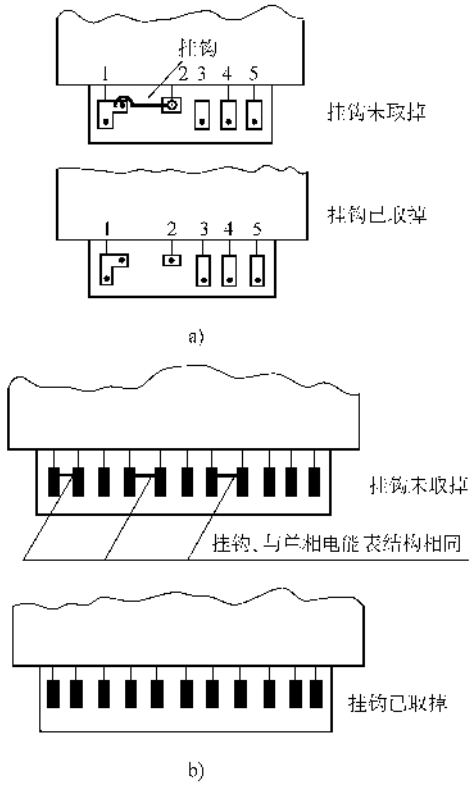


图 6-6　把电能表接线盒中端子上的连接片取掉

a）单相电能表　b）三相四线电能表

①　先把三相电能表和单相电能表中接线盒盖打开，把每个单元中电流线圈和电压线圈始端的连接片取掉，见图 6-6。

②　把三相电源的进线先穿过电流互感器再接至电源总开关的上端口，同时从电源总开关的上端口分别接一根 1.5～2.5mm^2 截面积的塑铜线（应用黄绿红色分开）接至电能表的三个电压线圈的始端，其末端仍和零线相接。

③　电流互感器的二次应分别用两根 1.5～2.5mm^2 截面积的塑铜线接至电能表的电流线圈，电流互感器的 L_1 端为始端，L_2 端为末端，且 L_2 端应用铜绞线与地可靠连接。这里要注意，某相电流互感器所接的那组电流线圈，必须是从总开关该相上端口取得电压的那组电压线圈对应的电流线圈，也就是电流线圈和电压线圈参数的取得必须是同相。

④　单相电能表与三相电能表接线方法基本相同，先拆掉连接片；电源相线穿过电流互感器接至单极断路器上闸口，下闸口接负载相线；电流互感器二次线 L_1 端接单相表的电流线圈进端 1#，出端 3#接至电流互感器二次线 L_2 且接地；附小铜塑线从单极断路器上闸口或总断路器下闸口取得电压接至电压线圈始端，零线同样进接 4#端子，出线接 5#端子。

⑤　将电流互感器的电流比标注在接线盒盖上。

⑥　电流互感器的极性必须一致，导线穿过方向一致，电能表必须为额定电流 5A，与互感器匹配。

（五）灯具、单相设备及其开关元件的安装

1. 单相电路中元器件的安装和接线

（1）无论哪种照明开关（拉线、扳把、翘板、单极断路器、触摸或红外自动开关等），常相线也就是电源的进线，应接在开关的静触头的端子上；控制相线也就是开关的出线，应接在开关的动触头的端子上。任何单相电器（包括灯具）的控制开关都必须控制相线，零线一般可不加控制，而零干线上不得有人为的断开点。

（2）任何部位的螺口白炽灯，经开关后的控制相线应接在灯口内中央的舌片上，零线则应接在螺口的螺钉上，见图 6-7。卡口灯的两个接线柱可任意接零线或接相线。

（3）单相两孔插座，面对插座的左极应接零线，

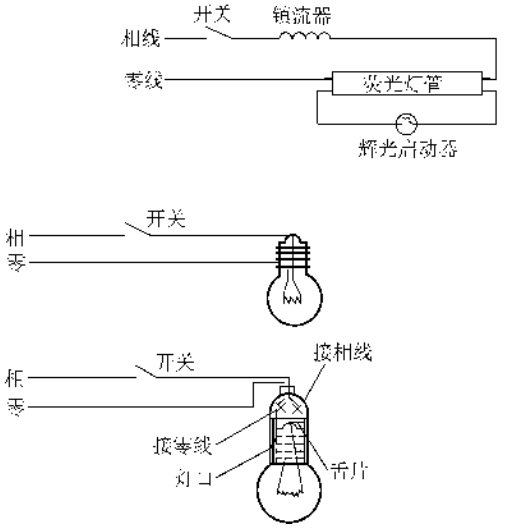


图 6-7 荧光灯及螺口灯泡的接线

右极接常相线，即左零右相；单相三孔、三相四孔带接地端子的插座，其接地端子的插孔应在上方，且单相三孔下面两孔也应为左零右相。

（4）多股铜软线和电器端子的连接应先将其绝缘层去掉，然后把铜芯拧成小辫镀锡处理后，才能和端子连接。独股导线可与端子直接连接。

（5）任何情况下管内导线不得有接头，导线的接头应在接线盒、分线盒、灯头盒、开关盒、端子盒中或箱内进行，同时应尽量减少导线的接头。

（6）三相供电的系统应按设计分配使每相的负载平衡，不得随意更改线路，如特殊情况者非更改不可时，应通过设计，并把更改线路及容量标注在竣工图上。

（7）任何电器元件的安装标高、安装位置应符合设计，垂直安装的元件中心轴线应垂直地面，水平安装的应与地面平行且位置应居中或分布均匀，同一建筑物中同样元件的标高应一致，总体上整齐美观，纵横做到成线、成行、成排、成列。

（8）接线必须按照预先确定的编号或记号进行，不得混用，零线就是零线，相线就是相线，否则系统将发生混乱而引起事故。

（9）任何场所灯具及照明电具的固定均不得采用木楔固定，如没有预埋固定件，通常应采用膨胀螺栓、埋注螺栓、射钉枪射钉来补救，特别是对重量较大、固定后弯矩较大或经常拔插的电具。

（10）在室外安装灯具的控制开关必须采用防护型或防水型的拉线开关；在多尘、潮湿、易腐蚀、振动环境恶劣场所应选用相应的防护灯具，管路应密封；在危险爆炸、易燃易爆及火灾易发生的场所，必须选用防爆灯具。防爆灯具或特殊场所灯具的安装见相关内容。

（11）安装好的灯具或元件应注意成品保护，以免丢失或损坏。必要时可先将盒内的线接好并甩出，而不安装元件或设备，待通电试灯前一日再将元件设备安装接线。选用的圆木应按墙壁的颜色涂刷相应的油漆。

（12）采用五线制的系统，要将设备、元件易漏电的部位可靠与保护地线连接，保护地线应采用铜线。

（13）导线的连接必须杜绝混线，所谓混线就是不是该回路的电具却接在了该回路上，而该回路的电具却接在了其他回路上，这是要绝对禁止的，特别是单独计费的民用住宅更要引起注意。

混线多发生在分路之间，特别是采用单独控制的民用住宅，管线多，在布置或穿线时很容易混线，进而导致了接线的错误。

（14）接线必须保证正确、牢固、可靠、绝缘，除明敷导线外，接线必须在盒内进行；明敷导线允许分支线在干线上接线，但不得使干线受到应力，分支线接线时，接线点应在干线上错开。干线因长度不够需要延长接线时，只允许在不受应力处的过引处连接。

2. 导线连接的处理及灯具开关的安装接线

照明电路中有很多导线的连接点：一种是干线在开关内的连接及与分路的连接；一种是从分路开关送来的分路总电源线与支路导线的连接；另一种是支路接出来的与负载连接的负载线；再一种是从各种线盒接出来的通往开关的控制线；还有些是为了穿线的方便或者是导线经过转角及导线较长时，在管路中设置的接线盒中导线和导线的连接等。

下面以图 4-51 为例，说明照明电路中导线连接的类别和方法及灯具的安装。为了讲述方便，我们将图中各点标注了编号，见图 4-51。图中的管路全部采用钢管。

（1）从总开关箱上翻至距顶 -0.2m 的①点处有一便于敷设管路及穿线的接线盒，这是为了顺利穿线而设置的，导线一般是不断开的。线穿好后，将盖儿盖好，紧好螺钉，一般情况下再抹一层白灰，与墙壁抹灰面取得一致。接线示意见图 6-8。

（2）在②点距顶 -0.2m 处有一接线盒，标高 1.40m 处有一盒装设两只翘板开关，是控制门厅吸顶灯和壁灯的，并在标高 0.30m 处有装设电源插座的盒，全部的接线见图 6-9。导线的连接全部采用倒人

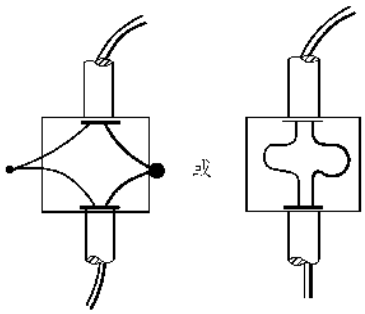


图 6-8　①点接线盒接线示意图

字接头，见图 6-1，包扎好绝缘层后将线头塞进接线盒，将盖儿盖好抹灰即可。

线盒内的接线也叫“跪头”，是安装中的俗语，跪头还有一种较先进方便的办法，就是采用“压线帽”，市场上有成品销售，使用时先将被跪头的导线剥去绝缘，长度不超过压线帽的深度，根数与截面积按表 6-1 选择，如连接根数不够应填充同径线芯，然后用专用的压线钳压挤线帽即可完成连接，安全可靠，见图 6-10。压好后同样塞进线盒，无须包扎绝缘。

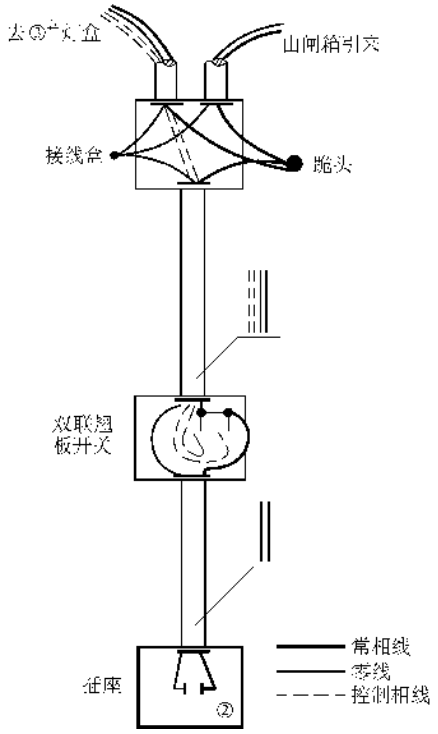


图 6-9　②点盒内接线示意图

表 6-1　YMT 压线帽使用规范

压线管内接线线芯组合编号	压线管内导线规格/mm² BV（铜芯） 1.0	1.5	2.5	4.0	色别	配用压线帽型号	线芯进入压接管削线 L/mm	压线管内加压所需充实线芯总根数	组合方案实际工作线芯根数	利用管内工作线芯回折根数作填充线
	导线根数									
2000	2	—	—	—	黄	YMT-1	13	4	2	2
3000	3	—	—	—				4	3	1
4000	4	—	—	—				4	4	—
1200	1	2	—	—				3	3	—
6000	6	—	—	—	白	YMT-2	15	6	6	—
0400	—	4	—	—				4	4	—
3200	3	2	—	—				5	5	—
1020	1	—	2	—				3	3	—
2110	2	1	1	—				4	4	—
0200	—	—	2	—	红	YMT-3	18	4	2	2
0030	—	—	3	—				4	3	1
0040	—	—	4	—				4	4	—
0230	—	2	3	—				5	5	—
0420	—	4	2	—				6	6	—
1021	1	—	2	1				4	4	—

（续）

压线管内接线线芯组合编号	压线管内导线规格/mm^2 BV（铜芯） 1.0	1.5	2.5	4.0	色别	配用压线帽型号	线芯进入压接管削线 L/mm	压线管内加压所需充实线芯总根数	组合方案实际工作线芯根数	利用管内工作线芯回折根数作填充线
	导线根数									
0202	—	2	—	2	红	YMT-3	18	4	4	—
8010	8	—	1	—				9	9	—
L20（铝芯）	—	—	2	—	绿	YML-1	18	4	2	2
L30	—	—	3	—				4	3	1
L40	—	—	4	—				4	4	—
L32	—	—	3	2	蓝	YML-2	18	5	5	—
L04	—	—	—	4				4	4	—

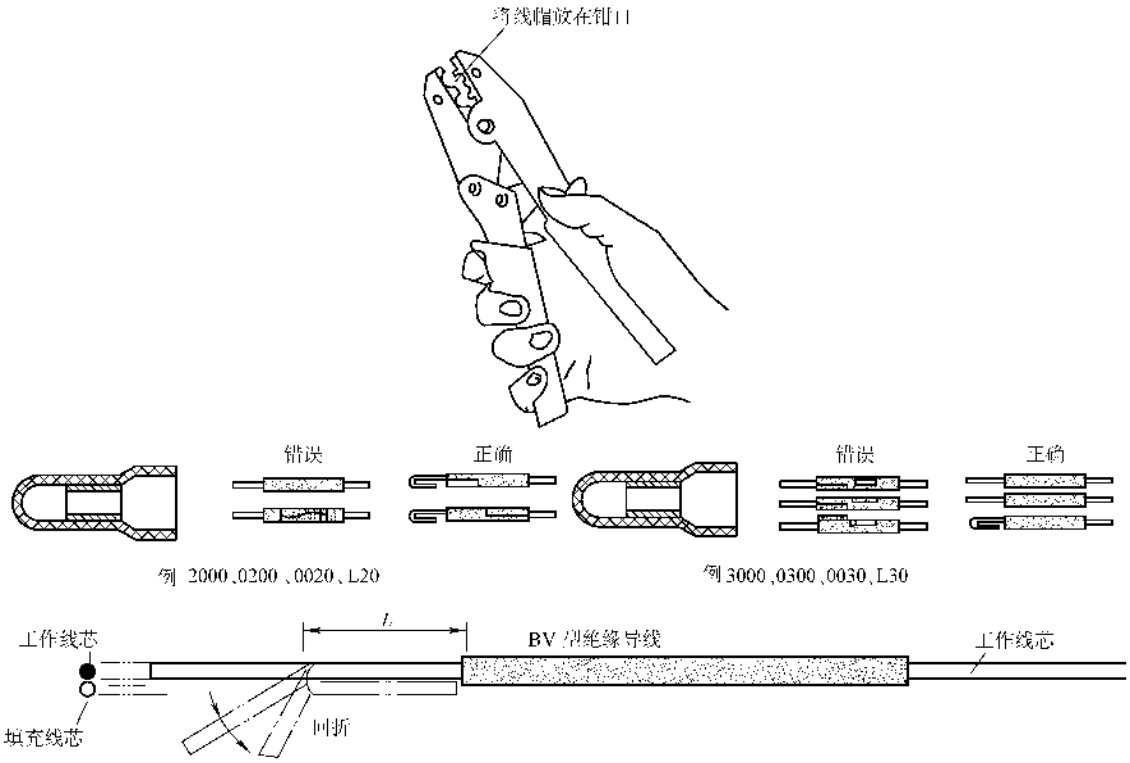


图 6-10 压线帽的使用方法

进入开关箱的一根常相线、两根控制相线应当与翘板开关接好，这里是一只双联的开关，先把常相线接在其中一个静触头上，然后再将这个触头与另一个静触头用导线连接起来，两根控制相线分别接在动触头上。接线时盒内预留的长度不宜太长，一般不超200mm，插入接线孔内的导线应用双回头，螺钉拧紧即可，不宜太紧，见图 6-11。如果孔与导线线径相差太大，应充以多根导线芯。有些开关或灯具、插座的接线是直接插入即可，不用螺钉紧固，孔内有锁紧装置，但必须插到底，并对导线的剥切及规格都有要求，见图 6-11。然后把开关背面向里送进线盒，翘板有标志的应在上方，找正后用螺钉与盒上的螺孔拧紧即可，见图 6-11。如果墙壁裸露孔洞，应用白灰将其抹严修平。

进入插座盒的一根常相线、一根零线应与翘板系列的插座接好，要左零右相，安装方法同翘板开关。

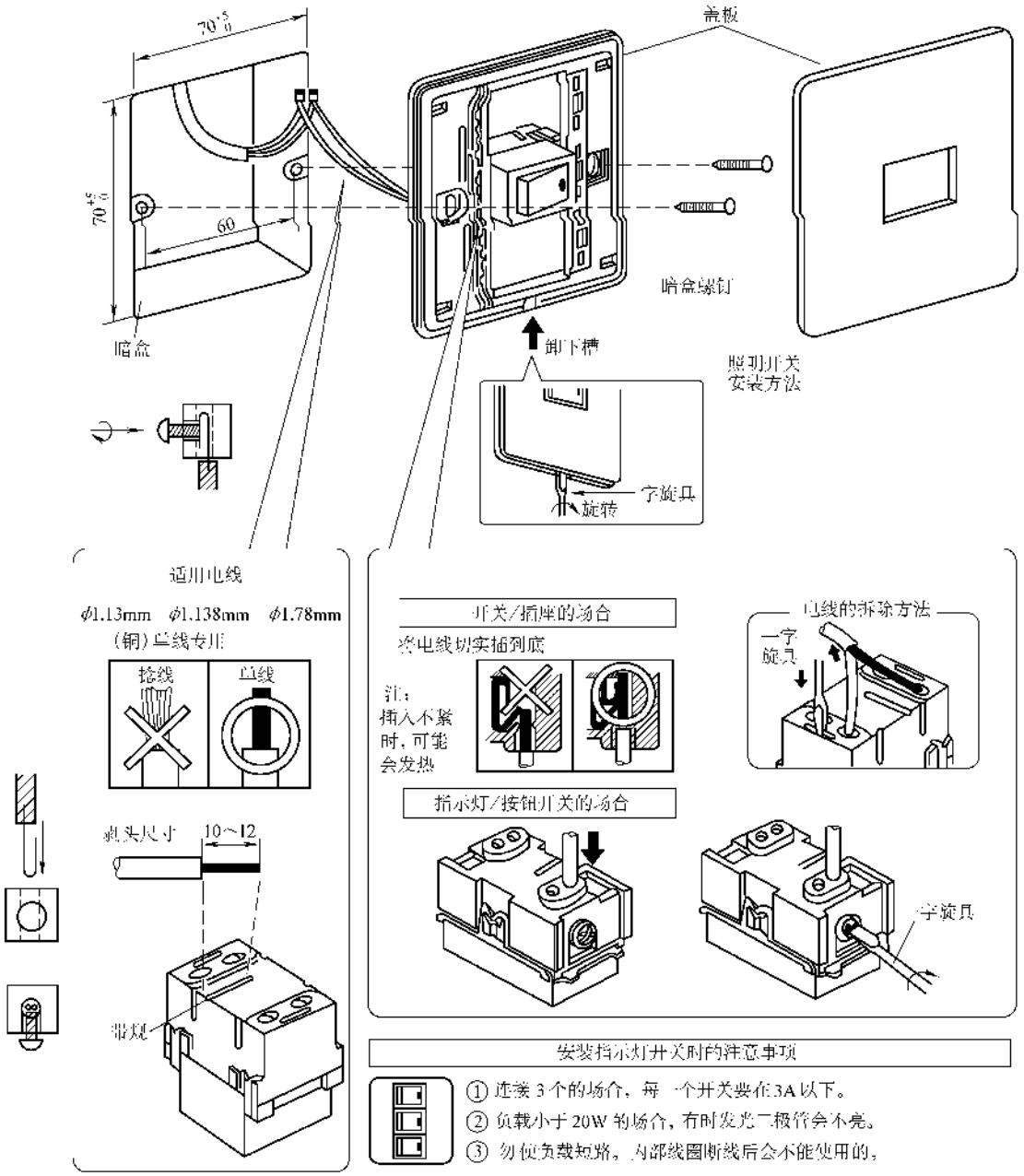


图 6-11　导线插入接线孔及开关盒安装方法

（3）③点是一吸顶灯，③点的盒即是接线盒，又是分线盒，全部接线见图 6-12。这里的常相线将接至三个回路，一个去④，一个去⑱，一个去㉘；这里的零线将接至五个回路，分别去④、㉘、㉗、⑱，另一个接③本身吸顶灯；这里的控制相线一根接③本身吸顶灯，另一根接出两个支路分别至㉗、㉘壁灯，顶板 -0.20m 处的接线盒同①。

③盒处将跪头塞入接线盒，将吸顶灯的底座用螺钉与灯盒固定，同时将③的一根控制相线、一根零线从底座中间的孔穿出，把环形灯管在底座上固定，同时把控制相线接在镇流器的进线端，零线接在灯管的出线端，然后把灯罩装好即可，荧光灯的接线图见图 6-7。

如果吸顶较重，可用一根 φ6mm 的、长小于 150mm 的钢筋棍置入接线盒内，一端伸入通㉗的管口，另一端伸入通㉘的管口，同时把管内的导线置于

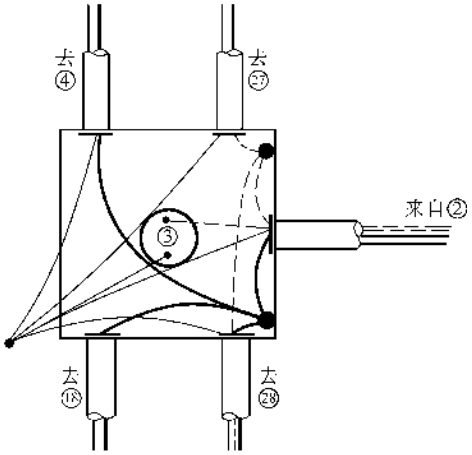


图 6-12 ③点盒内接线示意图

管口上部，不得用钢筋棍挤压，然后用一根 10#镀锌铁丝将吸顶灯底座与钢筋棍拧紧固定即可。底座的中间部位应预先钻出两孔使铁丝穿入，底座的中心应位于盒的中心。有条件也可在顶板上用射钉枪打射钉固定。

如果③为多只白炽吊灯，处理方法同较重吸顶灯，接线时应先找出螺口舌片的接线端子与控制相线连接，螺旋口线与零线连接。

这里要注意，无论是哪种灯，都应用底座将③盒盖住，并使盒内的导线不外露；如灯无合适底座，可在③盒先装一只大小合适的圆木，并把线穿入圆木引出，再进行接线装灯。另外还要注意，预制楼板和现浇楼板灯盒的处理不同，见图 4-26、图 4-28。

㉗、㉘处的壁灯应先按其底座的几何形状选用合适的圆木，钻孔后将一根控制相线、一根零线从盒内穿孔引出，然后把圆木与盒用螺钉固定好，接线同吸顶灯或吊灯，最后把壁灯固定在圆木上，不得外露导线，见图 6-13。

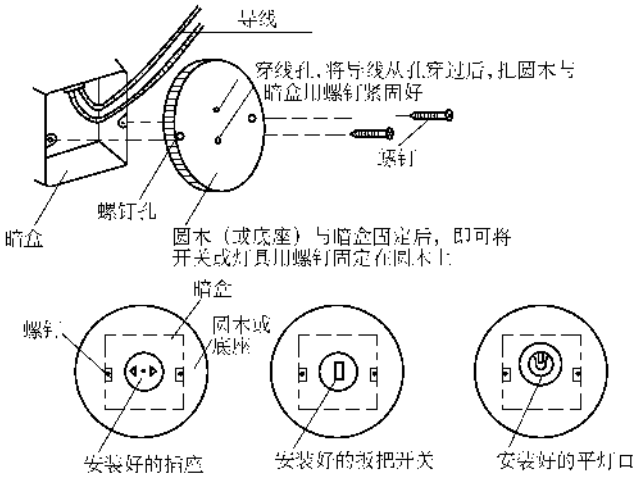


图 6-13 圆木的使用及灯具的安装

（4）④点是双联翘板开关，基本同②点，全部接线见图 6-14。

（5）⑤点是一只荧光吊灯，有两个盒，左边是一接线盒，右边只是一只吊盒，接线盒内的接线见图 6-15。荧光灯安装时，先选择两只相同的圆木，把两盒盖住并与盒螺钉固定，同时将接线中的导线引出。然后将两只吊盒用木螺钉与圆木固定且应在圆木中央，其中一只则将引出的导线接在吊盒的接线端子上，这时应记住哪个是控制相线，哪个是零线。成套的荧光灯一般用金属链吊装，两根链必须长度相等，才能使荧光灯水平。链与灯、与吊盒的连接要可靠。接线时要注意两点：一点是荧光灯的出线应用软铜线，且应与链穿插在一起；再一点是镇流器和零线端的接线要正确，见图 6-7。如果是吸顶安装应先将灯盒（罩）

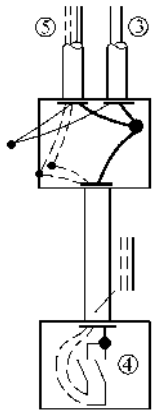


图 6-14 ④点盒内接线示意图

用螺钉固定在两只圆木上，同时把控制相线、零线穿过圆木直接引入灯罩盒之内，在罩内接线。

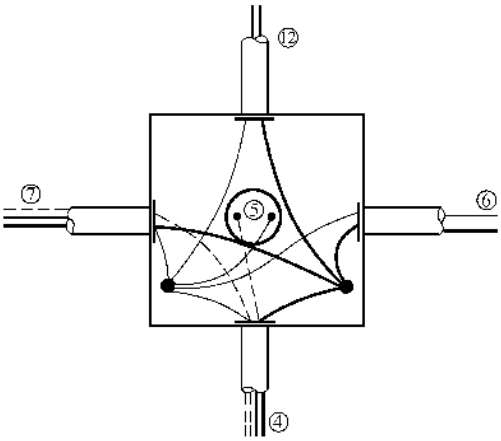


图 6-15　⑤点盒内接线示意图

（6）⑥点是一只单相插座、距顶 -0.20m 处有一盒，接线同②点，但中间无翘板开关。

（7）⑦点标高 1.85m 处为一壁灯，0.30m 处为一插座，但这里要注意，板下 -0.20m 处及标高 0.3m 处的线盒与⑩点该标高处的线盒是连通的，目的是省掉一根竖管并把电源引入该卧室，接线见图 6-16。

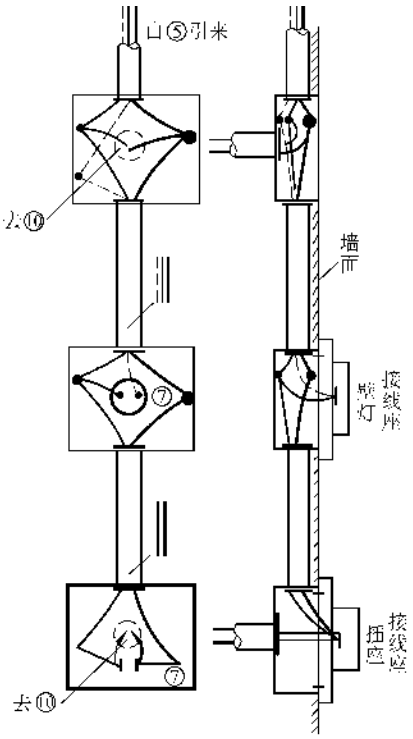


图 6-16　⑦点盒内接线示意图

（8）⑫点是一平灯口壁灯与拉线开关的组合单元，⑬点是一单相插座，⑫点的接线示意图见图 6-17。⑬点的接线示意见图 6-17。安装是分步进行的。

1）将平灯口、拉线开关打开，均匀分布在灯座板上，同时按其进线孔的位置在板上划出开孔的位置，然后开孔（稍大于线外径即可）。

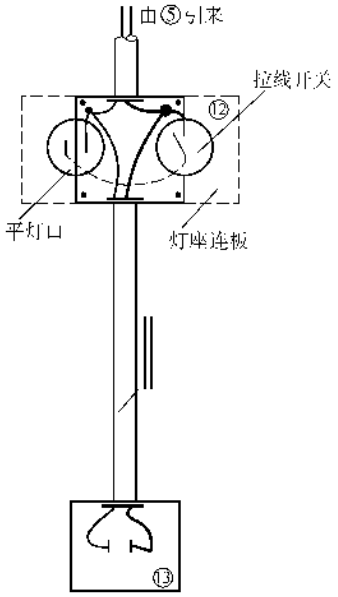


图 6-17　⑫点盒内接线示意图

2）将盒内从⑤引来的相线和送至⑬的常相线一并穿过拉线开关静触头的进线孔，再把零线和送至⑬的零线一并穿过平灯口螺旋口的进线端。

3）从拉线开关的动触头进线孔至平灯口舌片进线孔穿一根绝缘线，不宜太长。

4）将灯座连板固定在灯盒上，要水平方正。

5）将灯座板上的线分别穿过拉线开关和平灯口的进线孔，然后将其固定在灯座板上。

6）比齐导线与端子接线的位置，将绝缘层剥掉，将导线与端子接好拧紧，同时把多余的导线剪去，然后把盖儿盖上，灯口套拧上。

7）⑬点的接线同②点。

（9）⑩点与⑦点基本相同，见图 6-18。

（10）⑧点为两翘板开关，基本同④点，接线见图 6-19。

（11）⑨点为一荧光灯，基本同⑤点，盒内接线见图 6-20。

（12）⑪点同⑥点。

（13）⑳点为一壁灯及对背插座，基本同⑦点和⑩点，接线见图 6-21。

（14）⑭点为一荧光灯，接线见图 6-22。

（15）⑮点为一双联翘板开关，基本同②点，接线见图 6-23。

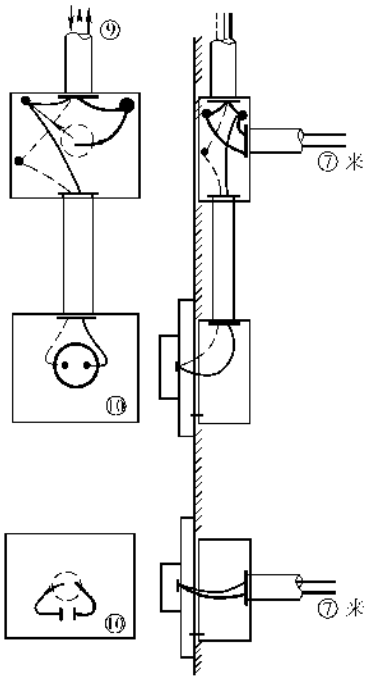


图 6-18 ⑩点盒内接线示意图

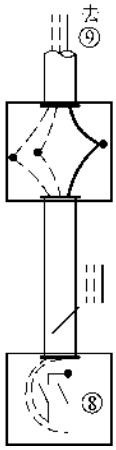


图 6-19 ⑧点盒内接线示意图

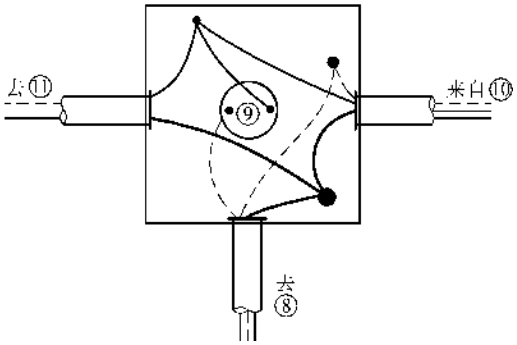


图 6-20 ⑨点盒内接线示意图

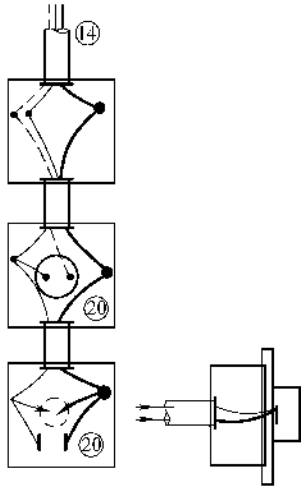


图 6-21 ⑳点盒内接线示意图

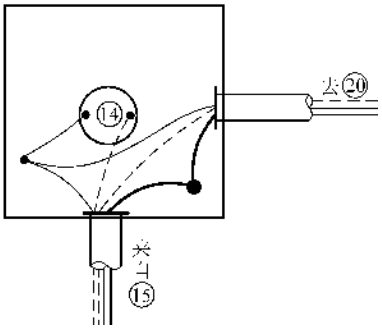


图 6-22 ⑭点盒内接线示意图

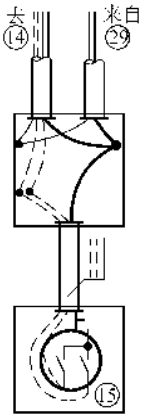


图 6-23 ⑮点盒内接线示意图

（16）⑯点为一荧光灯，接线基本同⑭点，见图 6-22。

（17）⑰点为一壁灯及对背插座，基本同⑦点和⑩点，接线见图 6-16。

（18）㉙点为一双联翘板开关，基本同⑮点，接线见图 6-23。

（19）⑲点为一吸顶防水防尘灯，基本同③点，

但安装灯具时，必须把密封垫放正置平，使其严密，接线见图 6-24。

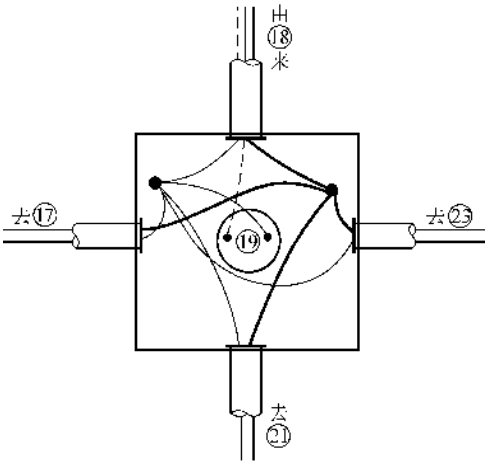


图 6-24　⑲点盒内接线示意图

（20）⑱点为一拉线开关，基本同⑫点，盒内接线见图 6-25。

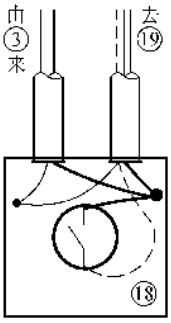


图 6-25　⑱点盒内接线示意图

（21）㉑、㉒点与⑫、⑬点相同，见图 6-17。

（22）㉓点为一壁灯，安装与㉘点相同，接线见图 6-26。

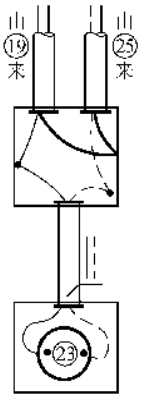


图 6-26　㉓点盒内接线示意图

（23）㉕点为一翘板开关，安装同②点，接线见图 6-27。

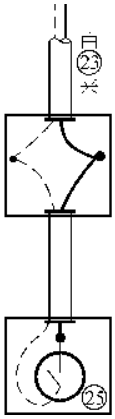


图 6-27　㉕点盒内接线示意图

（24）㉔点为一翘板开关，安装同㉕点，接线基本同图 6-27。

（25）㉖点为一壁灯插座，安装同前，接线见图 6-28。

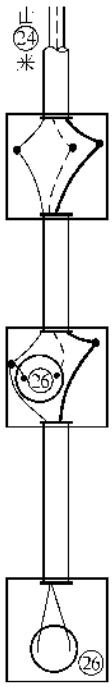


图 6-28　㉖点盒内接线示意图

在实际工程中，盒内接线与电具的安装是分步进行的，也就是说，先将盒内所有的线接好并将接于灯具、开关、插座的线甩出来，并做好记号（工作零线、控制相线或相线、保护零线）。等所有的线接完并摇测绝缘正常后，再进行灯具开关的安装，有时也称“吊灯”。灯具、开关、插座安装好后应及时锁

门，以免丢失。

3. 其他灯具的安装

前面讲述了一些常规灯具的安装方法，下面讲述装饰灯具及公共场所常用灯具的安装方法。

（1）花灯的安装

1）花灯安装的注意事项

① 有的花灯是采用分组控制的，接线时要按几只开关送来的控制相线分别按组接线。

② 花灯的重量超过3kg时，应在配合土建时预埋吊钩和螺栓，吊钩或螺栓的直径不应小于灯具吊挂锁钉的直径，且不得小于6mm，见图6-29。用导线吊灯时不得超过1kg，超过时应用吊链。用导线吊灯时应在吊盒及灯口盒内将导线作保险扣，见图6-30。常用灯具吊装方式见图6-30。

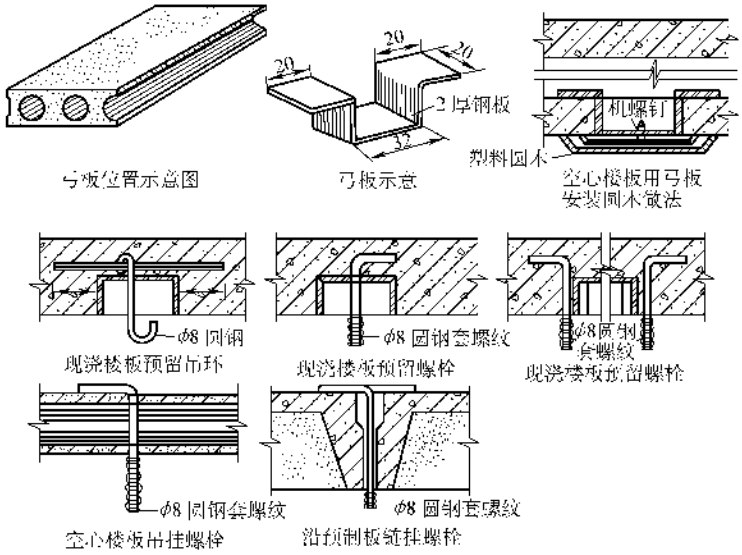


图6-29 灯具吊钩螺栓的预埋方法

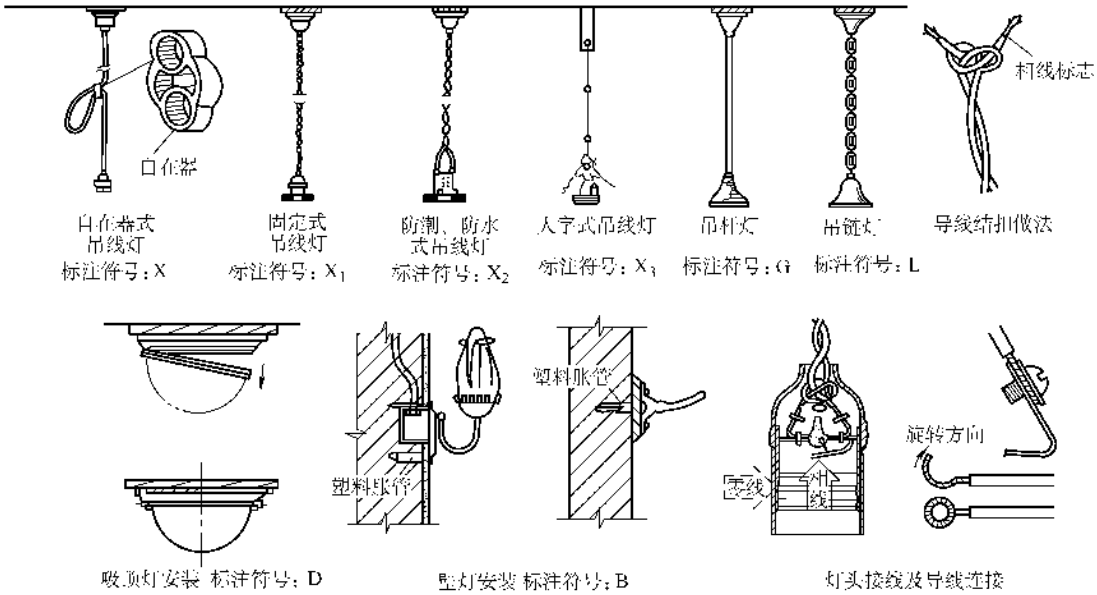


图6-30 灯具的吊装方式

③ 大型花灯重量太重时，一般常采用绞车悬挂固定。使用绞车时，棘轮必须有可靠的闭锁装置，当灯具吊起停止后，闭锁装置能使绞车制动停止；绞车钢丝绳抗拉强度不小于花灯重量的10倍；钢丝绳的长度应使花灯放下后，距地面不得小于250mm，电缆不得拉紧；吊装花灯的固定点及悬吊装置、吊装系

统应做 1.5 倍过载试验及试吊试验。

④　安装在重要场所的大型花灯的玻璃罩应有透明尼龙丝编织的保护网，网孔的截面积不得大于一个灯罩底面积的 1/10。

⑤　同一场所的花灯，其吊高应一致。

2）一般不太重的花灯的安装方法

①　结合平面图、控制开关数量和接线盒内送来的导线根数，确定花灯的控制组数，控制组数等于送来的导线根数减 1，这一根导线为零线，其余为控制相线。

②　把所有灯头螺口接线端子的导线找出，用倒人字接头连接在一起作为公共零线点；把同一控制组的灯头中心舌片端子的导线找出，并用倒人字接头分别连接在一起，即将花灯分组，且与①中的组数相同。

③　较重的花灯应用绳子将其吊杆或吊链栓好系牢，上部应留出 200mm 的裕量，绳子另端从预埋挂钩处悬挂的滑轮穿过，按与滑轮中心与地面垂线成 30°的方向拉紧绳子，慢慢把花灯吊起，当吊杆顶部与楼板顶相距 200mm 时即停止，然后把地面一端绳子与固定物系紧系牢。也可用升降车将灯顶升至安装位置，站在车顶上进行安装。

④　按分好的组别分别与控制相线接好，同时将引至的零线与灯口零线接好，均采用倒人字接头，接线应尽量短。然后再拉紧绳子，直至将花灯吊杆上的挂钩和预埋的铁件挂好锁住为止。

⑤　把所有导线接头卧进盒内，把吊杆上的活动盒盖推至盒处，用螺钉与吊杆锁紧。这里要注意三点：一是要将所有的导线压入盒内，不得外露；二是吊顶要垂直；三是活动盒盖要将顶板的盒或孔洞全部盖住，否则应在吊灯前用合适的圆木或装饰板加以掩饰。经临时试灯正常后或用表测量接线无误后，才可将绳索、吊具拆掉。

3）重型花灯用绞车悬挂的安装

①　绞车及导轮的安装　绞车一般安装在吊顶内的龙骨上或特定的小间内，操作者可通过观察镜看到灯具的起落。有电动的有手动的，电动的采用正反点动控制，手动的采用摇把，一般的体积不大。绞车具有两个相同规格的卷筒（钢丝与电缆各一个），同轴转动，转速同步。配合土建时，已将管路送至绞车房，穿线时应将动力电源、照明电源的导线及控制按钮线引至绞车房的小配电控制箱内。

先将绞车安装在地脚螺栓上，找正找平固定好，在钢丝绳的拐角处安装好定滑轮，每点两组，一组是钢丝轮，一组是电缆轮，见图 6-31。A 点的滑轮应对正吊灯的位置。

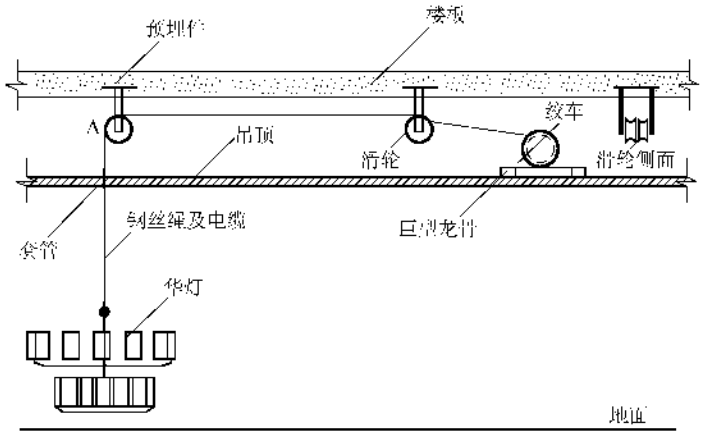


图 6-31　绞车、吊灯安装示意图

然后丈量从地面到绞车的距离,确定钢丝绳的规格、长度及软电缆的长度，通常应加 20% ~30% 的余量。

钢丝绳滑轮是按 3 ~5 倍灯重选择的，其固定点的挂钩应满足常期负重的要求。一般应将挂钩预埋在房顶的楼板内，并与主筋电焊连接在一起，挂钩圆钢的直径应按计算直径的 1.5 倍选择。施焊焊工必须是持证合格焊工，必要时应做焊件强度试验或焊后进行 X 光照像。配合土建时应有技术人员监督。

②　把钢丝绳用放线架撒开，钢丝绳的卷盘应立放，不得平放，撒开后的钢丝绳应使其团盘的应力消除，不得有打纽现象，同时检查钢丝绳有无破损、断股、锈蚀、油干枯等现象。然后把钢丝绳按图穿入导轮并固锁在绞车的卷筒上。

钢丝绳的选择应按灯具重量的 3 ~5 倍选择，一般设备安装材料手册中都可以查到。

同样方法把软电缆撒开，穿挂在另一组导轮上，

末端固定在绞车的卷筒上。但要注意，不得伤及线芯，预留 1m 的长度以便接线。电缆一般应选用橡皮多芯铜软线电缆，芯数应满足花灯分组控制及花灯负载电流的要求。

③ 检查无误及消除应力后，在绳端系一重物，并在电缆端系一较小的重物，然后开动绞车试行，观察有无阻卡、跑偏及不妥，同时在滑轮轴上加少许机油。正常后，在绳端系一为灯具重量 2 倍的重物，同时将线端也系在重物的一端，但是应在绳撑紧后系，并有稍大的弛度。检查无误后开动绞车试行，并试验棘轮的闭锁装置是否可靠。正常后将其落于距地面 200mm 的悬空位置上静置 72h，观察各个部位有无不正常现象，否则应修复。然后将重物升至灯具位置悬挂 72h 应正常。

④ 一切正常后，将重物放下取掉，把花灯置于钢丝绳垂直落下的地面上，必要时可铺一软物加以保护花灯。将花灯组装好，并按前述的分组控制方法将花灯的线接好，然后在绞车房测试电缆的绝缘电阻（线与线、线与绞车系统），正常后再进行绞车房内电缆的接线。

绞车卷筒上的电缆端头与控制电缆的接线通常是用轴头的集电环进行的，结构与绕线转子电动机的轴头相似，见图 6-32。接线前要测试集电环与集电环之间，集电环与轴之间的绝缘电阻，应大于 1MΩ，然后按动力电路中的方法检查电刷与集电环的接触情况，应正常良好。接线时先将电缆端的各线芯与各组的电刷接好，再把由控制箱引来的控制相线及零线对应各组电刷接好，其中零线必须接对。

控制箱内的接线以及电动机的接线在前面有详细讲述。花灯的控制由接触器完成，应将接触器的下端口对应于各组电刷接好即可。花灯的控制和电动机的控制均采用两地控制，即在绞车房和大厅都可控制。系统控制板面示意见图 6-33，电路图为两地操作的接触器控制电路。

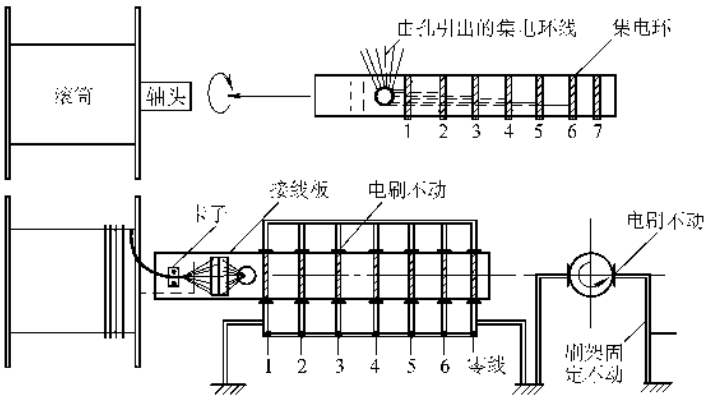


图 6-32 轴头集电环示意图

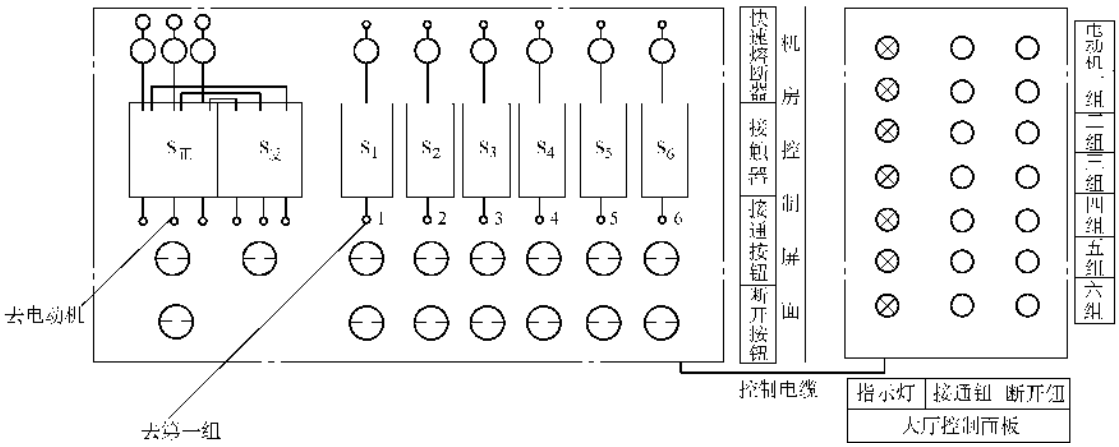


图 6-33 重型华灯控制线路图（以 6 组为例）

有的接线不采用集电环，而是直接连接，即将接触器的输出控制线直接与轴头的电缆分组接好。这样的接线只可以在将灯升起到顶部时才能进行，而当花灯放下前必须拆开线头才能将花灯放下，维修很不便。

接好线后应接通电源试灯，当各组的灯泡都发光正常，控制系统正常后即可将电源关掉，把钢丝绳和花灯的吊钩用卡子连接好，卡子不得少于4只。再将电缆头端与花灯扎紧，在任何情况都不应使接线头受到应力。当钢丝绳撑紧吃力后，电缆应比钢丝绳略长一点，任何时候都应有一定的弛度且不受外应力。

⑤　将系统详细检查一遍，所有的部位和元件都正常后即可进行起吊，且每个检查点都应派人监视。起吊至距地面100mm时应停止起吊再次检查一遍，确认无误后即可将花灯升至顶部，然后把绞车锁死。升至顶部后与吊顶的结合部位应与土建装修人员配合进行作业。

⑥　接通电源试灯应正常。整理绞车房并将其门加锁。清理现场，处理不妥之处。

（2）吊顶上灯具的安装　吊顶上安装灯具必须在土建装修人员的配合下进行，这里就电气元件的安装接线及部分配合作业做一详细讲述。

1）在龙骨或吊筋上将管、盒或线槽安装好后，即可将导线穿入，穿线时要注意灯具的分组控制方式。

①　分行控制　盒与盒之间导线根数为分行数加上一根零线，见示意图6-34。

②　分隔控制　盒与盒之间导线根数为相隔组数加2根导线，见示意图6-35。

③　统一控制　即不分组，盒与盒之间的导线根数为2，一零一相，见示意图6-36。

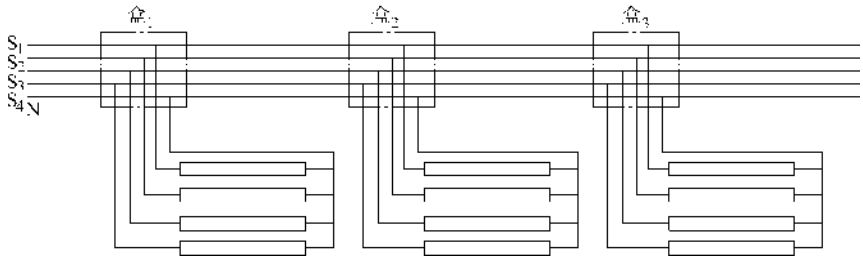


图6-34　灯带的分行控制示意图

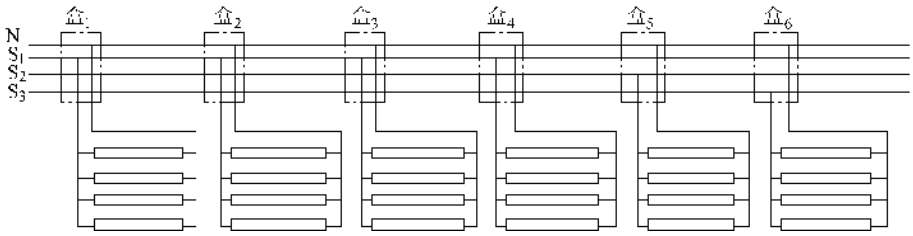


图6-35　灯带的分隔控制示意图

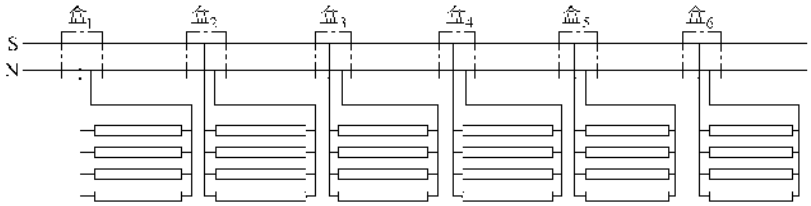


图6-36　灯带的统一控制示意图

2）测导线的绝缘电阻、导线编号，同前。

3）灯具的安装和接线　土建装修人员进行吊顶拼板时，即可将灯具安装在测量好的预留孔上，并将其与龙骨螺钉固定（木制龙骨用木螺钉直接固定，金属龙骨应先在安装孔位置钻孔套丝，再用机螺钉固定），灯具的排列必须整齐规则，与吊顶的结合处不得有空隙。重量较大的灯具（指重量大于3kg且数量较多者），应在混凝土顶板上预埋T形铁件，将灯具

吊装在T形件下焊接好的圆钢上，且保证与吊顶的结合处没有空隙且排列规则整齐。

灯具安装好后应立即接线，盒内和灯具的接线方法和要求同前，但要注意以下几点：

① 从盒内或线槽上引至灯具的线应穿金属软管，金属软管应用卡子具定在所经过的龙骨上。

② 接线时应按分组控制方式接线，见图6-34～图6-36，图中省略了镇流器和启辉器；白炽灯或其他灯具若分组控制，也可参考图6-34～图6-36的接线。

③ 某一层的吊顶灯具安装完后应立即接通临时电源试灯，若有不妥立即修复，因为土建装修撤离及脚手架拆除后，将会给修理带来不便。

④ 接线时应使电源线尽量远离灯具外壳且线长应留有余量。

⑤ 矩形灯具的边缘应与顶棚面的装修直线平行，若灯具对称安装，其纵横中心轴线应分别在同一条直线上，偏差不应大于5mm；荧光灯管应排列整齐，金属格栅片不应有弯曲扭斜等缺陷。

（3）楼道（楼梯间）灯的安装　楼道灯一般采用吸顶灯、壁灯，层高较大的也有采用吊灯或花灯的。控制方式有两种：一是集中控制，常用在高层建筑或大型建筑中，由控制室自动或手动控制；另一种是单独控制，用在一般的民用建筑中，单独控制时有的常用一灯两地控制，有的则用触摸延时控制或声光控制。

1）集中控制　灯具的安装同前，只是在每组灯的圆木或灯具壳上加一组瓷插式熔断器，控制的导线引至控制室的电缆沟内，接在总开关的下闸口；熔断器的安装一般是先在圆木或灯具壳上开孔，将导线中的控制线引出，然后将瓷插熔断器的底座用螺钉固定在上面，再将控制线接在上闸口，下闸口的线送至灯具即可。然后将熔丝上好，把熔断器的盖儿盖好。熔丝与螺钉的连接同单股导线与螺钉的连接见图6-11。熔丝的选择应按灯泡总额定电流的1.1倍选择。

2）两地控制　采用两只单刀双掷开关，分别安装于每层楼梯进口处和该层楼梯向上行的出口处。电源有的取自于该层的闸箱，有的和其他层楼道灯一块统一取自于配电间或首层的闸箱，前者常用于民用住宅，后者常用于公共建筑，且后者每组灯具应装设一只瓷插式熔断器。

由本层闸箱取得电源的楼道灯两地控制的接线见图6-37。由配电间或首层的闸箱统一共用电源的楼道灯两地控制的接线见图6-38。声光控制只将灯口换成声光控制灯口即可。

灯具、盒内接线及要求同前。

（4）墙上弯灯的安装　墙上弯灯是最容易脱落的

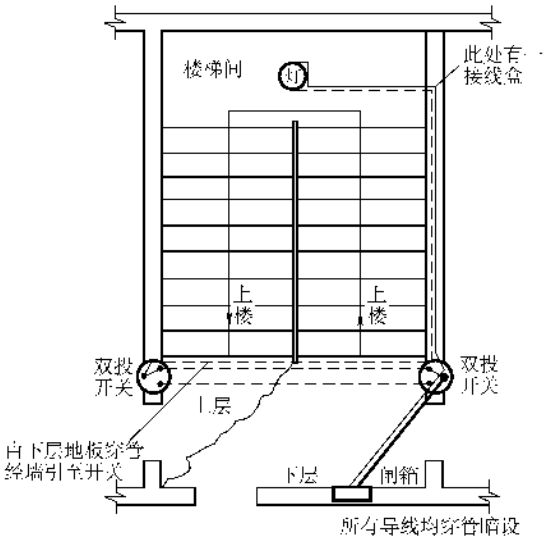


图6-37　楼道灯两地控制接线图之一

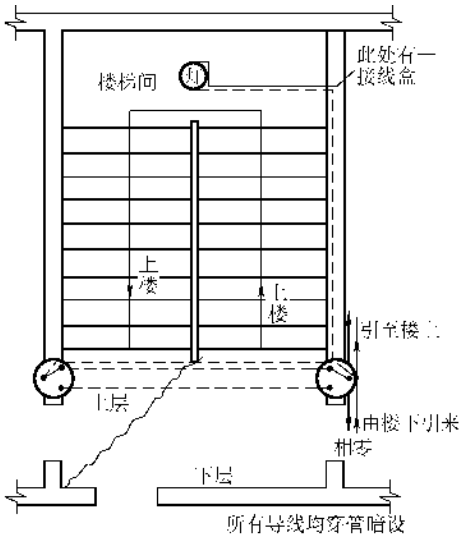


图6-38　楼道灯两地控制接线图之二

灯具，应采用底座铁板固定的方法。

1）在距接线盒边外20～30mm的墙上注入4条ϕ6mm的螺钉，出墙20mm；或在墙上钻4个ϕ7.2mm的螺孔，采用ϕ6mm的膨胀螺钉；或用射顶枪射入4条ϕ6mm的射钉；其四点应为正方形的四个顶点，排列规则。

2）用$\delta=10$mm的铁板作一圆形底座铁板，直径为上述正方形对角线长加30mm，并按其四角位置开孔$\phi=7$mm，并在中心位开一进线孔$\phi=10$mm，然后比对弯灯三脚腿的位置对称于中心位置再开三个固定孔，$\phi=5$mm，并用ϕ6mm的丝锥攻丝，室外安装开

ϕ7mm 的孔，用 ϕ8mm 的丝锥攻丝；也有直接开 ϕ6mm 或 ϕ8mm 孔的，但不攻丝，底座铁板见示意图 6-39。铁板应刷漆两遍。

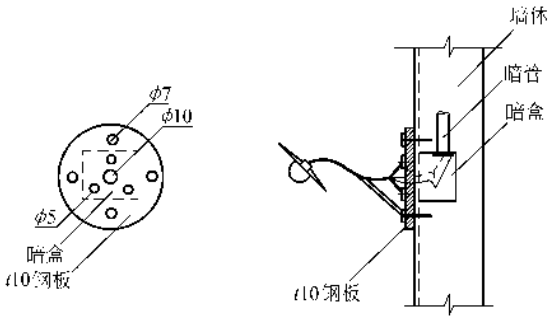


图 6-39　弯灯及其铁板底座安装示意图

3）将弯灯的导线穿入弯管内并与灯头接好，将弯灯的三脚座与铁板用螺钉固定牢固，并将弯灯的线穿过铁板中心孔，孔上穿套橡皮圈或绝缘套管，然后把线与盒内的线接好，接头跪进盒内，最后把铁板固定在墙上的四条螺钉上。

4）在弯灯下面墙上合适的位置用上述方法在墙上注一条螺钉，然后把弯顶的支撑装好。

5）必要时室内弯灯应在铁板上装一瓷插式熔断器；室外弯灯应在接线时串接一只飞保险（室外低压熔断器）。如室外气候环境恶劣，可适当加大螺钉和铁板的厚度，螺钉一般不超过 ϕ10mm，板厚度一般不超过 15mm。

（5）庭院柱灯的安装

1）清理预埋管路，吹除管路，穿线及将地脚螺栓用油洗去或刷子刷去锈蚀，必要时应用板牙重新套扣。

2）将灯具安装在钢管柱子（高一般不大于 3m，直径不大于 100mm）的顶部，通常灯的底座与灯柱配套。接线同吊灯，并将线穿于柱内引至底部穿出，见示意图 6-40。

3）将底部护罩推上，把瓷插式熔断器用螺钉固定在管外的螺孔上，然后将电线管的线也从孔穿出，并把管立起安装在底座上。

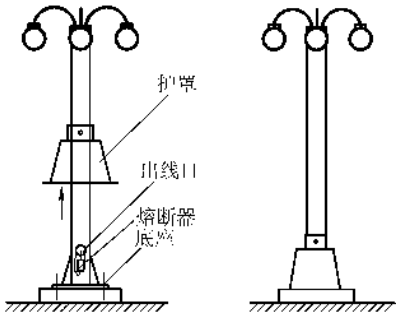


图 6-40　小型庭院柱灯安装示意图

4）将引来的控制相线接在熔断器的上闸口，灯具的控制相线接在熔断器的下闸口，引来的零线与灯具的零线作倒人字连接包扎好，然后把护罩放下，用螺钉固定好，见示意图 6-40。

广场、公路侧大型柱灯常采用水泥电杆或 ϕ300mm 以上的钢管支撑，护罩多为组合式安装，方法基本同上。柱灯的立柱必须垂直于地面。

（6）探照灯、投光灯及建筑物立面照明灯的安装　这一类灯的安装，基本同柱灯，但有些则固定在支架上，支架或柱应牢固且垂直地面。灯具在支架上的固定是用螺栓固定的，接线同柱灯，安装好后把投光的角度调好即可。这些灯具必须每柱都装有熔断器。

这类灯具容量较大，使用的导线或电缆应符合额定电流的需要，截面积最小不得小于 6mm^2；凡是在塔架上安装，其导线应穿钢管明敷；凡是在钢管柱顶部或水泥杆上安装，可把导线或电缆穿入钢管柱或水泥杆的腹内。在混凝土杆上开孔应使用混凝土开孔机，开孔直径略大于导线或电缆线径即可，如能使用在加工制作时即在杆上预留孔的水泥杆最好。灯具的接线必须将导线接在灯具的接线柱上，接好线后应把线端的悬空线用绝缘带绑扎在构架上，以免风吹摆动而折断；控制方法一律采用集中控制。

4. 特殊灯具的安装及要求

（1）手术台无影灯的安装及要求　固定螺栓的数量，不得少于灯具法兰盘上的固定孔数，固定螺栓的直径应与孔径配套，且固定螺母均须采用双母。在混凝土结构上，预埋螺栓应与主筋相焊接。手术无影灯的固定必须牢固可靠，必要时应作载荷试验。

手术无影灯备用电源的投入应为自动装置，有条件的应采用单独的 UPS 电源装置。接线时，灯具的灯泡应间隔地接在两条专用的电源回路上，导线全部使用额定绝缘电压不低于 500V 的多股绝缘铜线。

手术室内工作照明的灯具应分别接在两条专用的电源回路上。

（2）公共场所的安全灯、诱导灯、应急照明灯应装设双灯泡，且应将其分别接在两条专用的电源回路上；高级的宾馆、饭店、会堂应装设 UPS 电源装置。

上述两条中的灯具接线时，特别是双灯泡或间隔接线采用两路电源时，必须加强接线头的包扎绝缘层，通常应采用接线柱或端子接线，线头包扎时应包扎黄蜡绸三～四层，外层再包扎绝缘胶布或胶带。

（3）安全灯具的安装　安全灯具的电压不得超过 36V，固定灯具其管路的敷设及灯具的安装同前。行

灯（手把灯、活动灯）的灯体及手柄应有良好的绝缘，坚固耐热、耐潮湿；灯泡与灯头结合紧固，灯头应无开关；灯泡外部应有金属网保护，金属网、反光罩及悬吊挂钩，均应固定在灯具的绝缘结构部分上；在特别潮湿场所或导电良好的地面上或地面狭窄、行动不便及金属容器内，行灯的电压不得超过12V。

36V及以下照明变压器的安装应固定在支架上或配电箱内，其一次侧应装设熔断器，熔丝的额电流不应大于变压器的额定电流，其外壳、铁心和二次侧的一端或中性点，均应可靠接地或接零。

行灯使用的导线，宜采用橡套软电缆，接地线或接零线应在同一护套内；固定安装的安全灯，使用的导线额定绝缘电压应不小于500V。

（4）金属卤化物灯（钠铊铟灯、镝灯等）的安装　安装标高至少在5m以上，且应固定在金属架上；电源线应经接线柱连接，且不得将导线靠近灯具的表面；灯管必须与触发器和限流器配套使用。导线的敷设同前。

（5）建筑物节日彩灯的安装

1）屋顶平面上的彩灯已在配合土建时将电源管预埋至屋顶，穿线、管口装防水弯头；在层顶沿其边缘每隔0.6m的安装位置上置一彩灯底座，然后用钢管插入底座两侧的孔内将底座连接起来，内侧用电焊将管口与底座点焊连接；如在安装底座及管路处有防雷线，则应将彩灯放置在防雷线的内侧。在布管的内侧，用射钉枪射入一ϕ4mm的射钉，用来装置管卡子，将管固定在屋顶上，见示意图6-41。穿线、装灯、接线同前，节日彩灯必须有防雨玻璃罩。通常应在层顶电源管出口处的相线上加装一只220V氧化锌避雷器。

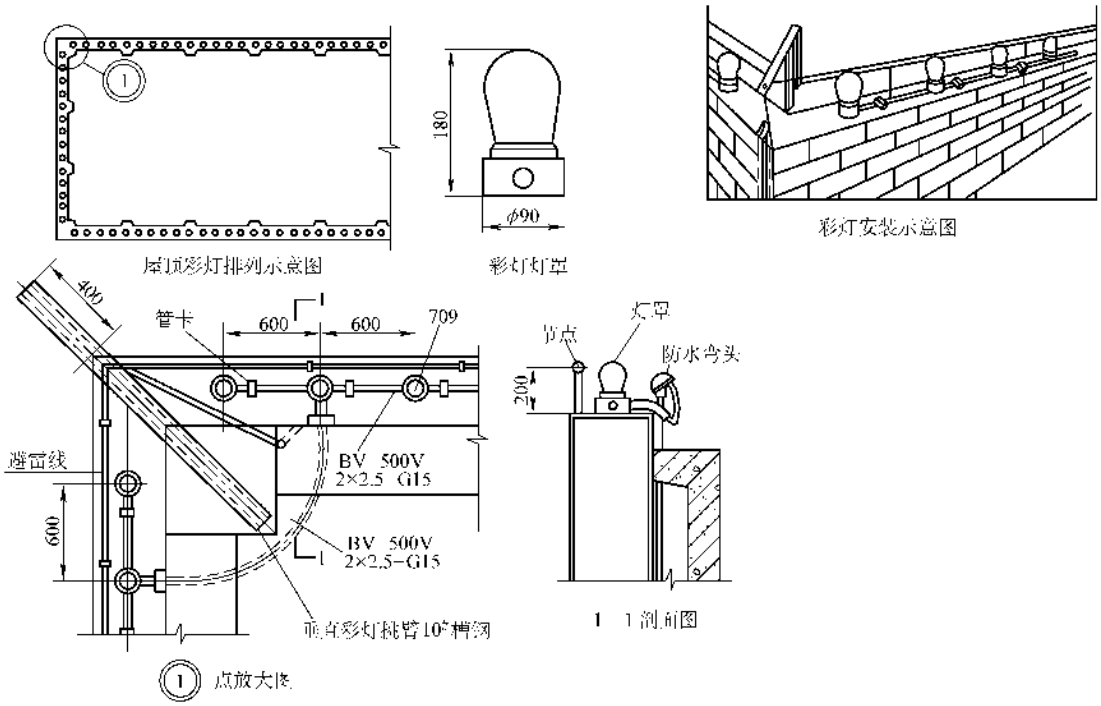


图6-41　屋顶彩灯的安装

2）建筑物立面的彩灯一般采用悬挂式的安装，见示意图6-42。目前，市场上建筑物彩灯的型式很多，可按其要求进行或由装饰图样决定安装方式。

3）立面投光照明的安装　高层建筑立面投光照明的安装基本同庭院灯，只是需要将灯具装置在角钢或槽钢构架上，或者落地平台上安装，其接线一般经过端子，装好后应将灯具的投光角度调整好，见示意图6-43。有时也采用柱灯的形式，在柱顶部焊接一块钢板，把投光灯固定在上面。

（6）钢索吊灯的安装

1）钢索的安装：钢索通常吊挂在两个耳环之间，耳环可预埋，也可用抱箍装设在柱、梁或钢架上。

先将钢索的一端用卡子固定在耳环上，和耳环的接触部位应设置心形环，卡子一般不少于2只，跨度较大者应用三只卡子。再把钢索的另一端经过花篮螺栓挂在另一只耳环上，钢索和花篮螺栓的连接同耳环

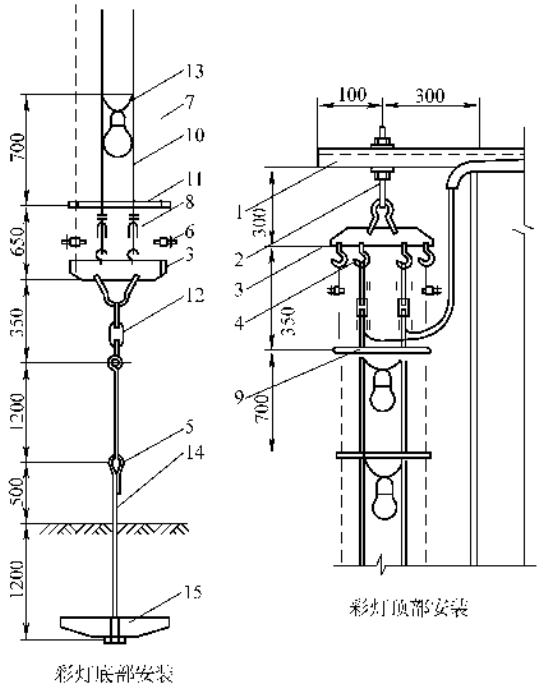


图 6-42　悬挂式彩灯的安装示意图

1—垂直彩灯悬挂挑臂 10#槽钢　2—开口吊钩螺栓 ϕ10mm 圆钢制作上、下均附垫圈、弹簧垫圈及螺母　3—梯形拉板，300mm×150mm×5mm 镀锌钢板　4—开口吊钩 ϕ6mm 钢制作与拉板焊接　5—心形环 0.3#　6—钢丝绳卡子 Y1-6 型　7—钢丝绳 X-t 型，直径 4.5mm，7×7=49　8—瓷拉线绝缘子　9—绑线　10—RV6mm² 铜芯聚氯乙烯绝缘线　11—硬塑料管 VG15×300　12—花篮螺栓 CO 型 14#　13—防水吊线灯　14—底把，ϕ16mm 圆钢　15—混凝土底盘

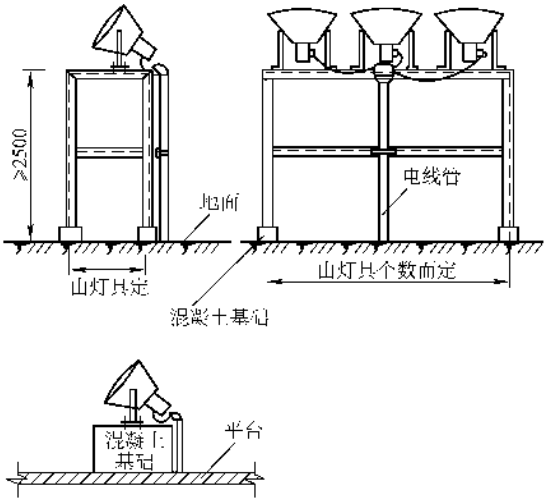


图 6-43　立面投光照明灯的安装

连接。这时花篮螺栓应将其螺栓的螺纹拧出。然后拧紧花篮螺栓将钢索撑紧，见示意图 6-44。

2）安装灯具电缆：将升降梯升至耳环位置，将小滑轮挂在钢索上，同时将小绳、灯具、橡皮电缆按图 6-45 的位置及间距系在小滑轮上，最后将小绳的两端分别系在两端的耳环上。这样在更换灯泡或维修时即可用小绳将灯具拉至一端，进行修理，尔后又可用小绳将吊灯拉至原来的位置。接线不将电缆断开，只是把电缆绝缘层剥去 50mm（间隔剥去，两接头要错开 50mm），然后从线芯上接出两截短线与灯连接，最后包扎好绝缘。橡皮电缆必须充分地消除缠绕的应力，不得有弯。

其他配线的安装示意见图 6-46～图 6-48。

3）钢索吊灯常用于大型工业厂房、层高较高的大型房间以及广场等场所，在安装时应注意以下几点：

① 钢索的终端拉环应固定牢固，并能承受在全部负载下的拉力；通常应使用镀锌钢索，不得使用含油芯的钢索；在潮湿、有腐蚀的场所，应使用塑料护套钢索；钢索的单根钢丝直径应小于 0.5mm，且不得有扭曲和断股现象；有时候可使用圆钢作钢索，在安装前应调直、预拉伸和刷防腐漆。

② 钢索长度为 50m 及以下时，可在一端装花篮螺栓；超过 50m 时，两端均应装花篮螺栓，且每超过 50m 时加装一个中间花篮螺栓。钢索在终端固定处，卡子不得少于 2 只，钢索的终端头应用丝金属丝扎紧。

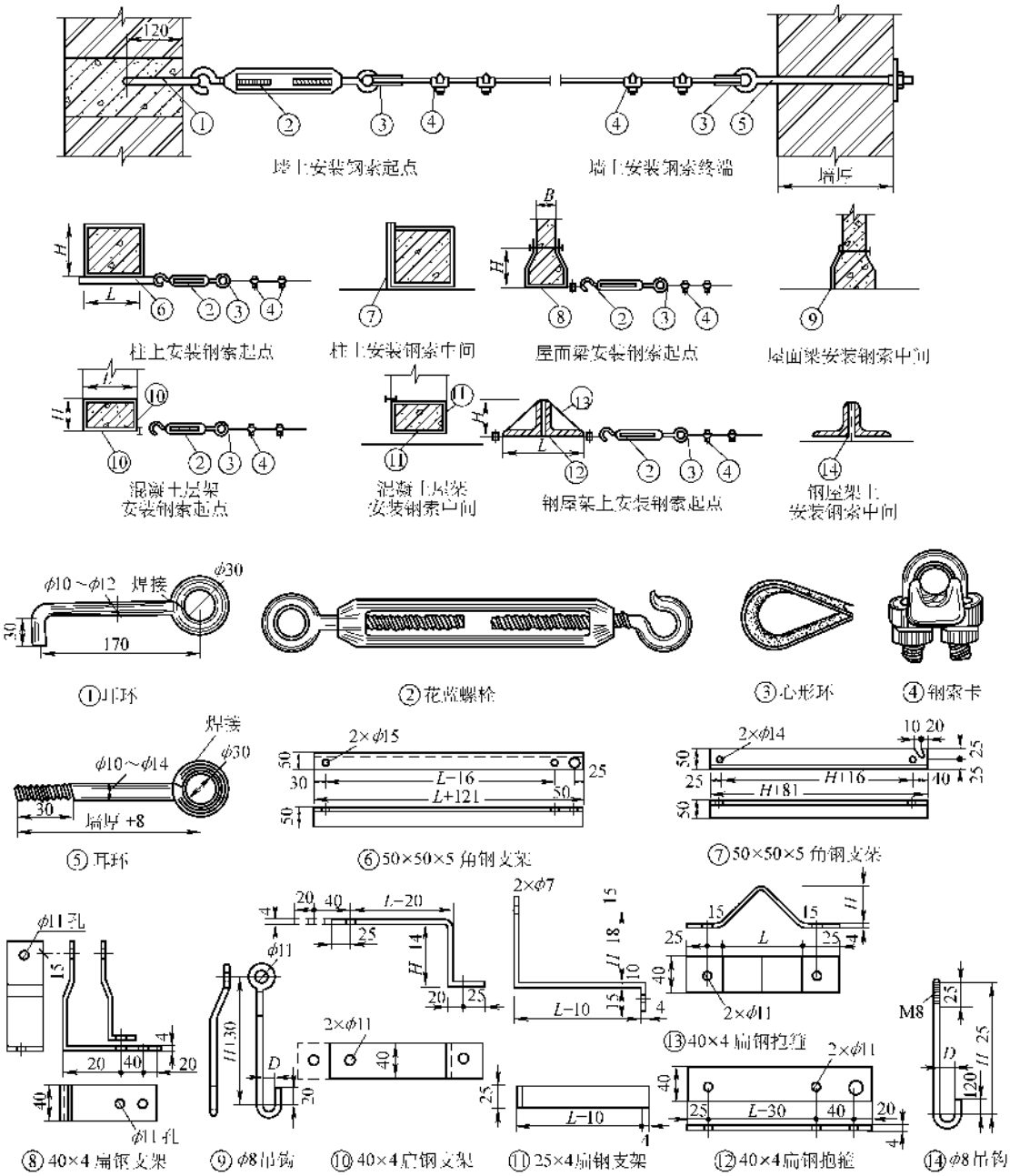
③ 灯具为固定式安装时，可在钢索中间用直径不小于 8mm 的圆钢作吊钩，间隔不大于 12m，且保证弧垂不大于 100mm。

④ 钢索上各种支持件间及与灯头盒间、瓷柱配线线间的距离应符合表 6-2 的规定。

表 6-2　钢索配线零件间和线间距离

配线类别	支持件最大间距/mm	支持件与灯头盒间最大距离/mm	线间最小距离/mm
钢管	1500	200	—
刚性绝缘导管	1000	150	—
塑料护套线	200	100	—
瓷柱配线	1500	100	35

（7）航空障碍灯的安装　航空障碍灯通常安装在建筑物或构筑物顶上的金属塔架上，且应在避雷针的保护范围之内，管路应点焊在塔架上，灯具的金属部分要与塔架进行良好的电气连接，灯具的固定要牢固



注：图中 H、B、M、L 的尺寸按构筑物的实际尺寸配制。

图 6-44 钢索的安装

可靠，屋顶电源出线口处应加装 220V 避雷器。建筑物较高时，其中间部位也应安装障碍灯，并用金属网加以保护，金属网、灯具金属部分应共同接地。安装大样见图 6-49。

烟囱高度在 100m 以上者，为减少烟尘对灯具的污染，障碍灯应装设在低于烟囱口 4～6m 的预埋支架上，同时在 1/2 烟囱高度装设一组障碍灯，每一高度同时装设 3 只且呈正三角形排列。管路可点焊在爬梯上或单独设立。

导线宜采用软铜线，顶端的障碍灯应用闪光灯；每只障碍灯内至少装 2 只灯泡。障碍灯应采用 2 路单独的电源。控制方式通常为自动控制（光电控制或时间控制），光电控制器应随灯装设在最高点，时间控制则由控制箱内的时间程序控制。障碍灯的控制盘

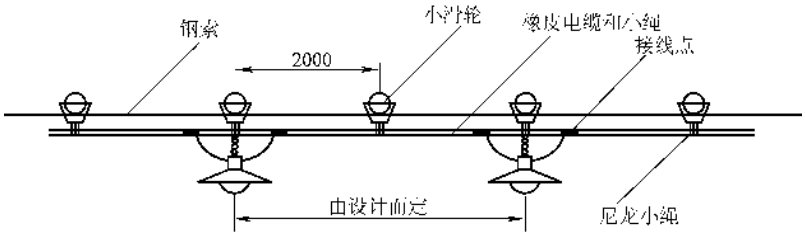


图 6-45　钢索吊灯的安装之一

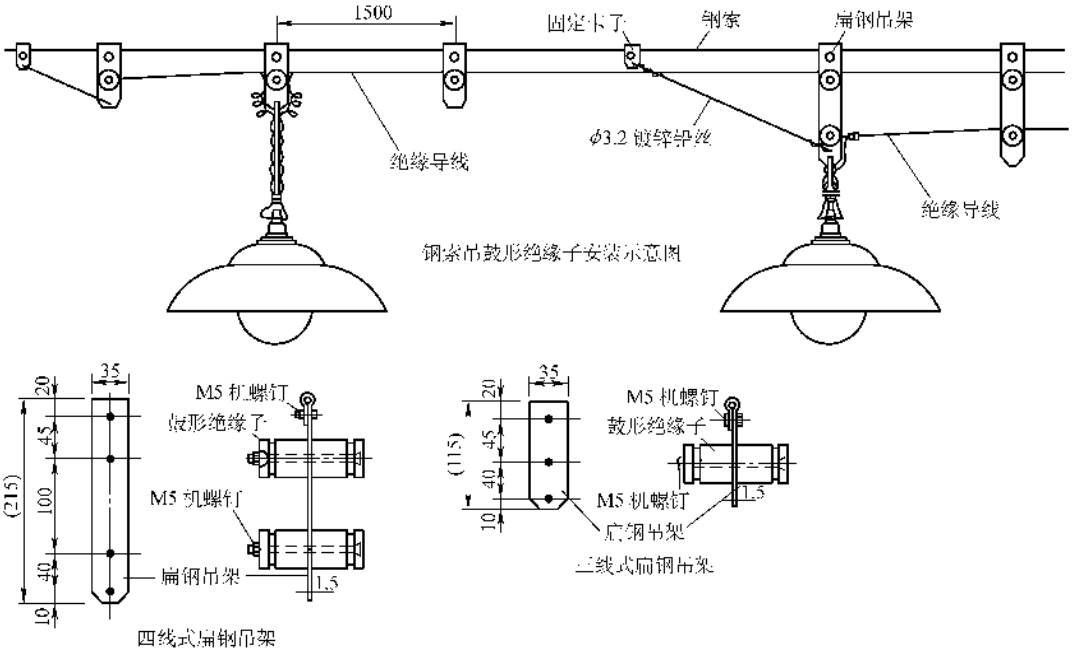


图 6-46　钢索吊灯的安装之二

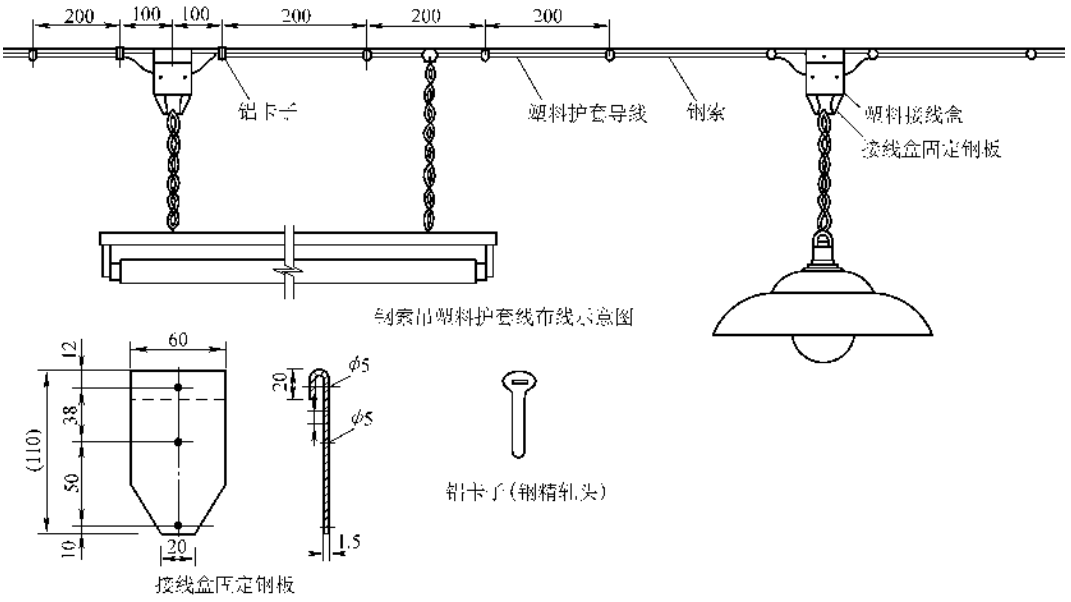
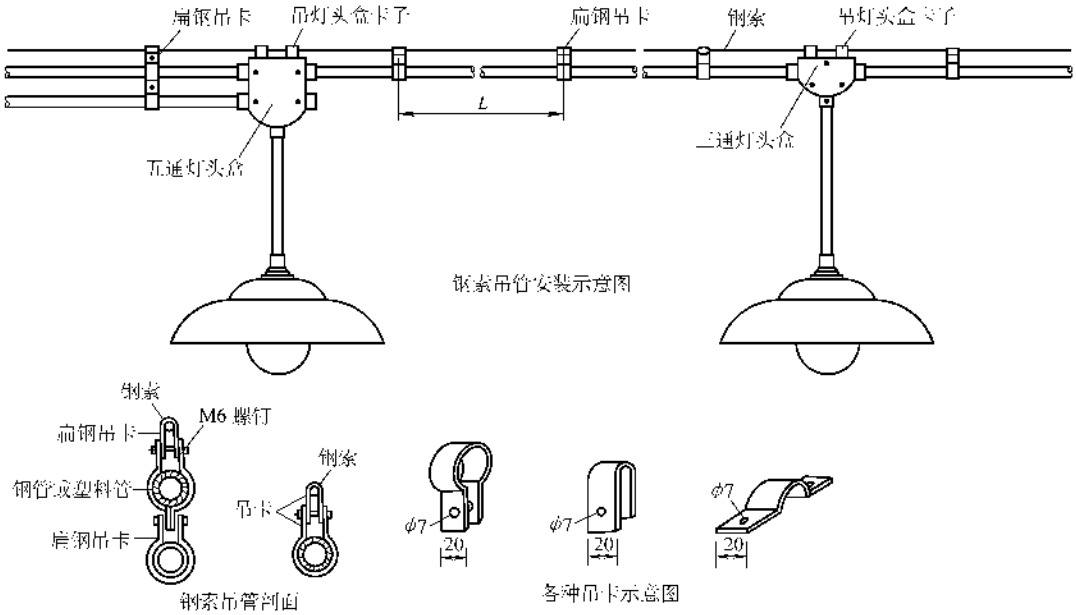


图 6-47　钢索吊灯的安装之三



注：1. 钢索吊钢管时，$L<4500$mm；吊塑料管时，$L<1000$mm。2. 扁钢吊卡厚度为 1mm。

图 6-48　钢索吊灯的安装之四

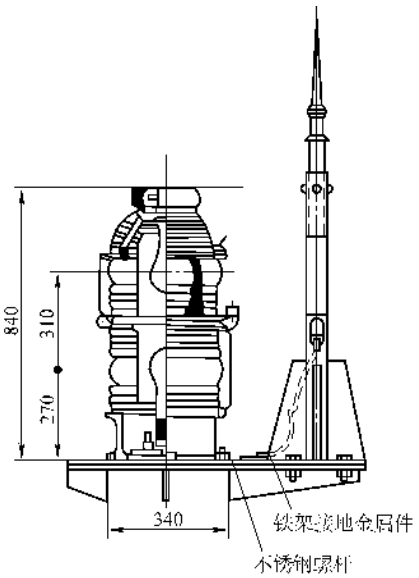


图 6-49　障碍灯安装示意图

应有明显的标志。障碍灯本身具有防水功能，但安装前应彻底检查。

（8）霓虹灯的安装　霓虹灯管发光是由于管内充满不同惰性气体，在两端电极上加上高电压而产生辉光放电所致成不同颜色。霓虹灯的安装就是将灯管煨制成一定的形状而固定在装璜板上。因此，是和装璜工程一道进行的。

1）设计图案或字体，并将灯管煨制成图案或字体的轮廓。煨制一般用喷灯烤红灯管，然后轻轻煨弯，要掌握火候，过火或欠火都会导致破碎。煨制前最好用同径的玻璃试煨。无论几何图形如何，灯管的两端一般都煨回成钩形状，见图 6-50，钩的长度最短不小于 50mm。

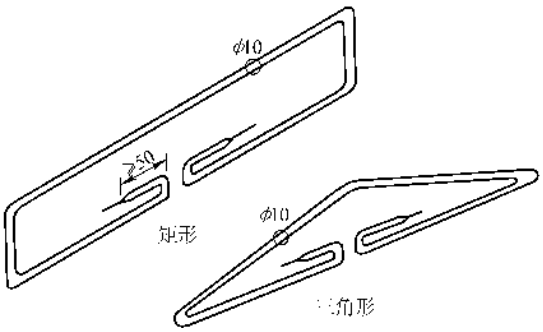


图 6-50　灯管两端煨成钩状

2）在装璜板或构架上先固定图形或字体，通常用地板胶粘并从背后板上用螺栓紧固。然后延图形或字体轮廓安装灯管的支撑。支撑一般用玻璃制成，上有螺纹，以便绑扎，长不过 100mm，见图 6-51。支撑的间隔按图形而定，图形字体复杂时可间隔小一点，简单时可长一点，拐角处、中心处应有支撑，且支撑是随意的，最大间隔（直线段上）不大于 500mm，最小间隔（复杂字体）不小于 100mm。支撑的固定先穿入从板后穿来的穿钉上，然后再用细铁丝在支撑

上缠绕几圈，再把细铁丝的两端用螺钉固定在装璜板上，见图 6-51。

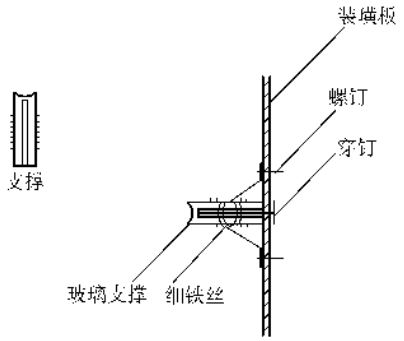


图 6-51　灯管的支撑

3）变压器一般安装在装璜板后的支架而隐蔽起来，电源管或电源插座盒已由配合土建完成并由控制间送至变压器处。变压器一般使用单相 220/15000V，450VA，电流 2.05/0.03A，可供 ϕ12mm 灯管长 10m，也可供 ϕ6～ϕ8mm 灯管 8m 长（灯管越细，管压降越高）。可根据灯管的规格、长短，确定变压器的台数，各台变压器容量之和即为总容量。总容量不超过 4kW 时可用单相供电，超过 4kW 的大型霓虹灯应采用三相电源，这时变压器应均匀分配在各相上。

控制间内的盘上一般有电源总开关、定时开关和接触器。接线见图 6-52，如经常变换图形，则可用程序控制器按一定顺序接通某些图形字体即可。

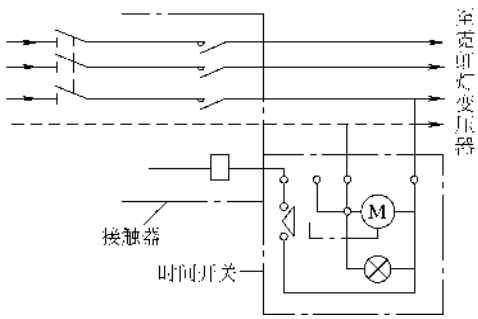


图 6-52　控制盘接线图

在变压器的安装现场，在其低压侧安装一只隔离开关，维修时可将其断开。

4）安装灯管：将煨制好的图形或字体的各个部分按原支撑布置方案安装在支撑上，一般用细铁丝绑扎即可，但必须牢固。先用铁丝在螺纹上缠紧，然后打十字将管系牢，见图 6-53。

5）接线：根据图形、字体先将每台变压器供电所灯管串联起来，导线一般用 0.5mm^2 的裸铜线，外

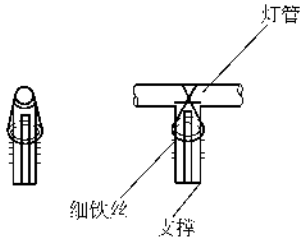


图 6-53　灯管在支撑上的绑扎

面套上细玻璃短管，或采用额定电压不低于 15kV 的高压尼龙绝缘导线。和灯管电极的连接可用气焊焊接或绑扎好后镀锡，连接线宜悬空放置，并且要将其撑紧撑直，接好后不得摆动。然后将串联好的灯管的头尾与变压器高压侧用上述方法连接，这样就要求分组时尽量集中，且把头尾放在距变压器最近的地方。

6）接好线后须经仔细检查无误时，可接上临时电源试灯，必要时先进行 20000V 耐压试验，如果爆管、虚接、打火、不亮等故障要及时修复。试灯时最好在晚上，这时容量发现故障点。

（9）水下照明装置的安装　水下照明是和喷泉系统的喷嘴、压力泵结为一体安装的。灯具采用防水密封措施的投光灯，灯下是固定三角支架，可以随意移动，各组灯的引线由水下接线盒引出，用软电缆相连。水下接线盒接好线后，不宜拆动，控制方式为集中控制。

（10）舞厅、舞台照明及调光装置的安装　舞厅照明为多层次照明系统，安装基本同前，但光源多、变换多。这类照明严禁乱拉乱接，必须按标准规范安装，杜绝火灾发生。

舞台照明常采用调光设备，光源多，如面光、侧面光、耳光、顶光、顶排光、柱光、脚光、侧光、天排光、地排光、流动光等，可根据需要架设且安装灯具，电缆较多时应架设电缆桥架引自控制室。控制室安装基本同动力控制室安装。

其他新型灯具或特殊灯具应按说明书进行安装。

5. 单相电气设备的安装

单相电气设备主要有吊扇、壁扇、排气风扇、小型通风机、暖风机、窗式空调器、立柜式空调机组、电热器、冷冻电器、炊事电器、医疗电器等，其中多数采用单相插座的电源（也有采用三相电源的），电压有 220V 的，也有 380V 的，因此接线时必须注意电气设备的额定电压。凡有电动机的单相电器，应先测试电动机，主要项目有绝缘电阻、直流电阻、轴颈上下前后窜动、风叶的转动方向、转子转动有无音响阻卡以及电流等，详见第五章电动机测试相关内容。

（1）吊扇的安装　吊扇挂钩的直径不得小于悬挂销钉的直径，最小不得小于10mm。预埋在混凝土中的挂钩应与主筋焊接，无条件焊接时，应将挂钩末端弯曲后与主筋绑扎，固定牢固；吊杆上的悬挂销钉必须装设防振橡皮垫及防松装置，把螺母锁死或用销子锁好；扇叶距地面高度应大于2.5m；吊扇组装时严禁改变扇叶的角度，扇叶的固定应有防松装置；吊杆之间、吊杆与电动机之间，螺纹连接的啮合长度不得小于20mm，并且有防松装置。吊扇的接线是将电动机几个绕组的所有端头及抽头从接线盒或出线端口引至电扇调节开关，并按高速、中速、低速的顺序分别接在吊扇的调整开关内的转换触头上，通常吊扇说明书上已标明导线的颜色，并用其来表示转速的高低，而调速开关一般随吊扇成套供应，对应接线即可，最后把开关的进线接在由闸箱引来的220V电源上即可。调速开关接线见图6-54，调速开关的安装一般固定在墙上的接线盒上，电源线由盒内引来。电扇与屋顶的连接见图6-55。

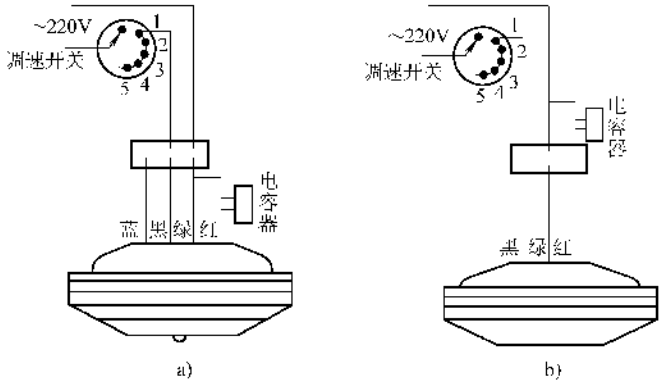


图6-54　电扇调速开关接线示意图

a）配900mm吊扇的调速开关接线　b）配1400mm吊扇的调速开关接线

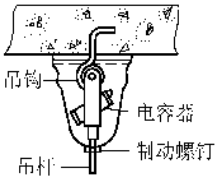


图6-55　电扇与屋顶的连接

（2）排风扇、壁扇、换气扇的安装　排风扇、壁扇、换气扇一般都安装在墙上或窗上的预留孔内，固定要牢固，螺钉应有防松装置，接线同吊扇。

单相电动机及设备装好以后应用临时电源试转，测试电流应在额定值之内，转向符合要求。如果反向转动，除有的可以改变设备的安装位置外（转180°），对于不能改变安装位置的，可将电动机绕组的接线打开，把内部运转绕组或起动绕组任意一组的头尾对倒，电动机即可改变转向，见图6-56。

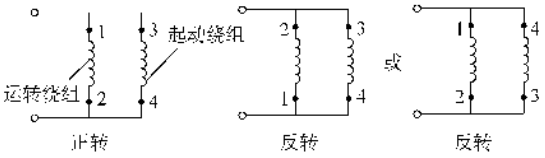


图6-56　单相电动机的换向方法

（3）其他单相设备应将电源插座安装在设备位置附近即可，插座的形式（单相两孔、单相三孔）及电源的电压应符合设备的额定电压。接通电源后应测试设备的工作电流，应在额定电流的范围之内，且声响、振动、温升正常。除了家用的单相设备外，单相设备每台应有开关和熔断器，要一机一闸，管路设置及导线同照明电路。

二、明装线路及灯具、开关的安装

有些建筑物或工业车间由于条件的限制或者是在旧有的建筑物增设或改造的电路都采用明装线路，但电气设备的安装、接线、调试同上，只是线路的敷设方法不同。明敷的方法很多，现介绍以下几种。

（一）钢管明设

（1）划线确定管路、灯具、设备、开关或控制器、闸箱或开关柜的位置。确定位置时要避开热力管道、热源及对电气运行有影响的因素，管路直，尽量走捷径。

（2）对于混凝土结构的墙或屋顶可用射钉枪将射钉打入安装位置，用来固定管卡子、支架、灯盒、开关盒及闸箱，卡子、灯盒、开关盒的射钉不得少于2支，支架至少3支，闸箱至少4只，其规格应和被固定件的重量对应相符。

管子的固定点应间隔均匀，管卡子与管终端、转弯中点、电气元件、接线盒边缘的距离为150～500mm，中间的管卡子最大距离应符合表6-3的规定。

使用射钉枪时必须戴手套，并用身体顶住枪把，枪筒必须与固定面垂直，才能扣动扳机，也可在配合土建中预埋T形铁件，安装管路时即可在铁件上焊接直径相宜的螺钉，用以来固定卡子及元件，要求同前。

（3）对于砖混结构可用冲击钻在墙上钻孔，然后埋注螺栓。使用冲击钻时，钻头应与固定面垂直。也可使用膨胀螺栓，管径较小时可采用塑料胀管。要求同（2）。膨胀螺栓、塑料胀管的使用见图6-57。

表6-3　管卡间最大距离

敷设方式	导管种类	导管直径/mm				
		15～20	25～32	32～40	50～65	65以上
		管卡间最大距离/m				
支架或沿墙明敷	壁厚>2mm刚性钢导管	1.5	2.0	2.5	2.5	3.5
	壁厚≤2mm刚性钢导管	1.0	1.5	2.0	—	—
	刚性绝缘导管	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0

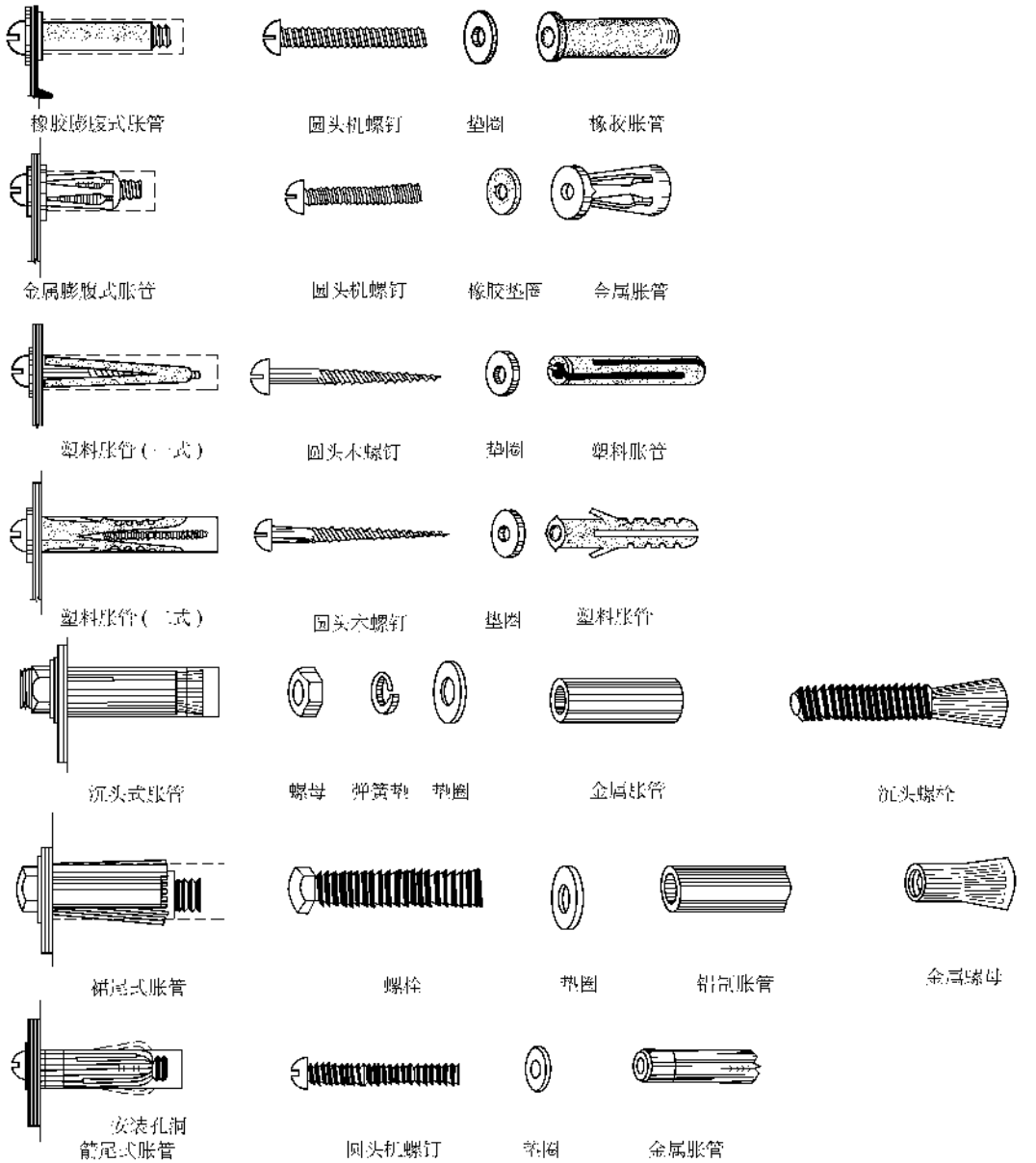


图6-57　膨胀螺栓、塑料胀管的使用

（4）管路较多时，可将角钢和槽钢支架先预制好且在固定管的平面上按管子的外径开好孔，然后把支架焊接在T形铁件上或埋铸在墙上。支架的固定标高必须一致，固定牢固。布管时再将管子用卡子固定在支架上，卡子见图6-58。

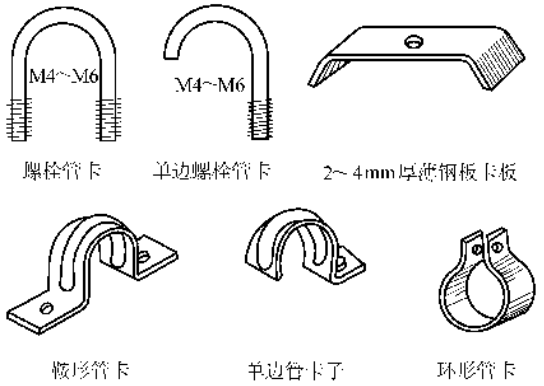


图6-58 固定管的卡子

（5）管子应选择质地较好的直管，不得有折扁、裂纹，管内无铁屑、毛刺。用于潮湿场所或埋于地下部分的应选用厚壁管，干燥场所宜使用薄壁管，化工场所应使用镀锌管或不锈钢管。管子应进行除锈、刷漆处理。

（6）将灯头盒、开关盒、闸箱及其他接线盒用螺母固定在预先测好且埋铸螺栓的位置，其应正与平，否则应将元件的固定孔用圆锉修整合适，并调整正与平，不得用气焊气割。

（7）丈量盒与盒、盒箱之间的距离（这里要注意加上进盒或进箱套丝的尺寸及煨弯的尺寸），下料、套丝，然后将管安装在盒与盒或盒与箱之间，盒与箱外侧的管口处用根母锁紧，盒与箱内侧的管口用护圈帽锁紧，因此要求露出根母的丝扣为2~4扣。

管子的连接应用管接头并在管口套丝连接，管路较长且超过规定时，可用接线盒连接。管与盒、管与箱、管与管丝接好后，要焊接接地跨接线，跨接线小管一般用8#铁丝，大管一般用ϕ6mm圆钢，用电焊点焊牢固即可，见图6-59。

管子弯曲处不应有折皱、凹陷和裂缝，弯偏度不应大于管外径的10%，弯曲半径不小于管外径的6倍，如只有一个弯时，可不小于管外径的4倍。管子排列应整齐、横平竖直，允许偏差2m以内均为3mm，全长不应超过管子内径的1/2。多根管排列时弯曲半径应保持一致。

管子在支架上的安装见图6-60~图6-63。

这里要注意，明装管路不允许将管子直接焊接在

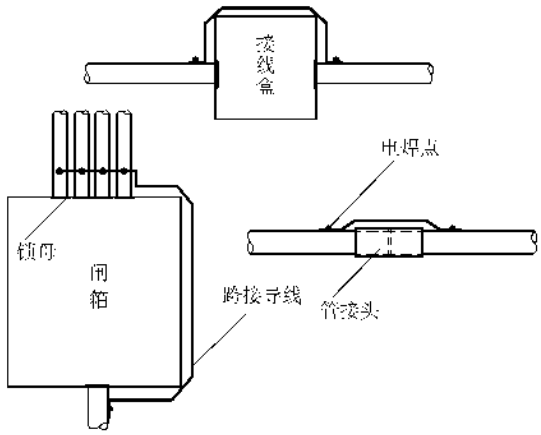


图6-59 跨接地线的焊接

支架或预埋件上，管子不允许焊接连接。

（8）钢管与设备连接时，应将管子敷设到设备内，如不能直接进入时，干燥场所可在管出口处加保护软管引入设备，管口应包扎紧密严实；在室外或潮湿场所可在管口处装防水弯头，由防水弯头引出的导线应套绝缘保护软管，经弯成防水弯后再引入设备；通常明装管路的管口距地面高度一般不宜低于2000mm。

用金属软管引入设备时，软管与钢管或设备连接应用软管接头连接；软管距离大于2m时，中间应加固定点，间距1m；不得利用软金属管作为接地体。

（9）明设管路时，落地式配电柜、开关柜的安装同动力电路，从柜内引出引入的管路可经柜上引入或引出，也可埋地引入或引出。

（10）灯具安装基本同暗装线路，也可采用图6-62中的形式。

（二）硬塑料管明设

硬塑料管明设常用于室内或有酸、碱化工腐蚀，温度不低于-15℃的场所，且不得在高温或易受机械损伤的场所使用。

敷设方法及要求基本同钢管的敷设，需要说明的是钢管只能与铁盒配套使用，而硬塑料管应用塑料盒配套使用，也可使用铁盒。另外要注意以下几点：

（1）硬塑料管的连接处应用胶合剂粘接，接口必须牢固严密。当采用插入法连接时，插入深度为管内径的1.1~1.8倍，被插的管口应用喷灯烘烤加热，且随烘随试插，不要加热过度，加热时应转动管口，使之受热均匀；当采用套管套接法时，套管的长度为被连接管内径的1.5~3倍，被连接管的对口处应在套管的中心。套管的内径应为被接管的外径。两种方法见图6-64。

线管用吊架、支架敷设或贴墙安装时，固定点间最大允许距离(m)

线管直径/mm	线管类别			
	钢管(G)	电线钢管(DG)	硬塑料管(VG)	
	水平或垂直		水平	垂直
15～20	1.5	1.0	0.8	1.0
25～32	2.0	1.5	—	—
25～40			1.2	1.5
40～50	2.5	2.0	—	—
50 及以上	—	—	1.5	2.0
70～100	3.5		—	—

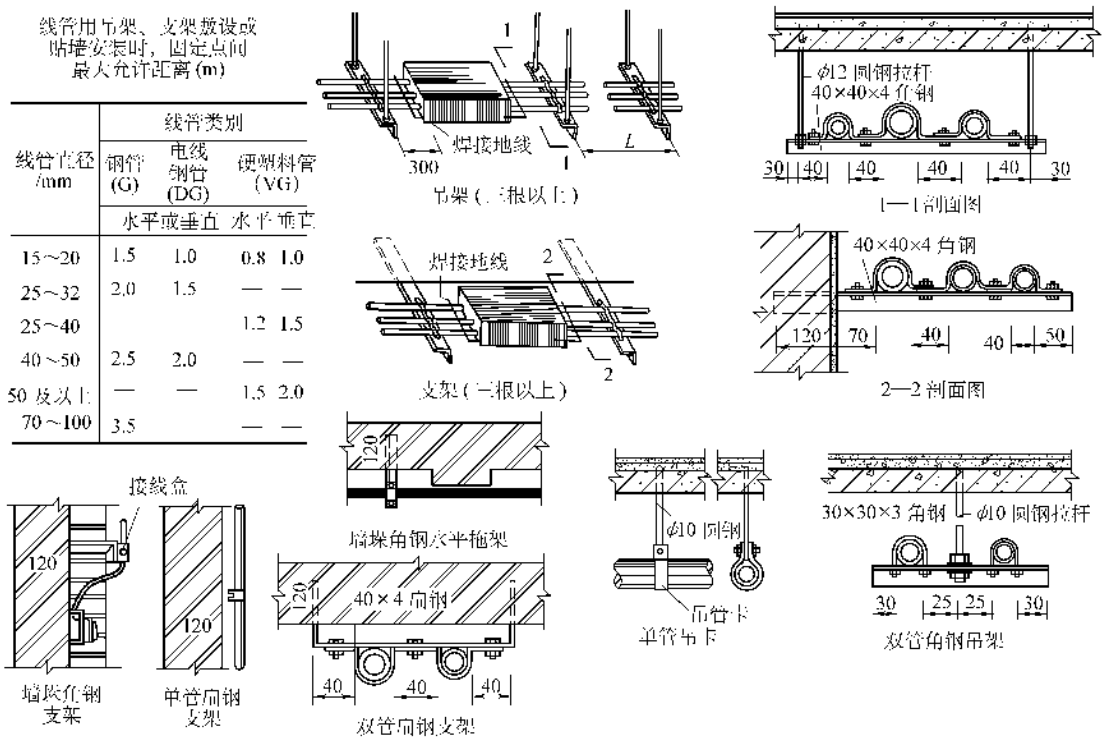


图 6-60　管子在支架上的安装（一）

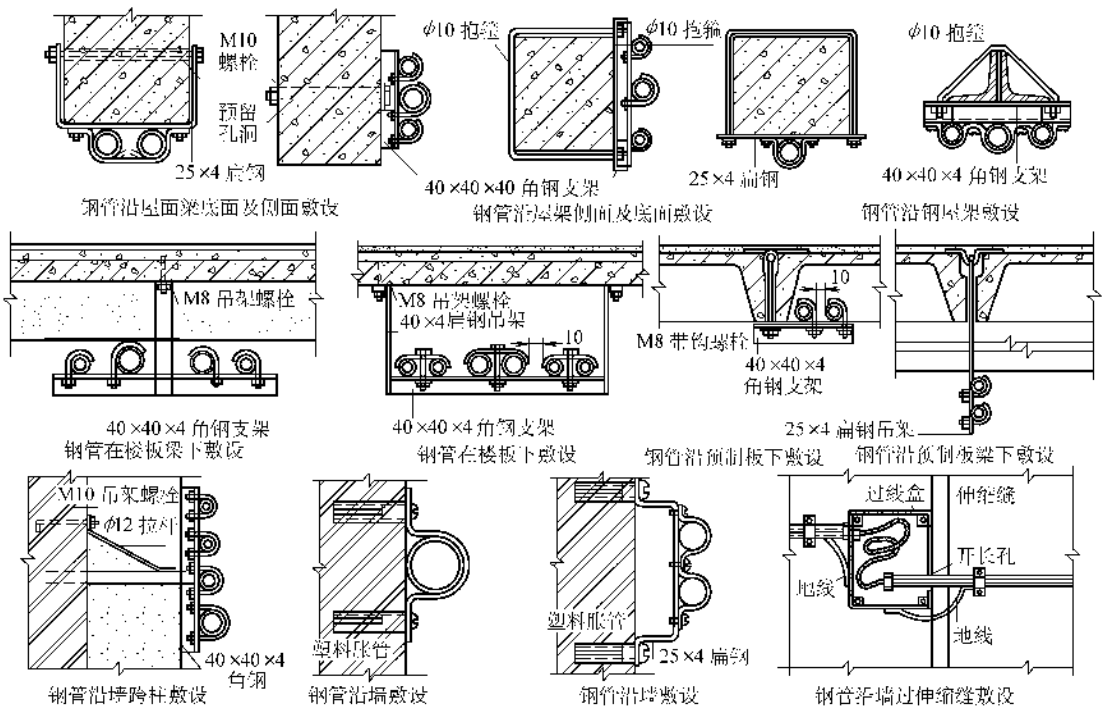


图 6-61　管子在支架上的安装（二）

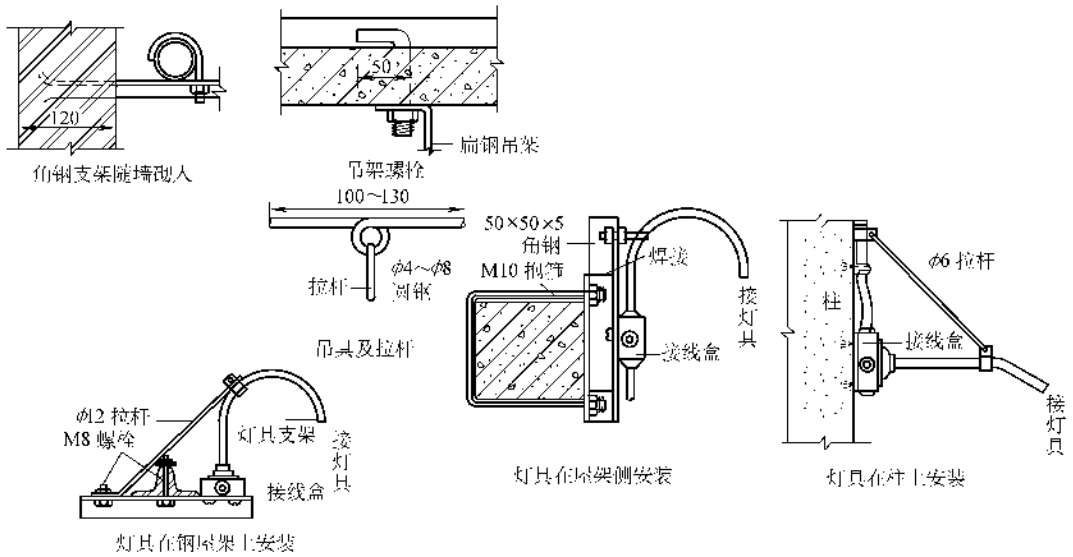
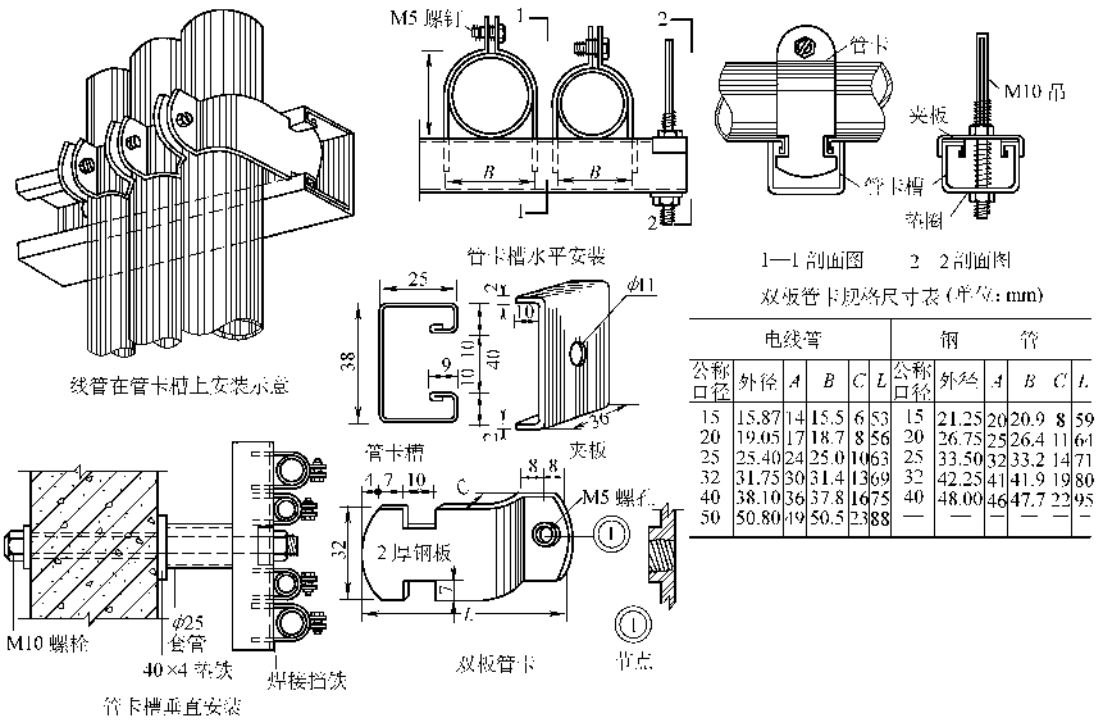


图 6-62 管子在支架上的安装（三）



双板管卡规格尺寸表（单位：mm）

电线管						钢管					
公称口径	外径	A	B	C	L	公称口径	外径	A	B	C	L
15	15.87	14	15.5	6	53	15	21.25	20	20.9	8	59
20	19.05	17	18.7	8	56	20	26.75	25	26.4	11	64
25	25.40	24	25.0	10	63	25	33.50	32	33.2	14	71
32	31.75	30	31.4	13	69	32	42.25	41	41.9	19	80
40	38.10	36	37.8	16	75	40	48.00	46	47.7	22	95
50	50.80	49	50.5	23	88	—	—	—	—	—	—

注：1. 每副管卡其中一块为 φ7mm 孔，另一块段先经冲孔后再套 M5 丝孔。

2. 双板管卡及管卡槽的材料，除钢板制品外，采用塑料制作时应为硬质尼龙塑料制品。

图 6-63 管子在支架上的安装（四）

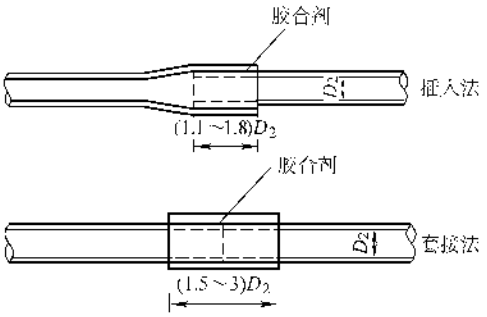


图 6-64　塑管的连接方法

（2）在直线段上敷设时，每隔 30m 应装设软波纹管的补偿装置，长度一般不超过 300mm。

（3）管子的固定点要求见表 6-3。

（4）塑料管穿过楼板时应用钢管进行保护，保护高度距楼板面不得小于 500mm。

（5）塑料管需要埋地时，露出地面段的 500mm 应用钢管保护，埋地部分受力较大处应使用厚壁的重型管或用钢管保护。

（三）槽板的敷设

木槽板、塑料槽板配线只适用于干燥、办公、民用场所，使用的绝缘导线的额定绝缘电压不应低于 500V。灯具一般为轻型灯具和小型开关件。

（1）划线确定元件位置同钢管的明设。

（2）按照确定好的元件及槽板途径的位置用冲击钻在元件位置和槽板途径每隔 500mm 钻一深度小于 100mm 的孔，其直径应按使用的塑料胀管的直径确定，一般孔径应稍大于胀管直径即可。

（3）将塑料胀管置于孔内，用两条木螺钉先将固定开关、灯具的圆木固定好，且将圆木的进出线端开两个小槽，小槽的间距为槽板线槽间距，小槽截面积的大小不大于导线截面积。这里要说明一点，元件较重时应用三条塑料胀管螺钉固定，必要时要用膨胀螺栓来固定较重的灯具或元件。

（4）将槽板的底板用螺钉固定在划线位置的塑料胀管处，槽板的设置必须直，在和圆木的交接处，应将其锯成圆弧形，弧度应和圆木的圆度相符，底板的接头部位应锯成 45°对接，底板的拐角部位也应锯成 45°对接，底板的分支部位也应锯成 45°的形式，详见图 6-65。

（5）布线时先将导线撑直，并准备好盖板，从电源端开始将导线嵌入线槽，并随时把盖板盖上，盖板与底板对齐后即用木螺钉将盖板与底板紧固好。二线槽用单条螺钉固定，三线槽用两条螺钉固定。当导线进入开关或灯具圆木时，先将导线穿入开关吊盒接线的穿线孔，然后用木螺钉将开关吊盒固定在圆木上，同时把导线嵌入圆木刻好的槽内，然后把导线压入槽板的线槽内。当盖板做到此处时，同样锯成与拉盒、吊盒同径的圆弧而紧固好，最后将导线接在元件的端子上。盖板的连接、转角、分支作法同底板，但连接时应与底板连接处错开 20mm 以上。槽板进入拉盒、插座圆木的作法见图 6-65。

盖板的固定点间隔应小于 300mm，底板离终端 50mm 及盖板离终端 30mm 处，均应固定。

（6）槽板敷设应横平竖直，一根槽板内应只敷设同一回路的导线，在较宽的槽内只能敷设同相的导线，在槽内不得有接头，不得受挤压。当导线必须在槽板上进行接头时，应在接头处将槽盖钻两只孔，将需要接头的导线引出，在盖外进行，一般为倒人字接头。

（7）槽板进入开关板、连二木或闸箱时，应将槽板敷设进开关板、连二木或闸箱占据的安装平面内，开关板、闸箱可进入 100mm，连二木可进入 30mm，同时在开关板、连二木或闸箱的二层底上按照元件安装位置开进线孔。然后把开关板、连二木或闸箱与槽板的结合处按槽板的宽度、厚度（底和盖）锯一个缺口，然后把开关板、连二木、闸箱骑在槽板上且把缺口对准槽板，用螺钉或螺栓将开关板、连二木、闸箱固定好即可。这里要注意，闸箱应使用膨胀螺栓固定。电气接线及灯具、电器元件安装同前，见图 6-66。

槽板配线的安装，也可在建筑物中按照线路的敷设途径及灯具、开关的安装位置处预埋木砖，木砖应为梯形且刷防腐漆，见图 6-67，安装时即可把槽板、圆木用螺钉固定在木砖上。

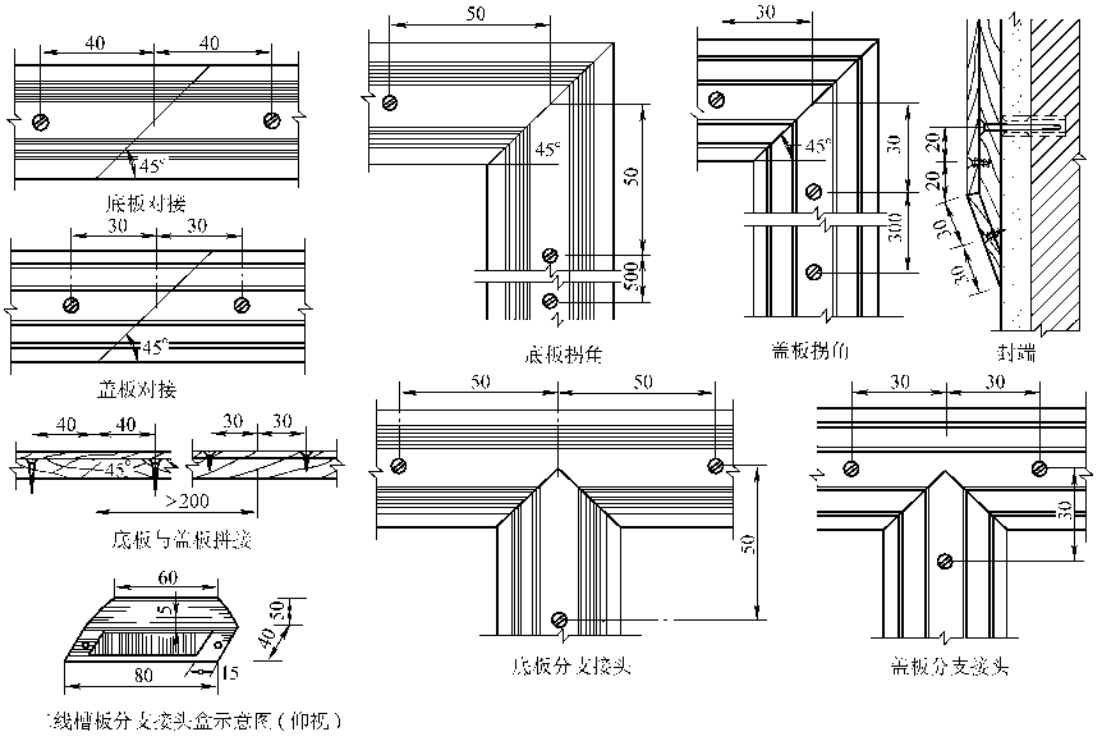
（四）塑料护套线配线

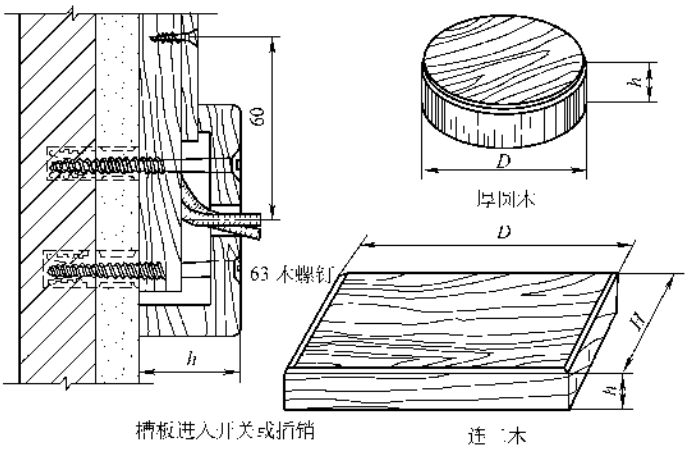
塑料护套线适用于干燥的场所明设，常用于民用建筑之中，任何时候不得直接埋入建筑物的抹灰层内或在室外露天场所明配。

塑料护套线明配时应划线且确定元件安装位置，其在墙上、屋顶的固定必须用塑料膨胀螺钉或预埋木砖。塑料护套线明配时应注意以下几点：

（1）线卡的固定距离应根据导线截面积的大小而定，一般为 150～250mm，线卡应选用塑料或尼龙制品且与护套线配套使用的专用卡子，形状为“Ω”形，其圆弧将线卡住，其平面处即可用螺钉或直钉钉在木砖上。

（2）在终端、转角及进入电气器具、接线盒处，均应设线卡固定，线卡与终端、转角中点、电具或接





开关、插销木台规格尺寸表(mm)

形式	b	H	h	木螺钉
双联	150	75	32	2个
三联	220	75	32	4个
四联	290	75	32	4个

开关、插销厚圆木规格尺寸表(mm)

D	h
75	32
90	32

注：1. 每槽内只允许敷设一支导线，最大截面积为 $6mm^2$。

2. 槽板底刷防腐油漆，敷线槽刷绝缘油漆，盖板刷与墙壁同颜色油漆。

图 6-65 槽板配线及安装示意图

线盒边缘的距离为 50～100mm；转角的弯曲半径不应小于导线外径的 3 倍；导线应横平竖直，不得有松弛、扭绞和曲折的现象；当与接地体及不发热的管道紧贴交叉时，应套绝缘管保护；在易受机械损伤的场所或部位敷设时应用钢管保护。

（3）在中间接头和分支连接处应用与线配套的

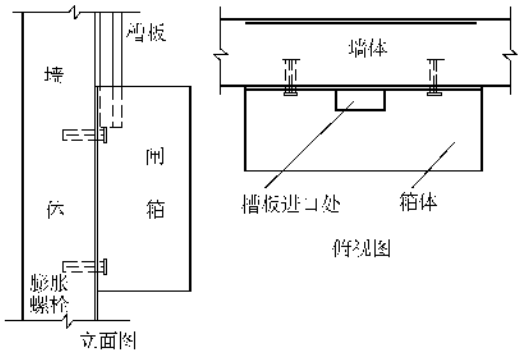


图 6-66　将槽板引入闸箱示意图

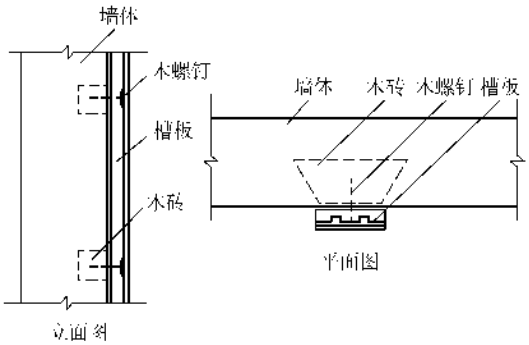


图 6-67　木砖固定方法

塑制接线盒进行，且将接线盒固定牢固，在多尘和潮湿的场所应使用密闭式接线盒，导线进入接线盒或与电具连接时，护套层应引入盒内，接线应用压线帽进行，接线盒的外形尺寸见图 6-68。

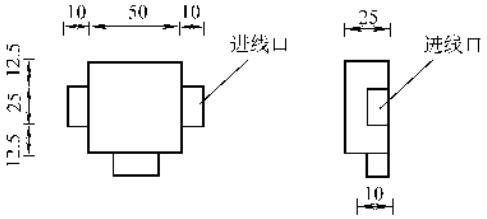


图 6-68　塑料护套线接线盒外形尺寸

（4）塑料护套线引入开关板或闸箱时，可在板或箱的进线处开与导线外径相等的孔，多线并列时必须排列整齐。

（五）瓷件配线

瓷件包括针式绝缘子、鼓形绝缘子（俗称瓷柱）、瓷夹板，适用于室内外、木结构民用或小型工业厂房的动力及照明线路的明设。

（1）划线确定线路途径、元件安装位置同前，在固定鼓形绝缘子、瓷夹板的部位应预埋木砖，或采用塑料膨胀螺钉，固定针式绝缘子的部位应预埋钢制横担或支架。

（2）将成盘的导线放开撑直，先将直线段一端的导线与瓷件固定或绑扎好，然后在另一端将导线撑紧且导线应进入瓷件的紧固或绑扎槽的位置，再将导线紧固或绑扎好。

（3）导线经过热源应尽量远离，或将此段线路做成暗装。导线的穿墙、交叉做法是在该段导线上套绝缘管，见图 6-69。导线在针式绝缘子、鼓形绝缘子的绑扎方法见图 6-70。动力或三相四线制配线见图 6-71。

（4）接线方法　在直线段的分支线采用 T 形，见图 6-72；在终端采用倒人字型，在鼓形绝缘子处采用丁字型，见图 6-69。

（5）瓷件配线应注意以下几点：

1）敷设的导线应平直，无松弛现象，导线的转角应为 90°且不应有损伤；当线路交叉时，应将其中靠近建筑物的那条线路的每根导线穿入绝缘管内；用绑线绑扎导线时，应先包扎保护层，绑扎时不得损伤导线。

2）导线转角，分支或进入电具时，应有支持瓷件，支持瓷件与转角中点、分支点或电具边缘的距离，如使用瓷夹板配线为 40～60mm，如使用鼓形绝缘子配线为 60～100mm。

3）室内绝缘导线与建筑物表面的最小距离，如使用瓷夹板应不小于 5mm，如使用鼓形绝缘子、针式绝缘子配线应不小于 10mm；在室外，雨雪能落到导线上的地方一般不用瓷夹板配线和鼓形绝缘子配线，应使用针式绝缘子配线，针式绝缘子不得倒装。

4）导线在室内沿墙壁、顶棚敷设时，其支持固定点的距离应符合表 6-4 的规定，跨越柱子、桁架敷设时，其支点的距离由导线的材质、截面积决定，见表 2-48。

表 6-4　室内沿墙壁、顶棚支持件固定点距离

导线 / 允许最大距离/mm / 配线方式	线芯截面积/mm²				
	1～4	6～10	16～25	35～70	95～120
瓷夹板配线	600	800			
鼓形绝缘子配线	1500	2000	3000		
针式绝缘子配线	2000	2500	3000	6000	6000

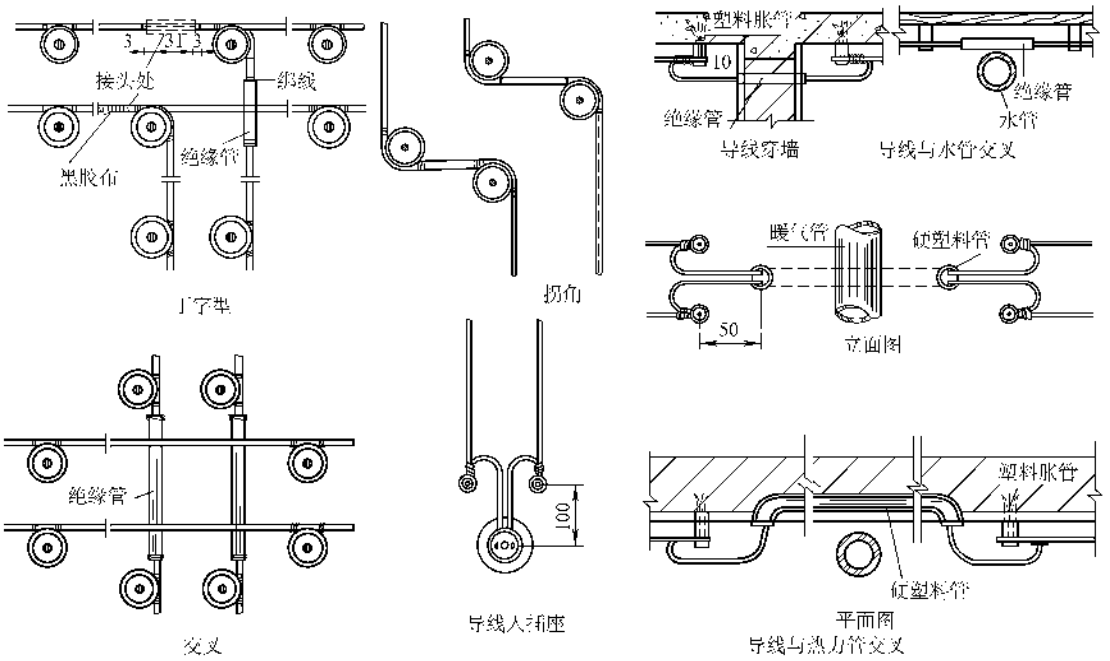
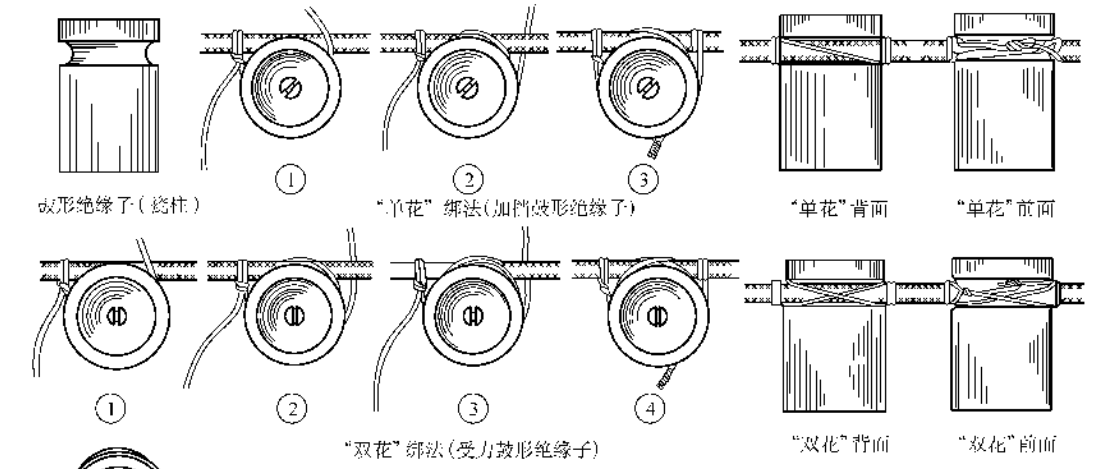
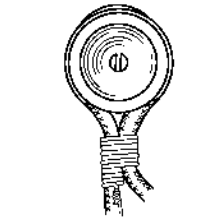


图 6-69 瓷件配线安装示意图





终端鼓形绝缘子绑扎头

鼓形绝缘子(瓷柱)安装尺寸表

导线截面积/mm	鼓形绝缘子型号	固定点间最大距离 L_1/mm	导线间最小允许距离 L/mm
1.5～4	G-38 (296*)	1200～1500	100
6～10	G-50 (294*)	1500～2500	100

针式绝缘子安装尺寸表

导线截面积/mm	针式绝缘子型号	固定点间最大距离 L_1/mm	导线间最小允许距离 L/mm
6～16	PD-1-3	6000	100
25～35	PD-1-2	6000	100～150
50～95	PD-1-1	6000	150

图 6-70 导线在瓷件上的绑扎方法示意图

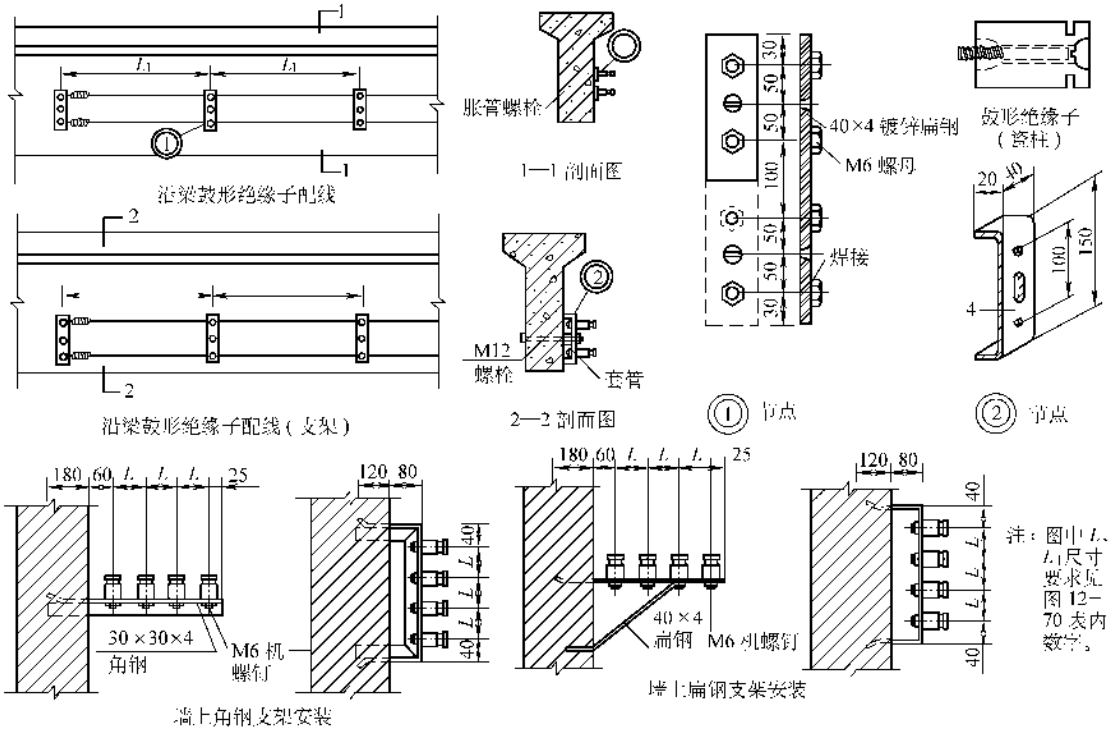


图 6-71　动力或三相四线制的配线安装示意图

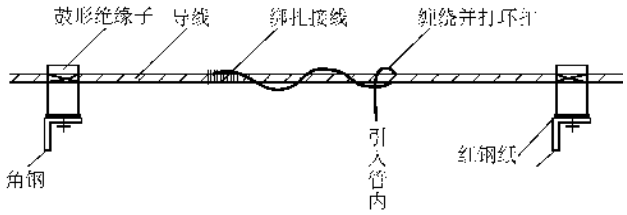


图 6-72　直导线的 T 形接线示意图

表 6-5　室外配线时绝缘导线至建筑物的最小距离

敷设方式	最小允许距离/mm
1. 水平敷设时的垂直距离： 距阳台、平台、屋顶 距下方窗户 距上方窗户	 2500 300 800
2. 垂直敷设时至阳台窗户的水平距离	750
3. 导线至墙壁和构架的距离（挑檐下除外）	50

注：如不能达到上述规定时，则应用遮栏保护。

5）室外配线时，绝缘导线至建筑物的最小距离见表 6-5。用针式绝缘子、鼓形绝缘子配线时，绝缘导线线间的最小距离见表 6-6。瓷件配线时绝缘导线至地面的最小距离见表 6-7。绝缘导线明配在高温辐射或对绝缘介质有腐蚀的场所时，线间和对建筑物表面的最小距离见表 6-8。

（6）工业厂房明装照明裸导线的要求同动力母线安装。导线的线间和至建筑物表面的最小距离应符合表 6-8 的规定。

最后需要特别强调的一点是，明装线路和暗装线路一样，敷设完后，必须先测试线路的绝缘电阻，新导线应大于 1MΩ，然后才能进行接线及电器的安装。

表 6-6 鼓形绝缘子和针式绝缘子配线时绝缘导线线间的最小距离

固定点间距	导线最小间距/mm	
	室内配线	室外配线
1.5m 以下	35	100
>1.5~3m	50	100
>3~6m	70	100
6m 以上	100	150

表 6-7 瓷件配线时绝缘导线至地面的最小距离

敷设方式		最小允许距离/m
水平敷设	室内	2.5
	室外	2.7
垂直敷设	室内	1.8
	室外	2.7

表 6-8 绝缘导线明配在高温辐射或对绝缘有腐蚀的场所时线间和对建筑物表面的最小距离

固定点间距	最小允许距离/mm
2m 以下	50
2~4m	100
4~6m	150
6m 以上	200

三、其他相关器件及线路的安装

其他相关器件一般指应急照明装置、安全指示灯、提示性警示装置等及施工图中未列出而在安装中临时增加的一些单相设备。

其他相关器件及线路的安装与上述内容基本相同，无论增加施工图与否，在安装中必须做到以下几点：

1）线路安装过程中，只要装修未完工的，应该将管线进行暗装。暗装管线应用开槽机开槽，并不得妨碍已安装好的设备及土建工程，同时应符合规范要求。

开槽后的管路必须有大于 30mm 厚的稀释混凝土保护层。

2）元件、设备的安装根据其体积、重量设置支架或铁件，不得使用木块或木楔。支架或铁件应按第八章预制加工的要求进行。元件、设备应安装牢固。

3）元件、设备、导线应按前述进行测试及试验，并记录相关数据，接线必须正确可靠。

4）安装后应按前述送电试灯的工艺程序进行送电试灯，确保工程质量及安全可靠。

5）如果土建装修完毕后，可将管线进行明装，同样明装不得妨碍已安装好的设备及土建工程，并符合规范要求。明装线路应按暗装的第 2）、3）、4）条的要求进行，并参照本章前述内容。

6）相关器件及线路的安装如果设计没有正式出图，则应将其全部内容和安装事宜标注在原图样上，或者自行出图并附有详细说明。

第四节 照明电路的测试及试灯

照明电路及单相电气设备与动力电路及三相电气设备相比，要简单得多，但安装的程序基本相同。单相电路安装完毕后也要进行一系列的检查和试验，才能送电试灯。

一、照明电路的检查和测试

检查应按照图样从电源开始，总闸箱、分闸箱、开关、灯具、单相设备、插座以及线路，应使其符合下列要求：

（1）成排安装的灯具、开关、插座，其中心轴线、垂直偏差、距地高度应符合规范和设计要求，且同一场所同类电器的安装标高应一致，明设线路应横平竖直、美观整洁，管路进入箱盒应符合规程要求。

（2）暗装开关、插座的盖板、灯具的底座应紧贴墙面，并应用灰膏修补；明装电具的圆木、连板应紧贴墙面；不同电压的插座应有明显的标志，并符合安装规范及设计要求。

（3）检查大型灯具悬吊绞车的闭锁装置及吊扇的防松、防振措施应符合要求；按前述安装接线要求轴查白炽灯、荧光灯、插座的接线应正确紧固，如发现一处错误或松动则应全部返工检查，抽查数为 10%，灯头数较少时应为 30%。

（4）检查闸箱（板）的安装和回路编号应符合设计要求，且开关完整有盖。

（5）测量线路的绝缘电阻应符合要求；有接地螺钉的灯具、插销、开关、闸箱等元件接地或接零可靠，接地电阻符合要求。

（6）装设漏电保护开关的回路须经实地试验动作可靠。

（7）系统检查无不妥之处。

上述检查测试合格后，即可装设灯泡或灯管，高处或不宜更换部位的灯泡或灯管在安装以前应先在下面做通电试验，发光正常才能装在灯具上。灯泡必须拧紧，灯管如手感松动可在灯脚插孔内放一截细熔丝将其卡紧，启辉器应接触良好。装设灯泡时如发现灯口内中心舌片较低，可将其稍撬起一点，以防接触不良，如松动，应将固定螺钉拧紧，以防短路。

二、送电及试灯

送电及试灯与动力电的送电试车基本相同，虽然较动力电路容量小，但也要注意四点：一是送电时先合总闸，再合分闸，最后合支路开关；二是试灯时先试支路负载，再试分路，最后试总回路；三是使用熔丝做保护的开关，其熔丝应按负载额定电流的1.1倍选择；四是送电前应将总闸、分闸、支路开关全都拉掉。

（1）将总闸合上，用万用表测量总开关下闸口及各分路开关上闸口的电压，相电压为220V，线电压为380V，同时观察总电能表是否转动，如转动，则电能表接线有误或分路开关没断开或接线有误，使负载直接接入系统，如检查都正常则说明电能表不合格。

（2）将第一分路开关合上，观察分电能表是否转动，且下闸口及支路开关上闸口的电压应正常。

将第一分路的第一支路的第一只（组）灯的开关闭合，应亮且发光正常，这时该支路的电能表应正转且很慢，其他表应停转；然后将开关断开，灯应熄灭，电能表停转。

将第一支路的第二只（组）灯的开关闭合，应正常同上。用同样的方法将第一支路所有的灯都一一试过，应正常。试灯过程中如有短路跳闸或熔丝熔断、不亮、发生不正常等，可及时在该灯的回路上查找，且能将故障范围缩小，便于处理。

将第一支路所有灯的开关闭合，应正常，电能表正转很快，如支路熔丝熔断或空开跳闸，则说明熔丝选择有误或空开调整有误。如一切都正常后，这时用万用表测试所有插座的电压应与设计相符，220V或380V；用试电笔测试左零右相是否正确；如果单相电动机设备，应闭合其开关，使其运转，用钳形表测试电流应正常（如果电流较小，可将负荷线在钳口上多绕几圈，测得的电流除以圈数即为被测值），调速开关转换时调速正常。当第一支路所有的负载都投入运行时，应测量其回路的总电流。全负载运行一般不超过2h，然后将所有的开关拉掉。再把第二支路、第三支路及其所有支路按上述方试完，应正常。第一分路试灯时，任何时候其他分路的电能表都不转动，或灯不能点燃，否则有混线现象，应立即查出并纠正，在各分路都计量电能的情况下是不允许的。

（3）用上述方法把第二分路、第三分路及其所有分路试完，应正常。

（4）将总开关、各分路开关、支路开关及电具的所有开关都按顺序一一合上，应正常。测试总开关的三相电流应近似平衡，观察电能表运转情况，用蜡片或点温计测试开关的主触头有无发热现象。然后把所有开关按合闸相反的顺序一一断开，把所有的接线端子再紧一次，通过紧固端子，也可发现一些异常，如打火、焦糊、虚接等，应查明原因修复。最后再将所有的开关按顺序合上，试运行8h，应正常。试运行时应排人员值班，无人房间应上锁。

（5）试灯过程中故障的处理。试灯中，由于元件材料的质量、安装不妥、设计有误、环境条件等因素，常会发生短路、不亮、发光不正常等事故，这些事故应及时处理，以保证试灯顺利进行。

1）断路或开路的检查　断路或开路包括相线或中性线断开两种。断路或开路的原因可能是线路断线、线路接头虚接或松动，线路与开关的接线为虚接、松动或假接（如绝缘层未剥尽），开关触头接触不良或未接通等。

断路的检查通常采用分段检查的方法，先把分路开关拉闸，合上总开关。

①　检查总开关上闸口是否有电，可用试电笔测试上闸口接线端子，如发光很亮，则说明正常；然后用万用表测试与零线的电压应为220V，如发光较暗，则说明进线有虚接、松动现象，可将接线端子拧紧，并检查接点的压接部位的绝缘层是否剥掉，有否锈蚀现象；处理后仍较暗，则说明进线有误，可到上级开关的下闸口检查，如正常，则说明故障点在线路上；可检查该段线路的接头是否良好，否则线路有断线点，可将线路电源开关拉掉，验证无电且放电后，一端与地线封死，另一端用万用表测试，确认是否断线。断线处理，如果是架空明设，可巡视线路后将断开点重新接好；如果是管内敷线，应将导线抽出，更换新导线。

如果氖泡不发光，则说明进线断路，可到上一级开关的下闸检查，如正常，则说明故障点在线路上。

如到上一级开关下闸口检查，和在总闸上闸口检查结果相同，则说明故障在上一级开关或线路上。

②　检查总开关的下闸口，如不正常，则说明总开关有误、接触不良、假合、熔丝熔断等。如正常，可在盘上、箱内检查各分路开关的下闸口是否正常，如不正常，可在盘上、箱内检查线路或开关，因盘上线路较短很容易发现故障点。如正常则说明故障在由盘或闸箱送出的回路上。

③　上述的电压测量是在假定零线不断的情况下进行的，如果氖泡发光很亮，与零线间进行电压测量则为0，很可能是零线断线。为了进一步证实，可在相线与地线间测量电压，有时从接地极直接引线来测

量。

④ 盘上或箱内正常后，可在送出的支路上检查，最好是将各个支路上的开关都关掉，特别是拉线开关，必须将盒盖打开才能确认是否已断开。先将距闸箱最近的一个开关闭合，看其控制的灯是否点亮。如亮则说明这只灯到总闸箱这段线正常，可往下再试距这个灯最近的一个开关回路，直至最后一个回路；如不亮，则说明闸箱到这只最近的开关回路或上一个正常测试点到这只开关或灯头有断路现象。可将开关的盒盖打开先用测电笔测试一下静触头是否有电，如很亮，则可用万用表测试其对地电压，应为220V；如对零线电压为零，则说明这段回路中零线断线；如对零线电压正常，则说明开关虚接，开关接触不良，灯头虚接以致到灯头的导线断线等，一一检查，直至找出原因。

⑤ 线路正常后，可测量插座的电压应正常；如电压为零，可先用试电笔测其是否发光正常；如正常，则为零线断线，再用与地线电压来证实；如无光，则为相线断线。无论哪种，都应将盒打开，检查接线是否良好以及插座进线始端的接头是否良好。

⑥ 在支路上检查时，如不将所有开关都断开，或只将部分断开，而另一部分闭合，这时如用试电笔测试，相线、零线都有电很亮，则说明零线断线；如发光较暗，则说明相线虚接；如不亮，则说明相线断线。但究竟哪段导线故障，还得按4）中的方法一一检查。

2）短路故障的检查　短路故障的现象是合闸后熔丝立即熔断或断路器合闸后立即跳闸。短路故障的原因，可能是线路中相线与零线直接相碰、电具绝缘不好、相线与地相碰、接线错误、电具端子相连等。

短路的检查，通常也是采用分段检查的方法，先将系统中所有的开关拉掉。

① 合上总开关，如熔丝立即熔断或断路器合上后立即跳闸，则说明总开关下闸口到分路开关上闸口这段导线有短路现象或从这段导线接出的回路有短路现象，或者总开关下闸口绝缘不良而直接短路。如正常，可将分路开关一一合上，如合某一开关，如熔丝立即熔断或断路器合不上，则说明该分路开关到各个支路开关前有短路现象；如正常，则说明故障在各个支路的线路里。

② 把第一分路中第一支路距闸箱最近的一只灯的开关合上，如果分路开关跳闸或熔丝熔断，则说明故障就在这段线路里。可先检查螺口灯口内的中心舌片与螺口是否接触，有否短路电弧的“黑迹”，可检查灯泡灯丝是否短路，可更换灯泡或用万用表测量灯丝的电阻；然后可将管口处的导线拆开，用绝缘电阻表测量管内导线的绝缘。如无故障点，那么可检查开关接线是否错误，将一零一相接在开关点上以及插座接线有误；检查接线盒内“跪头”是否包扎绝缘良好，是否碰壳或零线、相线碰触以及管、盒内潮湿有水等。短路点一般都有短路电弧的“黑迹”；如仍无故障点，则是元件本身的绝缘不良或因为污迹造成短路等。

如分路开关不跳闸或熔丝不熔断，则说明故障不在这段线路里，应往下一只灯的回路检查，直至最后一只。

③ 如果第一支路无故障，可查找第二支路，并将所有支路一一检查。

④ 用上述的方法，第一分路的开关拉闸，合上第二分路开关，按支路一一检查，直至将第三分路以及所有分路检查完毕，直至找出故障点。

断路与短路的检查是一项耐心的工作，不得操之过急，严禁乱拆乱卸及不按程序东一头、西一头地检查。晚上检查故障，必须拉上临时照明，并注意安全。检查故障应按房号分组一一检查，每组一般不超过三人，要配合默契。

3）白炽灯故障的处理

① 短路的处理：

灯口内中心舌片与螺口接触或活动，短路处有电弧黑迹。灯泡的灯丝内部短路。导线绝缘不良或露丝与零线、管壁接触。开关接错，接成上相下零。接线盒内接头包扎不妥，露丝与外壳相碰，或相线接头与零线接头相碰。接线盒或管内潮湿或有水。钢管内导线穿线时被划破绝缘层。熔丝松动。开关或元件本身绝缘性能低劣。

② 灯泡不亮的处理：

灯丝断开。灯口或灯座接触不良，灯泡螺口与灯口螺口不配套，灯口中心舌片低，与灯泡不接触。开关接触不良、松动或触头有锈迹。熔丝熔断或空开跳闸。线路断开。

③ 灯泡忽亮忽暗的处理：

灯座、灯口或开关触头松动，或接线松动。熔断器中熔丝接触不良。电源电压不稳或系统中有大型动力设备经常起动。灯丝松动，忽断忽接。

④ 灯泡发强烈白光，瞬时烧坏：

灯泡不合格，灯丝电阻太小。灯泡额定电压与线路电压不符，小于线路电压，或线路电源错接成两根相线，即380V。

⑤ 灯泡发光为暗红色：

电源电压太低。灯泡额定电压大于线路电压。线

路有漏电处，特别是接头或线盒处。线路太长或导线太细，使末端的压降太大。开关或接头接触不良或有锈蚀。

⑥　接通电源后，灯泡内冒白烟：

灯泡质量低劣。灯泡漏气。电压太高。

4）荧光灯故障的处理　荧光灯、卤钨灯、带有镇流器的钠灯和水银灯，故障较复杂，有的可参照前面的方法处理，但其受到温度、环境的影响也会导致故障，其中任何一连接点的松动或接触不良包括成套灯具的内部连接点，如灯脚、启辉器等都会导致不会正常发光，这一点是很重要的一点。现将荧光灯故障的处理列于表 6-9 内，供读者参考。

表 6-9　荧光灯的常见故障及处理方法

故障现象	可　能　原　因	处　理　方　法
不能发光或发光困难	1. 电源电压太低或电路压降大 2. 启辉器陈旧或损坏，内部电容击穿或断开 3. 接线错误或灯脚接触不良 4. 灯丝已断或灯管漏气 5. 镇流器配用规格不合或镇流器内部电路断开 6. 气温较低	1. 如有条件改用粗导线或升高电压 2. 检查后调换新的启辉器或调换内部电容器 3. 改正电路或使灯脚接触点加固 4. 用万用表检查，如灯丝已断又看到荧光粉变色，表明漏气 5. 调换适当镇流器 6. 加热、加罩
灯管抖动及灯管两头发光	1. 接线错误或灯脚等松动 2. 启辉器接触点合并或内部电容器击穿 3. 镇流器配用不合格或接线松动 4. 电源电压太低或线路压降较大 5. 灯丝陈旧，发射电子将完，放电作用降低 6. 气温低	1. 改正电路或加固 2. 调换启辉器 3. 调换适当镇流器或使接线加固 4. 如有条件改用粗导线或升高电压 5. 调换灯管 6. 加热、加罩
灯光闪烁或有光滚动	1. 新灯管的暂时现象 2. 单根管常有现象 3. 启辉器接触不良或损坏 4. 镇流器配用规格不合或接线不牢	1. 使用几次或灯管两端对调 2. 有条件或需要时，改装双灯管 3. 使启辉器接触点加固或调换起动器 4. 调换适当的镇流器或将接线加固
灯管两头发黑或生黑斑	1. 灯管陈旧 2. 若系新灯管可能因启辉器损坏而使两端发射物加速蒸发 3. 灯管内水银凝结是细灯管常有的现象 4. 电源电压太高 5. 启辉器不好或接线不牢引起长时间闪烁 6. 镇流器配用规格不合	1. 调换灯管 2. 调换启辉器 3. 启动后即能蒸发 4. 如有条件调低电压 5. 调换启辉器或将接线加固 6. 调换合适的镇流器
灯光减低或色彩较差	1. 灯管陈旧 2. 气温低或冷风直吹灯管 3. 电路电压太低或电路压降较大 4. 灯管上积垢太多	1. 调换新灯管 2. 加罩或回避冷风 3. 如有条件调整电压或调换粗导线 4. 清除灯管积垢

（续）

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
杂声与电磁声	1. 镇流器质量较差或其铁心钢片未夹紧 2. 电路电压过高引起镇流器发出声音 3. 镇流器过载或其内部短路 4. 启辉器不好引起开启时辉光杂声	1. 调换镇流器 2. 如有条件设法降低电压 3. 调换镇流器 4. 调换启辉器
镇流器受热	1. 灯架内温度过高 2. 电路电压过高或过载 3. 灯管闪烁时间长或使用时间长	1. 改善装置方法，保持通风 2. 如有条件调低电压或调换镇流器 3. 消除闪烁原因或减少连续使用时间
灯管使用时间短	1. 镇流器配用规格不合或质量差，或镇流器内部短路致使灯管电压过高 2. 开关次数太多，或启辉器不好引起长时间闪烁 3. 振动引起灯丝断掉 4. 新灯管因接线错误而烧坏	1. 调换镇流器 2. 减少开关次数或调换启辉器 3. 改善装置位置，减少受振 4. 改正接线

5）混线的处理　混线一般发生在暗配管的照明电路中，试灯时若发现某回路的开关未合上而电能表转动或者有电流（电能表通常串接于开关的上闸口），或者开关已合而各个支路的灯的开关没有闭合时而电能表转动或有电流，则说明已混线。

①　混线回路的确定和判断：发现上述混线现象后，先将各分路开关拉掉，将总开关闭合，然后按以下步骤逐一检查。

第一步　总电能表不应转动，否则电能表失灵或总电能表出线接有通往他室的回路，查出并切断这些回路，如仍转动，应将电能表拆下进行校验。

第二步　将第一分路开关合上，将其各支路的开关全断开，该分路电能表不应转动。把与第一分路所辖房间相邻的其他房间（这些房间是属第二分路或第三分路所辖的）各支路的灯按顺序闭合，然后再断开，与此同时观察第一分路的电能表是否转，如转动则说明该支路的灯混线，为了可靠应反复试验几次加以确认。

第三步　将第一分路开关断开，将确认混线灯的分路开关闭合，然后将混线灯支路开关闭合，这时该灯不能点亮。如能点亮则说明第一分路与该分路的主干线已连通，见图 6-73。这时将第一分路开关也闭合，混线灯仍点亮，说明两分路干线的相序相同；如不能点亮并且熔丝熔断，则说明相序不同。

第四步　按上述方法将所有分路有无混线一一试完，确定已混线灯具。

②　混线的处理：混线最好是在房间内装修前进行，否则将会影响装修工程，必须处理时，方案须经土建及建设单位同意。

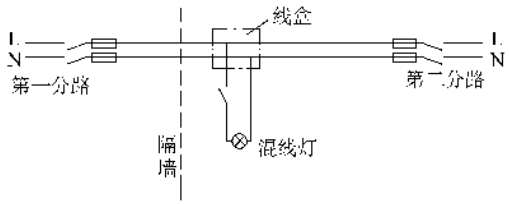


图 6-73　灯具混线示意图

重新布管法。先将混线灯具的接线盒打开，把混接的导线拆下并从管路中抽出；量出混线灯距非混线分路开关所辖房间最近的电源点（如插座、开关等）的距离，用开槽机或手工将地面或墙开出能埋入 ϕ15mm 钢管的小槽，并将加工好的管埋入槽中，管的两端应进入混线灯和电源点的盒内，并用电焊点住，点焊时应防止伤及原导线，必要时可将原导线暂时抽出。最后用水泥砂浆将槽抹平，最后穿线、接线、试灯。重新布管法适用于对装修要求较高、不得有明设管路的场所。

槽板明设法。对于要求不高的场所可采用槽板明设补救。方法基本同前，只是在量出的电源距离内用明装槽板代替，槽板的两端应分别将线盒压住，线从槽板后面引至线盒，线盒的露出部分应用与墙及楼板颜色相同的装饰板盖住并固定。槽板应刷与装修线条相同的色漆。槽板的敷设应采用塑料胀管，见图 6-57。

钢管（或塑料管）明设法。在工业厂房或要求不高的公共场所可采用钢管或塑料管明设补救，方法同上，管路的敷设方法应按管路明装的要求进行，管路的刷漆应与装修线条相同。

如能不重新布管且又能解决混线最好，但这要根据现场情况决定。

6）其他故障可参照上述各条进行处理。

第五节　常见公共场所照明及单相电气装置的安装

前面详细地讲述了照明电路及单相电气装置的检查、测试、安装、试灯等内容，读者从中可以看到，照明电路及单相电气装置与动力、变配电、架空线路、自动化仪表及空调、电梯、弱电系统等相比要简单一些。其实，照明电路及装置在很多场所有着非常重要的作用，特别是在美化环境、方便人们行动、艺术欣赏、医疗保健等方面有着广泛的用途，也是电气工作人员应该掌握的技术技能。本节要讲述一些常见公共场所的照明装置，主要包括宾馆客房照明、彩色水下灯、航空闪光障碍灯、舞台照明装置、歌舞厅和宴会厅声光效果控制装置、人工彩色音乐喷泉装置、综合性室内体育馆照明装置、舞台照明以及地面灯、路灯、玻璃幕墙射灯等。公共场所照明装置的安装同样要进行检查、测试、安装、接线、试灯或调试，其方法基本与前述相同。

随着新产品的投入市场一定要注意阅读产品安装使用说明书，并按其要求进行安装测试。

一、一般公共照明装置

（一）地面灯的安装方法（见图 6-74）

地面灯可分为方形地面灯和圆形地面灯两种：

1）地面灯选用时必须是防护灯具，防护等级为 IP56，不得使用自制接线盒及其非防护等级的灯具。

2）在地面土建施工时，应及时配合埋设管路或防水、防潮、防压特种电缆。一般情况下是先在灯具位置处预埋木盒，安装时先将木盒取掉，然后再放置 IP56 防护等级的灯盒。

3）地面灯具安装时，应及时与地面面层施工密切配合，必须做好防水处理。

4）地面灯具安装好后应先临时通电，试灯并测试绝缘电阻，其值应大于 5MΩ，有缺陷时应立即处理。试灯及测试后应对地面灯具进行防护，以免破损或造成其他事故。

5）金属构架、金属接线盒、金属管路、电缆金属外层或铠装等应可靠接地或接零，并有明显的标志。

6）金属穿线管路敷设好后应进行密封试验，并与管道工配合，试验压力为 1MPa。试验时管口封墙要严密，手压泵或空压机上的压力表应有合格检定证书。

7）金属穿线管理应选用优质镀锌钢管，焊接部位应做防腐处理，螺扣螺纹连接部位应做密封处理。

8）地面灯的安装应一次成型，避免返工。

9）地面灯的灯具面板必须与地面持平，误差小于 0.2mm。

（二）楼梯踏步灯安装方法（见图 6-75）

楼梯踏步灯安装方法基本同地面灯。

（三）玻璃幕墙射灯安装方法（见图 6-76）

玻璃幕墙射灯的安装方法基本同地面灯一样，不同的是要用好发泡聚乙烯条、填充料、防水胶，必要时应请教专业人员，不得随意使用。

（四）投光灯安装方法（见图 6-77）

投光灯安装、测试、试灯基本同地面灯一样。同时应注意以下几点：

1）室外投光灯必须选用防水型，接线盒盖应配有橡胶垫圈，接线盒进线口和灯具出线口应采用电缆终端密封头与其接口。

2）其底座支架应牢固，材料及其固定螺栓应与其体积重量相匹配，并做防腐处理。

3）调整时其枢轴应沿投射方向的光轴方向拧紧，配有镇流器的投光灯，镇流器应有密封处理，确保不进水、不进污。

（五）射灯安装方法（见图 6-78）

射灯的类别很多，安装地点也很多，基本方法和要求同地面灯，同时注意以下几点：

1）射灯应选用防水型灯具，电缆引入接口处应密封良好。

2）用于树木、草坪投射照明的射灯应直接安装在泥土中。

3）坐地安装的射灯应安装在混凝土基础上，适用于建筑物的投射照明。

4）射灯试灯时应按业主的要求将其仰角调整好并予以固定，试灯一般应选在晚上进行，试灯后应有提示警语牌。

（六）草坪灯的安装（见图 6-79）

草坪灯的安装及要求同地面灯，同时注意以下几点：

1）灯杆法兰式草坪灯安装在预制混凝土基础上，一般可采用质地优良的塑料管预埋；灯杆埋设式草坪灯直接埋设在草坪中，埋设深度一般为 500mm，并将其周围夯实、在埋土中一般应有混凝土预制的套圈或卡盘。

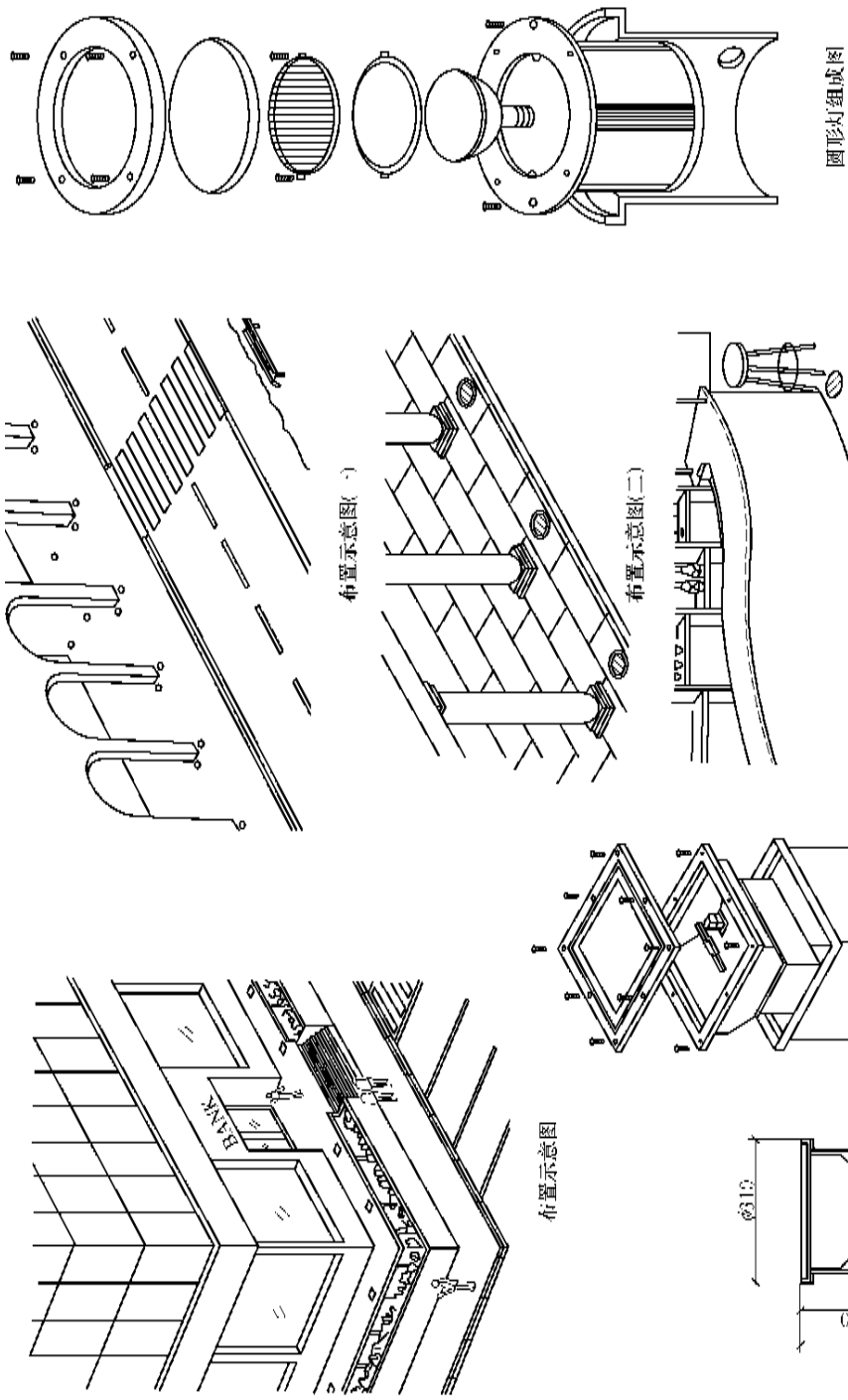
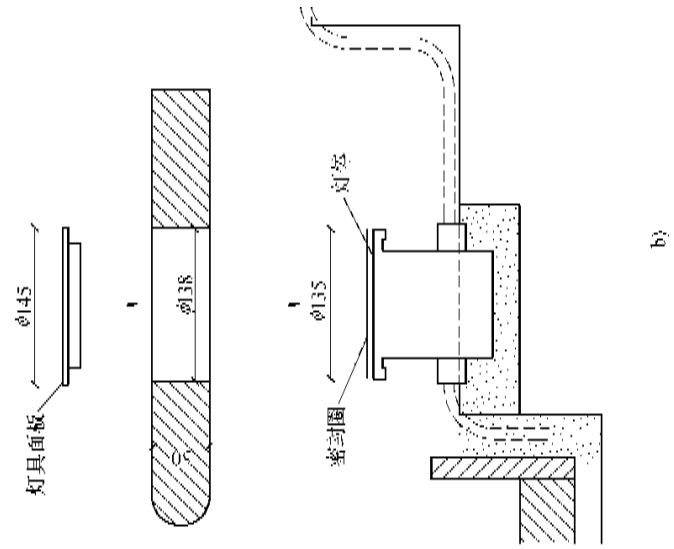


图 6-74 地面灯安装方法

a)方形地面灯安装方法 b)圆形地面灯安装方法



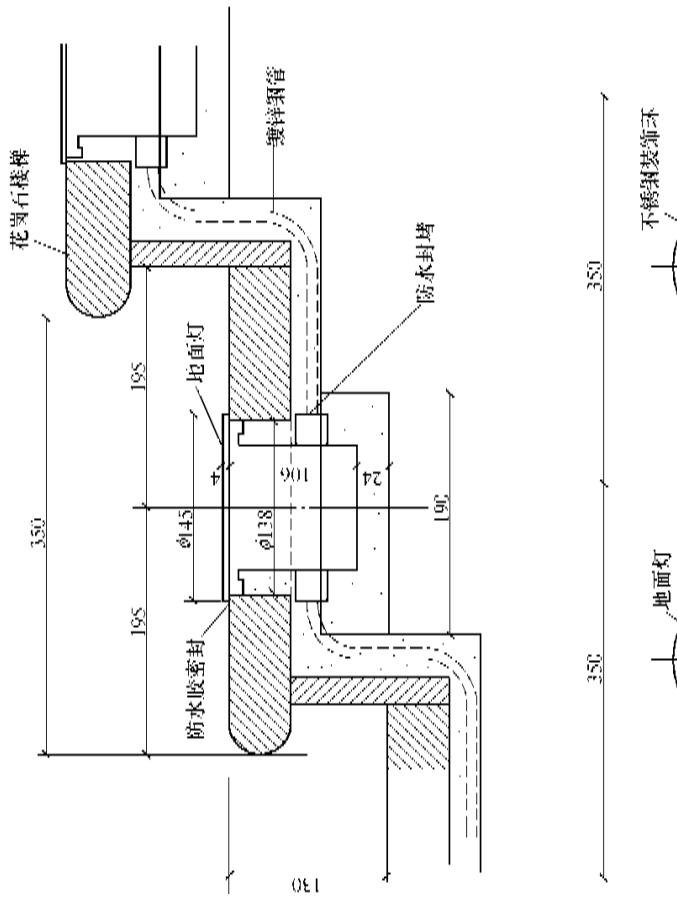


图 6-75　楼梯踏步灯安装方法

a)地面灯安装方法　b)地面灯安装示意图

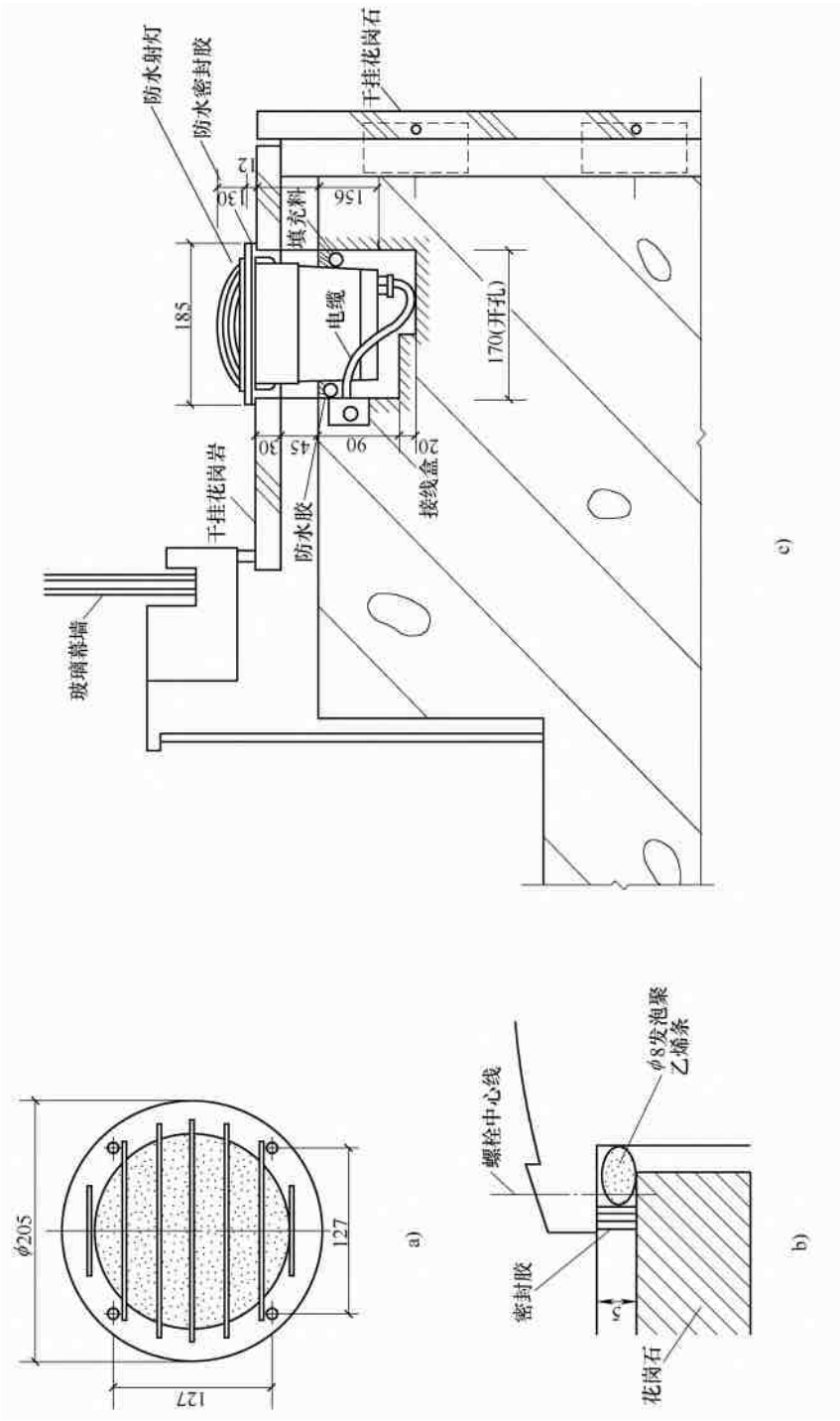
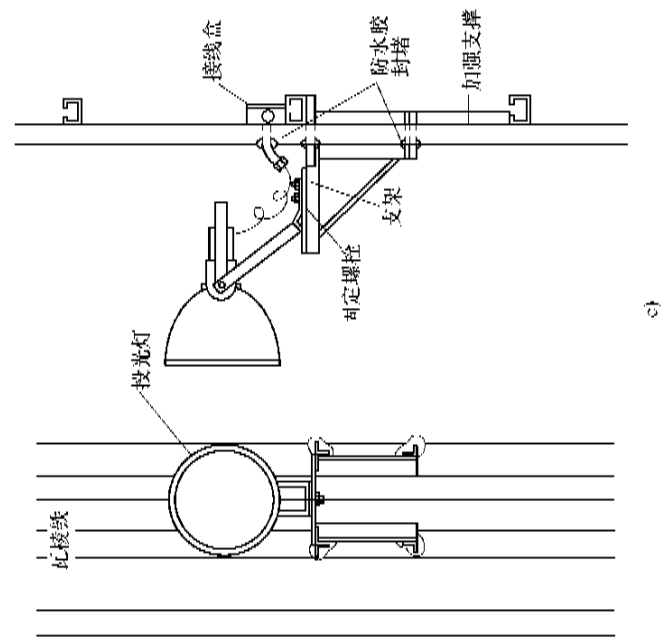
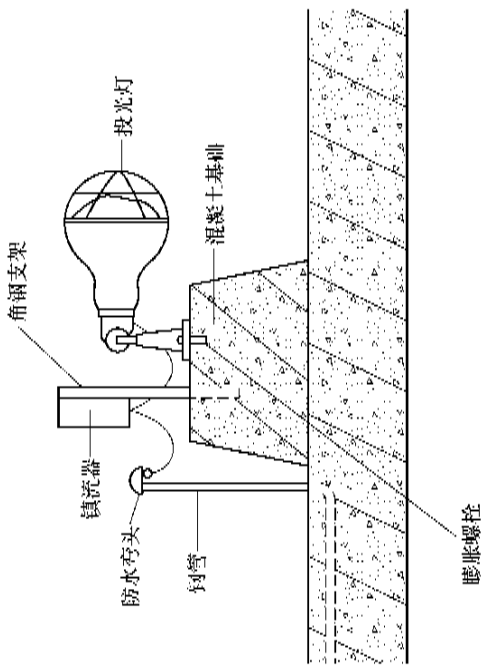


图 6-76 玻璃幕墙射灯安装方法

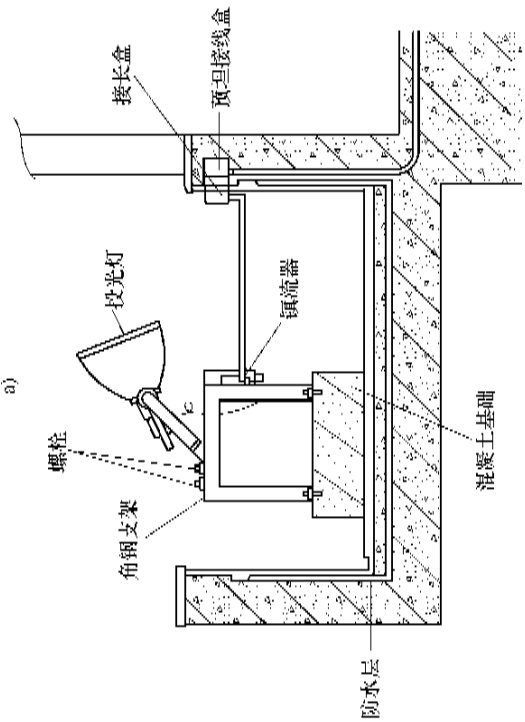
a)防水射灯尺寸图 b)射灯防水密封方法大样图 c)玻璃幕墙射灯安装方法



c)



a)



b)

图 6-77　投光灯安装方法

a) 投光灯安装方法(一)　b) 投光灯安装方法(二)　c) 投光灯壁装方法

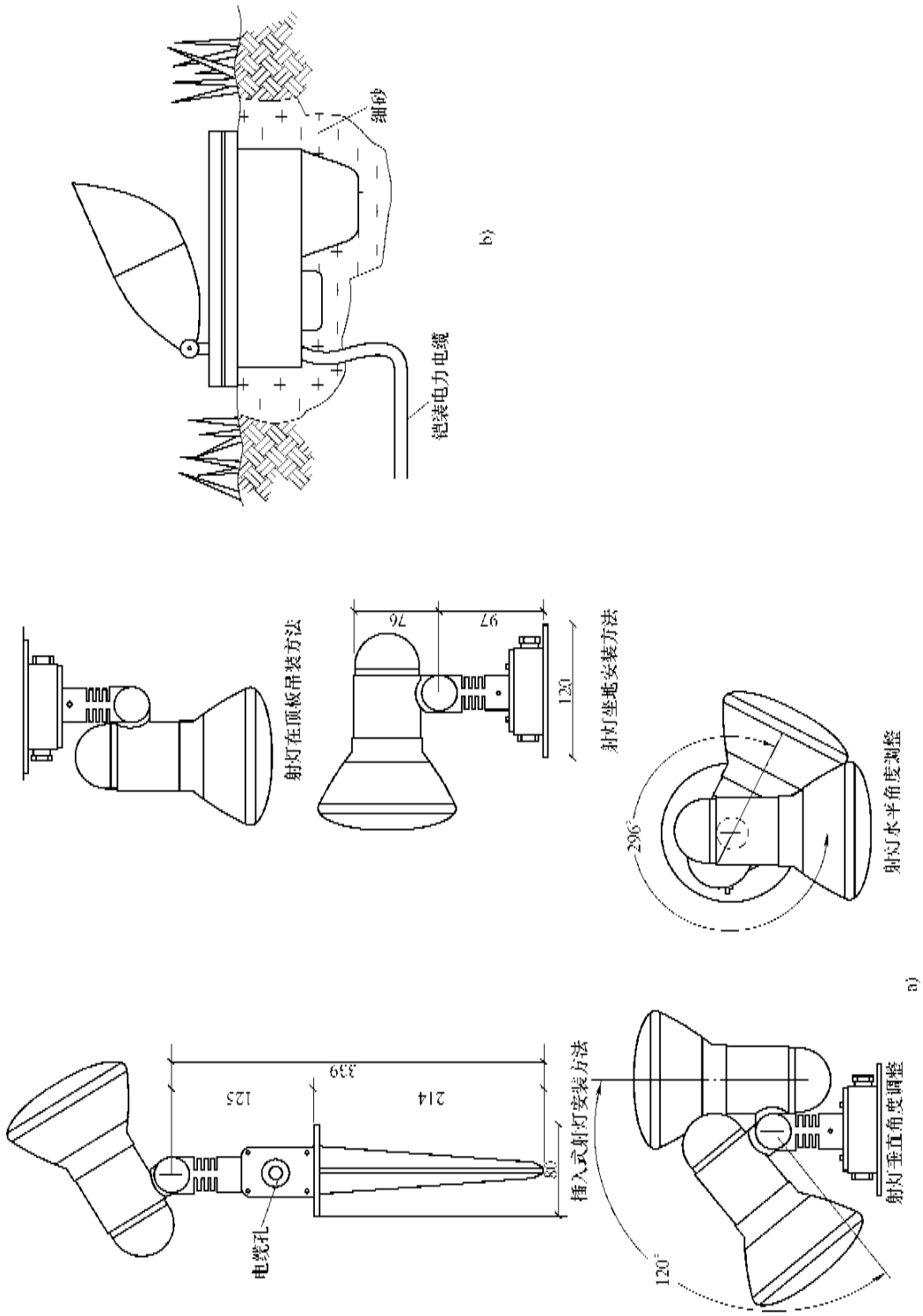


图 6-78 射灯安装方法

a）射灯安装方法 b）草坪用射灯安装方法

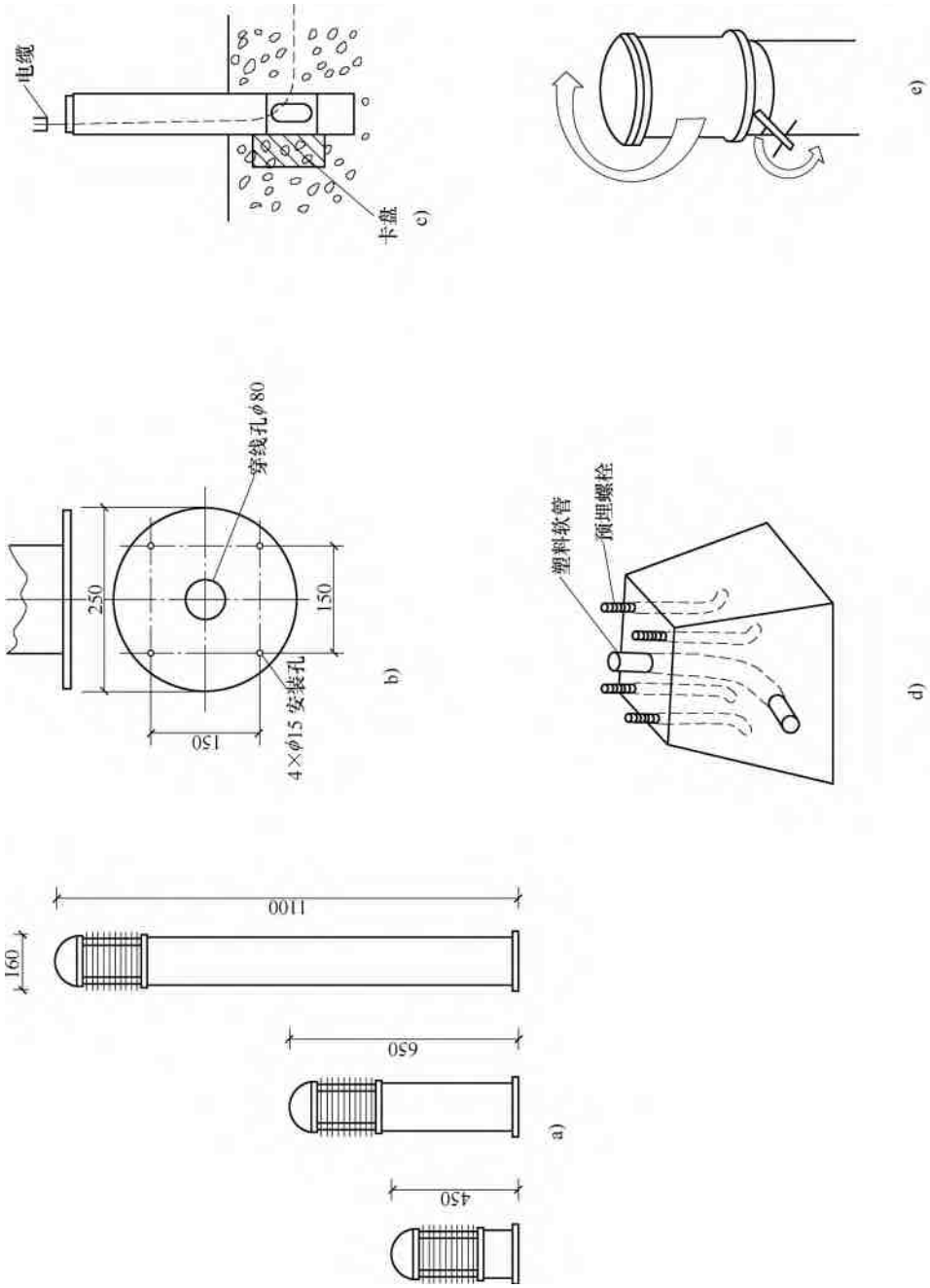


图 6-79　草坪灯的安装方法

a) 草坪灯外形图　b) 法兰规格尺寸　c) 灯杆埋设式安装方法
d) 预制混凝土基础　e) 灯具安装方法

2）选用的电缆一般为铠装电缆，直接埋设在草坪中，并有标志。埋设时应避开障碍物，为今后维修带来方便。

3）草坪灯试灯应在接线后立即进行。

4）草坪灯应采用集中控制，并有自动开启及关闭装置，一般可用光控或时间控制，有条件的应配有调光装置。

5）应定期测试系统的绝缘电阻。

（七）庭院灯的安装（见图 6-80）

庭院灯的安装方法及要求基本同地面灯，同时应注意以下几点：

1）立柱式庭院灯、落地式庭院灯、特种园艺灯等，其基座与基础应固定可靠，地脚螺栓紧固至少 6 扣，20mm 及以上螺栓应用双螺母紧固。螺母紧固后应将螺杆顶部铆固。紧固螺栓前应用黄油涂抹螺杆。

2）灯具接线盒、熔断器盒应有防水密封垫，盒盖紧固。

3）使用的线缆应穿管敷设。

4）金属立柱、灯具外壳应可靠与接地体或零线连接。系统接地干线应单独放置且成环网状，环网与接地体不少于 2 处可靠连接，接地电阻小于或等于 1Ω。由接地干线引出的支线与其接地端子的连接应可靠紧密且有标志。

（八）路灯的安装（见图 6-81）

路灯的安装及要求应遵照架空线路相关规定及方法，详见“架空线路及室外变压器台、箱变的安装”一章的相关内容，同时应注意以下几点：

1）路灯杆按底部结构可直埋，也可安装在混凝土基础上，预埋螺栓应与基底板螺孔匹配。有太阳能板的路灯其板面应倾斜面向正南方，角度为 45°左右。

2）预制混凝土应配钢筋、表面铺设钢板、钢板按螺栓距开孔，钢板穿入螺栓后螺栓在钢板孔的上下面上进行焊接，并与钢筋绑扎，混凝土基础尺寸及钢板螺栓的选用应由杆体决定，设计出据数据。基础浇注及浇注完毕、穿线未完成时，穿线管应封口密实。螺栓紧固同庭院灯。

3）电缆一般选用铠装电力电缆。

4）路灯接线应注意相序，负荷要分配均衡。

二、应急诱导灯的安装

应急诱导灯的型号、规格、用途很多，见图 6-82，其接线方法见图 6-83。

其中，两根引出线的应急灯灯具本身备有正常照明的开关，不必另设，照图 6-83a 接线即可。三根引出线的可另设开关后，用于正常照明。一旦停电，灯具将自动切换到应急照明工作状态，照图 6-83b 接线即可。三根引出线的应急灯灯具如只用于应急不用正常照明即可按图 6-83 接线。

应急诱导灯的安装应按第一节～第四节的要求进行，一般应采用暗装线路，若采用明装应采用钢管配线，开关元件应有明显的标志并与正常照明开关分开装设。

应急诱导灯一般设在走廊、楼梯间、出口以及需要疏导人们脱离现场的明显位置并有连续性。

三、水下照明灯具的安装

水下照明灯具可分为水下彩灯和水中照明灯两种，规格型号很多。

（一）水下彩灯见图 6-84

MH SXC 系列水下彩灯技术数据见表 6-10。水下彩灯有红、绿、蓝、黄、紫五种颜色，用于彩色喷泉、瀑布、溶洞、暗河及水下工程。其中，彩色白炽水下灯使用方便，可适用电、声控，并具有发光效率高、光强大、投光距离远、寿命长、节电等特点。

水下彩灯的安装应按第一节～第四节的要求进行，同时注意以下几点：

1）灯具由专用支撑杆或陶瓷灯座固定安装。

2）为了充分发挥水下投光灯效果，安装时灯具顶端距离水面以 10～20mm 为宜。

3）水下投光灯必须采用专用水下镇流器或高压汞灯镇流器、启动器，若采用专用水下镇流器，应按要求仔细接线，并做好绝缘密封，以保证长期水下工作。若采用高压汞灯镇流器、启动器，必须置于水外。

（二）水中照明灯具（见图 6-85）

水中照明安装应按第一节～第四节的要求进行，并应注意以下几点：

1）水中安装的灯具应选用防水低电压（36V 以下）型，变压器及灯光控制器放置在水池外部。

2）水中进行导线连接时应选用铜制防水接线盒，所有灯具及接线盒出线端应采用电缆终端密封头安装。

3）游泳池和类似场所灯具（水下灯及防水灯具）的等电位连接应可靠，且有明显标志，其电源的专用漏电保护装置应全部检测合格。自电源引入灯具的导管必须采用绝缘导管，严禁采用金属或有金属护层的导管。

4）水中照明灯具的安装最主要是保证其密封防水，特别是接线部位，确保其绝缘良好，工作正常安全。

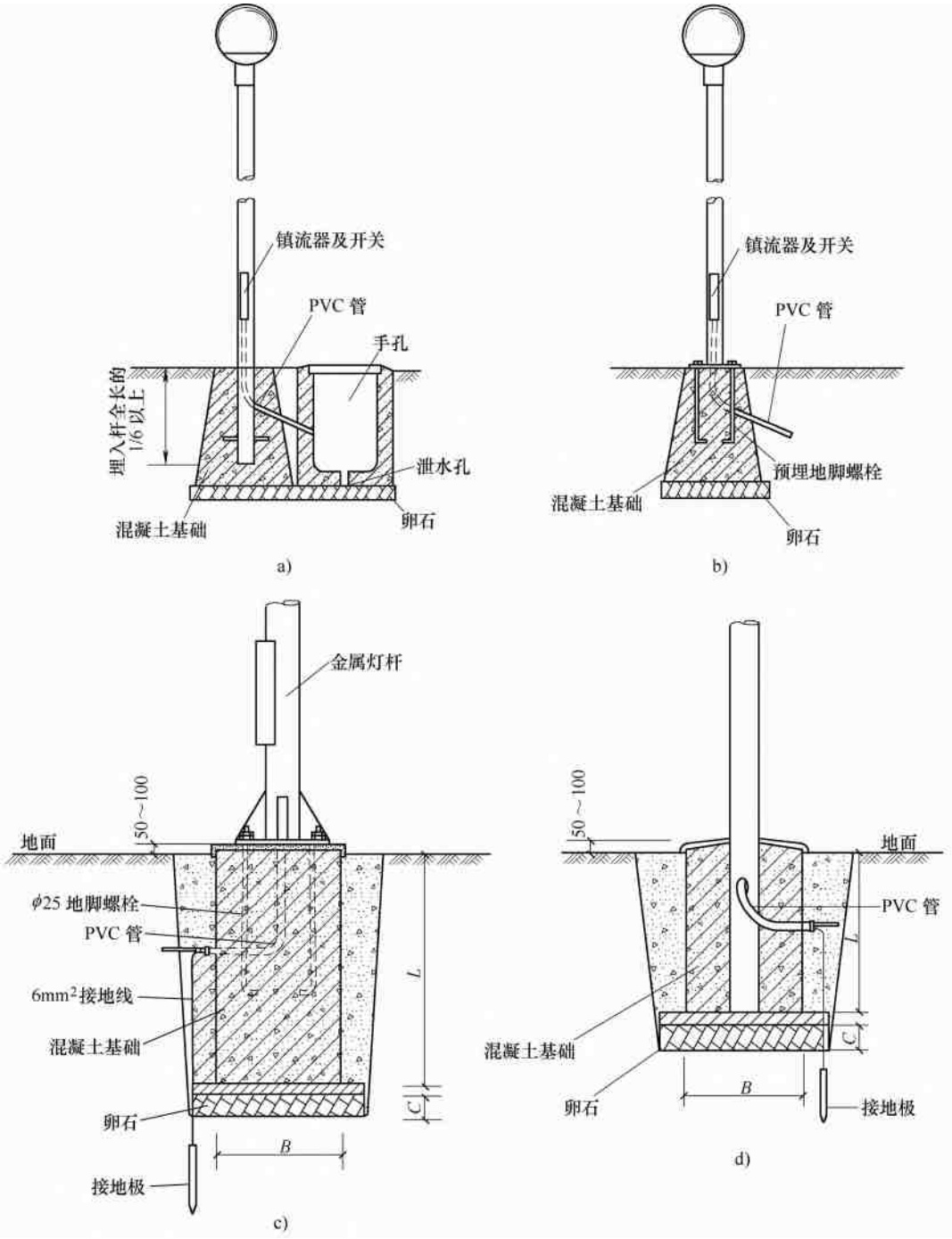
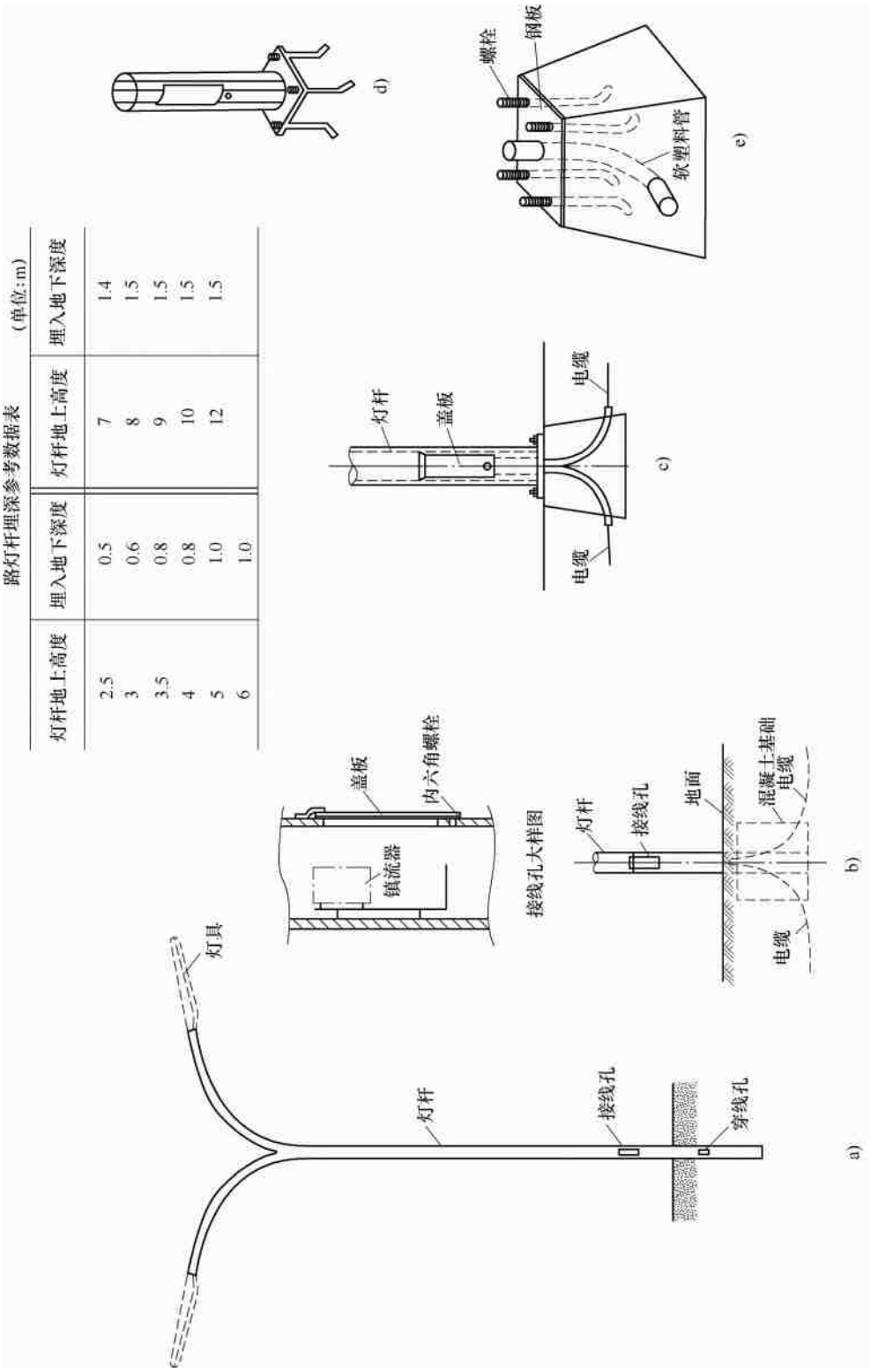


图 6-80　庭院灯安装方法

a）方式一　b）方式二　c）方式一基础大样图　d）方式二基础大样图



路灯杆埋深参考数据表 （单位：m）

灯杆地上高度	埋入地下深度	灯杆地上高度	埋入地下深度
2.5	0.5	7	1.4
3	0.6	8	1.5
3.5	0.8	9	1.5
4	0.8	10	1.5
5	1.0	12	1.5
6	1.0		

图 6-81 路灯安装方法大样图

a）路灯安装示意图 b）路灯埋设式安装方法 c）路灯法兰式安装方法 d）路灯法兰底座外形图 e）路灯预制混凝土基础

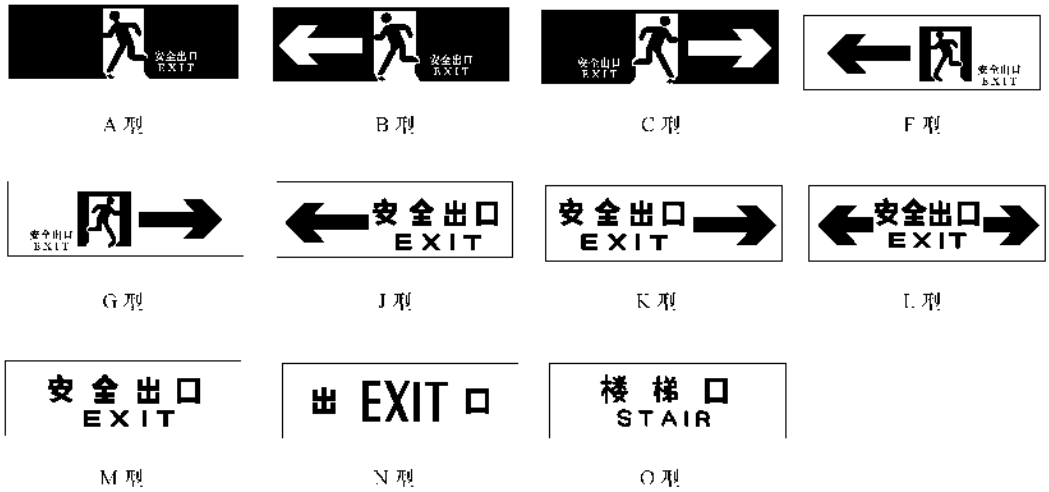


图 6-82　应急诱导灯面板标志图

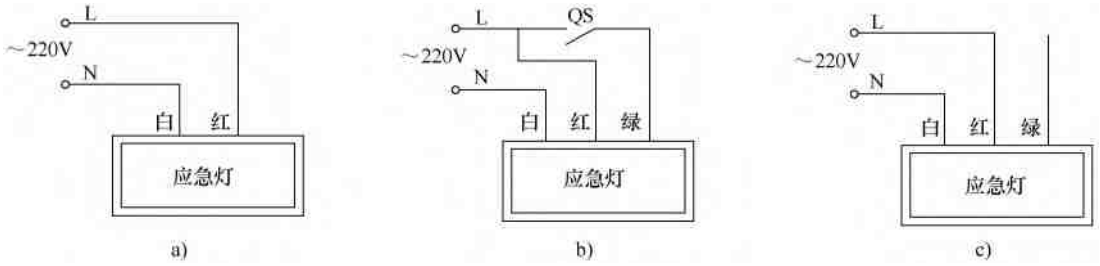


图 6-83　应急诱导灯接线方法示意图

a）两根引出线　b）三根线引出（一）　c）三根线引出（二）

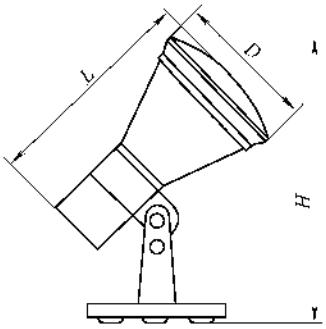


图 6-84　水下彩灯外形及尺寸

水下照明及彩灯的安装应先进行技术培训并进行演练，几经实际操作亦能确保上述要求后才能进行实际安装，同时应有现场质检员进行现场监督，杜绝出现质量不合格。具体安装人员不得违章操作，确保质量。

四、室内综合体育馆照明装置的安装

室内综合体育馆灯光布置平面图见图 6-86。

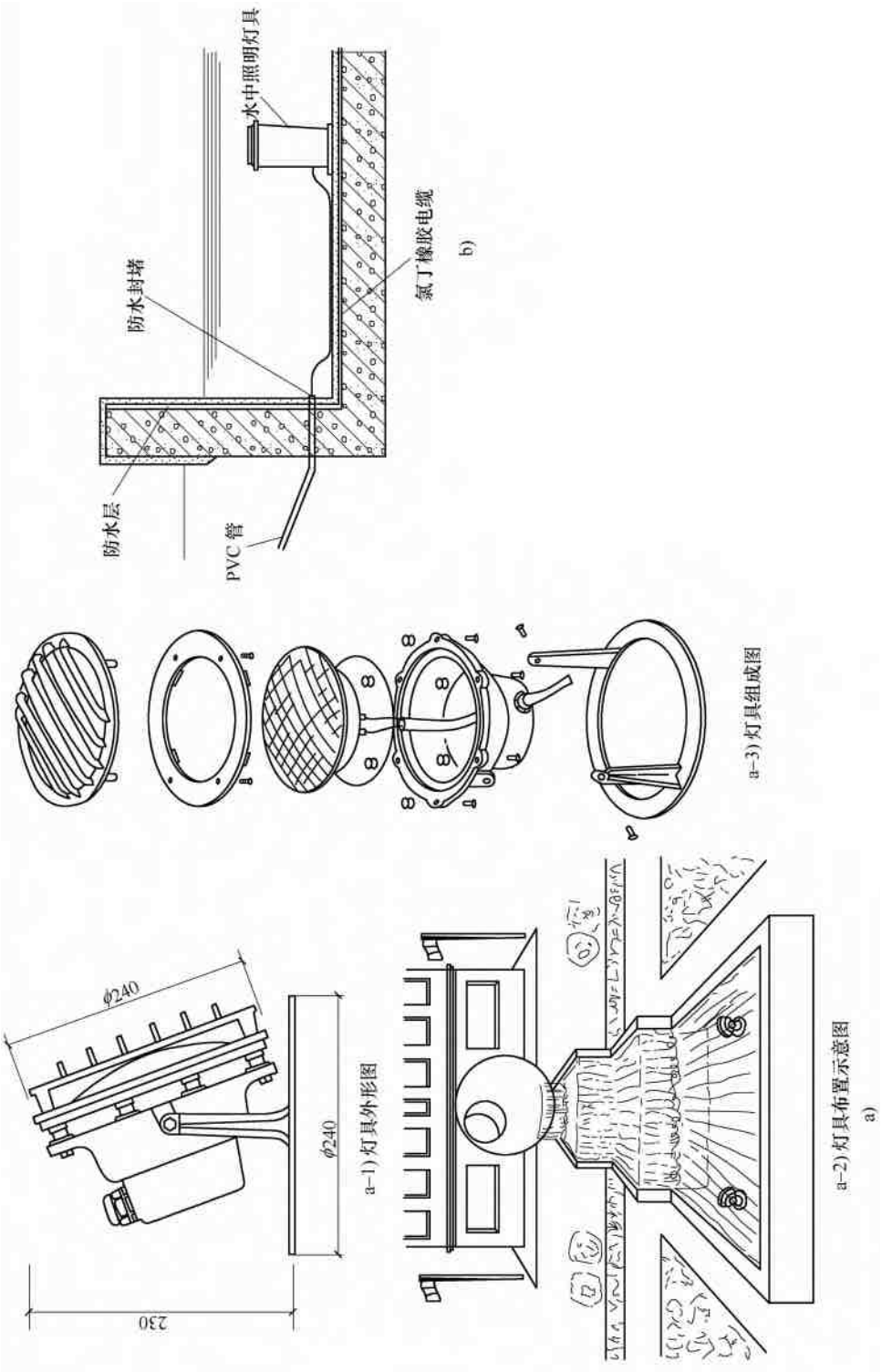


图 6-85 水中照明安装方法示意图

a) 水中照明灯具安装方法(一) b) 水中照明灯具安装方法(二)

表 6-10　水下彩灯技术数据

灯泡型号	电压/V	功率/W	工作电压/V	工作电流/A	主要尺寸 $H \times D \times L$/mm			平均寿命/h	密封线长/m	光色
MH SXC-250	220	250	120 ± 15	2. 3	300	160	250	1000	10	白
MH SXC-250		250								绿
MH SXC-250		250								蓝
MH SXC250		250		2. 25						黄
MH SXC-400		400	130 ± 15	3. 05 ± 0. 2			250	1000		白
MH SXC-400		400								绿
MH SXC-400		400								蓝
MH SXC-400		400								黄
MH SXC-300		300	200				250	500		红
MH SXC-300										绿
MH SXC-300										蓝
MH SXC-300										紫
MH SXC-300		300		1. 36						黄
MH SXC-500		500		2. 27						红
MH SXC-500										绿
MH SXC-500										蓝
MH SXC-500										紫
MH SXC-500										黄

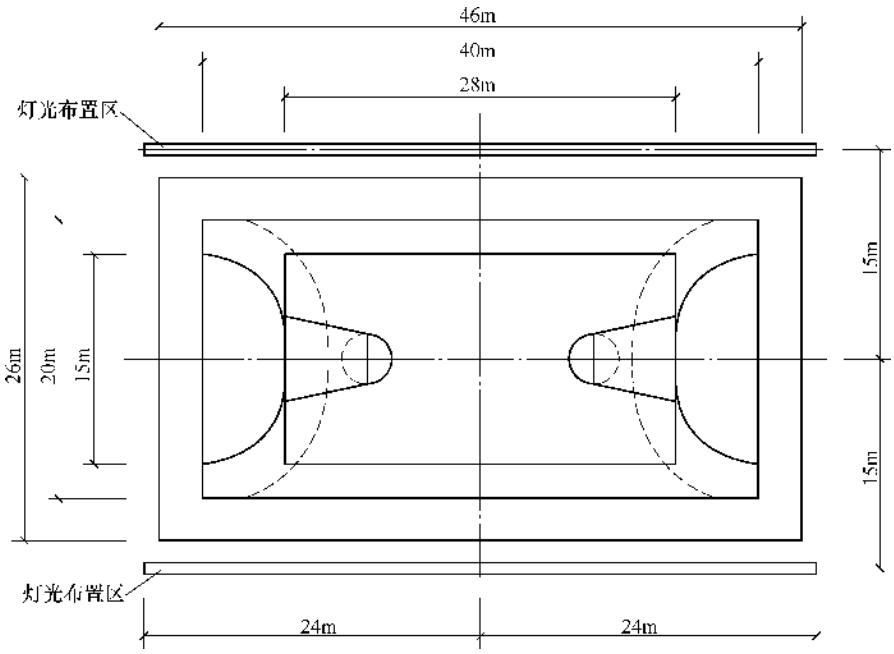


图 6-86　室内综合体育馆灯光布置平面图

室内综合体育馆照明设备选型参考的产品很多，这里仅举一列，但必须保证照度（lx），见表 6-11。

室内综合体育馆照明设备的安装应按前述第一节～第四节的要求进行，同时必须保证安装高度在 11～15m 灯具设备的质量、安装必须牢固，每盏灯具一般采用双接线端子和双供电回路，确保照明质量。开关箱有自动和手动切换装置。

室内综合体育馆照明的控制首先要三相负载平衡，这里仅给出 L1 相的接线方法，一般每 4 盏灯为一组，且每灯为双端子双供电回路，并将双回供电路

直接接在配电间的母线上。而 L2、L3 相与之相同。其次，配电间应设置自动调压装置，确保供电电路回路的电压在 220V ± 10V 以内。再者在接线时第一组 4 盏灯的相序应为 L1、L2、L3、L4，而第二组灯应为 L2、L3、L1、L2，以此类推，见图 6-87。也就是说灯的安装是按组一一顺序排定安装的，而接线是分开

表 6-11　室内综合体育馆照明设备选择参考表

灯具型号	MNF210		
灯泡型号及瓦数	HP1-T 400W		
灯具安装高度/m 灯具开启数量/台 设计照度值/lx	11	13	15
750	104	112	120
500	72	80	84
300	48	48	52
200	36	36	36

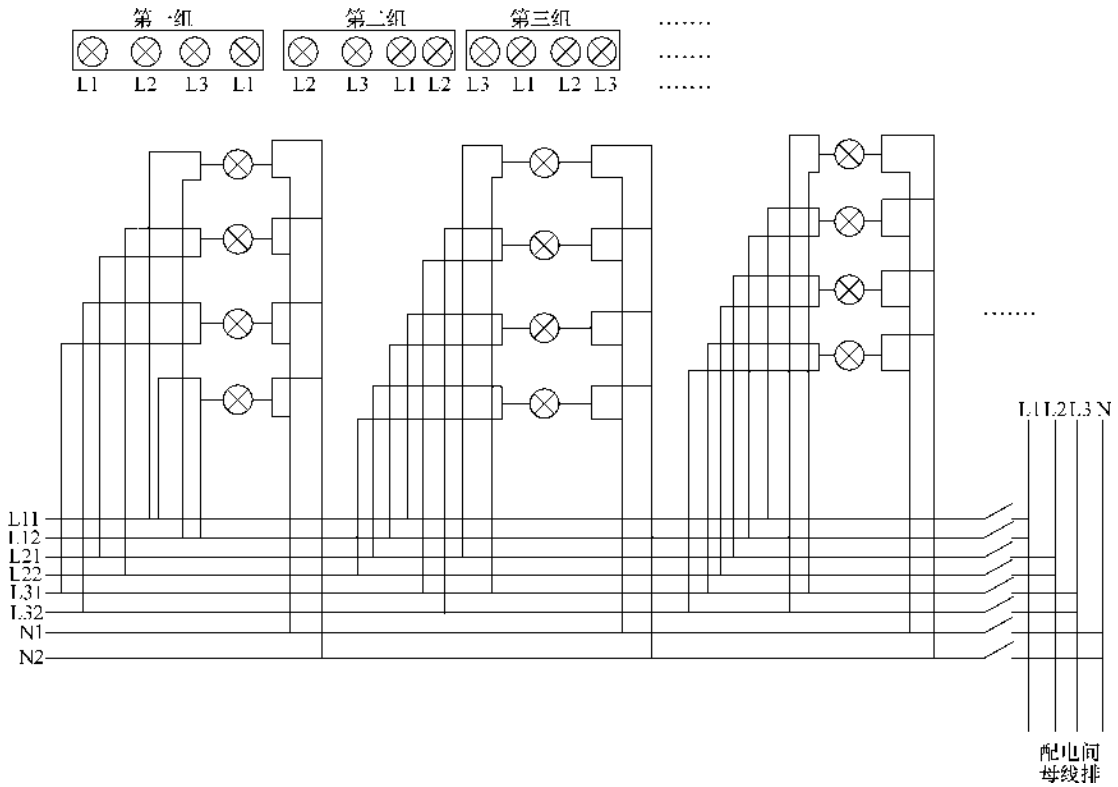


图 6-87　室内综合体育场馆照明接线图

相序的。

这样的接线既保证了负荷的均匀分配，又保证了如有一盏灯不能正常工作并不影响总体照明；同时双回路供电保证了有一线路出线故障不影响整体照明。室内综合体育馆配电间一般情况下均采用电网的双回路供电，并配有 UPS 作为第三电源，确保供电的可靠性。

TL 系列荧光灯管在照明工程中应用很广泛，这里将其特征应用场所和相关数据列出供读者参照，见表 6-12 ~ 表 6-15。

表 6-12　TL 系列荧光灯管特征表

1. 按相关色温（K）分类

相关色温/K	色表特征	TL 系列编号	特　　征
≤3000	暖色	827　830　927　930	使人感觉轻松、舒适、一般常与白炽灯混合使用，不适合与自然光混合使用
3500～4000	白色（中间色）	835　33　840　940	明亮的白色光可与自然光完美的结合，一般用于自然光照射的空间
5000～6500	昼光色（冷色）	54　850　865　950　965	与自然光相似

2. 按显色指数（Ra）分类

按一般显色指数/Ra	TL 系列编号	特　　征
63.72	标准	用于辨色要求一般的场所，如停车场、仓库等
85	80	用于辨色要求较高的场所，如画室、办公室、教室等
95	90	用于辨色要求高的场所，如百货商场、美术馆展厅等

表 6-13　TL 系列荧光灯应用场所一览表

应用场所	80 系列					90 系列				
	827	830	840	850	865	927	930	940	950	965
学校										
一般教室、幼儿园教室			✓	✓						
研究室、图书馆			✓	✓						
实验室			✓	✓				✓	✓	✓
教职员办公室			✓	✓						
商业空间										
超级市场		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
百货公司		✓	✓				✓	✓		
书店、文具、照相器材		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
家电产品		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
钟表、珠宝、服饰、化妆品	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
理发、美容	✓	✓				✓	✓			
药店、运动器材		✓	✓	✓	✓		✓	✓		
古董、艺廊、乐器	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
自动售货机		✓	✓	✓	✓					
展示中心		✓	✓	✓	✓		✓	✓		
旅馆										
门厅、走廊、楼梯	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
客房	✓					✓				
会议室	✓	✓	✓			✓	✓	✓		
餐厅						✓	✓			
自助餐厅		✓	✓				✓	✓		
宴会厅	✓					✓				

（续）

应用场所	标准系列		80 系列					90 系列				
	33	54	827	830	840	850	865	927	930	940	950	965
办公大楼												
一般办公室、绘图室					✓	✓				✓		
高级办公室、会议室				✓	✓				✓	✓		
计算机室					✓							
门厅、走廊、接待室				✓	✓	✓			✓	✓		
地下停车场	✓	✓										
住宅			✓					✓	✓	✓	✓	✓
医疗设施												
病房			✓	✓	✓				✓	✓		
诊疗室					✓					✓		
手术室、X 光室、化验室					✓					✓		
产房、恢复室				✓	✓				✓	✓		
等候室、走廊					✓							
公共建筑												
外贸展览馆				✓	✓				✓	✓		
美术馆、博物馆									✓	✓		
图书馆				✓	✓							
体育馆、室内体操场	✓	✓		✓	✓	✓	✓					
保龄球场					✓	✓	✓		✓	✓		
多用途场地	✓	✓		✓	✓	✓	✓					
户外照明	✓	✓										

注：✓代表可选。

表 6-14　TL 系列荧光灯管技术数据表

型　　号	功率 /W	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	照度 /lm	长度 L /mm	直径 D /mm
经济型 TLD33、54 系列						
TLD18W/33	18	63	4100	1150	604	26
TLD18W/54	18	72	6200	1050	604	26
TLD36W/54	36	63	4100	2850	1213.6	26
TLD36W/54	36	72	6200	2500	1213.6	26
TLD80 系列						
TLD18W/827	18	85	2700	1350	604	26
TLD18W/830	18	85	3000	1350	604	26

（续）

TLD80 系列

型　　号	功率 /W	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	照度 /lm	长度 L /mm	直径 D /mm
TLD18W/835	18	85	3500	1350	604	26
TLD18W/840	18	85	4000	1500	604	26
TLD18W/850	18	85	5000	1450	604	26
TLD18W/865	18	85	6500	1410	604	26
TLD36W/827	36	85	2700	3350	1213.6	26
TLD36W/830	36	85	3000	3350	1213.6	26
TLD36W/835	36	85	3500	3350	1213.6	26
TLD36W/840	36	85	4000	3350	1213.6	26
TLD36W/850	36	85	5000	3250	1213.6	26
TLD36W/865	36	85	6500	3250	1213.6	26
TLD58W/827	58	85	2700	5200	1514.2	26
TLD58W/830	58	85	3000	5200	1514.2	26
TLD58W/835	58	85	3500	5200	1514.2	26
TLD58W/840	58	85	4000	5200	1514.2	26
TLD58W/850	58	85	5000	5000	1514.2	26
TLD58W/865	58	85	6500	5000	1514.2	26
TLD90 系列						
TLD18W/927	18	95	2700	950	604	26
TLD18W/930	18	95	3000	1000	604	26
TLD18W/940	18	95	4000	1000	604	26
TLD18W/950	18	98	5000	1000	604	26
TLD18W/965	18	96	6500	1000	604	26
TLD36W/927	36	95	2700	2300	1213.6	26
TLD36W/930	36	95	3000	2350	1213.6	26
TLD36W/940	36	95	4000	2350	1213.6	26
TLD36W/950	36	98	5000	2350	1213.6	26
TLD36W/965	36	96	6500	2300	1213.6	26
TLD58W/927	58	95	2700	3600	1514.2	26
TLD58W/930	58	95	3000	3700	1514.2	26
TLD58W/940	58	95	4000	3700	1514.2	26
TLD58W/950	58	98	5000	3700	1514.2	26
TLD58W/965	58	96	6500	3700	1514.2	26

（续）

TLE 环形荧光灯管 80 系列经济型 33、54 系列

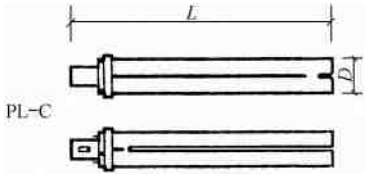
型　　号	功率 /W	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	照度 /lm	长度 *L* /mm
TLE22W/33	22	63	4100	1250	157
TLE22W/54	22	72	6200	1050	157
TLE32W/33	32	63	4100	2050	246
TLE32W/54	32	72	6200	1750	246
TLE32W/827	32	85	2700	2300	246
TLE32W/830	32	85	3000	2300	246
TLE32W/840	32	85	4000	2300	246

表 6-15　节能灯管技术数据

PL-C 节能灯管

型　　号	功率 /W	管电压 /V	管电流 /mA	照度 /lm	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	长度 *L* /mm	直径 *D* /mm	灯座
PL-C8W/827	8	47	195	350	85	2700	96	28	G24d-1
PL-C10W/827	10	64	190	600	85	2700	118	28	G24d-1
PL-C10W/830	10	64	190	600	85	3000	118	28	G24d-1
PL-C10W/840	10	64	190	600	85	4000	118	28	G24d-1
PL-C13W/827	13	91	170	900	85	2700	153	28	G24d-1
PL-C13W/830	13	91	170	900	85	3000	153	28	G24d-1
PL-C13W/840	13	91	170	900	85	4000	153	28	G24d-1
PL-C18W/827	18	100	220	1200	85	2700	173	28	G24d-2
PL-C18W/830	18	100	220	1200	85	3000	173	28	G24d-2
PL-C18W/840	18	100	220	1200	85	4000	173	28	G24d-2
PL-C26W/827	26	105	315	1800	85	2700	193	28	G24d-3
PL-C26W/830	26	105	315	1800	85	3000	193	28	G24d-3
PL-C26W/840	26	105	315	1800	85	4000	193	28	G24d-3

外形尺寸



PL-C 相对于灯泡的亮度

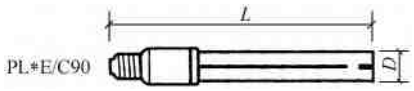
	40	60	75	100	150
PL-C	8W	10W	13W	18W	26W

（续）

PL＊E/C 电子节能灯泡

型　　号	功率 /W	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	照度 /lm	长度 L /mm	直径 D /mm
PL＊E/C9W	9	85	2700	400	127	38.5
PL＊E/C11W	11	85	2700	600	143	38.5
PL＊E/C15W	15	85	2700	900	170	38.5
PL＊E/C20W	20	85	2700	1200	190	38.5
PL＊E/C23W	23	85	2700	1500	211	38.5

外形尺寸



SL 节能灯泡

型　　号	功率 /W	一般显色指数 /Ra	相关色温 /K	照度 /lm	长度 L /mm	直径 D /mm
SL＊C9W	9	85	2700	400	153	64
SL＊P9W	9	85	2700	400	153	64
SL＊P9WDL	9	85	5000	375	153	64
SL＊C13W	13	85	2700	600	163	64
SL＊P13W	13	85	2700	600	163	64
SL＊P13WDL	13	85	5000	575	163	64
SL＊C18W	18	85	2700	900	173	64
SL＊P18W	18	85	2700	900	173	64
SL＊P18WDL	18	85	5000	850	173	64
SL＊C25W	25	85	2700	1200	183	64
SL＊P25W	25	85	2700	1200	183	64
SL＊P25WDL	25	85	5000	1050	183	64

注：C：乳白暖色；P：透明暖色；DL：透明日光色。

五、人工音乐彩色喷泉的安装及设备选择

人工音乐彩色喷泉装置的安装应按第一节～第四节及本章前述内容进行。特别是在防水、密封、绝缘、控制上要确保质量。

人工音乐彩色喷泉分为单喷、多喷、音频控制喷、彩色多景音频控制喷等几种，在选择上要正确区分，见表 6-16。

人工彩色音乐喷泉电气设备框图如图 6-91 所示。

表 6-16　人工音乐彩色喷泉类别及选择

序　号	名　称	设　备　选　择
1	单喷	当确定单种喷景时，只要按喷头样本选择所需喷景，确定喷头形式后，按喷头数量、流量确定水泵数量及功率，再配一台单喷景控制器即可成形（包括彩灯控制）

（续）

序　号	名　称	设　备　选　择
2	多喷	当确定多种喷景组合时，同样按喷头样本选择所组合的喷景确定喷头形式后，按层次排列好喷头位置。各层次水泵须按层次分开，按各层次喷头流量确定水泵数量及功率，再配上一套 PZBQ 型程控喷景自动变景器即可，见图 6-88
3	音频控制喷景	当确定为音频控制喷景时，按喷头样本选择节奏感比较强的喷头，如孔雀开屏、古风琴管形、圆方礼饼形、展翅形等。同样按喷头数量、流量确定水泵及水下电磁阀，再配上一台音频控制器 DYQ-Y 型即可形成水、彩灯同音频同步。SXDF 型 8 只为一路，见图 6-89
4	彩色多景音频控制喷	当条件许可，确定多种喷景组合、带音频控制喷景及彩色喷泉时，可选择一台 CYPA 型多功能控制台及部分水下电磁阀即可形成水、彩灯同音频同步及自动程控变换喷景，见图 6-90
5	彩灯选择	一般喷景可不配彩灯，如日夜工作喷景要配备彩色水下灯具，一般为一只喷头配一只，如面积较大的喷头，需配多只水下彩色灯具

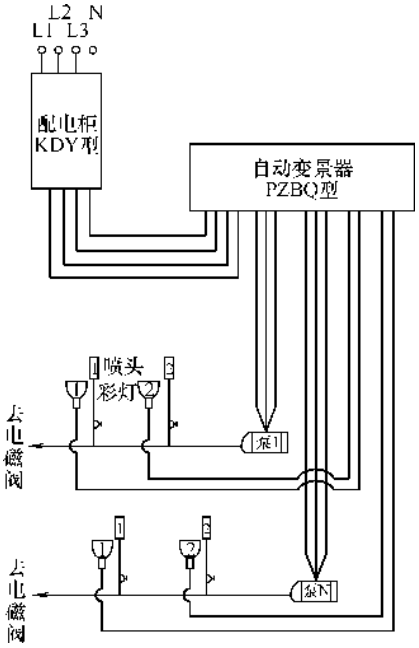


图 6-88　彩色自动变景喷泉电气布置图

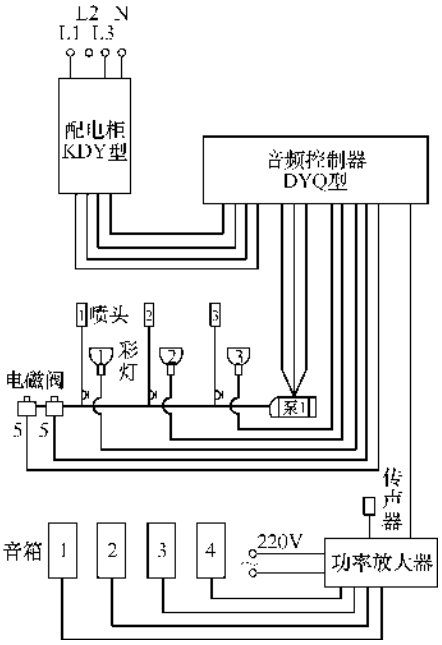


图 6-89　音乐彩色喷泉电气布置图

1. DYQ-Y 音频控制器（见图 6-92），数据（见表 6-17）

表 6-17　DYQ-Y 音频控制器数据表

序　号	型　　号	输入电压/V	输入总功率/kW	外形尺寸/mm			控制个数
				L	*W*	*H*	
1	DYQ-Y-2	220	4	620	550	250	2
2	DYQ-Y-3	380/220	6	720	550	250	3
3	DYQ-Y-6	380/220	12	820	550	250	6

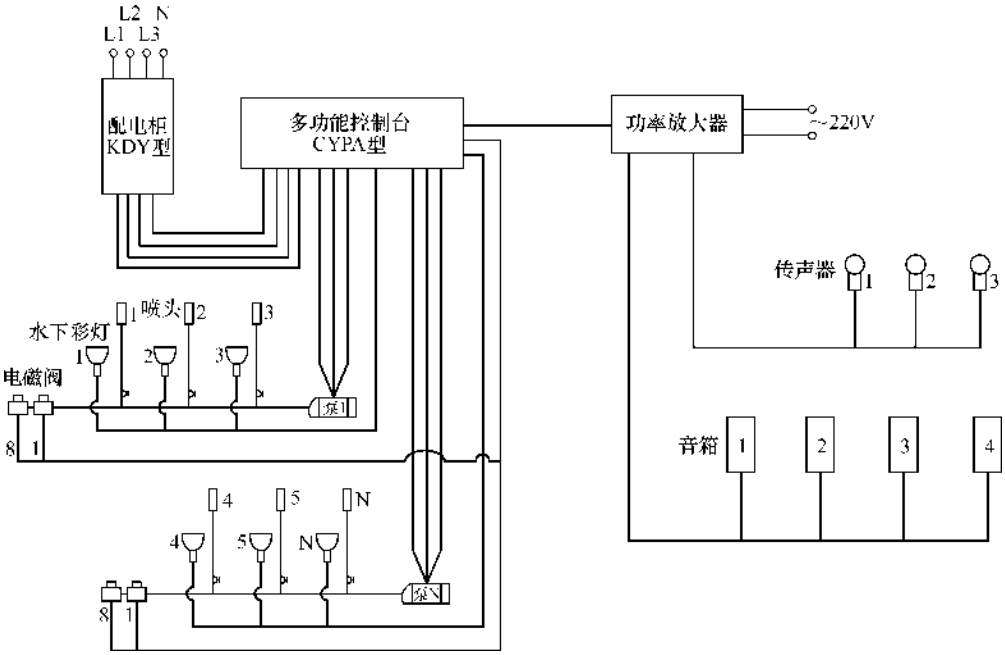


图 6-90　音乐彩色自动变景喷泉电气布置图

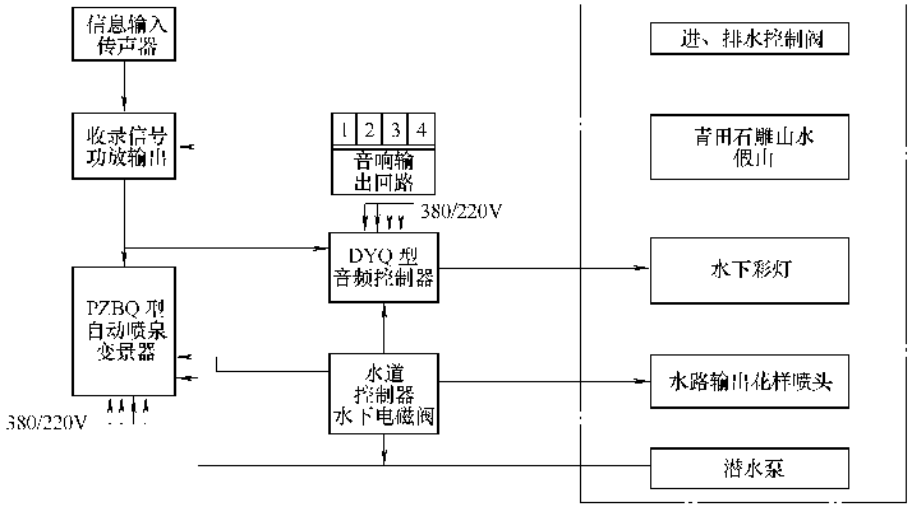


图 6-91　人工彩色音乐喷泉电气设备框图

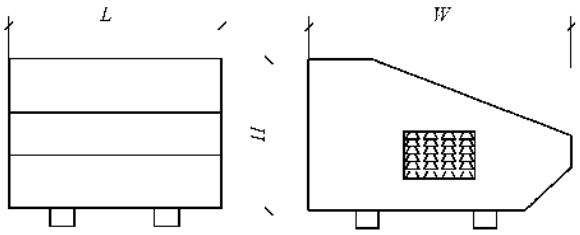


图 6-92　DYQ-Y 型音频控制器外形尺寸

该音频控制器增加了声控自动变化功能，通过逻辑电路分别控制每路输出灯光的亮度，并按程序轮流点亮，轮回变换。其音频控制功能是将音频信号分为高、中、低三挡，并将其转换成音频控制信号，控制三路灯及电磁阀。该音频控制器适用于喷池的水下彩色及电磁阀的开闭，使喷水与灯同步变换。

DYQ-Y 型音频控制器由三相四线 220/380V 供电，其输出控制水泵、灯和喷头，其中泵、电磁阀和喷头是同步动作的，加上控制功放器形成彩色（灯）音乐（音箱）喷泉（喷头）美景。

2. PZBQ 型程序喷景自动变景器

PZBQ 型程序喷景自动变景器外形尺寸技术数据见表 6-18。

该变景器适用于中小型喷池变景，功能一是程序控制自动变景，变景时间也长短调节，选好变景时间后，工作时能自动循环变景工作。功能二是喷景与彩灯同步变化。功能三是在允许变景个数内，选择时间即可。

3. CYPA 型多功能控制台

CYPA 型多功能控制台外形尺寸技术数据见表 6-19。其实 CYPA 是上述 DYQ 与 PZBQ 的组合，适用于大中型喷池的控制。

表 6-18　PZBQ 型程控变景器外形尺寸及技术数据

序　号	型　　号	输入电压/V	输入总功率/kW	外形尺寸/mm			控制变景个数
				L	*W*	*H*	
1	PZBQ-1 景	380/220	4	620	550	250	1
2	PZBQ-2 景	380/220	8	750	550	250	2
3	PZBQ-3 景	380/220	12	880	550	250	3
4	PZBQ-4 景	380/220	15	1000	550	250	4
5	PZBQ-5 景	380/220	20	1100	550	250	5
6	PZBQ-6 景	380/220	24	1200	550	250	6

表 6-19　CYPA 型多功能控制方外形尺寸及技术数据

序　号	型　　号	输入电压/V	输出功率/kW	外形尺寸/mm			控制个数
				L	*W*	*H*	
1	CYPA-7	380/220	28	1000	960	1250	7
2	CYPA-8	380/220	32	1100	960	1250	8
3	CYPA-9	380/220	36	1200	950	1250	9
4	CYPA-10	380/220	40	1300	950	1250	10
5	CYPA-11	380/220	44	1400	950	1250	11
6	CYPA-12	380/220	48	1500	950	1250	12
7	CYPA-X	380/220	80	1500	950	1250	X

4. SDA-X 型水下照明彩灯

该灯可用于广场、公园、宾馆、单位等场所喷水池中的喷泉、盆景、雕塑、假山等处照明及景观用。基本技术数据见表 6-20。

5. SXDF 系列水下电磁阀基本数据（见表 6-21）

6. 潜水电泵性能，参数，使用范围（见表 6-22）

7. 喷头技术数据（见表 6-23）

表 6-20　SDA-X 型水下彩灯基本数据

型　　号	电压/V	功率/W	平均寿命/h	主要尺寸/mm		备　　注
				直径	全长	
SDA1-500	220	500	1000	210	350	各色聚光灯
SDA2-300	220	300	1000	210	350	各色
SDA3-200	220	200	1000	210	350	黄、红、蓝、紫、白
SDB1-150	220	150	1000	210	320	各色
SDB2-100	220	100	1000	210	320	各色
SDC1-200	220	200	1000	210	320	各色
SDE-500	220	500	1000	210	300	各色灯具
SDD-30	220	30	1000	特种灯具		各色光环

表 6-21　SXDF 系列水下电磁阀技术特性及参数

型号规格	管径/mm	工作压差/MPa	电压/V	消耗功率/W	介质温度/℃	环境温度/℃	接管形式/mm	质量/kg	备　　注
SXDF-20K	20	0.23	AC 50Hz 220	50	0～55	－10～+50	50	15	适用于室内音乐喷泉
SXDF-20KZ	25	0.2		50			50	15	
SXDF-20KZ	20	0.46		100			50	28	适用于室外音乐喷泉
SXDF-25KZ	25	0.4		100			50	28	
SXDF-40KZ	40	0.2		100			50	28	
SXDF-20T	20	0.05～0.6	AC 24 48 110 220 DC 24	<15			32	3.5	
SXDF-25T	25			<15			25	4.5	适用于喷泉喷头自动变化
SXDF-32T	32			<15			25	5.5	
SXDF-40T	40			<15			25	5.5	
SXDF-50T	50			<15			50	6.5	

表 6-22　潜水电泵产品性能、参数、使用范围

序号	产品型号	额定扬程/m	额定流量/（t/h）	使用范围		功率/kW	电流/A	电压/V	出水口径/mm
				扬程/m	流量/（t/h）				
1	QY-7A	7	65	3～9	90～50	2.2	5.6	380	100
2	QY-15	15	25	10～20	32～15	2.2	5.6	380	50
3	QY65-7-2.2	7	65	4.5～8.5	90～50	2.2	5.6	380	100
4	QY-25-17-2.2	17	25	12～19	32～15	2.2	5.6	380	50
5	QY65-10-3	10	65	5～12	90～50	3	6.3	380	100
6	QY40-16-3	16	40	10～18	45～35	3	6.3	380	75
7	QY25-36-3	36	15	34～41	20～10	3	6.3	380	50
8	7.5JQB4-18	20	80	12～24	114～54	7.5	15	380	100

（续）

序号	产品型号	额定扬程/m	额定流量/（t/h）	使用范围		功率/kW	电流/A	电压/V	出水口径/mm
				扬程/m	流量/（t/h）				
9	7.5JQB-9	32	45	30～37	48～38	7.5	15	380	75
10	QDX5X7-2.5	7	5	3～8	8～3	0.25	2.65	220	50
11	QDX5X15-0.55	15	5	8～17	10～3	0.55	4.6	220	50
12	QD7.8-6.5J	6.5	7.8	3～7.5	13～5	0.4	3.8	220	50
13	QDX8-4.6-0.25	4.8	8	4.5～6.5	14～6	0.25	2.4	220	50
14	QDX5-7-0.25	7	5	3～8	8～3	0.25	2.4	220	50
15	QDX3-13-0.25	13	3	6～15	6～2	0.25	2.4	220	25
16	QDX10-10-0.55	10	10	5～12	16～8	0.55	4.6	220	50
17	YQD-11	10	11	5～12	16～9	0.75	4.5	220	50
18	WQ-6	18	8.5	10～20	18～6	1	2.6	380	42
19	WQ-6A	14	8	8～16	17～6	0.75	4.5	380	42
20	QX12.5-50Z	50	12.5	40～60	19～10	4	7.8	380	50
21	QX15-60Z	60	15	50～70	20～10	5	10	380	50

表 6-23　喷头技术数据表

序号	名　　称	接管直径/mm	流量/（m^3/h）	喷前水压/MPa	喷高/m	喷洒直径/m
1	可调直喷型	ϕ20 外螺纹	1.4	0.035	3.0	喷嘴口
			2.2	0.045	4.0	6
		ϕ25 外螺纹	2.2	0.030	3.0	喷嘴口
			4.7	0.070	6.0	8
		ϕ50 外螺纹	10.0	0.070	6.0	喷嘴口
			25.0	0.14	10.0	13
2	半球型	ϕ25 外螺纹	0.6	0.007	0.25	0.60
		ϕ50 外螺纹	1.4	0.0063	0.5	1.20
		ϕ75 外螺纹	2.3	0.005	0.8	1.50
3	礼花型通断配电磁阀	ϕ25 内螺纹	0.7	0.035	3.0	1.0
			1.0	0.050	4.50	1.50
		ϕ50 内螺纹	1.0	0.040	3.50	1.0
			1.50	0.070	6.50	1.50
4	花柱型	ϕ25 内螺纹	4.0	0.0121	1.10	0.75
			5.0	0.020	1.85	1.30
		ϕ50 内螺纹	8.20	0.022	2.0	0.80
			9.0	0.030	2.50	1.40
5	自动旋转型	ϕ40 内螺纹	5.0	0.037	2.0	旋转速度：35r/min
			7.0	0.040	3.6	旋转速度：50r/min

（续）

序号	名　　称	接管直径/mm	流量/（m^3/h）	喷前水压/MPa	喷高/m	喷洒直径/m
6	跌突泉可转换加气型	ϕ25 外螺纹	2.8～4	0.035	1.2	0.5
		ϕ50 外螺纹	9～11	0.030	2.0	0.7
7	雪松可转换加气型	ϕ25 内螺纹	8.5	0.060	5.0	1.0
		ϕ40 内螺纹	11	0.080	6.0	1.5
		ϕ50 内螺纹	16	0.095	7.0	2.5
		ϕ75 内螺纹	33	0.15	9.0	3.0
8	喷雾型	ϕ40 外螺纹	0.87	0.035	1.0	0.5
		ϕ50 外螺纹	0.9	0.045	1.5	1.0
9	圆礼饼大中小型分频高中低	ϕ50 40 32 内螺纹	18	0.035	1.5	0.3
		ϕ50 40 25 内螺纹	22	0.040	1.64	0.5
		ϕ50 40 25 内螺纹	25	0.055	1.8	0.7
10	牵牛花型	ϕ25 外螺纹	0.6	0.007	0.25	0.60
		ϕ50 外螺纹	1.4	0.0063	0.5	1.20
		ϕ70 外螺纹	2.3	0.005	0.8	1.50
11	古风琴管型	ϕ50 内螺纹	6～12.0	0.02～0.07	1.6	长度 1.5
					6.5	
12	孔雀开屏型	ϕ50 内螺纹	6～12.0	0.02～0.07	1.6	长度 1.5
					6.5	
13	向心型	ϕ100 外螺纹	25	0.10	4.5	0.7
		ϕ100 外螺纹	35	0.15	6.0	1.0
		ϕ100 外螺纹	50	0.20	7.0	1.5
14	蒲公英型	ϕ50 外螺纹	25	0.030	2.0	1.5
15	方礼饼大中小型分频高中低	ϕ50 40 32 内螺纹	13.7	0.036	1.5	0.3×0.3
		ϕ65 50 40 内螺纹	21.2	0.042	1.65	0.5×0.5
		ϕ75 65 50 内螺纹	28.6	0.058	2.0	0.7×0.7
16	半球蒲公英型	ϕ50 外螺纹	20	0.015	0.7	0.7
17	水线型	ϕ50 内螺纹	3.0	0.030	2.0	长度 0.9
			6.0	0.050	4.0	
18	蝴蝶展翅型配电磁阀	ϕ50 内螺纹	3.5	0.030	2.0	0.9
			6.0	0.040	3.0	
19	蝴蝶型	ϕ50 内螺纹	3.0	0.015	1.0	长度 0.9
			6.0	0.070	6.0	
20	螺旋阶梯型	ϕ100 外螺纹	25	0.025	2.0	0.5
			35	0.029	2.5	0.8
21	五叶自动开花型	ϕ20 外螺纹	1.4	0.01	0.5	0.6
		ϕ25 外螺纹	2.2	0.01	0.7	0.8
		ϕ50 外螺纹	5.0	0.02	1.0	1.2

（续）

序号	名　　称	接管直径/mm	流量/（m^3/h）	喷前水压/MPa	喷高/m	喷洒直径/m
22	可调树叶型	ϕ20	2.0	定型除外，尺寸可按用户设计要求特殊铸造		
		ϕ25	2.5			
		ϕ40	2.7			
		ϕ50	3.3			
23	自动水轮车配水下电动机	ϕ20 外螺纹	2.8	0.02	1.2	1.2
		ϕ50 外螺纹	2.2	0.03	1.6	1.6
24	单头自动摇摆型配水下电动机	ϕ25 内螺纹	2.0	0.035	2.5	摇摆角 ±30°
25	双头自动摇摆型配水下电动机	ϕ25 内螺纹	3.0	0.055	4.9	摇摆角 ±30°
			4.0	0.068	5.8	
26	自动开花型配水下电动机	ϕ25 内螺纹	6.5	0.015	0.5	0.8
		ϕ50 内螺纹	9.5	0.021	0.8	1.2
27	舞动交叉型配水下电动机	ϕ50 内螺纹	5.89	0.065	5.0	长度 1.5
28	舞动屏风型配水下电动机	ϕ50 内螺纹	5.89	0.063	6.3	长度 1.5
29	华尔滋舞型配水下电动机	ϕ50 内螺纹	5.0～7.0	0.02～0.06	1.5～5.0	摇摆角 ±30°
30	水景报时型配专用控制台	ϕ50 外螺纹	30	0.013	0.5～0.1	0.8×1.5

8. SXJXH-X 型水下接线盒

该盒可接数只灯或数台泵，外形及型号规格见图 6-93 及表 6-24。

表 6-24　SXJXH-X 型水下接线盒基本数据表

型　　号	接管直径/mm	外形尺寸/mm		线孔个数
		L	*H*	
SXJXH-4	20	140	100	4
SXJXH-6	25	170	100	6
SXJXH-8	25	200	100	8

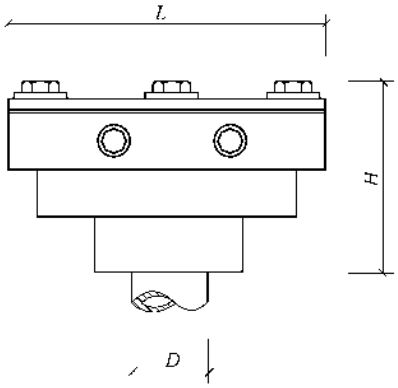


图 6-93　SXJXH-X 水下接线盒外形

人工音乐彩色喷泉的安装、调试除了上述的要求以外，在安装过程中有条件的情况下最好是由一位搞过美术、布景、广告的专业人士作为喷泉布置的指导，不能只按设计图样布置，在不增加设备、材料的条件下，尽量使其具有艺术性、观赏性。当然这些布置的变更也应得到设计单位的认同。这样不仅能使喷泉的功能达到建设单位的需求，也能使这些专业人士和设计人员达到互补和沟通，一举两得。同时要做好元件、电机、阀门的测试和试验，详见第五章。

六、舞台照明装置的安装

舞台照明装置很复杂，为了保证其效果的艺术性、观赏性，在设计、安装时必须遵守以下规定，见表 6-25～表 6-26。

表 6-25　国际照明委员会（CIE）推荐使用的舞台灯光灯具符号

图　　例	名　　称	图　　例	名　　称
	螺纹聚光灯		
	轮廓聚光灯		

（续）

序号	名　　称	定　　义	装置及用途	配用灯具
5	顶排光	位于舞台上部的排灯，装在每道檐幕后边吊杆上，形成一排排条灯。称为一排光、二排光、三排光等	给整个舞台以均匀照明，用于表演区或布景。为使照明均匀布置，其与顶排灯之间应保持一定距离 这是一种不可缺少的舞台灯，开会、报告、演出均需要。一般剧场装3～4排，特深舞台可增加1～2排	泛光灯
6	柱光	在舞台大幕内两侧的灯具，装在“伸缩活动台口”上面或装在立式铁架上。光线从台口内侧投向表演区。按顺序向里可称为二道柱光、三道柱光等。也称为梯子光、内侧光、内耳光	弥补面光、耳光之不足，其作用与前两者相似。可更换色片或作追光使用	灯的投射距离较近，功率较小，一般用聚光灯，也可间用少量柔光灯
7	脚光	装在大幕外台唇部的条灯，光线从台板向上投射于演员面部或照明闭幕后的大幕下部	可弥补面光过陡，消除鼻下阴影，也可根据剧情需要，为演员增强艺术造型的投光，弥补顶光、侧光的不足。闭幕时，投向大幕下方，也可用色光改变大幕色彩；歌舞剧可用来照射下身服装与足部以增强效果	采用球面、抛物面或椭圆形反射器的成排灯具均匀照明，功率为60～100W或200W
8	侧光	在舞台两侧天桥上装的灯，光线从两侧高处投向舞台。天桥由低向高顺序称为一道侧光、二道侧光、三道侧光，并有左侧光、又侧光之分，有时也称为桥光	照射演员面部的辅助照明；并可加强布景层次	聚光灯
9	天排光	在天幕前舞台上部的吊杆上，是专门俯射天幕用的灯具	作天空布景照明用，设在特制的天幕顶光桥上，一般距天幕的水平距离为3～6m，因作天空布景用要求有足够的亮度，灯的功率较大光色变换也要多（约1～2色），色别回路数多，照明要求平行而且均匀。可装成一排、二排，排内还可分上下层	泛光灯，要求照明均匀，投光角度尽可能大
10	地排光	设在天幕前台板上，或专设的地沟内，是仰设天幕的灯具。如天幕用塑料，也可将灯具放在天幕后地面上打逆光	成排灯具均匀地摆在舞台后面地板上或装在地板沟槽内，距天幕1～2m。用来表现地平线、水平线、高山日出、日落等。在天空和地平线（水平线）之间用地排灯照明，能显现出“无限距离”的效果	泛光灯具，如表现白天、黑夜、早晨、黄昏、四季、云彩变换等还应使用云灯、效果灯、幻灯等自下部照向天幕

（续）

序号	名　　称	定　　义	装置及用途	配用灯具
11	流动光	指放在台板上带有灯架，能随时移动的灯具	位于舞台侧翼边幕处，目的是加强气氛，其角度可临时调动。灯高约6m，一般功率较大。从侧面照射演员，如太阳照射一样。因此，需在舞台两侧靠边幕处设置一定数量的插座，装在舞台地板内，加盖	采用聚光灯、回光灯、柔光灯等

（一）抗干扰措施

1）变压器应选用 Dyn（$\triangle/Y_N$）接线方式，以降低干扰源。

2）如有两台变压器供电或两个低压电源供电时，电声与舞台灯光应分别由不同变压器或不同回路供电。

3）传声器、广播、电视线路用屏蔽线穿钢管敷设，并尽量减少与调光照明回路相平行铺设，无法避免时，应相距8m以上。

4）调光回路应设专门零线，直接引自变压器中性点，不能和中性线合用，以减少干扰，穿线钢管应接地。

5）如供电变压器只有一台时，扩声设备输出噪声超过允许值，则应加装1∶1的隔离变压器，为扩声供电。

6）扩播室、效果声室应尽量远离调光控制室。

7）有条件时，将灯光控制室加以屏蔽。

8）若采用新设备时则应采取相应的抗干扰措施。

（二）安装及调试

1. 舞台照明布置平面图见图6-94。

图6-94中灯具的标注、具体参数见表6-27和表6-28，并按其要求进行安装，安装方法、注意事项与前述章节内容相同，特别要保证其牢固性。

表6-27　舞台照明装置明细表

舞台灯光名称		面光	左耳光	右耳光	左柱光	右柱光	左侧桥光	右侧桥光	左流动光	右流动光	一顶排光	二顶排光	三顶排光	四顶排光	特技光	台口脚光	合计	一天排光	二天排光	直放追光	天幕配光
60回路	舞台灯光回路数	12	6	6	5	5	4	4	3	3	4	4	2			2	60	4	3	7	20
	配出回路编号	1~12	13~12	19~12	25~12	30~12	35~12	39~12	43~12	46~12	49~12	53~12	57~12			59~12				D1~D7	
90回路	舞台灯光回路数	18	8	8	8	8	6	6	4	4	6	6	4		2	2	90	4	4	7	30
	配出回路编号	1~18	19~26	27~34	35~42	43~50	51~56	57~62	63~66	67~70	71~76	77~82	83~86		87~88	89~90				D1~D7	

（续）

舞台灯光名称		面光	左耳光	右耳光	左柱光	右柱光	左侧桥光	右侧桥光	左流动光	右流动光	一顶排光	二顶排光	三顶排光	四顶排光	特技光	台口脚光	合计	一天排光	二天排光	直放追光	天幕配光
120 回路	舞台灯光回路数	24	8	8	8	8	8	8	6	6	14	6	6	6	2	2	120	6	6	7	40
	配出回路编号	1~24	25~32	33~40	41~48	49~56	57~64	65~72	73~78	79~84	85~98	99~104	105~110	111~116	117~118	119~120					

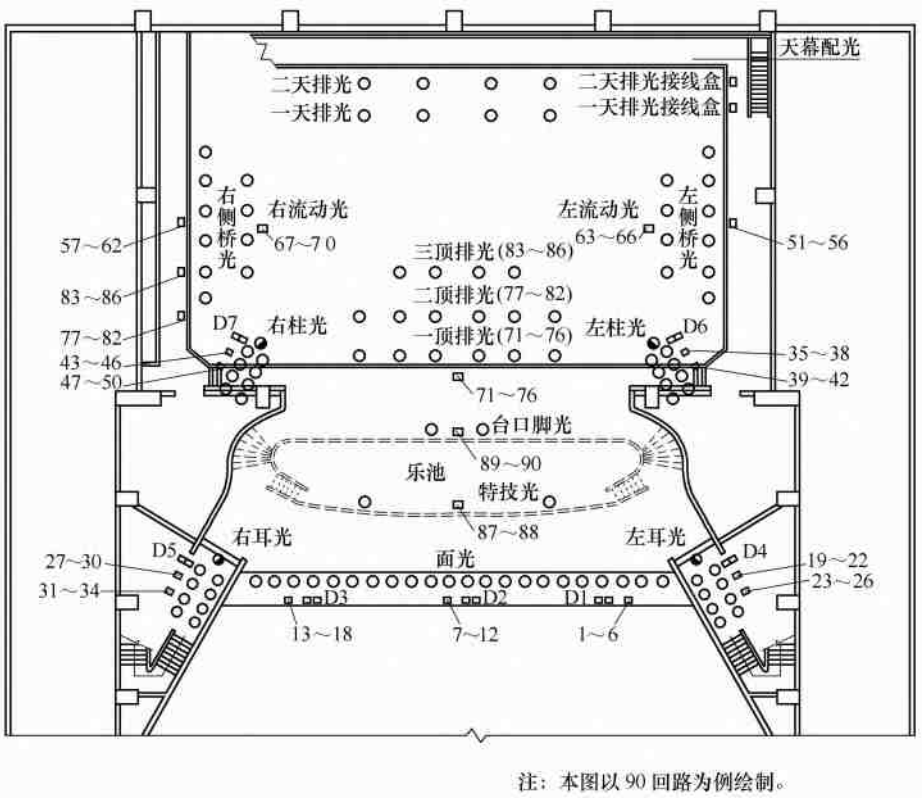
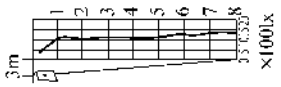
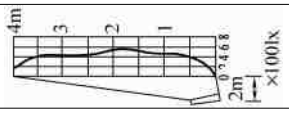
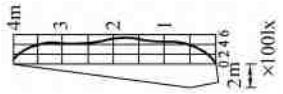


图 6-94　舞台照明装置布置平面图（例）

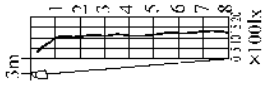
表 6-28　舞台照明装置名称、型号参数及用途表

名称及型号	电压/V	配用灯	灯色温/K	外形尺寸 $L \times W \times H$/mm	速选参数					质量/kg	用　途
远程轮廓聚光灯 WJD-D2	220	JG. 220V 2000W	3000	450×395×380	投程/m	20	25	30	35	9.5	用于耳光、面光、追光，最佳投程度 25m
					光斑/m	2.6	3.2	3.9	4.5		
					照度/lx	1665	1078	748	550		

（续）

名称及型号	电压/V	配用灯	灯色温/K	外形尺寸 $L\times W\times H$/mm	速选参数					质量/kg	用　途
中程轮廓聚光灯 WJD-D1	220	JG. 220V 1000W	3000	430×395×380	投程/m	10	15	20	25	6	用于耳光、柱光、桥光，最佳投程度20m
					光斑/m	3.0	3.5	4.6	5.5		
					照度/lx	2400	1300	958	600		
中程轮廓聚光灯 WJD-C1	220	JG. 220V 1000W	3000	430×395×380	投程/m	10	15	20	20	9	用于耳光、柱光、侧光，最佳投程度19m
					光斑/m	2.3	3.6	4.5	5.4		
					照度/lx	2400	1200	600	420		
远程轮廓聚光灯 WJD-C2	220	JG. 220V 2000W	3000	430×395×380	投程/m	10	15	20	25	5.9	用于耳光、面光、桥光，最佳投程度20m
					光斑/m	2.5	3.0	3.5	4.3		
					照度/lx	1562	1650	850	540		
近程轮廓聚光灯 WJD-B	220	LJS. 220V 750W	3000	300×190×230	投程/m	8	12	15	20	4.5	用于耳光、侧光、柱光、桥光，最佳投程度10m
					光斑/m	2.5	2.8	3.4	4.5		
					照度/lx	1200	1050	950	800		
远程轮廓聚光灯 WJD-A2	220	LJS. 220V 1000-1250W	3000	459×350×250	投程/m	15	20	25	30	5.5	用于面光、耳光、侧光、柱光，最佳投程度20m
					光斑/m	2.7	3.5	4.0	4.6		
					照度/lx	1650	1060	720	500		
天排散光灯 WTD-1	220	LJS. 220V 1000-1250W	3000	480×240×397						6	用于天幕、纱幕、会议照明，最佳投程度3m
地排散光灯 WDD-2	220	LJS. 220V 1000-1250W	3000	480×240×400						6.5	用于天幕、纱幕、会议照明，最佳投程度3m
舞台脚光灯 WJD-4	220	LJS. 55V 125W×4	3000	820×120×245						5.5	用于脚光、纱幕、中景，最佳投程度2m
舞台脚光灯 WJD-8	220	LJS. 55V 100W×8	3000	1100×100×90						4.4	用于脚光、纱幕、中景
无透镜回光灯 WHD-2	220	LJS. 220V 1000W	3000	370×380×370	投程	10m		20m		4.5	用于面光、耳光、侧光、柱光、桥光，最佳投程度15m
					光斑	3m		5m			
					照度	2500lx		900lx			
透镜聚光灯 WJD-A	220	LJS. 220V 750W	3000	430×350×250	投程	15m				4.5	用于面光、耳光、侧光、柱光、桥光，最佳投程度15m
					光斑	2～4.5m					
					照度	2000lx					
无透镜回光灯 WHD-1	220	LJS. 220V 750W	3000	370×300×270	投程	10m				4.0	用于侧光、柱光、面光、顶光、桥光，最佳投程度10m
					光斑	1.5～4.5m					
					照度	900lx					

（续）

名称及型号	电压/V	配用灯	灯色温/K	外形尺寸 $L \times W \times H$/mm	速选参数				质量/kg	用　　途
无透镜回光灯 WHD-3	220	LJS. 220V 1250W	3000	370×400×380	投程	20m			4.5	用于面光、耳光、侧光、柱光、桥光，最佳投程度20m
					光斑	3.5m				
					照度	1060lx				
透镜柔光灯 WRD-2	220	LJS. 220V 750W	3000	930×350×250	投程	8m			4.5	用于顶光、侧光，最佳投程度8m
					光斑	2～4.5m				
					照度	1800lx				
透镜柔光灯 WRD-1	220	LJS. 220V 1000W	3000	430×350×250	投程	10m			5	用于追光，最佳投程为10m
					光斑	0.3～2m				
					照度	2100lx				
散光灯 WSD-1	220	LJS. 220V 1000W	3000	480×240×397					6	用于天幕、纱幕、会议照明，最佳投程度3m
投影幻灯 WTJD-2	220	LJS. 220V 1000W	3000	630×270×390	投程	3m	投程	2.5m	15.5	用于天幕投景，最佳投程度3m
					实像直径	6m	照度	500lx		
透镜柔光灯 WRD-3	220	LJS. 220V 1000W	3000	430×400×380	投程	15m			8.5	用于侧光、柱光、面光、顶光、桥光，最佳投程度10m
					光斑	4.0m				
					照度	1200lx				

名称及型号	电压/V	配用灯	外形尺寸 $L \times W \times H$/mm	速选参数				质量/kg	用　　途
透镜柔光灯 WRD-4	220	JG. 220V 1000W	460×390×200	投程	10m			6.5	用于耳光、侧光、柱光、顶光、桥光，最佳投程度10m
				光斑	2～4.5m				
				照度	2000lx				
透镜柔光灯 WRD-5	220	JG. 220V 500W	460×390×400	投程	8m			4	用于侧光、柱光、顶光、桥光，最佳投程度8m
				光斑	1.5～4.5m				
				照度	2500lx				
追光灯 WZD-D	220	LJS. 220V 750W	750×220×300	色温	投程	光斑	照度	10	用于舞台追光及电影电视拍摄内外景，最佳投程为15～30m分动变焦
				5500K	15m	ϕ2.5m	4200lx		
追光灯（遥控） WYZD-A	220	LJS. 220V 1000W	1000×200×300	色温	投程	光斑	照度	10	用于舞台追光及电影电视拍摄内外景，最佳投程为30～60m分动变焦
				5500K	30m	ϕ2.5m	4000lx		

（续）

名称及型号	电压/V	配用灯	外形尺寸 $L \times W \times H$/mm	速选参数			质量/kg	用　途
中程无透镜回光灯 WHD-4	220	JG. 220V 2000W	540×420×540	投程	10m	25m	10.5	用于面光、耳光、侧光、柱光、桥光，最佳投程度 20m
				光斑	3m	5m		
				照度	4500lx	900lx		
中程无透镜回光灯 WHD-5	220	JG. 220 1000W	480×400×480	投程	20m		7.5	用于面光、耳光、侧光、柱光、顶光、桥光，最佳投程度 15m
				光斑	4.5m			
				照度	1200lx			
无透镜回光灯 WHG-6	220	JG. 220V 500W	350×380×350	投程	8m		2	用于侧光、柱光、桥光，最佳投程度 8m
				光斑	2～4.5m			
				照度	1000lx			
散光灯 WSD-2	220	LJS. 220V 500W	220×150×180	1 2 3 4 5 6 7 8 3m 0 50 150 ×100lx			0.5	用于天幕、纱幕、会议照明，最佳投程度 8m

注：轮廓聚光灯系列包括 6m、8m、10m、15m、20m、25m、30m、35m 8 种投程。

2. 舞台照明装置调光控制设备的安装

1）舞台照明装置调光控制设备及线缆布置图见图 6-95。

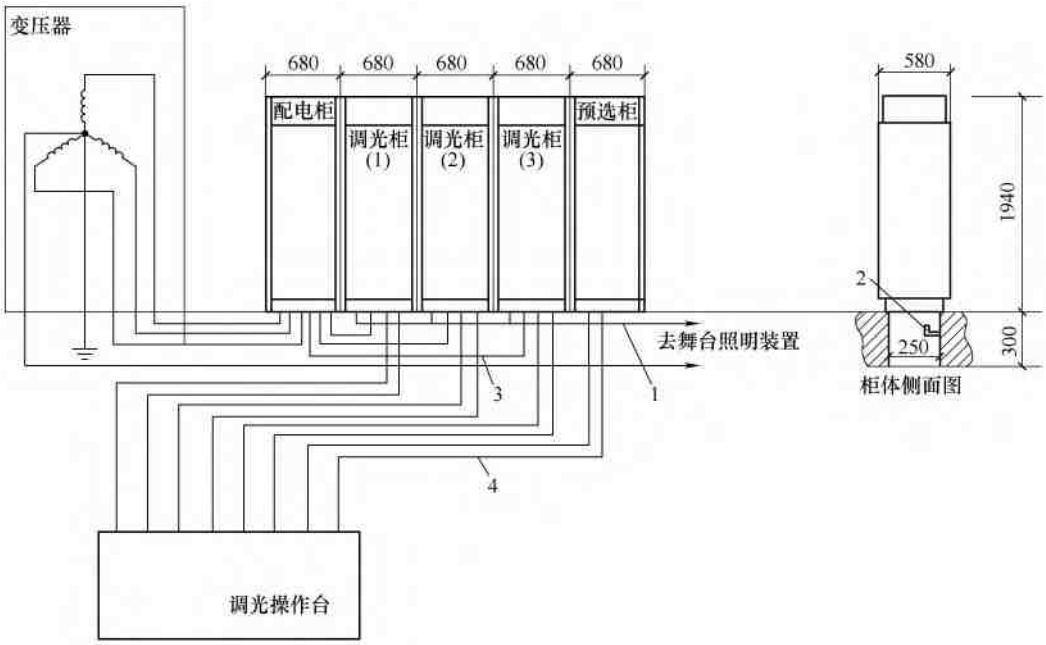


图 6-95　舞台照明装置调光控制设备及线缆布置图

1—灯负荷线每灯两根，宜选用绞合线　2—土建预埋角钢用于支撑 N 线汇流排　3—配电柜至各调光柜的电力电缆线　4—调光柜、预选柜到操作台连接电缆（每一个调光柜、预选柜电缆为 2 束，每束外径 ϕ50，随设备配套）。

注：1）120 路、90 路为三个调光柜，60 路为二个调光柜。

2）照明电源和音频设备电源宜分开，布线时采用各自的金属配管。

3）在灯具分配上，最好考虑 L1、L2、L3 三相都应分布一组常用光，以利三相用电平衡。

4）其他要求见第一节～第五节。

其中，变压器的安装，配电柜、调光柜、预选柜、调光操作台的安装，电缆的安装，管路敷设详见本书相应章节的相关内容。

这里需要特别指出的是所有设备、线缆在安装前必须进行测试和试验，确保其质量及功能，详见《电气设备、元件、材料的测试和试验》一章相关内容。

2）舞台调光设备的型号很多，一般均采用晶闸管调光器，也有采用程控调光器的。

舞台用晶闸管调光器型号、参数及功能见表6-29和表6-30。

表6-29 KS型晶闸管调光器型号、参数及功能表

序号	型号	回路数	电压/V	输出总功率/kW	控制台外形尺寸 $L\times H\times W$/mm	性能说明
1	SGKT-7	7	380	14	450×150×380	适用固定舞厅、文艺流动团体灯光控制。控制方式：单独控、集控、音控、自编程控。控制台与单机组合或分立，分立箱尺寸：L750×W、240×H650、850、1000、1200四种嵌墙式
2	SGKT-14	14	380	28	450×150×380	
3	SGKT-21	21	380	42	580×150×380	
4	SGKT-28	28	380	56	760×150×380	
5	SGKT-30	30	380	120	700×900×800	适用中小影剧院、俱乐部，控制方式：自控、多场预选、场间叠加控制、分断控制、特景控制，内有七路自编程控及声控，结构为组合式
6	SGKT-46	46	380	180	850×900×800	
7	SGKT-60	60	380	240	1050×900×800	
8	SGKT-60	60	380	240	1000×900×800	成套固定设备，控制台各一台，60路、90路调光柜一个，120路、180路调光柜二个，240调光柜四个，调光柜尺寸90路柜 W550×H2000×L600，60路柜 W550×H1800×L600
9	SGKT-90	90	380	360	1400×900×800	
10	SGKT-120	120	380	480	1700×900×800	
11	SGKT-180	180	380	720	1400×900×900	
12	SGKT-240	240	380	960	1700×900×900	

表6-30 KTC、CFK系列舞台晶闸管调光器型号、参数及功能表

序号	型号	电压/V	功率/kW	外形尺寸 $L\times W\times H$/mm	备注
1	CFK1-10	220	10	270×220×160	小巧轻便，装有提手柄，特别适用于追光和需独立控制的地方
2	CFK3-10/1	380/220	30	430×423×220	有自控、集控，可独立使用或和总控配套使用。输出负载采用接线柱，适用原来有配电盘的单位使用
3	CFK3-10/2	380/220	30	430×423×220	在Ⅰ型的基础上，输出负载每路用5只接线柱，4只开关、5只熔断器，与负载接通可做独立控制，起配电盘作用
4	CFK3-10/3	380/220	30	430×423×220	输出负载用插孔，其余同Ⅰ型
5	CFK3-10/4	380/220	30	430×423×220	在Ⅱ型、Ⅲ型的基础上，每回路加装五只直通开关、五只输出指示灯，在不需要调光的情况下，使负载灯泡直接与电源接通

（续）

序号	型　　号	电　　压/V	功率/kW	外形尺寸 $L \times W \times H$/mm	备　　注
6	CFK-40	380/220	120	570×285×420	控制方式同 CFK3-10/1 型
7	CFGO-6	220		420×400×250	型号中的 6、9、12、15、18 表示分别控制 6 路、9 路、12 路、15 路、18 路
8	CFGO-9	220		420×400×250	
9	CFGO-12	220		650×420×250	
10	CFGO-15	220		650×420×250	
11	CFGO-18	220		650×420×250	
12	KTC-A-45	380	270	1260×900×1300	由抽屉柜、预选柜、控制台组合而成
13	KTC-A-60	380	360	800×700×1300	成套固定设备，型号中的 60（其中控制台 1 个、调光柜 2 个）、90、120（其中控制台 1 个、调光柜 3 个）、180、240 调光柜 6 只，表中外形尺寸为控制台，调光柜尺寸 30 路 $L520 \times W520 \times H1940$、42 路 $L680 \times W580 \times H1940$
14	KTC-A-90	380	540	1140×900×1300	
15	KTC-A-120	380	720	1500×900×1300	
16	KTC-A-180	380	780	1500×900×1250	
17	KTC-A-240	380	1440	1900×900×1250	
18	KTC-B-60	380	360	800×900×1300	
19	KTC-B-90	380	540	1140×900×1300	
20	KTC-B-120	380	720	1500×900×1300	
21	SJ-40 型灯光记忆控制台	220		1050×1040×780	配套 KTC 型调光柜，适用电影、摄影棚灯光控制

七、歌舞厅、宴会厅声光控制装置及照明灯具的安装

歌舞厅、宴会厅声光效果装置与舞台灯光有很多相似之处，只是在布置、灯具选择、控制设备、实用效果上有些不同，安装方法及注意事项基本相同。

歌舞厅、宴会厅声光效果控制设备主要有台式声光控制台（如 SGKT 型等）、落地式声光控制台（如 SGKD 型等）、程序控制声控调光装置板（如 ZHBM-1 型等）、手动调光装置板（如 ZHBM-2 型条）、程序控制计算机板（如 ZHBM-3 型等）。这些设备功能繁多，如 SGKD 型声光控制台主要有功放、录放音机、音频控制及卡拉 OK 机等功能。

SKGTZ（F）型台式灯光控制台主要控制功能：

1）音频控制：音频信号输入至控制台，控制输出灯光亮度。灯光的亮度随着音频高低变化自动调节。

2）程控自动调光：通过逻辑电路分别控制每路输出灯光亮灭。程控程序由用户自行设定，并可随时任意修改。每回路可程控或不程控，任意选择。程控输出亮度任意调节。

3）手动调光控制：每回路输出可调光控制，也可多路集中控制，输出亮度任意调节。

4）其他调控功能：其中，组合式适用于中小型歌舞、宴会厅所，分立式适用于大中型歌舞、宴会厅所。其型号、参数及功能见表 6-31、接线方式见图 6-96 和图 6-97。

表 6-31 SGKT 系列台式灯光控制台型号参数功能表

型号	交流输入		输出回路	总功率/kW	外形尺寸/mm		
	相数	电压/V			L	H	W
组合式设备							
SGKTZ-71	3	380/220	7	7	450	110	390
SGKTZ-141	3	380/220	14	14	550	110	390
SGKTZ-211	3	380/220	21	21	710	110	390
SGKTZ-281	3	380/220	28	28	860	110	390
SGKTZ-72	3	380/220	7	14	450	110	390
SGKTZ-142	3	380/220	14	28	550	110	390
SGKTZ-212	3	380/220	21	42	710	110	390
SGKTZ-282	3	380/220	28	56	860	110	390
SGKTZ-73	3	380/220	7	21	450	110	390
SGKTZ-143	3	380/220	14	42	550	110	390
SGKTZ-213	3	380/220	21	63	710	110	390
SGKTZ-283	3	380/220	28	84	860	110	390
分立式设备主机							
SRTGF-73	3	380/220	7	21	450	230	250
SRTGF-143	3	380/220	14	42	650	230	250
SRTGF-213	3	380/220	21	63	850	230	250
SRTGF-283	3	380/220	28	84	1050	230	250
SRTGF-74	3	380/220	7	28	450	230	250
SRTGF-144	3	380/220	14	56	650	230	250
SRTGF-214	3	380/220	21	84	850	230	250
SRTGF-284	3	380/220	28	112	1050	230	250
SRTGF-76	3	380/220	7	42	550	230	250
SRTGF-146	3	380/220	14	84	750	230	250
SRTGF-216	3	380/220	21	126	950	230	250
SRTGF-286	3	380/220	28	168	1150	230	250
分立式控制台							
SGKTF-7	1	220	21	450	110	390	
SGKTF-14	1	220	42	550	110	390	
SGKTF-21	1	220	63	710	110	390	
SGKTF-28	1	220	84	860	110	390	

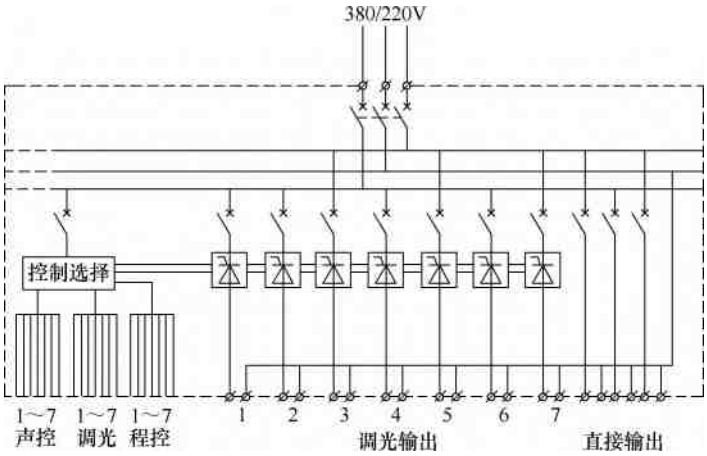


图 6-96　SRTG 型调光装置系统电路图

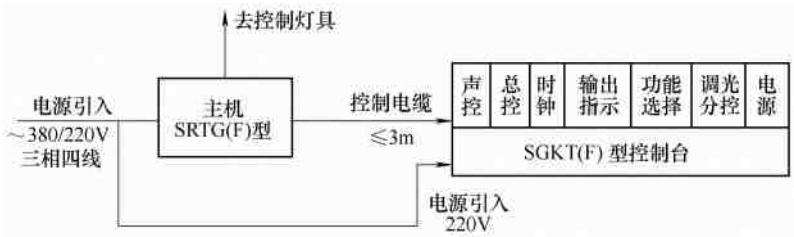


图 6-97　SRTG 型调光装置接线系统图

歌舞厅、宴会厅声光效果控制装置及灯具安装前要进行模拟试验，并按其说明书要求进行，测试其控制效果，完全吻合后才能进行安装。

管路敷设、灯具及灯架安装系统接线与前述章节相同，并应做好接地/接零，并实测其接地电阻应小于等于 1Ω。

消费场所的设备安装应与土建工程配合，模拟试验应在土建完工后进行，并在室外用分贝表测试噪声应小于等于 65dB。

八、医疗 X 光机机房电气设备的安装

X 光机作为一种重要的医疗机械在医疗行业非常重要，其机房电气线路及设备的安装关系到机器的正常使用，这里对其机房平面布置、开关及导线选择及注意事项做一简介。

1）管电流 200mA X 光机（一）。机房平面布置图见图 6-98。开关、导线选择见表 6-32，X 光机主要技术性能见表 6-33。

表 6-32　200mA X 光机机房开关、导线选择（一）

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-100BA/3200（100A） CM1-100C/3200（100A）	220	TO-100BA/3300（60A） CM1-100C/3300（60A）	BV-2×25，SC32	单相
		380	TO-100BA/3300（30A） CM1-100C/3300（32A）	BV-2×16，SC32	两相

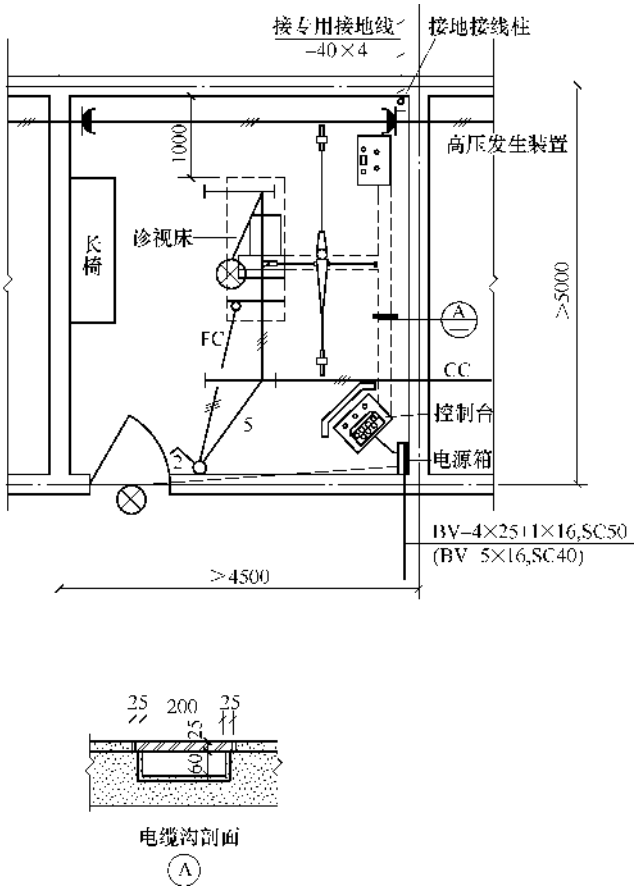


图 6-98 管电流 200mA X 光机（一）机房电气平面布置图

表 6-33 200mA X 光机主要电气技术性能（一）

项目	内容	
透视	管电流	0.5～5mA 连续可调
	管电压	40～90kV 连续可调
摄影	管电流	30～200mA 分档可调
	管电压	50～100kV 连续可调
	曝光时间	0.05～6s 分 23 档可调
电源条件	容量	大于等于 10kVA
	电压（单相）（两相）	220×（1±10%）V；380×（1±10%）V
	内阻	220V 时，0.35Ω；380V 时；1Ω
	频率	50Hz

2）管电流 200mA X 光机（二）。机房平面布置图见图 6-99，开关、导线选择见表 6-34，主要技术性能见表 6-35。

3）管电流 300mA X 光机 机房平面布置见图 6-100，主要技术性能见表 6-36，开关、导线选择见表 6-37。

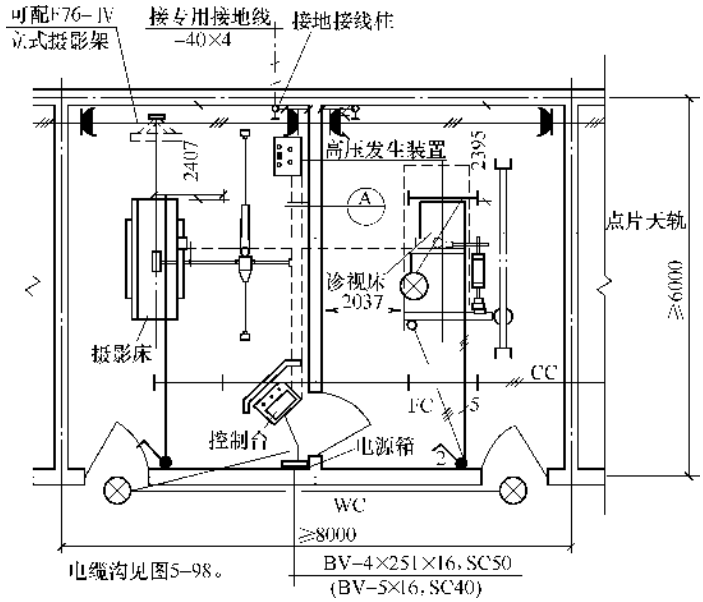


图 6-99　管电流 200mA X 光机（二）机房电气平面布置图

表 6-34　200mA X 光机机房开关、导线选择（二）

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-100BA/3200（100A） CM1-100C/3200（100A）	220	TO-100BA/3300（50A） CM1-100C/3300（50A）	BV-2×25，SC32	单相
		380	TO-100BA/3300（30A） CM1-100C/3300（32A）	BV-2×16，SC32	两相

表 6-35　200mA X 光机主要电气技术性能（二）

项　　目	内　　容	
透　　视	管电流	1～5mA　连续可调
	管电压	40～90kV　连续可调
摄　　影	管电压	50～100kV　连续可调
	管电流	30～200mA 分 5 档可调
	曝光时间	0.05～6s 分 23 档可调
电源条件	容　　量	≥10kVA
	电压（单相）（两相）	220×（1±10%）V；380×（1±10%）V
	内　　阻	220V 时，0.35Ω；380V 时，1Ω
	频　　率	50Hz

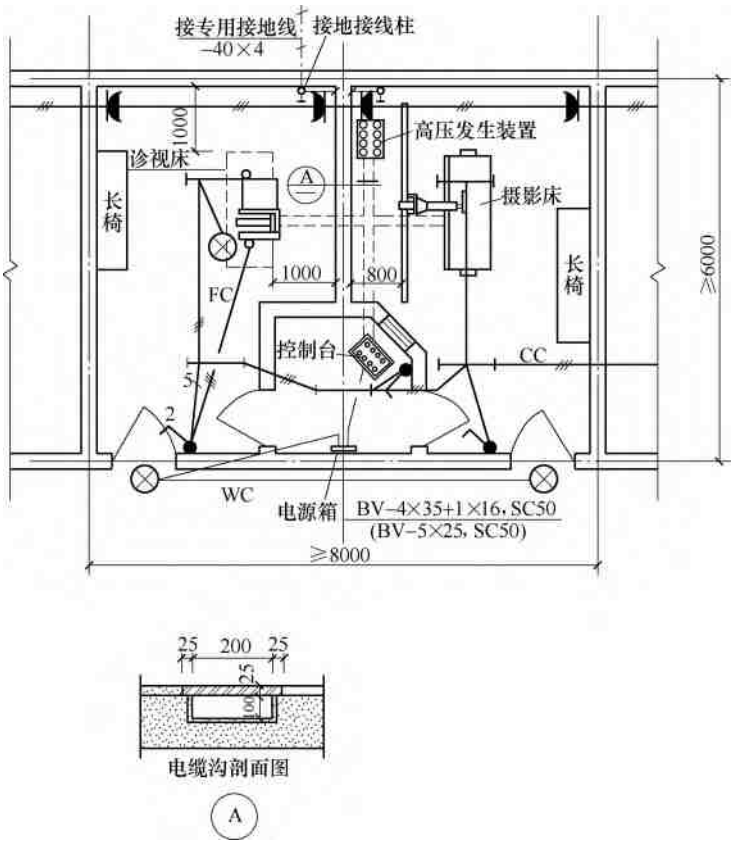


图 6-100 管电流 300mA X 光机机房平面布置图

表 6-36 300mA X 光主要电气技术性能

项目	内容	
透视	管电流	0.5～5mA 连续可调
	管电压	45～110kV 连续可调
摄影	管电压	50～125kV 连续可调
	管电流	25～300mA 分档可调
	曝光时间	0.02～5s 分 23 档可调
电源条件	容量	25kVA
	电压（单相）（两相）	220×（1±10%）V；380×（1±10%）V
	内阻	220V 时，0.3Ω；380V 时；0.9Ω
	频率	50Hz

表 6-37 300mA X 光机机房开关、导线选择表

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-225BA/3200（125A） CM1-225C/3200（125A）	220	TO-100BA/3300（75A） CM1-100C/3300（80A）	BV-2×35，SC40	单相
		380	TO-100BA/3300（50A） CM1-100C/3300（50A）	BV-2×25，SC32	两相

4）管电流 400mA X 光机　机房平面布置图见图 6-101，主要电气技术性能见表 6-38，开关、导线选择见表 6-39。

5）管电流 500mA X 光机。机房平面布置见图 6-102 和图 6-103，主要电气技术性能见表 6-40，开关、导线选择见表 6-41 和表 6-42。

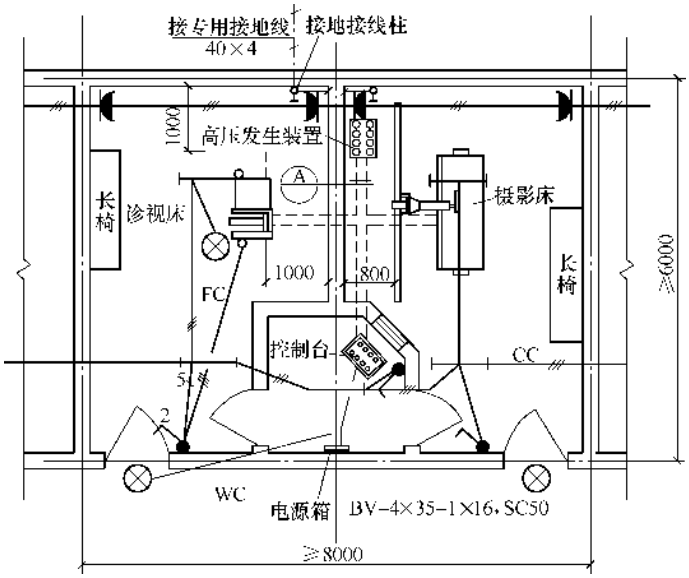


图 6-101　管电流 400mA X 光机机房电气平面布置图

表 6-38　管电流 400mA X 光机主要电气技术性能表

项　　目	内　　容	
透视	管电流	0.5～5mA 连续可调
	管电压	45～110kV 连续可调
摄影	管电压	45～125kV 连续可调
	管电流	25～400mA 分档可调
	曝光时间	0.02～5s 分 23 档可调
电源条件	容量	25kVA
	电压（两相）	380V
	内阻	0.75Ω
	频率	50Hz

表 6-39　400mA X 光机机房开关、导线选择表

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-225BA/3200（125A） CM1-225C/3200（125A）	380	TO-100BA/3300（60A） CM1-100C/3300（63A）	BV-2×35，SC40	两相

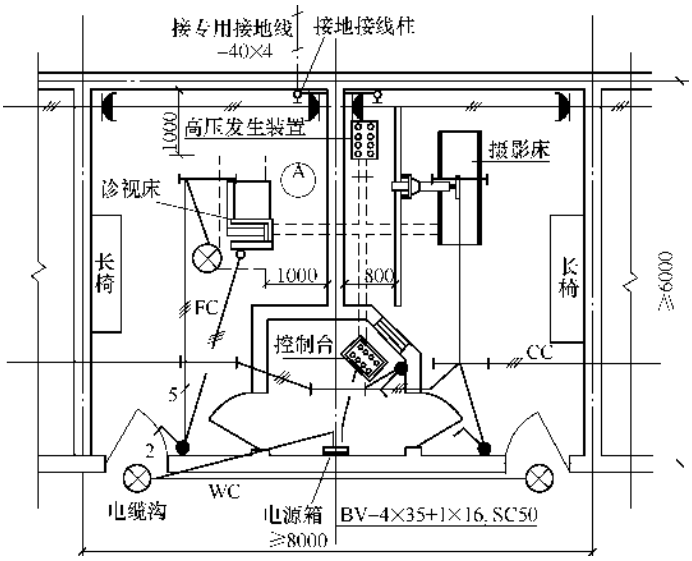


图 6-102 管电流 500mA X 光机机房电气布置平面图（一）

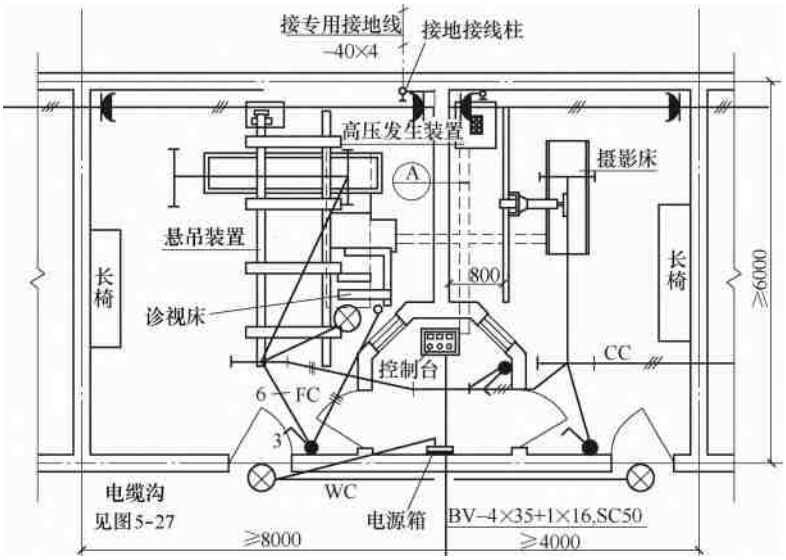


图 6-103 管电流 500mA X 光机机房电气布置平面图（二）

表 6-40 管电流 500mA X 光主要电气技术性能表

项　　目	内　　容	
透视	管电流	0.5～5mA 连续可调
	管电压	45～110kV 连续可调
摄影	管电压	45～125kV 连续可调
	管电流	25～500mA 分档可调
	曝光时间	0.01～5s 分 23 档可调
电源条件	容量	30kVA
	电压（两相）	380V
	内阻	0.3Ω
	频率	50Hz

表 6-41　图 6-102 的开关、导线选择（一）

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-225BA/3200（125A） CM1-225C/3200（125A）	380	TO-100BA/3300（80A） CM1-100C/3300（80A）	BV-2×35，SC40	两相

表 6-42　图 6-103 的开关、导线选择（二）

电源箱进线		电源箱至控制台			备注
供电电压/V	开关型号	供电电压/V	开关型号	导线选择	
380/220	TO-225BA/3200（125A） CM1-225C/3200（125A）	380	TO-100BA/3300（60A） CM1-100C/3300（63A）	BV-2×35，SC40	两相

医疗 X 光机机房电气设备的安装基本同前述章节。管路敷设详见本书第四章的相关内容，电源装置安装详见本书第七、十二章的相关内容，灯具照明装置详见前述第一节～第四节及前述内容。此外应注意以下几点：

1）所有电气设备、材料、元件安装前要进行测试和试验，详见“电气设备、元件、材料的测试和试验”一章，确保其质量。

2）施工安装时，应事先与医务人员沟通，特别是医疗设备技术人员，要倾听他们的意见和建议，避免不必要的返工，交验试灯时应由他们代表在场。

3）要特别作好接地/接零的工程，同时要做好防静电的接地工程，接地电阻应小于 1Ω。

4）作为特殊场所的 X 光机机房电气设备的安装，其技术难度并不大，但其重要性、可靠性要比一般场所高得多，作为安装人员一定兢兢业业、认真负责，严格按操作规程、标准规范安装作业，确保工程的质量，确保今后运行的正常。

九、PLZ-3 系列航空闪光障碍灯的安装

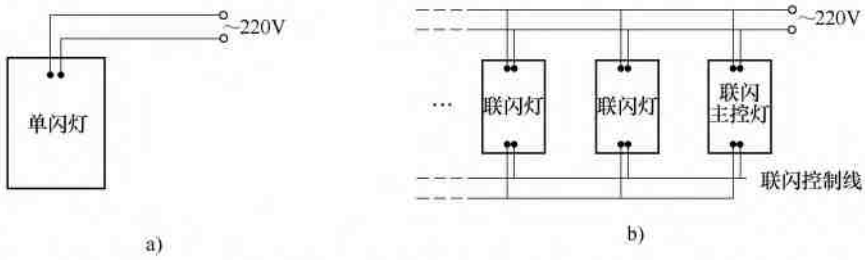
PLZ-3 系列航空闪光障碍灯技术数据及适用范围见表 6-43。

基本接线方式见图 6-104。

系统接线图见图 6-105。

表 6-43　PLZ-3 系列航空闪光障碍灯技术指标及适用范围

名　称	型　号	有效光强/cd	闪光频率/(次/min)	光源寿命/次	供电方式	使用环境温度/℃	功耗/W	外形尺寸 $L\times W\times H$/mm	质量/kg	颜色	适用范围
太阳能闪光障碍灯	PLZ-3	>1600	40～70	闪光 10^8	太阳电池	-40～+70	2	460×330×360	6.5	红	铁塔及电缆敷设困难场所
										白	铁塔顶端
交流闪光障碍灯	PLZ-3J	>1600～12000			AC220V		<50	180×150×340	3.0	红	烟囱、铁塔及高大建筑物
										白	铁塔顶端
高光强闪光障碍灯	PLZ-3JH	>160000～200000					<60	180×150×375	4.5	红	高于 150m 的高大建筑物及构筑物
										白	背景光较强的城市高层建筑物
交流联闪障碍灯	PLZ-3JL	>1600～12000					<50	180×150×340	3.0	红	城市高层建筑物广播通信电视塔
高光强联闪障碍灯	PLZ-3JLH	>160000～200000					<60	180×150×375	4.5	白 红	150m 以上的高耸建筑物和构筑物及背景光较强的城市高层建筑物和构筑物
交流景观联闪障碍灯	PLZ-3JLR	>160000～200000	10～30	闪光 10^7			<150	180×150×340	3.0	红	单独或与以上频闪灯配合使用，有较强的景观效果



注：PLZ-3JH 型高光强闪光障碍灯及 PLZ-3JR 型单闪障碍灯接线同图。

注：PLZ-3JR/ZK、PLZ-3JLH/ZK型联闪主控制灯接线同上图。联闪集中控制器一般安装在室内壁挂式固装，可设置于建筑物顶层电梯间或电工控制室。

图 6-104　PLZ-3 系列航空闪光障碍灯基本接线方法

a）PLZ-3J 型单闪接线示意图　b）联闪主控制灯与联闪灯接线示意图

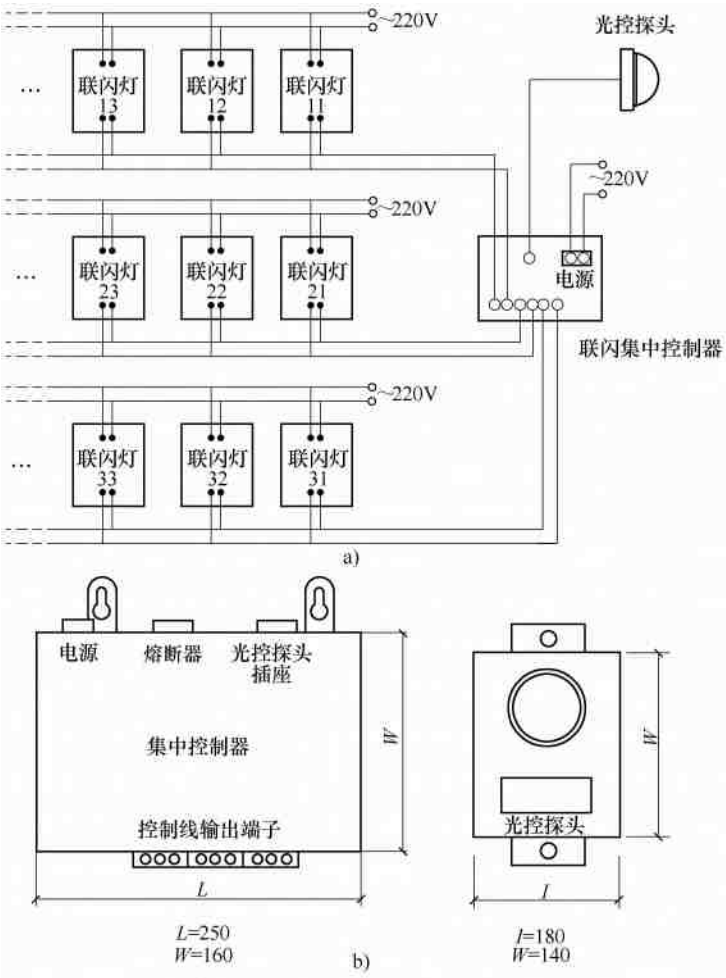


图 6-105　PLZ-3JL 联控闪光障碍灯系统接线图

a）三组顺序闪光　b）联控闪光障碍灯控制器及光控探头

灯头安装图见图 6-106。

航空闪光障碍灯为高空安装的警示装置，为了保证其功能及安全性，一般应确保以下几点：

1）灯具宜采用双接线端子接线，导线宜采用双回路线缆，具体方法参见本章四、室内综合体育馆照明装置的接线方法，不再赘述。

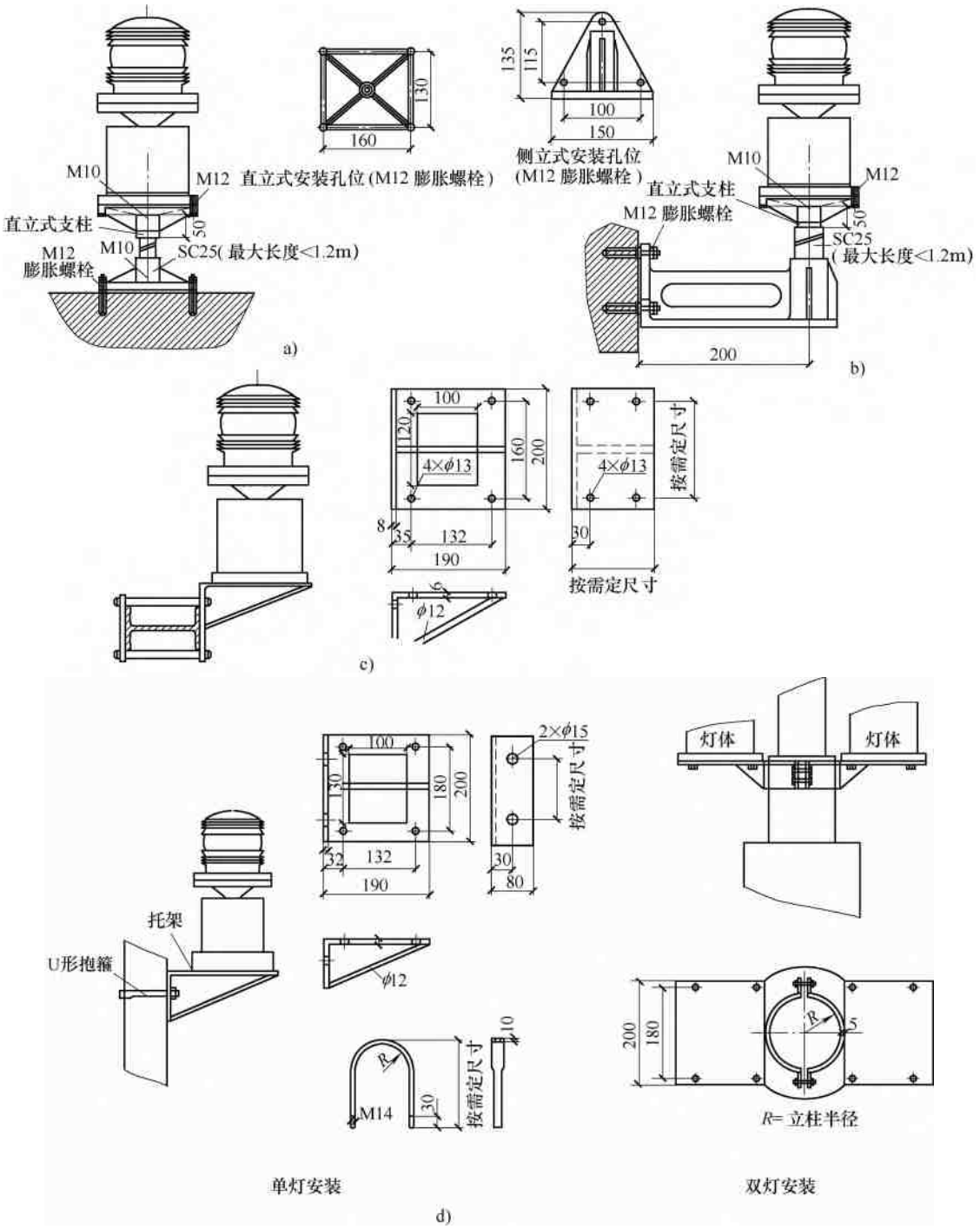


图 6-106　灯头安装图举例

a）直立式标准固定支座　b）侧立式标准固定支座

c）支架式固定　d）抱箍式固定

2）灯具、控制装置、光控探头、线缆在安装前必须进行测试和试验，具体方法参见本书第五章“电气设备、元件、材料的测试及试验”相关内容。

3）灯具、电缆等在高空安装的装置必须采用螺栓双螺母固定，并将基螺杆端铆死，所有金工件应采用镀铁件，具体方法参见本书第十章“架空线路及室外变压器台、箱变的安装”相关内容。

4）安装前应将灯具、光控探头、控制器、线缆

在地面接线通电进行模拟试验，及时发现不妥，以免不必要的返工。

5）高空安装的灯具及杆塔必须做好防雷接地工程，接地电阻小于4Ω，具体方法参见本书第十九章“电气安装调试工程安全技术”相关内容。

十、宾馆饭店客房电气设备的安装

宾馆饭店客房电气设备较为简单，安装方法前述章节已进行了详细讲述，这里就一些特殊装置做一简单说明。

1）按图样设计下管配线，安装时对元件设备必须进行测试和试验。

2）客房电气设备设置及控制各系统见图6-107。

3）客房电气设备系统接线图见图6-108。

4）客房节电配电箱系统结构图见图6-109。

5）客房节电配电箱元件配置表见表6-44。

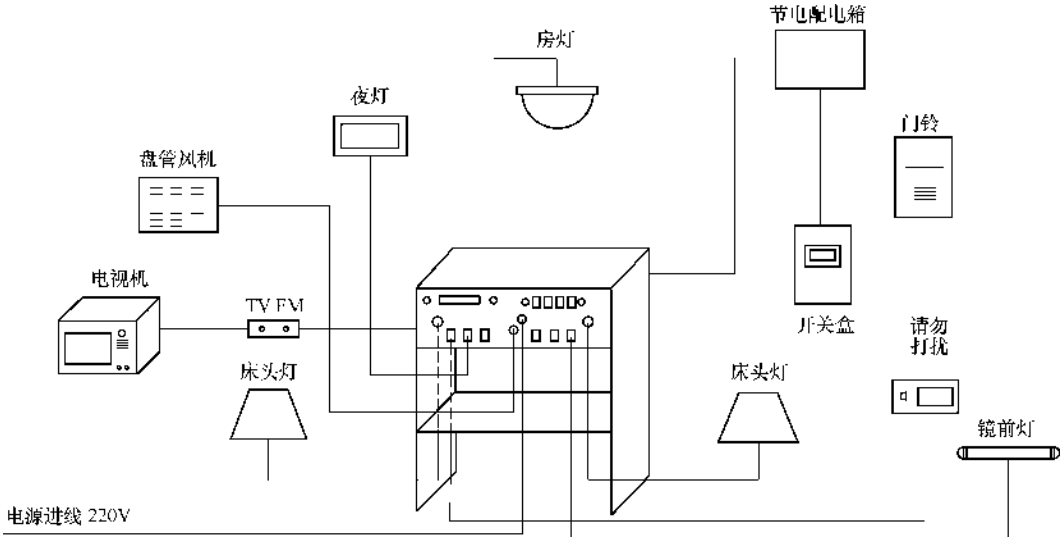


图6-107 客房电气设备设置及控制各系统图

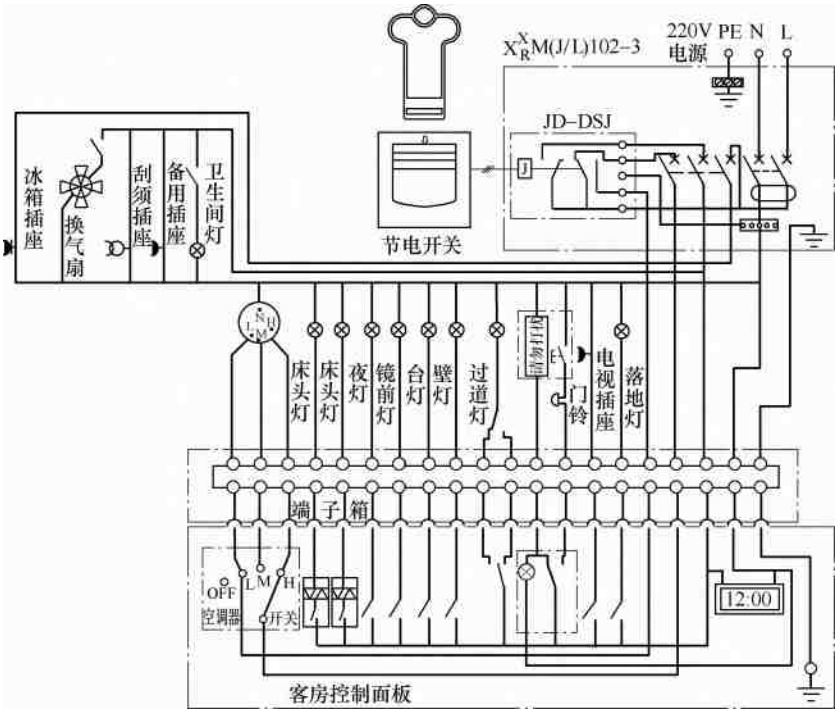


图6-108 客房电气设备系统接线图

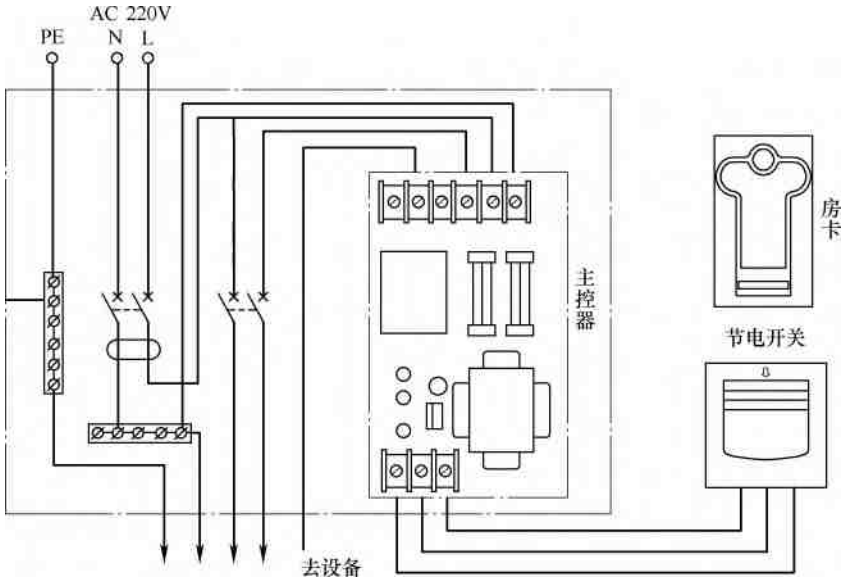


图 6-109　客房节电配电箱系统结构图

表 6-44　客房节电配电箱元件配置表

节电配电箱类		
型　　号	外形尺寸/mm（$L \times H \times W$）	内　配　设　备
XXM（J/L）102-2（明装）	30×200×90	单极开关 2 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只
XXM（J/L）102-3（明装）		单极开关 3 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只
XXM（J/L）102-4（明装）		单极开关 4 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只
XRM（J/L）102-2（明装）	280×180×90	单极开关 2 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只
XRM（J/L）102-3（明装）		单极开关 3 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只
XRM（J/L）102-4（明装）		单极开关 4 只；节电开关 1 套；漏电开关 1 只

请勿打扰指示板		
型　　号	规　　格	备　　注
DY-N1	220V　　86 系列	配套门铃 220V

夜（脚）灯		
DY-YD1	220V15W 预埋墙洞尺寸/mm（$L \times H \times W$）200×100×80	柜外安装
DY-YD2	220V 15W	柜内安装

（续）

节电开关类		
型　　号	规　　格	备　　注
DYJD-DSJ	220V　10A	机械直通式
DYJD-DSJ0	220V　10A	机械直通式，带延时功能
DYJD-DSJ1	220V　10A	光电编码式，带延时功能
DYJD-DSJC0	220V　10A	与轻触式床头集控板配套使用，机械直通式，带延时功能
DYJD-DSJC1	220V　10A	与轻触式床头集控板配套使用，机械直通式，带延时功能
DYJD-DSJC2	220V　10A	与磁卡门锁配套使用，磁卡式，带延时功能
DYJD-DS	220V　10A	光电编码，无触点式
DYJD-DS1	220V　10A	人体感应全自动式，室内有人自动给电，室内无人自动断电

十一、其他单相电气设备及照明装置的安装

1. 传递窗灯具安装大样图（见图 6-110）

传递窗是用于无菌室与外界隔离的一种装置，为了保证卫生条件的安全需在传递窗与外界连接处安装紫外线杀菌灯，开关安装在无菌室内，当传递窗开启时，微动开关 SQ 自动闭合，杀菌灯开始工作；窗关闭时，开关打开，杀菌灯停止工作。安装时应与土建工程配合。

2. 传递箱灯具安装大样图（见图 6-111）

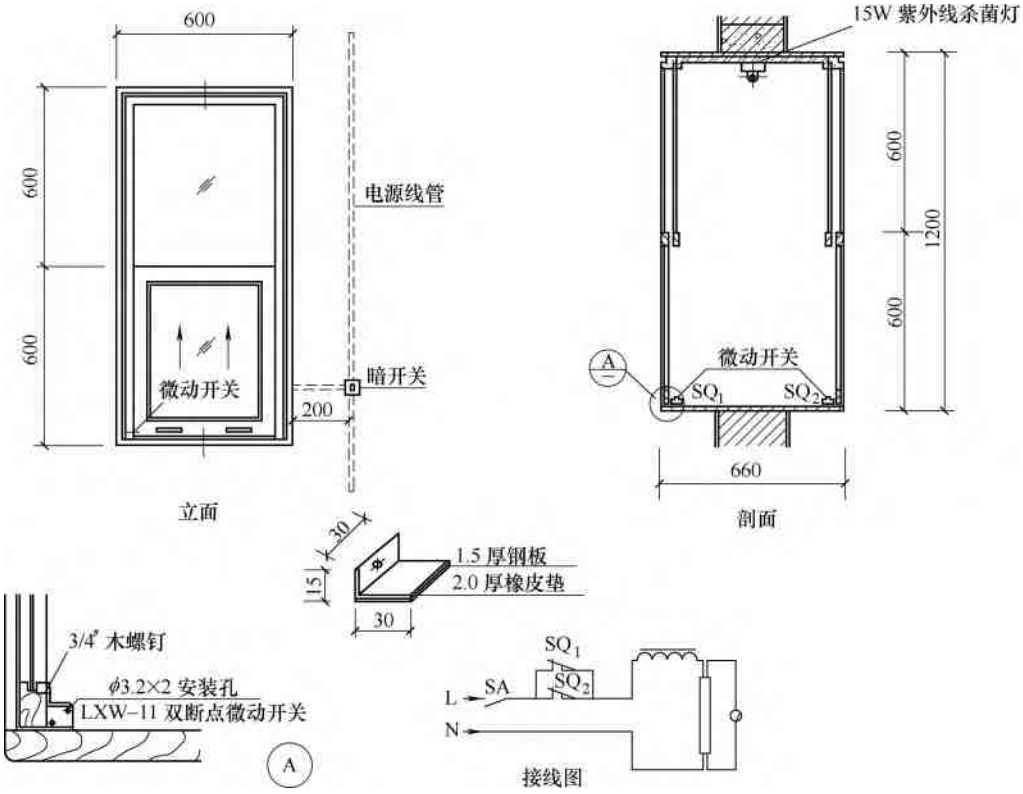


图 6-110　传递窗灯具安装大样图

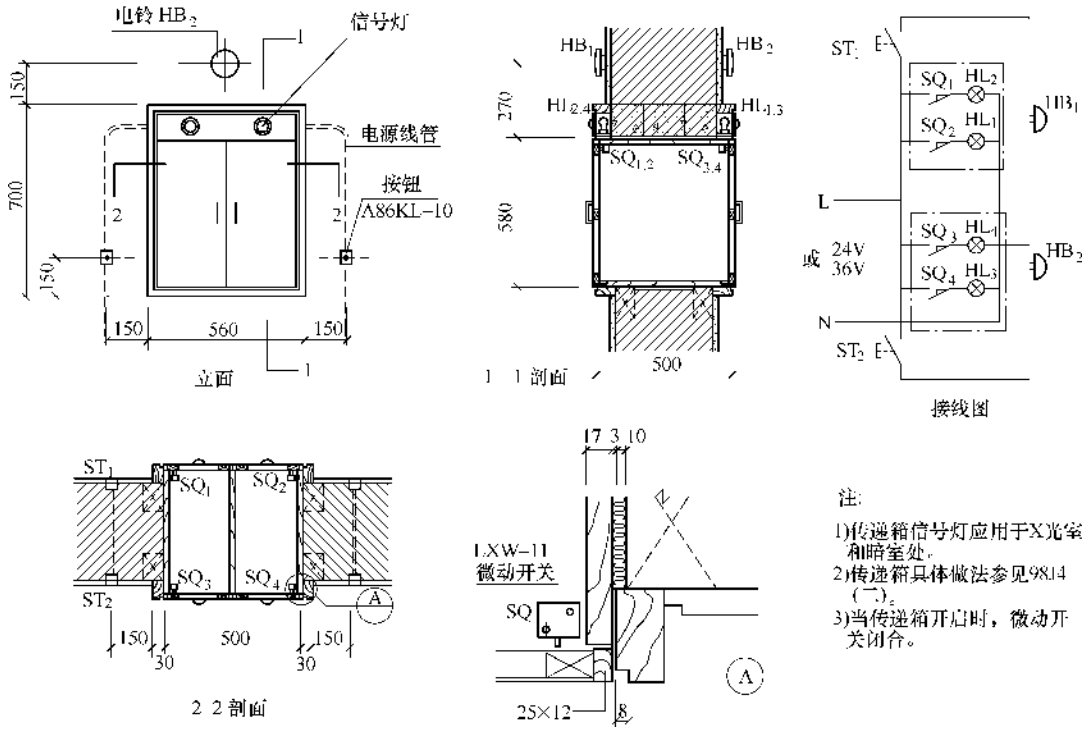


图 6-111　传递箱灯具安装大样图

传递箱是用于 X 光室和暗室处之间的一种保护装置，用来保证 X 光片进入暗室前不爆光。要求与传递窗基本相同。

3. 太阳能钟结构及安装（见图 6-112 和图 6-113）

太阳能钟是利用光能使时钟工作并能使蓄电池充电，供夜间及无阳光时正常工作使用。

太阳电池受阳光照射输出电能，向蓄电池充电，并且向电路板和时钟指示部分输电。蓄电池使石英振荡器产生 4.2MHz 信号，用 CMOS 集成电路转换成 1s 和 30s 的时钟信号，经选择后向时钟显示机芯输出，即显示时钟时间。

太阳能钟可吊装、侧装、立装，见图 6-113。

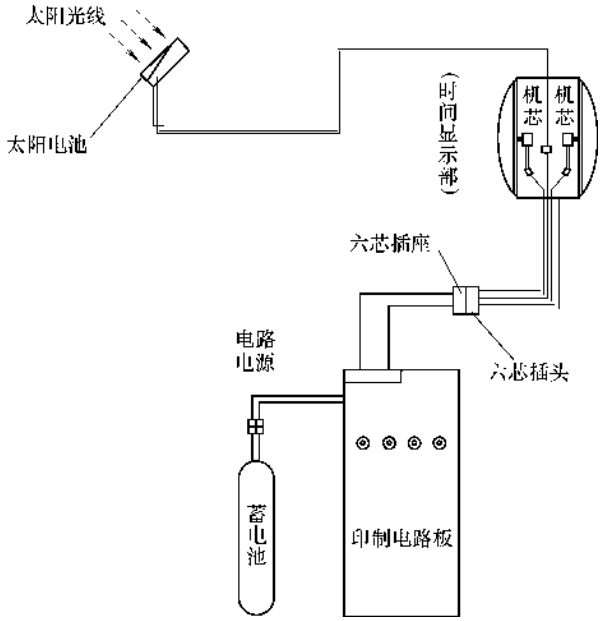


图 6-112　太阳能钟结构图

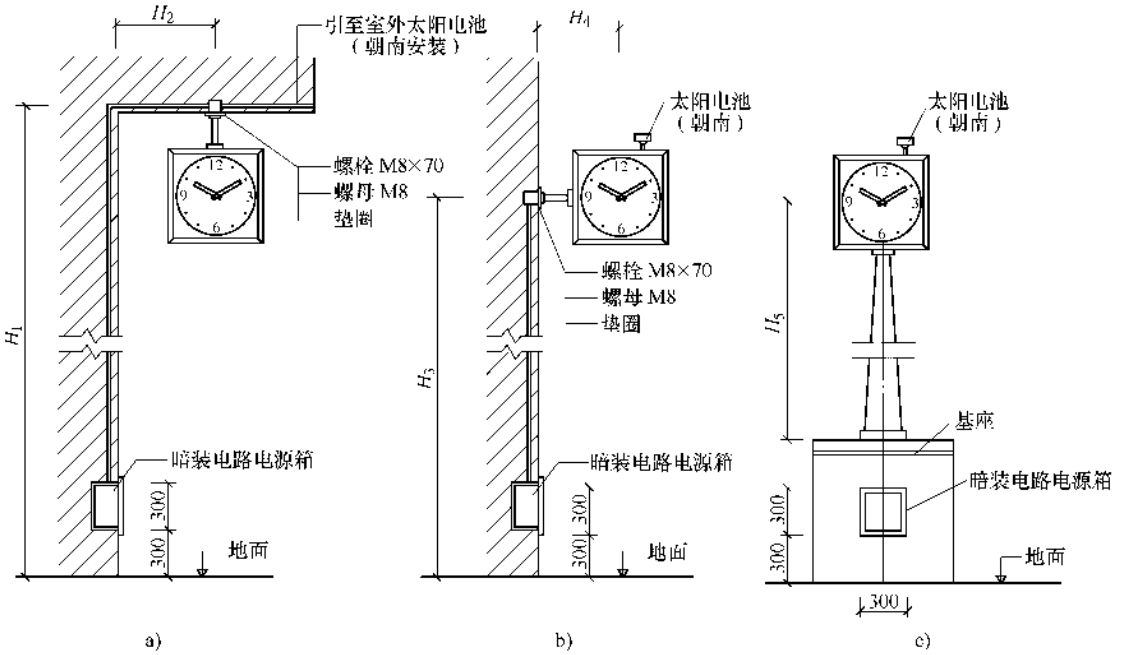


图 6-113 太阳能钟的安装方式

a）吊装式 b）侧装式 c）立装式

要求安装（无论哪种方式）必须牢固，太阳电池向南 45°安装，其他管线同前。

4. 自动门安装技术

自动门作为一种安全防护装置常用于公共场所且人流不多地方。

自动门由门体、机械传动装置、探测器、控制器等部件组成。

自动门安装示意图见图 6-114。

自动门电气装置安装接线示意图见图 6-115。

图 6-115 中，接线应注意以下几点：

1）探测器：ZM 系列自动门配套以下 4 种类型探测器，探测器对称安装于门横框的内外侧中部。

① TH-1 红外探测器，电源 200V。

② TH-2 红外探测器，电源 100V。

③ TW-1 微波探测器，电源 12V，加 5W 变压器。

④ TW-2 微波探测器，电源 100V。

2）光电探测器：为防止挤伤门中间的行人，设有光电探测器（有源红外线遥控开关），安装在固定门的两测，距地 0.8m 处一个发射，一个接收。

3）控制器：接收探测器送来的开关信号，并根据电动机反馈及行程开关状态，控制传动电动机的运行。

4）传动装置：包括电动机总成及行程开关，控制器等。

该自动门功率不大，控制简单，电动机功率小于 100W，关门延迟时间为 0.5～8s 可调。

自动门的安装应由安装钳工配合，所有元器件应进行测试和试验，详见本书第五章“电气设备、元件、材料的测试及试验”相关内容；相关的弱电元器件详见本书第十八章“弱电系统的安装”相关内容；其中探测器、接收头、发射头、光电控制盒应有保护设施以防碰击，安装要牢固，安装前应先模拟接线进行开关试验，合格后再安装接线。管线敷设与前述相同。

自动门根据其用途的不同，可在 -25～+55℃环境条件下正常工作，湿度（当温度 +40℃时）可达 90%。

5. 电动卷帘门安装技术

电动卷帘门常用于店铺，柜台等小型商业场所，功率小（一般为 0.75kW 电动机），用途较广。

电动卷帘门安装示意图见图 6-116。

电动卷帘门控制电路线路图见图 6-117。

电动卷帘门的安装可参见前述自动门安装相关内容，做到先测试试验电气设备元件，后安装，如明装电控箱可装于卷筒内部最上面，按钮装于门旁并加锁。其中，220V 单相电动机驱动时，二次接线必须接对，正反转由起动绕组 Z_1-Z_2 改变接法（KM_1 闭合正转，则 KM_2 闭合为反转，反之 KM_1 闭合反转，则

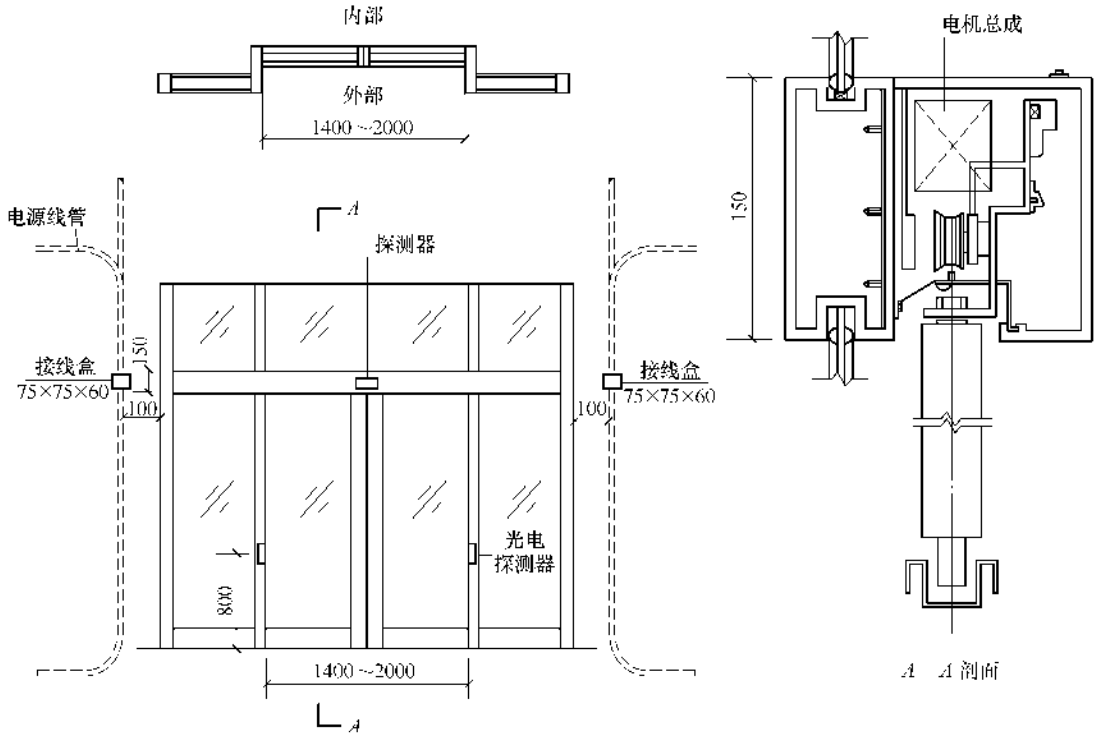


图 6-114　自动门安装示意图

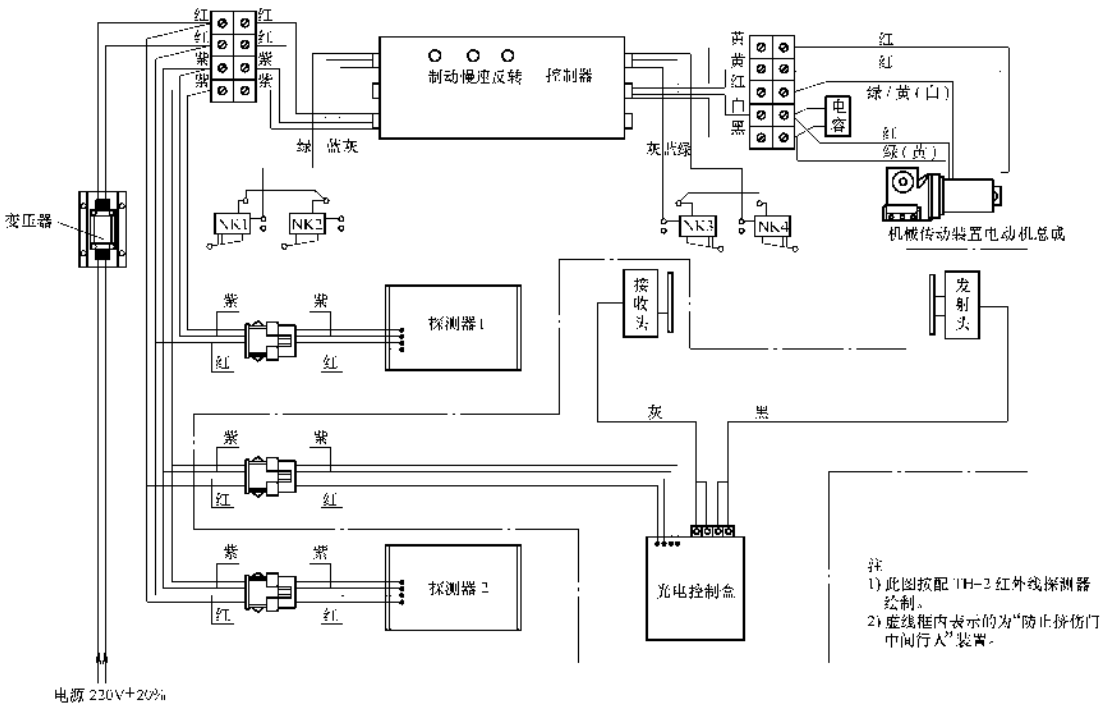
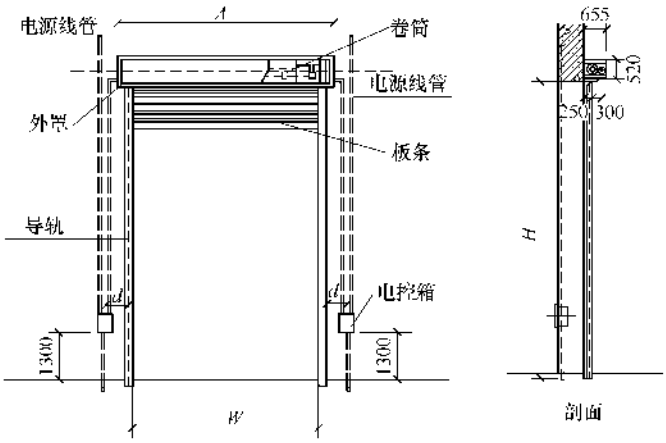


图 6-115　自动门电气装置安装接线示意图

KM_2 闭合为正转）实现。

6. X 光片观片灯的安装

X 光片观片灯安装较为简单，但应与土建人员配合，其他注意事项同前，见图 6-118。



规格选用表

洞口宽 B/mm	洞口高 H/mm	电机容量 P/kW	最大外形 A/mm	净宽 W/mm	净高 H/mm	线管内径 d/mm
B<3000	≤5000	0.75	W-470	W-50	H-30	220
			W-310	W-150	H-75	220
3000<B<5000	≤5000	0.75	W-440	W-50	H-30	280
			W-340	W-150	H-75	280
5000<B<8000	≤5000	0.75	W-460	W-50	H-30	300
			W-360	W-150	H-75	300

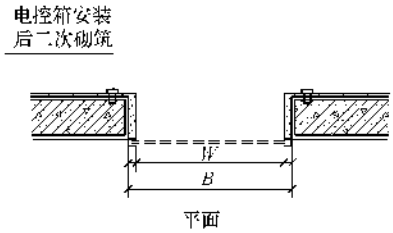


图 6-116 电动卷帘门安装示意图

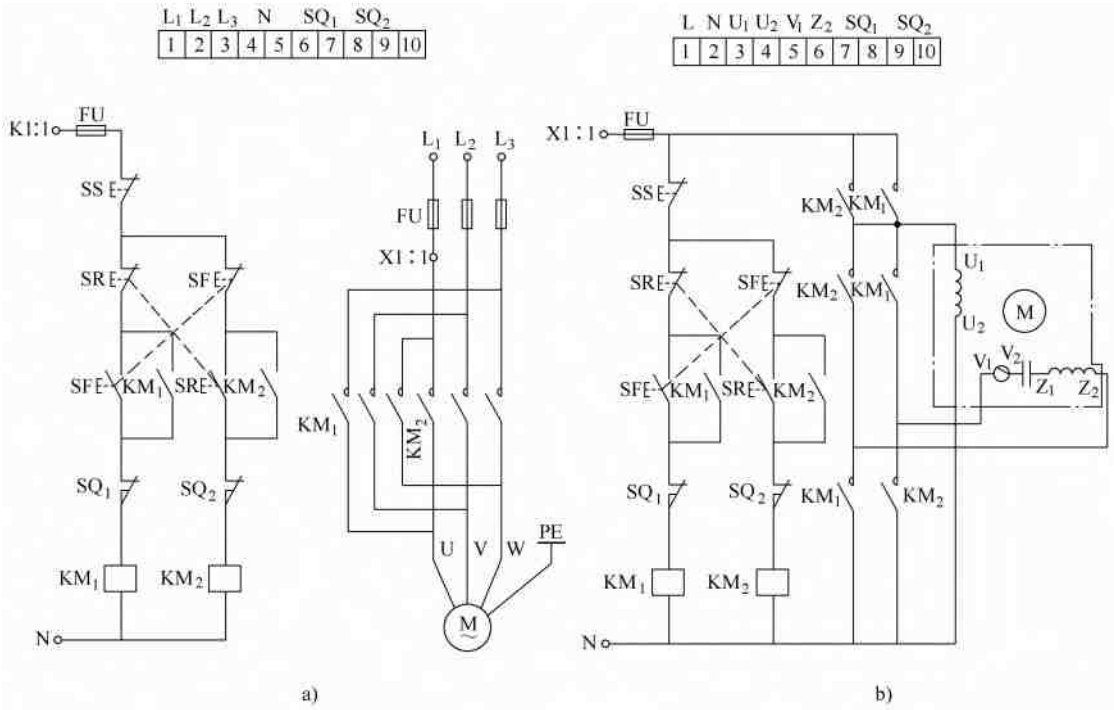


图 6-117 电动卷帘门控制电路电路图

a）三相电动机 b）单相电动机

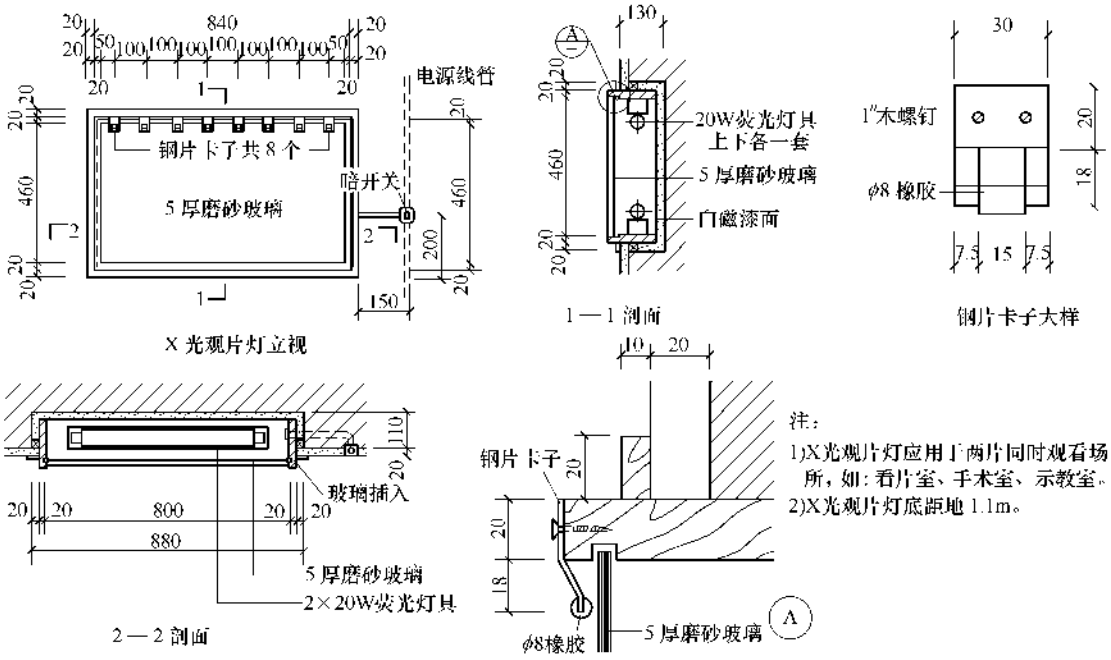


图 6-118　X 光片观片灯安装示意图

第六节　单相电气设备及线路的测试和试验

单相电气设备及线路的测试和试验在前述内容中已进行了详细的讲述，这里又以一节的题目列出，主要是要告诫同行们，不要轻视单相设备和线路，有很多在高电压、大动力的工程中做得很优秀的人却是在这种低电压的照明系统中出了问题。因此，要求单相电气设备及线路同高压线路、动力线路一样，必须进行测试和试验，并做到以下几点：

一、总体要求

单相电气设备要进行绝缘电阻、最大电流、分断电流试验，线路要进行绝缘电阻测试。接线必须正确。

设备及线路安装接线后要进行检查和试验。检查和测试应由质检员和其他班组的人员进行互查，以便发现缺陷。线路的载流量必须有充分裕量。

单相电气设备及线路安装要整齐、美观、大方。

二、设备及线路的检查和试验

基本同动力电路，但要注意以下几点：

1）无论何种开关必须控制相线；插座接线必须正确；要求接地的端子必须正确接地，接地电阻必须符合要求；接线端子和接线盒内的接线必须包扎合格的绝缘带，铜线芯必须作镀锡处理。

2）安装完后系统必须进行绝缘电阻的测试，并应大于 5MΩ。

三、送电及试运行

基本同动力电路，见第七章，但要注意以下几点：

1）查线应按总路、分路、支路逐一查线，不要有半点遗漏，并有记录，确保接线正确。

2）送电时先总路、后分路 1、再支路 1，只有分路 1 的所有支路送电成功并支路 1 拉闸后才能送分路 2，依次进行；发现问题时必须当下停电处理，只有完全成功后才能往下进行。

3）分路、支路全部按程序送完后，才可按分路 1、支路 1-1，…，分路 2、支路 2-1，…，一一全部投入试运行状态，以便发现问题。

4）其他参见前述每个内容。

照明电路及单相电气设备的安装中，额定电压 500V 及以下插座、开关、照明灯具、照明配电箱（板）的安装，其质量标准及检验试验方法见表 6-45 ~表 6-49。

表 6-45 插座、开关安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
检查	型式、容量			按设计规定	对照图样检查
	附件			齐全	清点
	外观			完好	观察检查
安装	位置、高度		主要	按设计规定	对照图样检查
	型式			同一室内力求一致	观察检查
	插座	接线	主要	按 GB 50303—2011 规定	用试电笔检查
		接地	主要		
	开关	动作情况		灵活、可靠	扳动检查
		接线方式	主要	接相线	用试电笔检查
	固定螺栓数量			按制造厂规定	观察检查
	固定强度		主要	牢靠	手扳动检查
	误差调整	同一室内		≤5mm	拉线和用尺
		成排安装		≤1mm	用尺检查
其他	暗式板面			端正、紧贴墙面	观察检查
	固定螺栓防松件			齐全	

表 6-46 照明、灯具安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
灯具检查	种类、型号、规格		按设计规定	对照图样检查
	附件		配套、齐全	核对清单
	外观		无缺损	观察检查
	连接件		配套、灵活、无卡涩	试装检查
灯架组装	装配顺序		按制造厂规定	对照厂家规定检查
	引出线截面积	主要	按设计规定	对照图样检查
	引出线和灯具端子连接	主要	紧固，绝缘性能良好	观察检查
	组装部件		完整	
灯杆组立	中心线横向移位		≤50mm	拉线并用尺检查
	垂直误差		歪斜不明显	观察检查
电源接线	连接	主要	紧固，不承受拉力	观察检查
	螺口灯头接线		正确	用试电笔检查
	接线处绝缘处理		包扎紧密、均匀，且不低于原绝缘强度	观察检查
固定	位置		按设计规定	对照图样检查
	固定方式		按制造厂规定	对照厂家规定检查
	固定螺钉点数	主要		
调整	同一室内成排灯具		横平竖直，高度在同一平面上	观察检查
	嵌入顶棚装饰灯		边框在一条直线上	

（续）

工　序	检　验　项　目		性　质	质　量　标　准	检验方法及器具
其他	灯泡、灯管	功率		按设计规定	对照图样检查
		与灯座连接		紧密、不松动	扳动检查
	外罩			无破损，与灯具紧密结合	观察检查
	附件（启辉器、镇流器等）			齐全、固定牢固便于灯光维修	
	应急疏散指示灯			标志清晰，指示正确	
	36V 及以下照明变压器			按 GB 50303—2011 规定	对照规范检查
	密封有特殊要求的灯具		主要	按制造厂规定	对照厂家规定检查
	金属外壳接地或接零		主要	按 GB 50169—2006 规定	对照规范检查

表 6-47　照明配电箱（板）安装

工　序	检　验　项　目		性　质	质　量　标　准	检验方法及器具
箱或板安装	型式及回路数			按设计规定	对照图样检查
	位置、高度				
	箱体误差	箱高 <50cm		歪斜不明显	观察检查
		箱高 >50cm		≤3mm	吊线检查
	固定强度		主要	牢固	观察检查
箱（板）接地			主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查
内部检查	回路绝缘性能		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	负荷分配			按设计规定	计算
	闸刀开关			与负荷匹配,动作灵活、无卡涩	扳动检查
	螺旋熔断器			底座无松动，规格按 GB 50303—2011 规定	扳动并对照规范检查
	导线与端子连接			紧固	手拉检查
	零线、保护线连接			固定在汇流排上，编号齐全	观察检查
其他	箱（板）多余孔洞封堵		主要	严密	观察检查
	箱（板）内部清理			干净，无杂物	
	控制回路标识			齐全、清晰	
	暗式箱盖固定			牢固，紧贴墙面无空隙	
	焊接处防腐			完好	

表 6-48　（分部工程名称）照明回路通电检查签证

通电检查验收范围		
检　验　项　目	检　验　结　果	备　　注
照明箱标识		
照明箱是否直接接地		
电缆牌是否齐全		

（续）

通电检查验收范围		
检　验　项　目	检　验　结　果	备　　注
照明开关命名与回路对照		
熔断器容量与设计对照检查		
回路绝缘强度最低值	（环境温度：　℃；湿度：　　%）	
照明箱封堵及内部清洁		
漏电保护动作试验		
应急灯试投试验		
直流常明灯投入		
光电控制器试验		
交、直流电源自动切换试验		
照明灯投入 24h 时间	年　月　日　时　分　至　月　日　时　分	
插座回路通电 24h 时间	年　月　日　时　分　至　月　日　时　分	

观感质量评价：

（可就保护管、电缆、线槽排列，照明箱、开关、插座及灯具安装等是否整齐、美观等进行评价）

检查结论：

质检机构	验　收　意　见	签　　名
工　　地		年　月　日
质 检 部		年　月　日
监　　理		年　月　日
建设单位		年　月　日

表 6-49　动力和照明配线检查

工　序	检　验　项　目	性　质	质　量　标　准	检验方法及器具
配线检查	型号、电压及规格		按设计规定	对照图样检查
	材质			
	绝缘保护层		完好，无损伤	观察检查
配线	管内检查		畅通，无杂物、积水	钢丝贯通检查
	回路布置		按设计规定	对照图样检查
	导线占保护管内空间		不大于 40% 保护管内空间	观察检查
	管口护线套		齐全	观察检查
	导线穿管	主要	无损伤，无打结	
	管内导线		无接头	观察检查
	导线在补偿装置内的长度	主要	有适当余量	手拉检查

（续）

工　序	检　验　项　目		性　质	质　量　标　准	检验方法及器具
接线	剥线			线芯无损伤	观察检查
	导线连接	单股铜线铰接后焊接		紧固、接触良好，焊渣清理干净	
		套管连接		导线与套管规格匹配	
	导线与设备、器具的连接			按 GB 50303—2011 规定	对照规范检查
接线后检查	导线间及导线对地绝缘性能		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	保护地线连接		主要	可靠	观察检查
	盖板、面板			齐全、固定牢固、严密	

第七章　动力电路及低压配电室的安装

动力电路主要指三相电动机、三相电炉、自备发电机等三相电气设备和低压配电装置及其电气控制系统。动力电路在工业系统中约占总容量的90%，电流大、控制设备及电路复杂，调试量大且技术要求高，给安装带来了一定的难度。

动力电路的安装主要包括设备和元件的检查、验收及测试，开关柜、控制柜的安装，硬母线的制作安装，穿线或电缆敷设，系统调试，单机试车以及送电、联动试车，直至竣工验收等工序。

动力电路的安装应符合施工及验收规范的要求，见国家标准GB 50170—2006、GB 50171—2012、GB 50172—2012、GB 50254—1996、GB 50255—1996、GB 50303—2011、GB 50150—2006、GB 50149—2010、GB 50169—2006及有关标准。

第一节　总体要求

一、总则

1）为保证低压电器、旋转电机、盘柜、低压配电室的工程质量，其工程设计必须由具有相应资质的设计单位进行设计。

2）低压电器、电机、盘、柜、低压配电室的安装应由具有相应资质的安装单位进行。

二、旋转电机

1）旋转电机的安装应按已批准的设计进行施工。

2）旋转电机的运输、保管，应符合本规范规定。当产品有特殊要求时，尚应符合产品技术文件的规定。

3）设备在安装前的保管要求，其保管期限应为一年及以下。当需长期保管时，应符合设备保管的专门规定。

4）采用的设备及器材应符合国家现行技术标准的规定，并应有合格证件。设备应有铭牌。

5）设备和器材到达现场后，应在规定期限内作验收检查，并应符合下列要求：

①　包装及密封应良好。

②　开箱检查清点，规格应符合设计要求，附件、备件应齐全。

③　产品的技术文件应齐全。

④　按本规范要求，外观检查合格。

6）施工中的安全技术措施，应符合规范和现行有关安全技术标准及产品的技术文件的规定。

对重要的施工项目或工序，尚应事先制定安全技术措施。

7）与旋转电机安装工程有关的建筑工程的施工应符合下列要求：

①　与旋转电机安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定。

②　设备安装前，建筑工程应具备下列条件：

a. 结束屋顶、楼板工作，不得有渗漏现象；

b. 混凝土基础应达到允许安装的强度；

c. 现场模板、杂物清理完毕；

d. 预埋件及预留孔符合设计，预埋件牢固。

③　设备安装完毕，投入运行前，建筑工程应完成下列工作：

a. 二次灌浆和抹面工作、二次灌浆强度达到要求；

b. 通风小室的全部建筑工程工作。

8）设备安装用的紧固件，除地脚螺栓外，应采用镀锌制品。

9）在有爆炸或火灾危险性的场所装设旋转电机时，除应符合本规范规定外，尚应符合现行国家标准GB 50257—1996《电气装置安装工程爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范》的有关规定。

10）旋转电机的机械部分的安装及试运行要求，应符合国家现行的有关专业规程的规定。

11）旋转电机的施工及验收除按规范规定执行外，尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

12）对引进机组的施工验收，应按合同规定的标准执行。签订进口合同时应注意，验收标准不得低于GB 50170—2006的规定。

三、低压配电室及盘、柜

1）盘、柜装置及二次回路结线的安装工程应按已批准的设计进行施工。

2）盘、柜等在搬运和安装时应采取防震、防潮、防止框架变形和漆面受损等安全措施，必要时可将装置性设备和易损元件拆下单独包装运输。当产品有特殊要求时，尚应符合产品技术文件的规定。

3）盘、柜应存放在室内或能避雨、雪、风、沙的干燥场所。对有特殊保管要求的装置性设备和电气

元件，应按规定保管。

4）采用的设备和器材，必须是符合国家现行技术标准的合格产品，并有合格证件。设备应有铭牌。

5）设备和器材到达现场后，应在规定期限内作验收检查，并应符合下列要求：

①　包装及密封良好。

②　开箱检查型号、规格符合设计要求，设备无损伤，附件、备件齐全。

③　产品的技术文件齐全。

④　按本规范要求外观检查合格。

6）施工中的安全技术措施，应符合本规范和国家现行有关安全技术标准及产品技术文件的规定。

7）与盘、柜装置及二次回路结线安装工程有关的建筑工程的施工，应符合下列要求：

①　与盘、柜装置及二次回路结线安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量，应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定。当设备或设计有特殊要求时，尚应满足其要求。

②　设备安装前建筑工程应具备下列条件：

a. 屋顶、楼板施工完毕，不得渗漏。

b. 结束室内地面工作，室内沟道无积水、杂物。

c. 预埋件及预留孔符合设计要求，预埋件应牢固。

d. 门窗安装完毕。

e. 进行装饰工作时有可能损坏已安装设备或设备安装后不能再进行施工的装饰工作全部结束。

③　对有特殊要求的设备，安装调试前建筑工程应具备下列条件：

a. 所有装饰工作完毕，清扫干净。

b. 装有空调或通风装置等特殊设施的，应安装完毕，投入运行。

8）设备安装用的紧固件，应用镀锌制品，并宜采用标准件。

9）盘、柜上模拟母线的标志颜色，应符合表 7-1 的规定。

表 7-1　模拟母线的标志颜色

电压/kV	颜色
交流 0.23	深灰
交流 0.40	黄褐
交流 3	深绿
交流 6	深蓝
交流 10	绛红
交流 13.8～20	浅绿
交流 35	浅黄
交流 60	橙黄
交流 110	朱红
交流 154	天蓝
交流 220	紫
交流 330	白
交流 500	淡黄
直流	褐
直流 500	深紫

（续）

注：1. 模拟母线的宽度宜为 6～12mm。

2. 设备模拟的涂色应与相同电压等级的母线颜色一致。

3. 不适用于弱电屏以及流程模拟的屏台。

10）二次回路结线施工完毕，在测试绝缘时，应有防止弱电设备损坏的安全技术措施。

11）安装调试完毕后，建筑物中的预留孔洞及电缆管口，应做好封堵。

12）盘、柜的施工及验收，除按规范规定执行外，尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

四、成套配电柜、控制柜（屏、台）和动力、照明配电箱（盘）

1）柜、屏、台、箱、盘的金属框架及基础型钢必须接地（PE）或接零（PEN）可靠；装有电器的可开启门，门和框架的接地端子间应用裸编织铜线连接，且有标识。

2）低压成套配电柜、控制柜（屏、台）和动力、照明配电箱（盘）应有可靠的电击保护。柜（屏、台、箱、盘）内保护导体应有裸露的连接外部保护导体的端子，当设计无要求时，柜（屏、台、箱、盘）内保护导体最小截面积 S_P 不应小于表 7-2 的规定。

表 7-2　保护导体的截面积

相线的截面积 S/mm^2	相应保护导体的最小截面积 S_P/mm^2
$S \leqslant 16$	S
$16 < S \leqslant 35$	16
$35 < S \leqslant 400$	$S/2$
$400 < S \leqslant 800$	200
$S > 800$	$S/4$

注：S 指柜（屏、台、箱、盘）电源进线相线截面积，且两者（S、S_P）材质相同。

3）手车、抽出式成套配电柜推拉应灵活、无卡阻碰撞现象。动触头与静触头的中心线应一致，且触头接触紧密，投入时，接地触头先于主触头接触；退出时，接地触头后于主触头脱开。

4）高压成套配电柜必须按现行规范的规定交接试验合格，且应符合下列规定：

①　继电保护元器件、逻辑元件、变送器和控制

用计算机等单体校验合格，整组试验动作正确，整定参数符合设计要求。

② 凡经法定程序批准，进入市场投入使用的新高压电气设备和继电保护装置，按产品技术文件要求交接试验。

5）低压成套配电柜交接试验，必须符合现行规范的规定。

6）柜、屏、台、箱、盘间线路的线间和线对地间绝缘电阻值，馈电线路必须大于0.5MΩ；二次回路必须大于1MΩ。

7）柜、屏、台、箱、盘间二次回路交流工频耐压试验，当绝缘电阻值大于10MΩ时，用2500V绝缘电阻表摇测1min，应无闪络击穿现象；当绝缘电阻值在1～10MΩ时，做1000V交流工频耐压试验，时间1min，应无闪络击穿现象。

8）直流屏试验，应将屏内电子器件从线路上退出，检测主回路线间和线对地间绝缘电阻值应大于0.5MΩ，直流屏所附蓄电池组的充、放电应符合产品技术文件要求；整流器的控制调整和输出特性试验应符合产品技术文件要求。

9）照明配电箱（盘）安装应符合下列规定：

① 箱（盘）内配线整齐，无绞接现象。导线连接紧密，不伤芯线，不断股。垫圈下螺钉两侧压的导线截面积相同，同一端子上导线连接不多于2根，防松垫圈等零件齐全。

② 箱（盘）内开关动作灵活可靠，带有漏电保护的回路，漏电保护装置动作电流不大于30mA，动作时间不大于0.1s。

③ 照明箱（盘）内，分别设置零线（N）和保护地线（PE）汇流排，零线和保护地线经汇流排配出。

五、低压电器

1）低压电器的安装，应按已批准的设计进行施工。

2）低压电器的运输、保管，应符合现行国家有关标准的规定；当产品有特殊要求时，应符合产品技术文件的要求。

3）低压电器设备和器材在安装前的保管期限，应为一年及以下；当超期保管时，应符合设备和器材保管的专门规定。

4）采用的设备和器材，均应符合国家现行技术标准的规定，并应有合格证件，设备应有铭牌。

5）设备和器材到达现场后，应及时做下列验收检查：

① 包装和密封应良好。

② 技术文件应齐全，并有装箱清单。

③ 按装箱清单检查清点，规格、型号，应符合设计要求；附件、备件应齐全。

④ 按本规范要求做外观检查。

施工中的安全技术措施，应符合国家现行有关安全技术标准及产品技术文件的规定。

6）与低压电器安装有关的建筑工程的施工，应符合下列要求：

① 与低压电器安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量，应符合国家现行的建筑工程施工及验收规范中的有关规定。当设备或设计有特殊要求时，尚应符合其要求。

② 低压电器安装前，建筑工程应具备下列条件：

a. 屋顶、楼板应施工完毕，不得渗漏。

b. 对电器安装有妨碍的模板、脚手架等应拆除，场地应清扫干净。

c. 室内地面基层应施工完毕，并应在墙上标出抹面标高。

d. 环境湿度应达到设计要求或产品技术文件的规定。

e. 电气室、控制室、操作室的门、窗、墙壁、装饰棚应施工完毕，地面应抹光。

f. 设备基础和构架应达到允许设备安装的强度；焊接构件的质量应符合要求，基础槽钢应固定可靠。

g. 预埋件及预留孔的位置和尺寸，应符合设计要求，预埋件应牢固。

③ 设备安装完毕，投入运行前，建筑工程应符合下列要求：

a. 门窗安装完毕。

b. 运行后无法进行的和影响安全运行的施工工作完毕。

c. 施工中造成的建筑物损坏部分应修补完整。

7）设备安装完毕投入运行前，应做好防护工作。

8）低压电器的施工及验收除按规范的规定执行外，尚应符合国家现行的有关标准、规范的规定。

第二节 安装条件及设备验收

配合土建施工结束以后直至内装修基本完工前这一段时间内，电气工程进入设备元件清点、检查、测试阶段，并应进一步熟悉各种电气图样，安排工程进度，拟订试车方案及安装前的充分准备等。

在电气工程安装前，土建工程及机械设备安装应具备一定的安装条件，否则应进行协调或技术上的调

整，方可进入现场安装。

一、土建工程及设备安装工程应具备的条件

1）与盘柜安装有关的建筑物或构筑物的土建工程质量应符合国家现行的建筑工程施工验收规范中的规定。

2）屋顶、楼板施工完毕，不得有渗漏，室内地面抹灰已完（盘柜基础型钢应在抹灰前安装好），门窗安装完毕，玻璃齐全完整无破损，门可上锁。室内凡进行装修工作时有可能损坏已安装设备或设备安装后不能再进行土建施工的装饰工作应全部结束。

3）拆除对电气安装有妨碍的模板、脚手架等，且现场的土建垃圾及剩余的建筑材料、堆弃物已清理干净。必要时应安排人员重新清理。

4）电气工程的预埋件、预留孔洞的位置和基本尺寸应符合设计要求，并检查预埋件是否牢固。如电缆沟的支架、基础型钢固定螺栓、低压引入装置的构架、上下及横向穿引管路的孔洞、固定槽架及桥架的T形铁等。

5）组织工长、班长对土建工程的设备基础，预留孔、电缆沟等进行验收，不合格的要进行修整。

6）机械设备已基本就位或已运到现场。

二、设备、元件及主要材料的检查、验收和测试

电气设备、元件、主要材料运到现场后应由质量检查人员、保管人员、电气技术人员联合进行检查和验收，其中大型设备应尽量卸在安装位置的附近，移动困难的部件应卸在基础上就位，避免二次搬运。

1）电气设备、元件制造厂的技术文件应齐全，所有的设备、元件应有产品合格证，关键或贵重部件应有产品制造许可证的复印件，其证号应清晰。

2）型号、规格应符合设计要求，附件备件齐全，元件无损坏，外观无机械损伤，几何尺寸应符合设计要求。特别指出的是柜体的几何尺寸要一一实测，实测的项目主要是柜体的对角线和垂直度及柜顶的水平度，其误差应不大于1.5‰，凡现场不能矫正的要通知供货单位或制造厂家修复。

测量柜中带电部件之间、带电部件与地之间的电气间隙和爬电距离，其值应符合表3-10中的规定。测试和试验详见第五章。

3）开关设备、继电器应测试绝缘电阻并进行分合试验、同步试验和通电试验；开关设备要进行传动试验；同时要核对其规格（频率、电流、电压）；仪表、互感器应有检定证书，并测其绝缘电阻、核实电压/电流比。具体方法见第三章预制加工。

电气设备、元件的外壳无凹凸，漆层完整无脱落，手柄无扭斜变形，其内部的仪表、灭弧罩、瓷件等应无裂纹、伤痕，螺钉紧固无锈蚀，接地螺栓完整，紧固螺栓的平垫弹垫齐全。不妥之处应一一修复，必要时应通知生产厂家和供货单位。

4）对于新产品或不太熟悉的电气产品必须详细阅读说明书，只有充分了解其电气性能和机械传动性能后才能进行上述的试验。

5）对主要材料、电缆、导线进行绝缘电阻、直流电阻试验，并检查其质量及绝缘护层的质量情况，并做详细记录，特别是由建设单位供应的材料要将记录及时反馈到监理单位。

6）将各种技术文件装袋妥善保管，不得丢失。同时将检查试验记录一并装袋保管。

7）不符合设计要求或不合格的电气产品应及时通过材料供应部门调换或退货，自行修理应征得供货单位的同意认可，并将修理项目一一记录，作为最后结算的依据。

8）设备、元件的数量应由保管人员亲自过数，上账登记。

三、施工组织设计的到位情况

同第六章。

第三节　开关柜、控制柜的安装

开关柜是电力线路的馈电及保护装置，控制柜是动力设备的起动、保护、控制装置，它们在动力电路中占有很重要的位置，是关键设备。其型号、规格、种类繁多，但安装方法基本相同，主要包括基础型钢的（制作）安装、柜体的安装、硬母线的制作安装三大内容。

一、基础型钢的制作安装

基础型钢一般是现场制作，也有预制的，但为了保证安装的准确性采用现场制作的居多。一是要根据电缆沟沟沿上预埋的地脚螺栓的间隔距离开孔，二是要实测柜体底座的几何尺寸、地脚螺栓的尺寸以及柜的台数。型钢一般选用10号槽钢（高100mm）、也有选用20号或30号槽钢（高200mm或300mm）的，主要是用在多层或高层建筑之中的设备层或无法设置电缆沟的场所，一方面支撑柜体，另一方面增高柜体在地面上的高度，其槽钢底座又可作为电缆或导线敷设的通道。

（一）槽钢的选料

基础槽钢应选用水平度较高的优质型钢，一般不做调直处理。

（二）槽钢的下料及焊接

基础型钢要做成矩形，宽为柜体的厚，长为n个柜体的宽的总和再加上$(n-1)\times(1\sim2)$mm，其中

（1～2）为柜体间隙，是根据柜体的制造质量和安装技术的熟练程度决定的。柜体质量高且技术高超则选1，否则选2。

下料后将端部锯成45°，在平台上或较平的厚钢板上对接，先点焊好，测量其角度、水平度后即可焊接。不直度0.5mm/m，水平度1mm/m，全长误差控制在2‰之内，否则不能保证柜体的安装质量。总长一般每超过3m，即可在中间加焊一根加强连接梁，见图7-1。对接时要腿朝里，腰朝外，要选择较平的一腿面为上面，另一腿为下面。

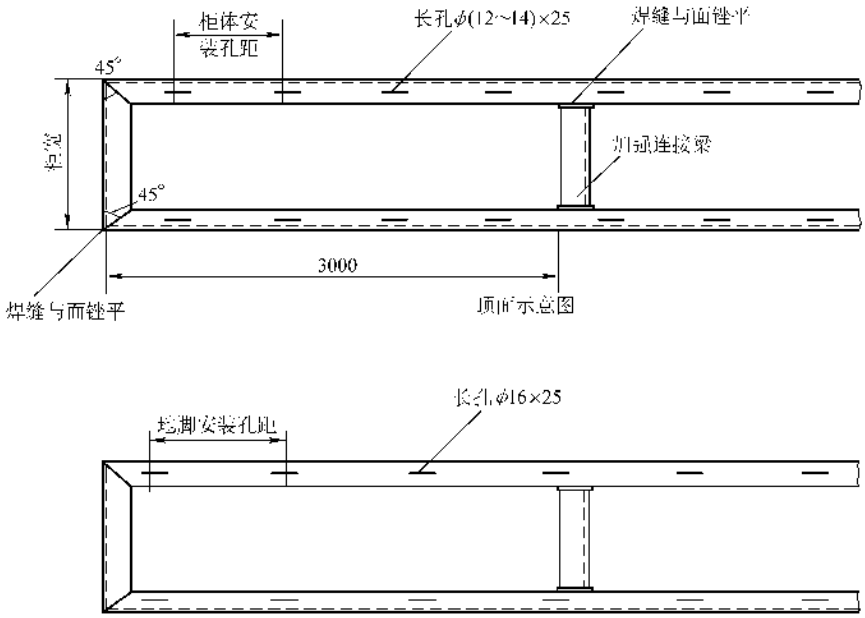


图7-1 基础型钢制作示意图（底面示意图）

（三）测量开孔位置和尺寸

一是要测量配合土建时预埋的基础槽钢的地脚螺栓的纵横间距和直径，并在槽钢的下腿面上划好地脚的开孔位置；二是要测量柜体地脚螺栓的纵横间距（安装尺寸），并在槽钢的上腿面上划好开孔的位置。这里要注意几个问题：

1）要索取配合土建时的图样资料，进行核对；对碰歪碰坏的地脚要进行修整，必要时要重新埋注。碰歪的可拧上两个螺母，然后用钢管套住板正；碰坏丝扣的应用相应的板牙重套一次，否则要重新埋注。

埋注时应先将坏螺栓从根部用气焊割断，然后在旁边用冲击转转孔，孔径一般为埋注螺栓的3倍，把孔内的灰碴掏尽，用清水洗净，再把螺栓尾部割成鱼尾状，放入孔内，用颗粒状的500#水泥砂浆灌注并捣固严实即可。外留尺寸一般为50mm。

2）槽钢两腿的开孔位置应从同一端开始划线定位；上腿的开孔位置还要注意柜间的1～2mm的余量和柜的编号顺序，最好以实物（柜的本体）测量。

3）孔一般为长孔，φ（12～14）×25mm，其长向的中心轴线应位于腿宽长向中心轴线上；上腿面的开孔要保证柜体的前面（垂线）和槽钢腰面（垂线）一致，误差±0.5mm。

（四）开孔工具

开孔应用电钻钻孔，然后用锉锉成长孔。一般不得用气割开孔。

（五）防腐处理

先清除焊碴及毛刺，然后用钢刷将内外的铁锈除掉；内外涂防锈漆一道，色漆两道，色漆要和柜体的颜色一致或对应。

将少许黄油涂抹在地脚螺栓的丝扣上，把基础型钢架抬至电缆沟上，使其螺孔穿入地脚螺栓后放在电缆沟沿上，然后找平找正。找平一般用水平尺测量，超过10m的要用水准仪，其安装误差应符合表7-3的规定。

找平找正调整时，应先准备部分1～10mm厚的用钢板做成的凹型垫片，见图7-2，然后用水平尺或水准仪测量长向的水平度，将较低的一端抬起，用凹型片置于地脚螺栓处，再测量，直至达到要求；长向

找平后再用水平尺测短向，可用1mm凹型垫片调整。

表7-3　基础型钢安装的允许偏差

项次	项　目	允许偏差/mm	
1	不直度	每米 全长	<1 <5
2	水平度	每米 全长	<1 <5
3	位置误差及不平行度		<5

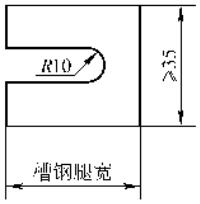


图7-2　凹型垫片示意图

最后再重测量一次，并把悬空的地脚螺栓处，用相应厚度的凹型垫片垫好；这时可将四角和中间部位的螺母套上并稍拧紧，再测量一次，直至合格为止。多片组合的垫片应用电焊点焊连接后固定。

用和螺栓对应的平光垫、弹簧垫垫好，分别将各条螺栓稍拧紧，再测量一次水平，不合格的要进行调整。最后将四角和中间的螺栓拧紧，再把其余的螺栓紧好。

基础槽钢的制作安装是很重要的一环，否则将保证不了柜体的安装要求。

二、落地式柜体的安装及传动机构的调整

柜体的安装主要包括将柜体安装固定在基础槽钢架上，然后进行机械传动部分的调整。

（一）柜体的安装

1）将柜体按编号顺序分别抬到基础槽钢之上，使之地脚螺孔和基础槽钢上腿面上的开孔对正。先用四条螺钉插入孔内，然后找平找正。

2）找正找正应用水平尺、磁性线坠和钢板尺，并准备0.1～1mm厚的凹型片。先测量柜体正面的垂直度，测量方法是将磁性线坠分别置于柜体正面的两个前立柱上，然后把铅锤放下，再用钢板尺分别测量垂线上部和下部与前立柱的距离，如相等则说明柜体前后垂直基础槽钢；如下部距离大，则说明柜体前后面向前倾斜，应该在柜体的下框架前面的螺孔处垫凹型板调整，直至上下相等；反之，柜体向后倾斜，则在下框架后面垫凹型板调整。

用同样的方法测量并调整柜体的侧面，最后再测量一次正面并细调一次，直至前后左右的铅垂线上下距离相等为止，其误差应≤0.5mm。用磁力线坠测量柜体垂直度的方法见图7-3。

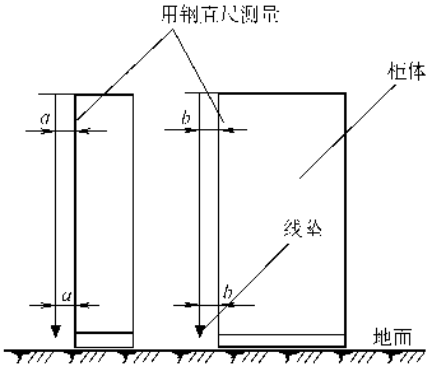


图7-3　柜体垂直度的测量方法

3）多台成列安装时，应先一台一台按顺序测量校正，并调整柜间间隙为1mm左右，然后把柜与柜之间侧面上的螺钉上好稍紧；再进整体的调整，误差较大的还要做个别调整。最后将柜之间的螺钉上好平光垫，弹簧垫拧紧，螺钉的穿过方向应一致。多台柜的安装要保证柜顶的水平度，必要时可用凹型片调整。

4）再复测一次，无误后将柜体的地脚螺栓由下向上穿过螺孔，正好平光垫、弹簧垫拧紧。

柜体的安装应符合表7-4的要求，紧固螺钉一律用镀锌螺钉。

表7-4　盘、柜安装的允许偏差

项次	项　　目		允许偏差/mm
1	垂直度（每米）		<1.5
2	水平度	相邻两盘顶部 成列盘顶部	<2 <5
3	不平度	相邻两盘边 成列盘面	<1 <5
4	盘间接缝		<2

（二）机械传动机构的调整

机械传动机构的调整就是在不通电的条件下，调节各类开关合闸、分闸的机械传动机构，使开关能够可靠、灵活、正确的合闸和分闸。在开关制造厂，这项工作是由电钳工完成的，虽然各种开关在制造时都做了传动机构的调整，但是由于运输、装配及时间的推移，都要出现不同程度的失调。因此，在安装工程中，必须进行机械传动机构的调整，有些方法已在第三章“控制柜、开关柜的制作”中做了介绍。

机构传动机构的调整必须遵守一条规则，这就是在任何条件下、任何人不得强行空合闸或拉闸试验。

凡是在空合闸或拉闸试验中，手感吃力时，必须停止试验，然后仔细观察每个传动部件，有无阻卡、转轴不动，生锈发涩、挂钩失灵、顶丝松脱、弹簧钩脱落或失灵等机械性事故，须经修复后才能进行下一步试验，以免发生断裂、卡死等事故，使调整范围和难度加大，以致损坏开关元件，造成不必要的损失。对于新产品要按说明书仔细调整。

1. PGL 低压柜、动力配电箱的调整

1）闸刀开关的结构，大都是由于合闸杆 160°的转动而带动圆盘转动，圆盘又带动拉杆运动，拉杆的运动使开关闭合、断开。调整拉杆的螺钉杆部分，即调整了拉杆的长度，这样可得到一个合适的长度，使刀闸可靠合闸、分闸；在刀闸的转动轴部位可适当点一点机油，可使其灵活合闸、分闸。

在合闸分闸的过程中，可将灭弧罩取掉，仔细观察动触头插入静触头的深度、夹力、紧密程度和同步性，不合格的要进一步调整。插入深度应大于触头 2/3 宽度。

2）断路器一般分两种，一种是 DZ 系列，一种是 DW 系列。DZ 系列为塑壳式，传动机构较简单，在第三章中“控制柜制作”已详细讲述。DW 系列，容量大，传动机构较复杂。要调整手动合闸、分闸的灵活性、同步性和可靠性。合闸时可用手将合闸线圈（电磁铁）的衔铁按下，然后拨动合闸手把，把开关合上，同时将灭弧罩取下，观察触头的接触情况；然后将合闸线圈的衔铁松开，使其跳闸，再度观察触头的分离情况及拉闸、跳闸时传动机构的动作情况。每发现不正常情况，要及时处理。

调整过程中应将合闸线圈、分励脱扣器线圈的铁心拆下，用汽油棉丝将其衔铁接触面上的油污擦干净，并检查铁心动作时有无阻卡或不妥现象。

同样，在传动机构的转轴部分可点一点机油，加强润滑。

2. 抽屉式开关柜的调整

抽屉式开关柜的断路器是采用插接形式和母线连接的，因此省略了隔离开关。要检查调整滑道，使抽屉推拉灵活自如，无卡阻碰撞现象；插接的动触头和静触头的中心线应一致，触头插接后应紧密且同步；机械联锁动作正确可靠，断路器、断路器分闸后，隔离触头才能分开，抽屉才能拉出。手动合闸、分闸的调整方法同 PGL 柜；检查接地触头的紧密性、可靠性，当抽屉推入时，接地触头应比主触头先接触，拉出时应比主触头后断开；所有的触头不应有机械损伤的痕迹。自动开关、接触器合闸时须将抽屉室的小门关上，合闸后小门被锁住，不能开启，分闸时须将操作手柄按到底，抽屉才能取出。机械联锁机构有失灵者，应调整合适。

3. 手车柜的调整

手车柜的滑道、主触头、接地触头及手动合闸、分闸的调整同抽屉柜。安全隔离板应开启灵活，要随手车的进出而相应动作；机械联锁装置的调整要对应电气原理图中电气联锁一一调整，手车式开关与门有机械联锁，能防止主开关处于合闸位置时把门打开；主开关的插入靠摇杆机构传动，并在开关上标出工作位置、试验位置和断开位置，处于断开位置或工作位置、试验位置指示不正确时，通过连杆使电磁线圈总在脱扣位置，主开关合不上闸；摇杆机构能防止开关带负荷从工作位置插入或开关处于合闸状态时插入。要仔细检查开关指示标尺的位置正确与否，不妥时要调整。手车推入工作位置后，动触头顶部与静触头底部的间隙应符合产品要求，且三相应基本一致。摇动丝杠时如发觉手感吃力，应停止摇动，然后仔细检查各个部位有无阻卡等不妥，修复后才能再度摇动丝杠。

抽屉柜、手车柜都可在传动机构的转轴、传动部位点上一点机油，增加润滑，使之灵敏。

4. 主触头接触电阻的测量

上述柜体各类开关设备在空投合闸时应测量主触头的接触电阻，即导电回路的接触电阻，阻值应在 $10^{-6}\Omega$ 以下，详见第五章“电动机测试”。

（三）开关柜安装要求

（1）成套柜　机械闭锁、电气闭锁应动作准确可靠；动触头与静触头的中心线应一致，触头接触紧密；二次回路及其辅助开关的切换接点接线正确、动作准确、接触可靠；柜内照明齐全。

（2）抽屉柜　抽屉推拉灵活轻便，无卡阻碰撞现象，抽屉有互换性；抽屉的机械联锁、电气联锁的动作正确可靠，断路器分闸后，隔离触头才能分开；抽屉与柜体间的二次回路连接插件应接线正确接触可靠良好；抽屉与柜体间的接触及柜体、框架的接地良好。

（3）手车柜　防止电气误操作的装置齐全，并动作灵敏可靠；手车推拉灵活轻便，无卡阻碰撞现象，相同型号的手车有互换性；手车推入工作位置后，动触头顶部与静触头底部的间隙应符合产品技术条件的要求；手车和柜体间的二次回路连接插件应接线正确接触可靠良好；安全隔离板开启灵活，并随手车的进出而相应动作；柜内控制电缆的位置不妨碍手车的进出，并应固定牢固；手车与柜体间的接地触头应接触紧密，当手车推入柜内时，其接地触头应比主触头先接触，拉

出时接地触头比主触头后断开，且应紧密可靠。

三、硬母线的制作安装

各类开关柜、控制柜的电源母线都是用紫铜板或铝板制成的，有的也用钢板制作，但主要是用做零线或接地线。母线的弯曲制作一般都是冷加工，只有超大截面的才可热加工，但加热的温度不得超过以下规定：

铜材——350℃

铝材——250℃

钢材——600℃

母线的连接可用焊接，也可用螺栓搭接。

（一）母线材料的检查验收

母线材料应有出厂合格证且资料、数据齐全，否则要作物理性能的检验，合格证或检验报告单应装入资料袋内保存，检验项目和要求见表7-5。

表7-5　母线的机械性能和电阻率

母线名称	母线型号	最小抗拉强度/(N/mm²)	最小伸长率(%)	20℃时最大电阻率/(Ω·mm²/m)
铜母线	TMY	255	6	0.01777
铝母线	LMY	115	3	0.0290
铝合金管母线	$LF_{21}Y$	137	—	0.0373

母线的表面应光洁、平整、竖直，不得有裂纹、砂眼、折皱及夹杂物，无明显的机械性外伤；管形、槽形母线不得有变形、扭曲现象。用千分尺测量其厚度和宽度应符合标准截面的要求，母线缺陷引起的截面误差，铜材不超过1%，铝材不超过3%。

下面介绍一下千分尺使用的方法：

将被测工件固定；将定位器拨向刻度侧，逆时针旋转棘轮，使测轴后移，当两个测量面的距离大于被测工件的宽或厚时，即停止旋转；将被测工件的宽或厚面放入两测量面中，顺时针旋转棘轮，当棘轮发出“咯、咯”的响声后即停止旋转，然后把定位器拨向工件侧，即将测量面夹住固定，见图7-4，然后读数。先看固定套管所露出来的毫米数是多少，然后再看固定套管中横线对齐活动套管的刻度，如果固定套管露出来的毫米数的尾数没有超过半个格，(在中横线上有半格线)即读数为露出来的毫米数加上活动套管与中横线对应刻度，活动套管的刻度为小数点后的刻度；如果固定套管露出来的毫米数的尾数正好是半个格，这时活动套管与中横线对应刻度应是“零”，读数即为露出来的毫米整数加上0.5mm；如果固定套管露出来的毫米数的尾数超过半个格，即读数为露出来的毫米数加上0.5mm，再加上活动套管与中横线对应刻度，见图7-5。如果中横线正好指在活动套管刻度的格中间，则应将格估计分成等份计入。

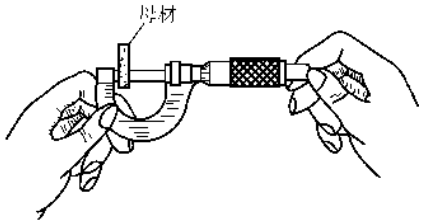


图7-4　千分尺的使用方法示意图

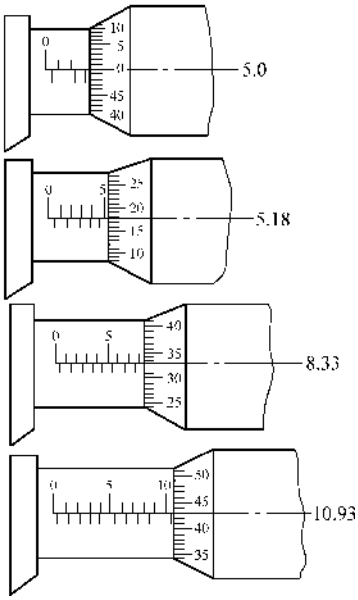


图7-5　千分尺的读数方法

千分尺是精密量具，应注意使用方法和保养。测量工件时，严禁旋转活动套管，因为这时旋紧后不发出声响，容易拧得太紧，这样一方面测量不准确，另一方面易损坏尺子；严禁测量正在转动，发热或者表面粗糙的工件，这样易损坏测量面。千分尺应保持清洁，不用时应放在盒内，要经常涂油，并把定位器拨向刻量侧，以免使用时误操作。

（二）母线材料的矫正

对于变形不太大的不平直的材料，在安装前要进行矫正，矫正的方法有手工矫正和机械矫正两种。

手工矫正就是将母材放在平台或平直的工字钢上，用硬质木锤直接敲打弯曲变形部分，使之平直；也可用木锤或垫块（同质金属块或硬木块均可）垫在母线弯曲变形部分的上面，下面是平台或工字钢，然后用大铁锤直接敲打垫块，使母材间接受力而平直；其中平台和工字钢必须光洁平直，上面无任何杂物及小颗粒，用大锤时力量要适中，用力不得过猛，

以免伤及母材或发生断裂飞溅伤人。

截面较大或变形大的母材需用母线矫正机进行矫正，矫正机见图 7-6，可将母材置于矫正机的平台上且用丝杠将其压住，然后转动圆盘即可矫正。

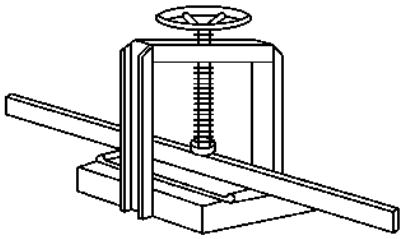


图 7-6 母线矫正机

（三）母线尺寸的测量

母线制作加工前应在其安装现场测量加工尺寸。通常水平或竖直安装的母线，在测量和加工上比较容易，而在弯曲或者水平安装时各段的标高不一致需要拐弯时，以至竖直安装时各段又不在一个垂面上而需要拐弯时，在测量和加工上则应细致进行，尽量减小误差，节约材料，使其美观坚固耐用。

图 7-7 标出了两个不同垂直面上安装一段母线的测量方法，先在两个绝缘子与母线触面的中心各放置一只线坠，然后用尺子量出两条铅垂线的距离 A_1 和两个绝缘子中心的间距 A_2，B_1 和 B_2 可根据实际情况而定，通常尽量把夹角 α 做的大于 90°。将测得的数据在平台上划出大样图，用此作为加工母线的依据。用时为了节省时间，也可用 $\phi 4$ 的铁丝在两个绝缘子之间弯制成图 7-7 中有 α 角的样子，作为加工母线的模型，这样的模型一般做两个，一个用在三相的母线制作折弯上，可使三相做得一致，另一个伸直后作为母线材料的下料依据。

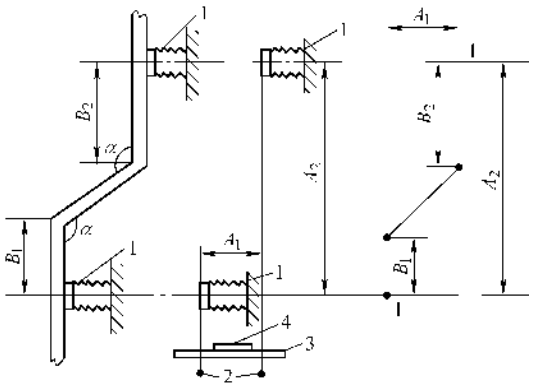


图 7-7 母线的测量方法

1—支持绝缘 2—线坠 3—平板尺 4—水平尺

对于一些弯曲较多或者几何图形较复杂的母线，通常都先用铁丝制作模型，然后再用尺子复测距离尺寸，这样能节约很多时间。

母线的直线连接若采用螺栓搭接时，要注意和前后支持绝缘子的距离，连接处距支持绝缘子的支持夹板边缘应不小于 50mm，上面母线端头与其下片母线平弯开始处的距离应不小于 50mm。其中设置平弯的目的是为了保证母线水平或垂直的一致性，下片母线在支持绝缘子处不产生歪斜及应力，见图 7-8。若采用焊接连接时，其焊处应错开支持点，其距离应大于 200mm 以上。

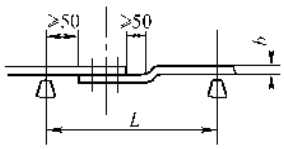


图 7-8 母线搭接

为了运行中检修时拆卸母线的方便，对于较长的母线，可分段制作，并用螺栓连接。分段时应考虑拆卸时的方便，无障碍物且安全等事宜。其他部位不拆卸的连接或是因为母线材料长度不够而需要连接的通常都采用焊接。对于母线的弯曲（除必要的以外）应尽量减少弯曲的数量，进而保证母线的强度。因此，在测量时要综合考虑母线材料的长度、分段的长度以及折弯部分的长度，尽量减少连接点，进而减少材料和工时的浪费。

（四）下料

先按测得的尺寸或者模型伸直后的尺寸，在母线材料上用红蓝铅笔划好线，核对无误后即可切割下料。母线的下料通常使用手工铁锯，对于大截面的，有条件时可用电动无齿锯下料，任何情况下严禁用气割下料。下料后将锯口处的棱角用锉锉成圆弧状。有时为了保证安装尺寸的合适和准确，对于需折弯的母线常采用先折弯再下料切割。

（五）折弯

矩形母线的折弯通常有平弯、立弯和扭弯（麻花弯）三种形式，见图 7-9。

平弯是指在母线宽面上折弯，操作比较容易，常用在母线平放时改变母线方向或者立放时改变母线的间距上；立弯是指在母线窄面上折弯，操作困难，常用在母线平放时改变母线的间距或者立放时改变母线的方向上，立弯一般都大于 90°；扭变是指将宽面扭折 90°，不改变方向，也不改变间距，而是改变宽面和设备端子连接角度，便于和设备连接，也就是当母线的宽面和设备端子面不平行时，需将母线宽面扭成一定的角度，使之和设备端子的平面而平行，进而便于连接。母线最小允许弯曲半径 R 见表 7-6。

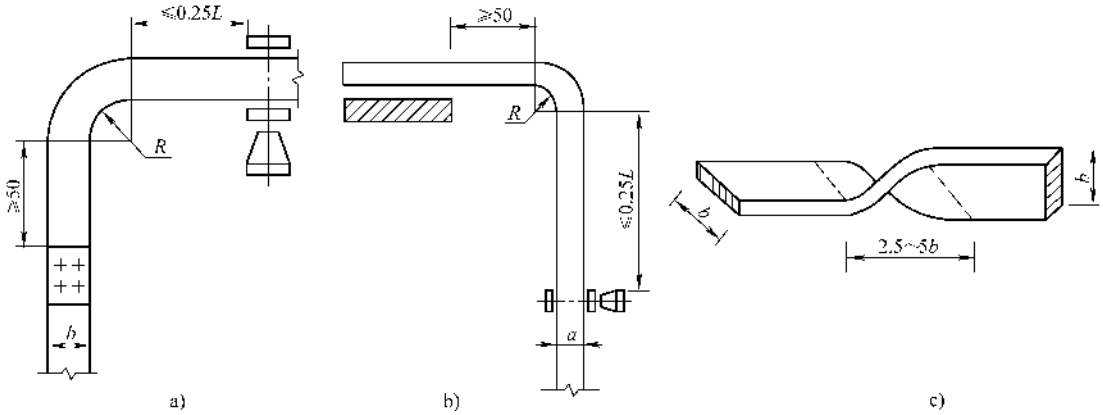


图 7-9　硬母线的立弯、平弯及扭弯

a）立弯　b）平弯　c）扭转 90°弯

a—母线厚度　*b*—母线宽度　*L*—母线两支持点间的距离　*R*—母线最小弯曲半径

母线弯曲部分与连接处的距离应大于 30mm 以上，从弯曲处开始到瓷绝缘子或支撑点的距离应大于 50mm 以上，但不应超过 0.25*L*，*L* 即弯曲处两端支持瓷绝缘子间沿母线中心轴的距离。

表 7-6　母线最小允许弯曲半径 *R*

项次	弯曲种类	母线截面积/mm	最小弯曲半径		
			铜	铝	钢
1	平弯	50×5 及其以下	2*b*	2*b*	2*b*
		125×10 及其以下	2*b*	2.5*b*	2*b*
2	立弯	50×5 及其以下	1*a*	1.5*a*	0.5*a*
		125×10 及其以下	1.5*a*	2*a*	1*a*
3	圆棒	直径 16 及其以下	50mm	70mm	50mm
		直径 30 及其以下	150mm	150mm	150mm

注：*a* 为母线宽度；*b* 为母线厚度。

母线为铝合金管，其弯曲度不应超过 7-7 表的规定。

表 7-7　铝合金管允许弯曲度

管形母线规格（mm）	单位长度（m）内的弯度（mm）	全长内的弯度（mm）
直径为 150 以下冷拔管	<2.0	<2.0*L*
直径为 150 以下热挤压管	<3.0	<3.0*L*
直径为 150～250 冷拔管	<4.0	<4.0*L*
直径为 150～250 热挤压管	<4.0	<4.0*L*

注：*L* 为管子的制造长度（m）。

母线折弯前应准备好按实际用铁丝弯制好的样板，并在弯曲处做好标记。

（1）平弯的弯制　母线的平弯可用平弯机弯制，平弯机可以自制，见图 7-10。将母线平放并穿入机头的两个滚轮之间，滚轮的间隙可根据母线的厚度调节，一般不宜夹得太紧即可；校正弯曲部分的尺寸无误后，拧紧丝杠手柄，缓慢按下弯曲手柄，母线即随之弯曲，用力不要过猛，以免产生裂纹。弯曲的同时应用样板比试，以达到合适的弯曲度，严禁弯曲过度。当稍超过样板 1/5 厚度时，即应停止弯曲，以免过弯。

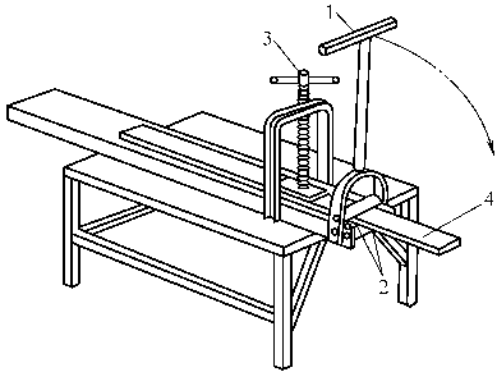


图 7-10　自制平弯机示意图

1—手柄　2—滚轮　3—压力丝杠　4—母线

截面较小的母线可用手工弯制，将母线夹在虎钳的钳口内，母材的两侧应垫上硬木块或同质金属板，并将钳口拧紧；然后用手扳动母线的根部并用木锤敲打，即可弯到合适的角度，同样应用样板比试。手工弯制时要注意使宽面的两侧弯曲一致，并把弯曲侧的垫块按弯曲半径做成圆弧形，以达到理想的角度和弯曲半径。

（2）立弯的弯制　母线的立弯应用立弯机弯制，立机也可自制，见图 7-11。将母线立放插入夹板并使弯曲部分的中点对正千斤顶的中心轴线，上好合适的弯头，拧紧夹紧螺栓然后核对无误后，即可操作千斤顶，将母线顶弯。操作时要仔细观察，发现不适应停止操作。要正确合理选择弯头，见表 7-6。

截面较小的母线也可用手工弯曲，但工艺较复杂。先将母线平放于平台上，弯曲部分的一端用螺栓卡死，另端套入较长的扁形手柄内，扁形手柄应和被弯曲的母线截面积对应，一般能插进即可。将样板置于弯曲部分的内侧并用螺栓固定，样板可用母线同质金属板制成，样板相当于上述的弯头，制作时要按表

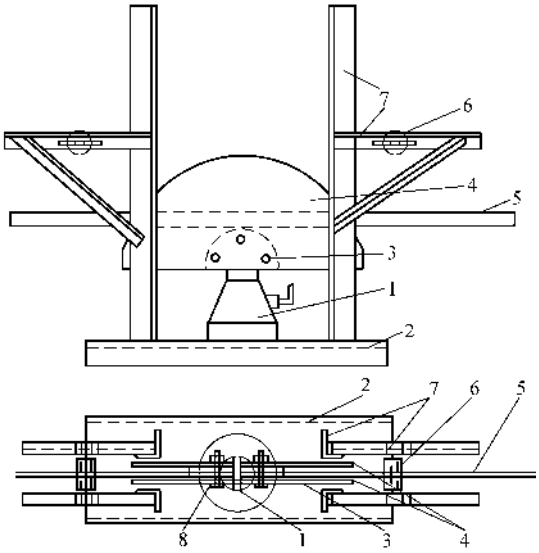


图 7-11 自制立弯机示意图

1—千斤顶 2—槽钢 3—弯头 4—夹板 5—母线 6—挡头 7—角钢 8—夹板螺钉

7-6 选择弯曲半径；然用母线同质金属的锤子敲打弯曲部分的外边使其延伸，敲打的同时用力向内侧搬动手柄使母线弯曲，边敲边搬，不得操之过急，用力不得过猛，用力的方向应和平台面一致，直至弯成为止。敲打时可用两个锤子同时敲打并和搬动手柄协调一致。

（3）扭弯的弯制 扭弯的工具是扭弯器，也可自制加工，见图 7-12。使用时，先将母线需扭弯部分的一端用台钳夹紧，注意垫铝板或硬木板；另一端用扭弯器夹住，用恒力扭动手柄即可扭成所需的形状。手动扭弯器一般只能弯制 100mm × 8mm 以下的铝母线，否则应用气焊加热，并用点式温度计测温，温度不能超过规定数值。扭弯 90°时，扭弯部分的全长不应小于母线宽度的 2.5 倍。

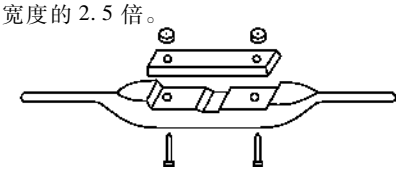
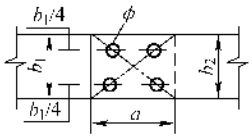
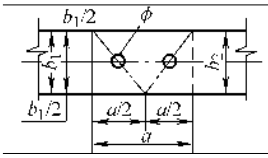
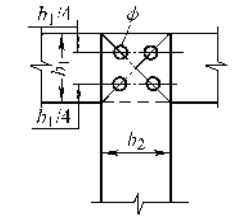
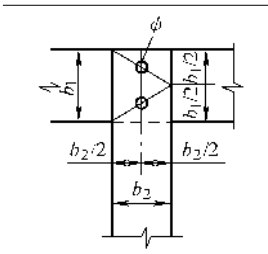


图 7-12 扭弯器示意图

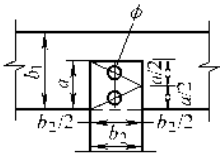
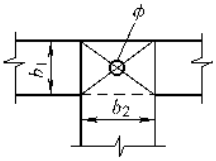
（六）开孔

母线与电气设备的连接或者母线本身需要拆卸的接头以及母线和支持绝缘子的固定都是用螺栓紧固的，其螺栓在母线上的分布尺寸和孔径的大小应符合表 7-8 的规定。

表 7-8 矩形母线搭接要求

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	ϕ/mm	个数	
	直线连接	1	125	125	b_1 或 b_2	21	4	M20
		2	100	100	b_1 或 b_2	17	4	M16
		3	80	80	b_1 或 b_2	13	4	M12
		4	63	63	b_1 或 b_2	11	4	M10
		5	50	50	b_1 或 b_2	9	4	M8
		6	45	45	b_1 或 b_2	9	4	M8
	直线连接	7	40	40	80	13	2	M12
		8	31.5	31.5	63	11	2	M10
		9	25	25	50	9	2	M8
	垂直连接	10	125	125		21	4	M20
		11	125	100 ~ 80		17	4	M16
		12	125	63		13	4	M12
		13	100	100 ~ 80		17	4	M16
		14	80	80 ~ 63		13	4	M12
		15	63	63 ~ 50		11	4	M10
		16	50	50		9	4	M8
		17	45	45		9	4	M8
	垂直连接	18	125	50 ~ 40		17	2	M16
		19	100	63 ~ 40		17	2	M16
		20	80	63 ~ 40		15	2	M14
		21	63	50 ~ 40		13	2	M12
		22	50	45 ~ 40		11	2	M10
		23	63	31.5 ~ 25		11	2	M10
		24	50	31.5 ~ 25		9	2	M8

（续）

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	ϕ/mm	个数	
	垂直连接	25	125	31.5～25	60	11	2	M10
		26	100	31.5～25	50	9	2	M8
		27	80	31.5～25	50	9	2	M8
	垂直连接	28	40	40～31.5		13	1	M12
		29	40	25		11	1	M10
		30	31.5	31.5～25		11	1	M10
		31	25	22		9	1	M8

开孔应使用台钻或钻床，先在母线上划出开孔的位置，并用点冲子在孔的中心冲眼，然后夹紧在钻台上开孔，较厚的母线应浇注机油，孔径一般不大于连接螺栓直径 1mm，孔位应准确、垂直，开孔后用圆锉将毛刺除掉，孔口要光滑，任何情况下严禁用气割开孔。

（七）连接

1. 螺栓搭接

搭接包括触面的处理和紧固螺栓两步，其中触面处理是很重要的一步，也是安装者常常忽视的一步。由于氧化作用和电化作用常使母线的接触面产生氧化物，增大接触电阻，直接影响母线的运行。因此，电气工程中规定，螺栓连接处的接触电阻，不得大于同长度同截面同质材料的 20%，安装操作上也有一定的技术要求。

（1）触面处理　在现场制作时常使用母线平整机或手工锉处理触面。

母线平整机实际上是一个千斤顶和两块用磨床磨光的 50mm 厚的钢块，使用时将触面夹于钢块之间，用千斤顶顶死，逐渐操作千斤顶，进而使触面压平。压好后应用平尺检验，合格后再用金属刷清除表面的氧化膜即可。用平整机处理触面见图 7-13。

手工锉处理触面，要求操作者有较高的钳工操作水平，并随时用平尺检验，合格后即停止锉动。有条件的情况下，处理触面应用铣床或刨床，效率高、效果好。手工锉和机床处理触面，母线截面都有所减小，电气工程中规定，铜材不得减少原截面的 3%，铝材不得减少原截面的 5%。镀银层母线搭接面不得进行锉磨。

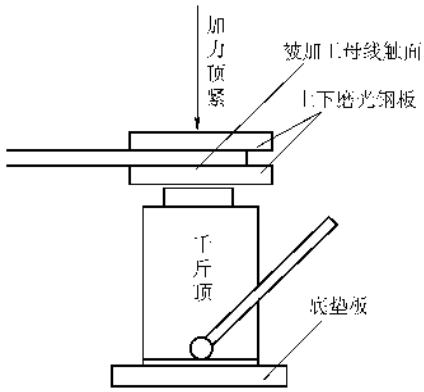


图 7-13　处理母线触面示意图

无论采用哪种方法，触面处理之后，对于铝母线应随即涂上一层中性凡士林，因为铝极易氧化，如加工后不立即安装，触面处应用牛皮纸包好；对于铜母线则应搪锡处理。

搪锡也称镀锡、刷锡、蘸锡，是电气安装工程中常见的防腐工艺，方法也很简单，在现场安装中，准备一口铁锅，或者用 ϕ100mm 钢管一截，长 150～200mm 即可，底部用钢板焊好堵死，将内部用砂纸清除干净，把锡块或锡放入，从底部加热使锡熔化即可。在现场常用酒精喷灯或炉火加热。锡熔化后，用小铲将上部的杂质取掉，把铜母线需要搪锡的部位用砂纸打磨出金属光泽，一定要均匀，然后涂上焊药，同样要均匀；涂好后将其插入锡液中去，这时还应继续加热，插入时间根据截面大小而定，小截面的一般为 1～3s，大截面的一般为 5～10s；拿出后用棉丝将表面的杂物擦掉，即可露出锡的光泽。

喷灯的使用方法较简单，但不得操之过急，先将燃料加好，但不要太满，一般有2/3即可，并把油门关死；再将旧棉丝置于喷头之上，并把棉丝点燃，为了好着可蘸一点酒精或汽油，如是冬季则应点燃的时间长一点；然后边点燃边操作气筒打气，打气时不要时间太久，最好使用带小气压表头的喷灯；当喷头被烧得很热时，即可逐渐打开油门，液体喷出即燃烧起来，火焰的大小可用油门控制，使用一会儿还应再打气，边使边打。用喷灯加热，应使用火焰的中部，同时应注意安全，详见第十九章相关内容。

随成套开关柜配套供应的母线已由厂家将触面加工好，如无设计变更，直接安装即可，不必再加工。

（2）螺栓搭接的技术要求　母线与母线或者母线与电气设备的端子的螺栓搭接应符合表7-7的要求并做到以下几点：

1）母线连接用的机制紧固螺栓及辅件应符合国家标准，螺栓、螺母、锁紧螺母、弹簧垫圈、平光垫圈必须全部镀锌，螺杆和螺母的螺纹配合应一致且紧密无松动现象。不得使用手工加工的螺栓。

2）加工好的接触面应保持洁净，严禁机械碰撞，安装时将包触面的牛皮纸取掉，用干净的棉丝将中性凡士林油擦净，和规定的母线搭接好立即紧固螺栓。

3）母线平置时，螺栓应由下向上穿过螺孔；立放时应由内向外穿过螺孔；其他情况螺栓的穿入应便于维护，螺栓的长度宜为紧固后露出螺母2～3扣，不宜太长。

4）螺栓的两侧均应有平光垫圈，螺母侧还应有弹簧垫圈或使用锁紧螺母；相邻螺栓的垫圈间应有3mm以上的净距，因此开孔时要综合考虑。

5）螺栓受力应均匀适中，不应使电器端子受到额外的应力；触面上多条螺栓的紧固应轮流紧固或对角线紧固，即每条螺栓紧固一圈则换位紧固另一条螺栓，进而使每条螺栓逐渐紧固；螺母不得拧得太紧，紧度应适中，通常应使用力矩搬手紧固；螺栓和力矩扳手的对应关系应符合表7-9的规定；紧好后应用（0.05/mm）×（10/mm）的塞尺检查。

表7-9　钢制螺栓的紧固力矩值

螺栓规格/mm	力矩值/N·m	螺栓规格/mm	力矩值/N·m
M8	8.8～10.8	M16	78.5～98.1
M10	17.7～22.6	M18	98.0～127.4
M12	31.4～39.2	M20	156.9～196.2
M14	51.0～60.8	M24	274.6～343.2

母线宽度在63mm及以上者不得塞入6mm；宽度在56mm及以下者不得塞入4mm。

6）铜母线和铜母线在干燥场所可直接搭接，但一般情况都应搪锡，在其他场所必须搪锡；铝母线和铝母线一般直接搭接，也可搪锡；钢母线和钢母线搭接必须搪锡或镀锌；铜母线和铝母线搭接，干燥场所铜母线应搪锡，否则应有铜铝过渡措施，一般采用铜铝母线短节；钢母线和铜或铝母线，钢应搪锡或镀锌，铜应搪锡；封闭母线螺栓搭接应镀银。

7）母线用螺栓连接后，将连接处外表面的油污用汽油或酒精棉丝擦净，并再用干净棉丝擦干，经风吹干后，在表面和缝隙处涂上2～3层能产生弹性薄膜的透明清漆，以保证接点封闭良好。

2. 焊接连接

母线的螺栓搭接其接触电阻较大，运行中容易发热。采用焊接可消除以上缺陷，但技术和设备要求较高，费用较大。因此，一般情况下不拆卸的连接点及由于母线长度不够而连接另段母线的接点都必须采用焊接连接，母线的焊接一般采用对口焊接。

焊接母线的方法很多，常用的有气焊、电弧焊、碳弧焊、气体保护焊及闪光焊等。工程中要根据安装条件、母线的材质和截面积、具体技术要求等选择合适的焊接方法。

（1）对焊工的要求

1）焊工必须是有焊接母线经验的，并经考试合格的正式焊工担任，焊接母线前应经实际考试合格。

2）考试用的试样及其材料、接头型式、焊接位置、工艺及焊接设备等应与实际安装的项目相同。

3）焊接试样中任取一件，按下列项目进行物理性能检验；当其中一项不合格时，应加倍取样重复试验，如仍不合，则断定为考试不合格，禁止正式焊接。

①　表面及断口检查，断口可用铁锯将焊缝锯开或用材料试验机拉断检查，焊缝中不得有任何程度的裂纹、未熔合、根部未焊透或未焊全等情况；焊缝表面的凹陷、气孔、夹渣等缺陷的总面积不得大于母线截面积的2%；有条件的亦可用X光射线探伤仪进行无损探伤检验。

②　接头的直流电阻应不大于截面和长度相同的原金属的电阻值。

③　焊缝抗拉试验。铝母线不得低于65N/mm^2；铜母线不得低于140N/mm^2；铝锰合金母线不低于130N/mm^2。

（2）母线焊接的工艺程序

1）用机械法或化学法将焊接部位的油污清理干

净，并按材质、板厚、焊接设备、现场条件加工坡口和钝边。

2）将加工好的母线置于焊接平台或垫板上，然后预热焊接部位。

3）涂抹焊药于焊接部位。

4）施焊。

5）冷却和成品保护。

（3）焊口焊接前的处理

1）铜母线的处理：一般情况，对口焊接的母线，宜有60°～90°的V形坡口，1～2mm的钝边，见图7-14。截面较小，厚度δ不超过5mm的可不打坡口，对焊时应留有不大于0.5δ的间隙，见图7-14。截面较大，厚度δ超过25mm的应将坡口作成X形的，见图7-14，并采用双面焊。

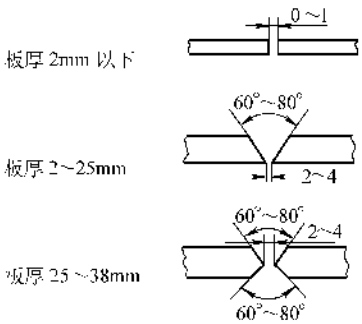


图7-14　铜母线对焊坡口的加工

坡口的加工一般应用刨床或刨边机，量小时也可用手工锉或砂轮机加工，但应符合图样要求。

坡口打好后，用稀盐酸或洗涤剂，加温水后将坡口两边的油污清洗干净，并用清水冲洗；风干后，用0#砂布将坡口两边的氧化铜、斑疵打磨掉，使表面均匀露出铜材的金属光泽。清洗和打磨的范围，一般在坡口两边各20～30mm，截面较大，板厚超过20mm的则应在50mm左右。

2）铝及铝合金硬母线的处理：铝及铝合金硬母线的坡口及加工见表7-10。铝合金管形母线的加工制作应符合下述要求

①　切断的管口应平整，且与轴线应垂直；

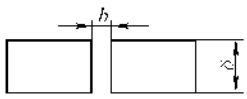
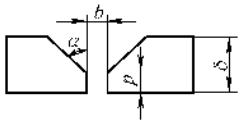
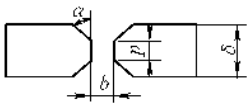
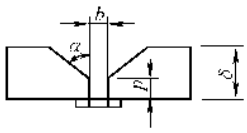
②　管形母线的坡口应用机械加工，坡口应光滑、均匀、无毛刺；

③　母线对接焊口距母线支持器夹板边缘距离不应小于50mm。

铝及铝合金硬母线的清洗一般先用60～80℃的热水将铝母线端部焊口处清洗，洗后用1%氢氧化钠、5%磷酸钠、3%水玻璃混合物，并将其加热到60～70℃，涂刷坡口两侧，然后用干净热水洗净，风干后再用10%稀硝酸溶液侵蚀，待铝板露出金属光泽后用清水洗净即可，范围同上；清洗铝材一般可不用砂布打磨。

有时在现场可用钢刷将铜板的锈迹氧化物及铝板的氧化物清除干净，露出金属光泽来；任何时任何人不得用砂轮打磨母材。

表7-10　铝及铝合金硬母线对口焊焊口尺寸（mm）

接头类型	图　形	焊件厚度δ	焊接结构尺寸			适用范围
			α（°）	b	p	
对接接头		<5	—	0.5～2	—	板件
		5～12	35～40	2～3	1～2	板件或管件
		>10	30～35	2～3	1.5～3	板件
		>5	25～30	6～8 5～6	1～2	板件或管件

（续）

接头类型	图　　形	焊件厚度 δ	焊接结构尺寸			适用范围
			α（°）	b	p	
角接接头		3～12	—	—	—	板件
		＞10	35～40	1～2	2～3	板件
		＞15	35～40	1～2	2～3	板件
搭接接头		＞5	搭接长度 $L \geqslant 2\delta$			板件或管件

管形母线补强衬管的纵向轴线应位于焊口中央，衬管与管母线的间隙应小于 0.5mm，见图 7-15。

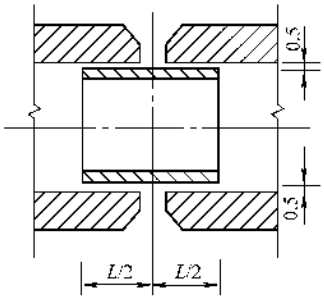


图 7-15　衬管位置
L—衬管长度

（4）焊药及其选择　焊药又称助焊剂、助熔剂，焊粉，是焊接过程中的重要辅助材料，它的作用是和原金属中的氧、硫化合，使金属还原，并驱除焊接过程中所形成的氧化物及杂质，防止金属继续氧化。它能补充有利元素，起到合金的作用，同时有保温作用，能使焊缝缓慢冷却，改善接头的结晶组织，进而得到符合技术要求的接头。因此，要求熔剂的比重要小，熔点要低，粘度要小，能比金属先熔化且浮于金属表面，保护金属不再氧化并起到保温作用；熔剂的化学性能要活泼，易和金属中的氧化合形成熔渣，使金属还原；熔剂应对金属无腐蚀作用，其熔化后的颜色要浅，便于透过液体熔剂观察金属的熔化情况。

1）铜焊药的主要成分是硼砂，市场上有成品出售，即 301，也可按表 7-11 中的成分配制。配制时应先烘干，然后碾细过筛，装瓶密闭保存，严禁受潮。铜焊药极易受潮，因此在使用前必须烘干处理；烘干应用烘箱，温度不大于 120℃，时间一般为 1h。

表 7-11　铜焊药的组成成分

名称	化学分子式	质量分数（%）
硼砂	$Na_2B_4O_7$	68
磷酸氢钠	$Na_2HP_4O_7$	15
二氧化硅	SiO_2	15
木炭	C	2

2）铝焊药由氯化钾、氧化钠、氯化锂等多种化学药品组成，市场上有成品出售、即 401，也可按表 7-12 中的成分配制。如在阴雨天气或沿海地区，应采用吸潮性小的中性焊药，即硼砂 45%，氯化钾 20%，硝酸钾 18%，硫酸钾 18%，氯化钠 12%，经 80～100℃烘干，碾细过筛混合后密闭保存。此药腐蚀性小，焊后不必仔细清洗，但熔化氧化物的能力小，焊接速度应慢一点。同样铝焊粉受潮后应烘干处理。

（5）焊丝及其选择　焊丝就是采用气焊焊接或碳弧焊、氩弧焊时，在焊缝中的充填物，焊丝的化学成分应与被焊工件基本相同，不得混入杂物；焊丝的表面应清洁、无油脂、无锈痕、无油漆等脏物，否则应按母线焊口焊接前的处理方法进行处理；焊丝的熔点应与被焊工件的熔点相近，熔化时不得有强烈的喷溅和蒸发；焊丝所焊成的焊缝应具有优良的机械性能，内部质地良好、无裂纹、气孔夹渣等缺陷。

表 7-12　铝及铝合金用焊药

名称	焊药成分（质量分数）（%）			
	1	2	3	4
氯化钠	28	30	—	45
氯化钾	50	40	40	30
氯化锂	14	—	—	10
氟化钠	28	30	—	45
氯化钡	—	—	40	—

1）铜焊丝的牌号很多，但为了防止氧化和氢的熔解，常采用含有磷、硅、锰等脱氧剂的焊丝，牌号有201、202，见表7-13，焊丝的直径应按母线的厚度选择，见表7-14。

表7-13　铜及铜合金焊丝

牌号	名称	焊丝成分（质量分数）（%）	熔点/℃	焊缝抗拉强度 σ_b/（N/cm^2）			主要用途
				母材	合格标准	一般值	
HS201	特制紫铜焊丝	锡1.0～1.2 硅0.35～0.5 锰0.35～0.5 磷0.1 铜余量	1050	紫铜	180	210～240	适用于紫铜的氩弧焊及氧-乙炔气焊时作为填充材料。焊接工艺性能良好，力学性能较高
HS202	低磷铜焊丝	磷0.2～0.4 铜余量	1060	紫铜	180	200～230	适用于紫铜的碳弧焊及氧-乙炔气焊时的填充材料
HS221	锡黄铜焊丝	锡0.8～1.2 硅0.15～0.35 铜59～61 锌余量	890	H62黄铜	340	380～430	适用于氧-乙炔气焊黄铜和钎焊铜，铜镍合金、灰铸铁和钢，也用于镶嵌硬质合金刀具
HS222	铁黄铜焊丝	锡0.7～1.0 硅0.05～0.15 铁0.35～1.20 锰0.03～0.09 铜57～59 锌余量	860	H62黄铜	340	380～430	用途与HS221相同，但流动性较好，焊缝表面略呈黑斑状，焊时烟雾少
HS224	硅黄铜焊丝	硅0.30～0.70 铜61～69 锌余量	905	H62黄铜	340	380～430	用途与HS221相同。由于含硅5%左右，气焊时能有效地控制锌的蒸发，清除气孔，得到满意的力学性能

表7-14　焊丝直径及母线厚度

母线厚度/mm	焊丝直径/mm	气焊焊嘴号码
<1～5	1.5	H01-2　4～5#
1.5～2.5	2	H01-6　3～4#
2.5～4	3	H01-12　1～2#
5～8	3～5	H01-12　2～3#
9～15	5～6	H01-12　3～4#
15以上	6～8	H01-20　3～5#

2）常用的铝焊丝有HS301纯铝丝、HS302铝焊丝、HS311铝硅合金丝、HS321铝锰合金丝、HS331铝镁合金丝等几种，HS301、302适用于纯铝气焊、氩弧焊及碳弧焊及要求不高的铝合金构件，HS311是一种通用性焊丝，焊时其流动性较好，有较高的抗裂性和机械强度，HS321适用于铝锰合金，有良好的抗腐蚀性和机械强度。

焊接硬铝时，采用与被焊接金属相近的焊丝很容易裂，必须采用含硅量在4%～6%（质量分数，下同）的铝硅焊丝；焊接含镁量小于40%的铝锰合金时，必须选用含镁量5%的铝镁焊丝。焊丝的直径应按母线的厚度选择，见表7-15。

在选择焊丝时，如无合适的或市场购不到时，则可从母线上剪切成细条状经处理后使用，截面积应按

表中的直径换算。焊接前焊丝应用细砂布打磨出金属光泽，必要时先进行清洗处理。

表 7-15 焊丝直径及母线厚度

母线厚度/mm	焊丝直径/mm	气焊焊号码
<1.5	2	H01-6 2#
1.5～3.0	3	H01-6 2～3#
4～5	3～4	H01-6 4～5#
5～10	4～8	H01-12 2～3#
10～20	8～15	H01-12 3～5#
		H01-20 3～4#

（6）焊条及其选择　焊条就是采用电弧焊时，在焊缝中的充填物。焊条的技术要求同焊丝，焊条和焊丝的不同之处就是焊条的外皮上已涂上了焊药，其焊芯和焊丝的主要成分是基本相同的，但是焊条的焊芯已添加其他脱氧剂，有硅、锰、磷、镍、锌、铁等。

1）铜母线的焊接常用的焊条见表 7-16，一般采用铜 107，其直径的选择应按母材厚度和焊接设备选择，见表 7-17。

表 7-16 铜焊条类别及用途

型号	统一牌号	电源极性	熔敷金属化学组成类型	焊接适用范围
TCu	铜 107	直流反接	Cu≥99%的铜	铜结构、紫铜
TCuSi	铜 207	直流反接	Si 约 3%的硅青铜	铜、硅青铜、黄铜
TCuSnA	铜 217	直流反接	Sn 约 6%的磷青铜	磷青铜、铜、黄铜
TCuSnB	铜 227	直流反接	Sn 约 8%的磷青铜	磷青铜、铜、黄铜
TCuAl	铜 237	直流反接	Al 约 8%的铝青铜	铝青铜、其他铜合金
TCuMnAl	铜 307	直流反接	Al 约 6% Mn 约 10%的铝青铜	白铜

表 7-17 焊条直径及母材厚度

板厚/mm	焊条直径/mm	焊接电流/A	备　注
2	3.2	120～140	预热 400～500℃
3	3.2	120～140	预热 400～500℃
4	3.2	150～170	预热 400～500℃
5～10	5	180～200	预热 400～500℃

2）铝母线的焊接常用的焊条见表 7-18，其直径的选择应按母材的厚度及焊接设备选择，见表 7-19。

表 7-18 铝焊条类别及用途

型号	统一牌号	电源极性	焊芯化学组成类型
TAl	铝 109	直流反接	Al≥99.5%的铝
TAlSi-1	铝 209	直流反接	Si 约 5%的铝硅合金
TAlMn	铝 309	直流反接	Mn 约 1.0%～1.5%铝锰合金

表 7-19 焊条直径及母材厚度

板厚/mm	焊条直径/mm	焊接电流/A	备　注
2	3.2	70～90	85A
3～6	4	100～130	115A
7～8	5	130～150	140A
10	6	150～190	170A

（7）焊接方法及设备的选择　截面积较小的铜或铝母线接头（一般 5mm 厚以下的母材）常用气焊焊接；气焊的设备较简单，方便，主要有氧气瓶及氧气、乙炔瓶及乙炔气（电石乙炔气筒已淘汰）、焊炬及焊把、减压器及把线等。

截面积较大的铜或铝母线的接头（一般 10mm 左右厚的铜或铝母材）常用电弧焊焊接；电弧焊的设备主要有直流电焊机、焊钳、面罩、把线等，此外必须有 220/380V 的电源。

厚度大于 10mm 及以上截面很大的铜铝母线应采用碳弧焊或气体保护焊（主要指氩弧焊），有条件的应采用闪光焊。

碳弧焊的设备主要有直流电焊机、气焊工具（预热用）、石墨板、碳精极及挡块、焊钳、把线、石棉板等，此外应有 220/380V 的电源。

氩弧焊的设备主要有交流或直流焊机及控制柜、气焊工具（预热用）、氩气瓶及氩气、导气管，钨极焊把及把线、供水水源等，此外应有 220/380V 电源。

闪光焊设备价格昂贵，通常工业制造厂或电气开关厂具备。

具体焊接方法的选择主要看其工作现场、财金能力、技术状况等，上述的选择方法不是绝对的，有时电弧焊和气焊也能完成大截面母线的焊接，这主要取

决于焊工的焊接技术及焊接工艺的制定、实践经验的总结等。

（8）硬母线的气焊焊接方法

1）铜母线的气焊：气焊把和焊嘴应选用比同规格钢板焊接用的大一号或两号。将处理干净的铜母线放在平垫板上组对。对口应平直，其弯曲偏移不应大于1/500，中心轴线偏移不得大于0.5mm，垫板是由开槽的铸铁或普通厚钢板制成，要平整，见图7-16。

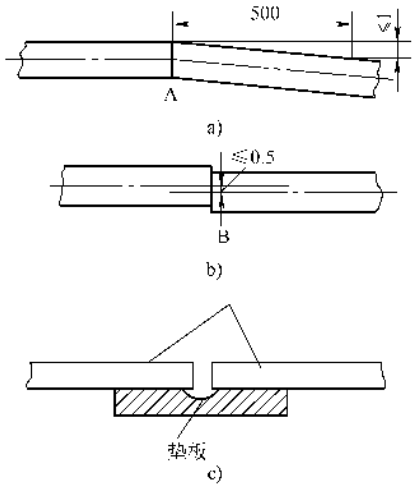


图7-16　对口偏差及焊接垫板示意图

a）对口允许弯折偏移　b）对口中心线允许偏移　c）焊接板

铜母线焊接采用中性焰（中性焰就是氧气与乙炔气的比例适中，即1∶3，能获得较高的温度；如氧化焰中氧气比例大，大于1∶3，虽然能获得很高的温度，但易氧化不利焊接，易生成氧化亚铜脆性夹杂物，生成气孔和裂纹；碳化焰即小于1∶3会使焊缝中熔氢量增加，也会生成气孔和裂纹）。先预热铜焊丝201，使其加热后沾上一层铜焊粉301；然后预热焊口处，截面较小的母线应加热到400～500℃，这时紫铜板表面起波发黑，用木棍划一下手感发滑，即被烧焦，也可用点温计测量，加热长度应为母线宽度的2倍以上。大于5mm的母线应再用一套焊把加热，预热温度达700℃左右，预热长度500mm，同时边焊边加热。

焊口达到预热温度后，即把铜焊粉301撒于焊口上，同时将焊丝的端部和焊口的两个端部多蘸些焊粉，然后进入焊接。厚度小于5mm的宜采用左焊法，大于5mm的宜采用右焊法；有时为了保证熔透并填满坡口，可将焊件一边垫起，形成倾斜约为10°的上坡焊。

左焊法就是指在焊接过程中，焊丝与焊嘴由焊缝的右端（操作者右手持焊把，左手持焊丝，面对焊缝）向左端移动，焊丝位于火焰的前方，焊嘴指向焊接前进方向，见图7-17；右焊法是指焊丝与焊嘴由焊缝的左端向右端移动，焊丝位于火焰的后方，焊嘴指向焊好部分而焊丝指向前进方向，见图7-17。

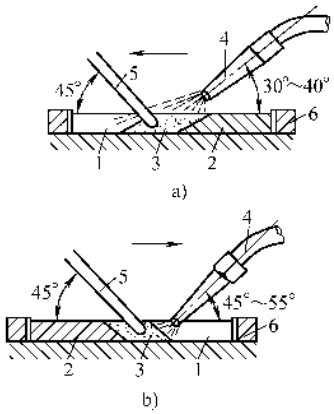


图7-17　铜母线的气焊方法

a）左焊法　b）右焊法

1—母线端头　2—焊缝裹埋焊的金属　3—熔坑　4—焊嘴　5—焊条　6—碳精块

在起焊点处，焊嘴倾角要大一点，并使焊嘴往复运动，以增大热量且加热均匀；焊接过程中倾角要适当减小，左焊法一般为30°～40°，右焊法为45°～55°；结束时更要减小，一般应小于30°，见图7-18。

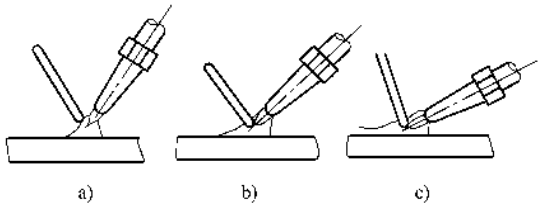


图7-18　不同焊接阶段焊嘴的倾角

a）预热　b）焊接　c）收尾

填充焊丝时，当其熔滴送入熔池后，立即将焊丝抬起，让火焰向前移动，形成新的熔池，并继续加入焊丝。焊丝应保持在焰心前端，使熔滴连续加入熔池。在焊接过程中，焊嘴和焊丝应作均匀协调的摆动。通常焊嘴在沿焊缝向前移动的同时，应在垂直焊件的方向作上下运动、沿焊缝作横向运动或作圆圈移动。而焊丝除向前移动外，要配合焊嘴作小幅度的运动，并搅拌熔池，挑出熔渣。焊嘴和焊丝的摆动方法与幅度，由工件厚度、材质、焊缝尺寸而定，见图7-19。

焊接铜母线应注意事项：

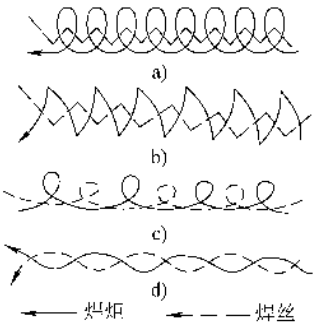


图 7-19 焊炬与焊丝在焊接中的摆动方向

a)、b) 适用于较厚的焊件

c)、d) 适用于较薄的焊件

① 为了减少铜的高温氧化，一般情况下火焰的焰心末端离焊件表面的高度要比焊接钢板稍高一点，为 4～6mm。

② 熔池温度的判断，看到坡口处熔化液体冒泡，说明温度未达到，铜液发亮无气泡时，即温度达到，即可投入焊丝焊接。温度未到时，应不断用蘸有焊粉的焊丝向焊接处熔敷焊粉。

③ 铜液流动性大，焊把运动要快，火焰围绕熔池上下左右运动、划圈时，要注意火焰的吹力，防止铜液四溅或散开。

④ 厚度小于 5mm 时，每道焊缝应一次焊完，大于 5mm 时，应两次或多次焊完，焊第二次前必须清理焊渣；清理焊渣时应使母线冷却后进行，一般应低于 300℃。通常用钢刷或万向角磨机清理，应打磨出金属光泽为止，再用皮老虎吹净，然后重新预热、加焊粉按前述焊接。

⑤ 焊丝的长度应保证每一道焊口焊完，焊丝宜选长一点的，不够长时，应预先接好，中途不得更换焊丝。

⑥ 焊接过程中，要严禁铜母线受到外力撞击或振动，以避免接头位移、变形、折断开裂或铜液流失。

⑦ 焊缝两端要多熔化些焊丝，以防止冷却后收缩变形。

⑧ 焊接完后不得立即移动母线，以免产生裂纹或断裂。自然冷却或加热至 500～600℃时，可用锤轻击再加冷水急冷至常温。但小于 5mm 厚的母线焊完后可稍冷后即用小锤轻击，然后自然冷却至常温。

⑨ 冷却后的铜母线应清除焊缝表面的熔渣，通常用 60～180℃的清水刷洗，通过清除往往会发现焊接的缺陷。

⑩ 焊完后要经质检人员检验验收，焊缝应符合质量标准。

2）铝母线的气焊：铝和铜的性质不同，因此要特别注意。铝虽熔点低，但易产生三氧化二铝，其熔点高达 2050℃，比重较铝大，焊接过程中易夹在铝液中或沉入熔池底部，很难排出；液态铝可熔解大量的氢，易使焊件产生气孔；铝件焊接变形大，会使得焊口产生裂纹；铝在 400℃左右时强度很低，接近熔点时性质很脆，会造成塌陷和熔池下漏烧穿，遇到轻微的撞击就会毁坏；铝熔化时，没有明显的颜色变化，温度不易掌握，铝液流动性大，容易造成铝液流失，导致塌陷。综上所述，铝的焊接必须采用经实践证明确实是正确的焊接方法，并有可靠的防护措施，才能把接头焊好。

厚度在 5mm 以下时，可用比焊碳钢略小一点的焊把和焊嘴。大于 5mm 厚时，应选用比焊碳钢大一号的焊把和焊嘴，必要时还应有一套预热焊把。

焊接火焰应用中性焰或轻微碳化焰，为了防止铝的氧化，严禁氧化焰。

焊丝选用铝焊丝 301，将处理好的焊丝先烘烤除去潮气，再将铝焊粉 401 用酒精或蒸馏水调成糊状（每 100g 焊粉加 50g 酒精或蒸馏水），可加微热，然后用小刷刷于焊丝上，并加热烘干。刷时要均匀，厚度一般为 0.5～1.2mm。要随用随调，放置后容易失效。

将处理好的母线按图 7-15 组对好，开始预热；对于小于 5mm 厚度的铝母线可不必预热，厚度大于 5mm 的厚大母线，应用几个焊把同时预热，使其胀缩均匀、防止裂纹、减少变形。预热温度一般为 250～350℃，可在预热区多划几道蓝色粉笔线，当颜色逐渐减退，线条的颜色与铝相近时即可继续加热熔化铝材进行焊接。有条件的应用点温计多点测试温度，以免过热。

铝母线的焊接应选用两个起焊点，见图 7-20，第一个起焊点是从距右端 40～50mm 的 A 点按箭头方向一直焊到左端，然后再从 B 点第二个起焊点向相反方向焊接至右端，接头处应重合 20～30mm。先把糊状焊粉刷于坡口上即可焊接。

焊接方法基本与铜焊相同，薄母线采用左焊法，以防过热烧穿；厚母线采用右焊法，以便观察熔池的温度和铝液的流动情况。

火焰的运动有两种情况，一是做上下摆动的前移，摆动幅度 3～4mm，见图 7-21a，焊丝位于熔池的前沿，并做轻微的上下跳动，但与焊嘴的方向相反。这样火焰下时使铝熔化，并吹成熔池，火焰上时与焊丝相遇，使其熔化滴入熔池，熔池有冷却的机会而不致产生下塌现象。这种方法适合于 5mm 以下的铝母

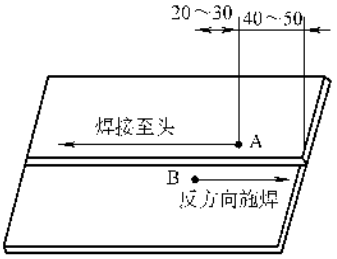


图 7-20　起焊点的确定

线。二是焊嘴保持一定高度，对准熔池，直线前移，高度 3～5mm，而焊丝在火焰范围内做上下摆动，见图 7-21b，下去时焊丝插入熔池形成熔滴填充焊缝，并拨开表面氧化膜，随即又从熔池抽出，这样机械地破坏熔池表面的氧化膜，搅动熔池使杂质浮起排出，形成良好的焊缝。这种方法适合于 5mm 以上的厚板。

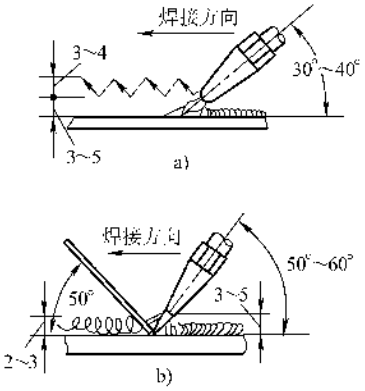


图 7-21　焊炬的操作方式

a）焊炬跳动式前移　b）焊炬平稳前移

同时应注意以下几点：

①　在焊接过程中，对于薄板应不断用焊丝试探性地拨动金属表面，如感到其带有粘性，并且熔化的焊丝能与焊缝金属熔在一起，则说明已达到熔池形成温度，即可焊接。

②　对于厚板应随时注意金属表面的变化，当光亮的银白色逐渐变成暗淡的银灰色、表面氧化膜微微起皱、本体金属在火焰吹力下有游动现象时，即可进行焊接。

③　一般情况下，发现焊缝的边棱角有倒下现象时，即迅速滴入熔化焊丝进行焊接。

④　一般应一次焊完一道焊口，不得已中断时，接头处应重合 20～30mm；应尽量采用单层焊，较厚时第二遍应选较第一遍焊大一号的焊丝，并应将第一道焊渣作机械处理，露出全泽光泽。

⑤　焊好后必须清理焊缝上的残渣，一般用 60～80℃热水和硬毛刷子冲刷残渣及焊粉，以干燥风干后看不出有白色或黑色的斑迹为宜，否则再冲洗刷净为止。

⑥　焊好的铝母线应经质检人员检查。

（9）硬母线的金属极电弧焊焊接方法

1）铜母线的电弧焊：采用直流电焊机反接法，即母线接负极，焊把接正极；焊条选用铜焊条 107，使用前应用烘箱烘干，300℃4h，并用干燥的焊条保温筒装好拿到现场。

将处理好的铜母线按图 7-15 和图 7-16 对接好，用气焊把预热焊口，应用中性焰预热，预热温度 400～500℃，预热长度大于母线宽度的 2 倍；厚板预温度应在 700℃左右，长度应大于 500mm。预热温度达到后可在焊口处撒一些铜焊粉 301，即可立即引弧焊接。

引弧应在垫板上进行，并根据引弧情况调节电流，电流的调节可按表 7-16 选择。引弧后即把电弧送至焊口上，采用短弧焊，焊条垂直母线，可略向前倾一点，焊条顶端与焊件的距离应保持在 5mm 左右，随着焊芯的熔化边将焊条插入熔池，同时边将焊条垂直于焊口向前推进，这三者要协调一致，这也是焊工难以掌握的技术。

不宜做横向摆动，可适当地做往复直线运动，为保证根底部焊透，在运条过程中，必须保持熔池前面留出一个被电弧吹成的小圆穴，其直径略小于焊条直径。

运条时，若发现熔渣与铜液混合不清时，即可把电弧拉长些，同时焊条前倾，焊条与前进方向成 30°左右，往熔池后面推送熔渣。这样熔渣被推送到熔池后面，等熔渣和铜液分清后，焊条再恢复到正常角度继续焊接。

板厚宜采用多层焊，第一层采用较细的焊条，电流稍小一些；第二层可用较第一层稍粗的焊条，电流应大一些，并做好层间的熔渣处理。多层焊时，每层的焊接方向应相反，且焊层应薄一些，既可使气体和熔渣析出，又使焊缝受热均匀。

双面焊焊反面封底焊时，必须先清除根部熔渣，且电流宜大一些。

其他注意事项和铜的气焊相同，见前述“铜母线气焊应注意事项⑥～⑩”；此外这里强调说明一点，电焊时更换焊条必须快，因此焊接时要有三个人直接操作，分工必须严格而明确，其中一个焊接，一人递焊条并辅助作业，另一人预热。为了保证焊接温度不下降，快速更换焊条，第二人在第一人焊接时，要站在第一人的右手侧（右手持焊把），随时做好递条的动作，当前一根焊条即将焊完时，第二人迅速从

保温筒内取出焊条，递与第一人的右手侧易更换焊条的位置，这时第一人已焊完前一根焊条，迅速张开焊钳，将余条卸掉且举起焊钳于更换焊条的位置，夹住第二人递来的焊条继续引弧焊接。两人的动作要配合默契，应事先演示熟练。在焊接进行的过程中，第三人要连续加热母线，必要时要两个焊把同时分别加热母线的焊口两侧，这时加热温度可偏低一些，但不得加热焊缝，以免氧或碳过多，对焊接不利。

2）铝母线的电弧焊：采用直流电焊机、反接法，焊条选铝焊条 109，烘干处理；预热温度 250 ~ 300℃，焊粉用铝焊粉 401。

铝母线电焊操作基本与铜母线电焊相同，但要注意铝和铜的性质不同。

铜母线和铝母线的电弧焊要特别注意电焊机的选择，必须具备焊接过程中良好的动特性，也就是频繁的短路和引弧的变化时，电焊机的特性曲线坡度大，电压变化时，电流强度则无剧烈变化；在用细焊条和小电流焊接时容易引弧，均匀熔化而无飞溅。

由于电焊的热量远远大于气焊的热量，因此焊接速度要快，辅助加热的温度也可以低一点。此外焊条的选择必须用优质焊条，须经试焊确实无误的焊条才能采用。由于铜、铝的电弧焊技术不易掌握，则应在实践中摸索总结，提高焊接质量。

（10）硬母线的碳弧焊焊接方法　碳弧焊就是用碳棒或石墨作为电极，使之和母线接触而产生电弧，电弧既可加热母线，又可熔化焊丝而形成焊缝。较之气焊和电弧焊碳弧焊容易掌握，且焊接质量高。

1）铜母线的碳弧焊：母线的处理同前；母线厚度为 2 ~ 5mm，坡口为 60° ~ 70°，不留钝边，间隙为 0 ~ 2mm；厚度为 6 ~ 10mm，坡口为 60° ~ 70°，钝边 1 ~ 2mm，间隙 2 ~ 3mm；母材厚度 12mm 时，可不开坡口，间隙为 2 ~ 3mm，厚度为 15 ~ 20mm 也可不开坡口，间隙为 8 ~ 10mm。无坡口时底部必须垫衬，可用铜、钢、碳板或石棉板，但必须干燥、无锈蚀、熔点高，以保证焊接质量且焊后不与焊件粘住。

将处理好的母线放在焊接平台的石墨板上，平台可用宽 200mm、长 500mm 的槽钢制成，见图 7-22；先把石墨垫板放在上面，且石墨垫板中间应开一条比母线宽的半圆槽，见图 7-16c；石墨板必须干燥勿潮，否则对焊接不利。焊缝对准半圆槽，再用压板把母线固定好，不要压得太紧，应使母线受热后有伸缩余地。

采用正接法（即母线接正，焊把接负），将系统接好，并将焊把的水冷却系统接通。碳弧焊采用正接法是为了消除电弧偏吹，通常是将接“+”端的多

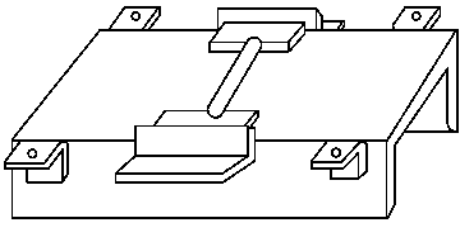


图 7-22　焊接平台

芯线接于焊缝处或者分成两股接于母线的两端。冷却水接通后要检查焊把处是否漏水，否则要修复，漏水会给焊接带来麻烦和不利。然后进行预热。

预热可用气焊，也可用碳弧直接加热。引弧时应从石墨挡块或引弧碳块上进行，引燃后移至焊缝处，沿着坡口或焊缝来回移动；大而厚的母线还应同时用两把气焊加热母线焊缝的两端，加热长度一般在 500mm 左右。预热的同时应烘烤处理好的铜焊丝 201，涂上水玻璃后滚上焊粉 301，厚度要均匀，一般为 0.5 ~ 1mm 左右，焊丝应有足够的长度，能保证焊完一道焊口，少接头。预热温度为 650℃，大而厚件应在 750℃，预热温度达到后即可焊接。

焊接方法可采用右向焊或左向焊，见图 7-23。先在焊缝处撒上焊粉，碳弧从左至右将坡口底部熔化，以达到底部良好的成型，紧接着加入焊丝，从左至右将焊缝焊满一次成型焊完。加入焊丝的速度、电极移动的速度要配合好，电弧的移动不要忽高忽低或来回摆动，应使电极与母线表面保持一定距离和角度，采用大电流时应在 20 ~ 40mm 之间，电流选择见表 7-20。

表 7-20　紫铜碳弧焊接规范

母材厚度/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊丝直径/mm	电极直径/mm
2 ~ 5	250 ~ 350	32 ~ 40	5	10 ~ 12
6 ~ 8	350 ~ 450	32 ~ 45	5	14 ~ 16
9 ~ 10	450 ~ 600	35 ~ 45	5	18 ~ 20

由于采用冷水冷却焊口，石墨板及挡块弄湿后应用气焊烤干再用，一般是多准备几件调换使用。电极尖端因焊接损耗，应每焊完 1 ~ 2 道口后用锉修整成锥形，其尖端角度范围为 45° ~ 75°间，角度小而消耗快，但电弧稳定；角度大易产生电弧偏吹，不利于焊接，见图 7-24。

焊接过程中常用变化电极角度的方法来克服电弧的偏吹，见图 7-25。图 7-26 给出了厚度不同的母线焊接时的装配图，供参考。其他注意事项参见铜母线

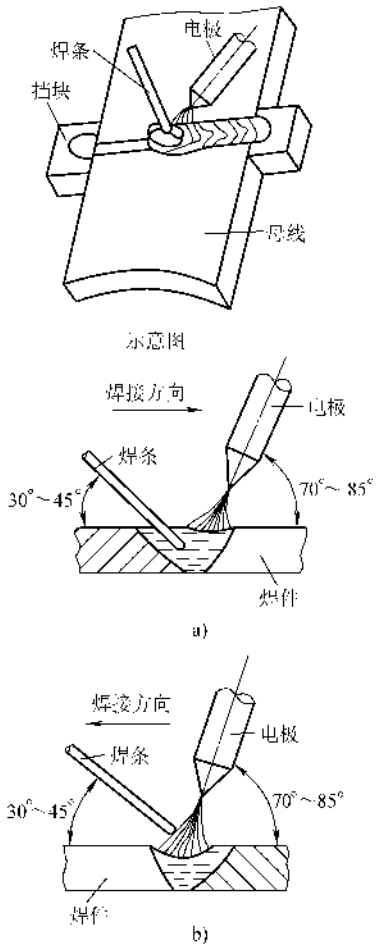


图 7-23　电弧焊焊接方法

a）右向焊　b）左向焊

的气焊及电弧焊。

2）铝母线的碳弧焊：基本与铜母线相同，但要注意铝和铜的性质不同。采用直流焊机正接法，301 铝焊丝，401 铝焊粉，预热温度 250～350℃，电流选择见表 7-20。截面不大的母线一般用右焊法，利用焊丝伸入焊接熔池跟着电弧向前推进，能有效地把覆盖在熔池表面的氧化物硬壳拨碎。厚度较大的母线需多层焊，多层焊时每层氧化铝渣要迅速用焊丝拨出，如焊缝有过热现象，应停顿一下，待冷却到 500℃时再继续焊。

其他注意事项要参照前述铝母线气焊和电弧焊的注意事项执行。

（11）硬母线的氩弧焊焊接方法　氩弧焊就是在焊接的过程中，用氩气（惰性气体）将电弧和焊缝与外界空气隔离开，杜绝了氧化物的产生，保证了焊接质量。氩弧焊的焊嘴有两种用途，一是将钨极夹住用作产生电弧的电极，二是将氩气从钨极的四周喷出

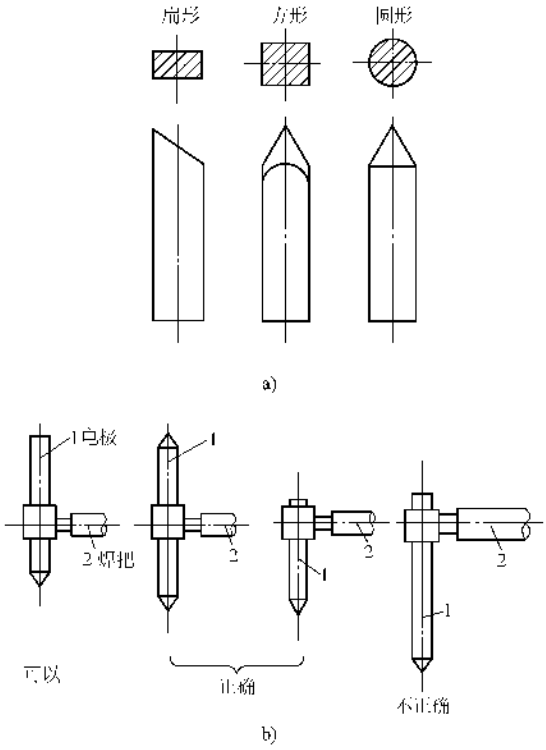


图 7-24　电极

a）常用电极的形状　b）电极的夹持方法

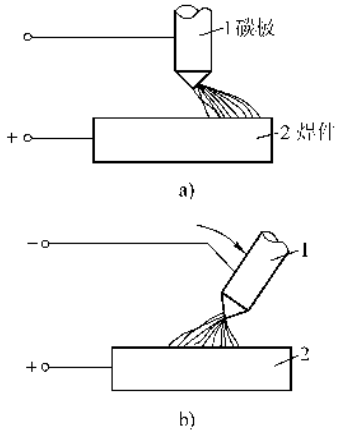


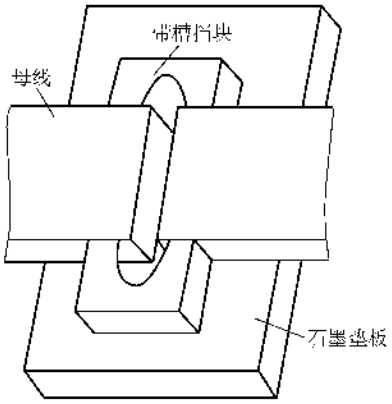
图 7-25　克服电弧偏吹的方法

a）偏吹的电弧　b）克服方法

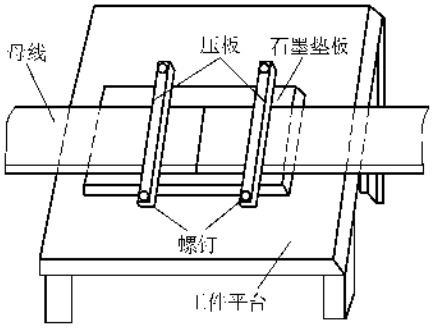
保护电弧，因此也叫做喷嘴。氩弧焊省略了焊粉的使用，避免了残渣对焊缝的腐蚀。由于氩气对焊接区域的冲刷，使接头显著冷却，改善了接头的组织和性能，减少了焊体的变形。氩弧焊设备示意图见图 7-27。

氩弧焊大都是机械自动焊，也有手工钨极氩弧焊，但主要用于薄板。

铜和铝的氩弧焊操作基本相同，主要区别是预热温度不同，钨极直径的选择、电流的选择、焊丝的选



a)



b)

图 7-26 焊接装配示意图

a）截面较大的铜母线对接焊装配示意图

b）厚度不大的铜母线对接焊装配图

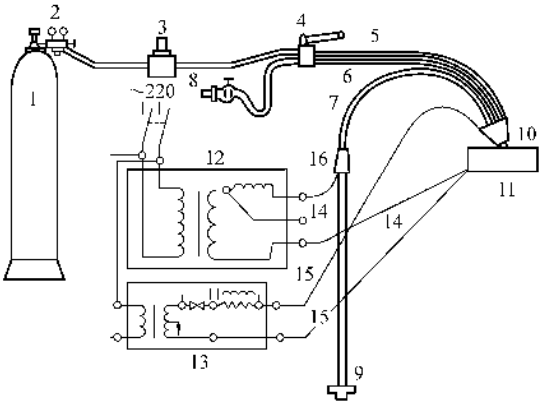


图 7-27 氩弧焊设备示意图

1—氩气瓶 2—减压阀 3—气量计 4—水和气开关 5—气管 6—入水管 7—出水管 8—水龙头 9—放水口 10—焊炬 11—工件 12—焊接变压器 13—高频稳压器 14—焊接电缆 15—高频导线 16—缺水保险器

择、电源的选择、氩气流量调节的不同。铝宜用交流焊机，铜宜用直流焊机正接、预热温度和焊丝选择焊前处理、焊接平台制作等同前所述。

1）手工钨极氩弧焊操作方法：将处理好的母线装置在垫板或焊接平台上，组对好后即可预热，温度达到后即可在石墨板上引弧，电弧稳定后，将电弧引入焊接区进行焊接。将电焊机的电源开关合上，并接通水和氩气。

一般先采用点焊把焊口固定再施焊，这样可防止变形。点焊的大小间距视厚度及宽度而定，一般为 2 或 3 点。点焊应尽量小而薄，一般不加焊丝而直接用熔化的基本金属来定位，如加焊丝必须在基本金属熔化形成熔池后添加。点焊后应在焊点处停留，以免焊点被氧化。其中焊丝应用细砂布打磨出金属光泽并经烘烤后再使用。

焊接时，焊矩、焊丝和母线的相互位置，要便于操作并能很好地保护熔池，见图 7-28，焊丝的倾角应小一些，小到不影响加焊丝，否则将扰乱电弧及气流的稳定性。一般常采用左焊法，焊矩应均匀地作直线运动，钨极要对准焊缝中心，但不要和熔池、焊丝接触，以防止钨夹渣；焊丝不要进入弧柱区，否则焊丝易与钨极接触而使钨极氧化，焊丝熔滴飞溅，破坏电弧稳定性；但焊丝也不能离得太远，这样不但不能加热焊丝，而且易卷入空气，降低熔区的热量。因此焊丝必须在弧柱周围的火焰层内熔化并抽出，再送进熔化，往复运动。焊丝送入的速度则由熔池温度及熔液的流动情况决定。焊丝不能拉到氩气保护范围以外，以免氧化。焊炬一般距母线一般在 10 ~ 20mm，运动要均匀，保持电弧长度不变。控制熔池的熔化温度是由焊接速度和拉长或压低电弧来达到的。

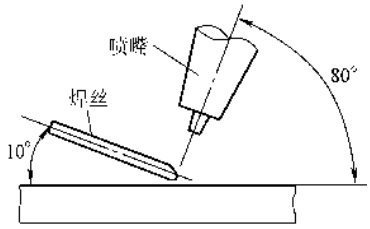


图 7-28 焊矩和焊丝的倾角

结尾时，在收弧处的熔池里多填充点焊丝熔滴，然后使电弧慢慢离开，同时必须继续送出氩气保护 5 ~ 15s；也可将电弧引自熄弧板上再熄灭。铝的焊接规范见表 7-21 和表 7-22。

2）自动氩弧焊操作要点：采用左焊法，不必预热，焊嘴距母线 8 ~ 20mm，焊嘴与垂直轴线的倾角一般为 20° ~ 40°。焊接时，使焊炬做幅度不大的前后

（纵向）摆动，能防止薄板烧穿，能增加厚板的熔深和熔宽。焊接规范见表 7-23 和表 7-24。

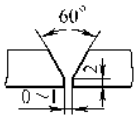
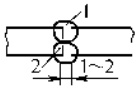
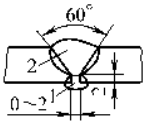
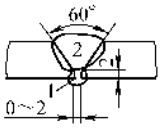
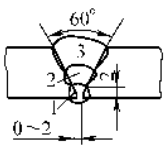
表 7-21　碳极电弧焊接铝母线规范

母线厚度/mm	电流强度/A	碳电极直径/mm	石墨电极		焊缝尺寸/mm	
			圆形直径/mm	正方形面积/mm	宽度	高度
1～3	100～200	10	8	8×8	15	1
3～5	200～250	12.5	10	10×10	15	1～2
5～10	250～400	15	12.5	12×12	15～20	2～3
10～15	350～550	18	15	14×14	15～20	2～3
15～20	500～800	25	20	18×18	20	3～4
20～30	700～1000	—	25	22×22	20～25	3～4
45	1000～2000	—	30	25×25	30	4～5

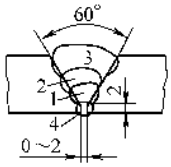
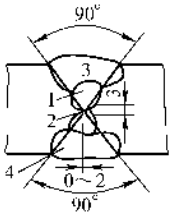
表 7-22　铝及铝合金手工钨极氩弧焊规范

板厚/mm	钨极直径/mm	焊接次数	焊丝直径/mm	喷嘴直径/mm	焊接电流/A	焊接电压	焊接速度/(mm/min)	氩气耗量/(L/min)
1	1.5	1	3	5～7	40～70	15V	400	4～6
1.5	2	1	3	5～7	50～80		350	4～6
2	2	1	4	6～8	60～90		300	6～8
3	3	1	4	8～10	90～130		250	6～8
4	4	1	4	8～12	110～150		200	8～12
5	5	1	5	10～12	140～200		150～200	12～20
6	6	1	5	12～14	200～250		150	15～25
10	6	2	6	12～14	200～300		100	15～25

表 7-23　铝及铝合金对接接头金属极半自动氩弧焊规范

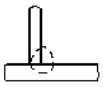
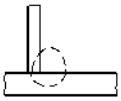
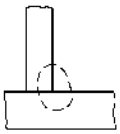
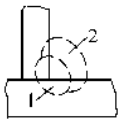
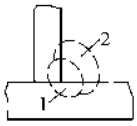
板厚/mm	坡口型式	焊接位置	焊接顺序	焊接规范			焊丝		氩气流量/(L/min)
				焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(mm/min)	直径/mm	送丝速度/(m/min)	
6		平	1(正)	200～250	24～27	400～500	1.6	5.9～7.7	20～24
		横、立	1(正) 2(背)	170～190	23～26	600～700	1.6	5.0～5.6	20～24
		平	1(正) 2(背)	210～240	24～26	450～650	1.6	6.3～7.3	20～24
8		平	1(正) 2(背)	240～270	24～27	450～550	1.6	7.3～8.3	25～30
		横、立	1(正) 2(正)	190～210	24～28	600～700	1.6	5.6～6.3	25～30
10		平	1(正) 2(正) 3(背)	240～260	25～28	400～600	1.6	7.3～8.0	25～30
		立	1(正) 2(正) 3(背)	200～220	24～28	400～550	1.6	6.1～6.8	25～30

（续）

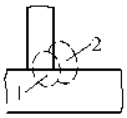
板厚/mm	坡口型式	焊接位置	焊接顺序	焊接规范			焊丝		氩气流量/(L/min)
				焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(mm/min)	直径/mm	送丝速度/(m/min)	
12		平	1(正) 2(正) 3(正) 4(背)	230～260	25～28	350～600	1.6	7.0～8.0	25～30
16		平	4道	310～350	26～30	300～400	2.5	4.3～4.8	30～35
		立、横	4道	220～250	25～28	150～300	1.6	6.6～7.7	30～35

注：正表示在坡口面一边焊接；背表示在坡口的背面焊接。

表 7-24　铝及铝合金丁字接头金属极半自动氩弧焊规范

板厚/mm	坡口型式	焊接位置	焊脚长/mm	焊道数	焊接规范			焊丝		氩气流量/(L/min)
					焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(mm/min)	直径/mm	送丝速度/(m/min)	
4		全	5～8	1	160～180	22～24	350～500	1.6	4.7～5.3	16～20
6		平横	6～8	1	220～250	24～26	500～600	1.6	6.6～7.7	20～25
		立	6～8	1	190～210	25～28	400～500	1.6	5.6～6.3	20～25
8		平横	8～10	1	250～280	25～27	500～600	1.6	3.4～3.8	24～28
		立	8～10	1	200～230	25～29	400～500	1.6	5.9～7.0	24～28
10		平横	—	2	240～280	25～29	600～700	1.6	3.4～4.3	24～28
		立	—	2	200～230	25～29	550～650	1.6	5.9～7.0	24～28
12		平横	—	2	250～280	25～29	400～500	1.6	4.3～4.7	25～30
		立	—	2	220～250	25～29	300～450	1.6	6.6～7.7	25～30

（续）

板厚/mm	坡口型式	焊接位置	焊脚长/mm	焊道数	焊接规范			焊　丝		氩气流量/(L/min)
					焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(mm/min)	直径/mm	送丝速度/(m/min)	
16		全	—	2	270～300	25～27	350～600	1.6	3.5～4	25～30

3）注意事项如下：

①　焊前必须检查钨极的装置情况及伸出长度，一般为5mm左右，钨极应位于焊嘴中心，不准偏斜；焊接前应用酒精棉球将焊嘴擦干净。

②　氩气的纯度应大于99.9%，焊丝和母线必须清理干净。

③　焊机必须接地良好；使用前应检查水管、气管是否接好；检查焊炬的弹性夹头及夹紧情况，检查喷嘴的绝缘情况；气瓶不能倒置，远离焊接区；移动时要轻慢，否则应将易损件取下；定期检查控制器的工作情况。

④　焊接过程中发生断弧，不得关闭氩气，应对准原焊接处待20s后再重新弧焊接。断弧后的焊接应往后推20mm重焊。

⑤　其他参见母线的电焊、气焊各点。

（12）母线焊缝的质量检查及验收　母线焊缝应符合以下检验标准：

1）焊缝表面无肉眼可见的裂缝、凹陷、缺肉、气孔及夹渣等缺陷。

2）咬边深度不得超过母线厚度的10%，且总长度不超过焊缝长度的20%。

3）母线对接焊的上部应有2～4mm的加强高度；气焊及碳弧焊的焊缝高应在其下部有凸起的2～4mm，焊口两侧各凸出4～7mm的高度。

4）焊缝的对口应符合（8）中讲述的对口的要求。

5）焊缝的物理性能应符合（1）中讲述的物理性能的要求。

6）焊接部位应在测量时调整好并应符合下列要求：

①　离支持绝缘子母线夹板边缘不小于50mm。

②　同一片母线上宜减少对接焊缝；两焊缝间的距离应小于200mm。

③　同相母线不同片上的直线段的对接焊缝，其错开位置应不小于50mm。

7）焊缝在母线安装前应将残存的焊药和熔渣等不妥清理干净。

（八）母线的安装

母线经过上面讲述的一系列加工制作后，要装设在支持绝缘子或母线夹上，这就是母线的安装。母线安装的部位一是要安装在柜体的顶部，再就是要安装在角钢支架和墙上，以至用绝缘子吊装屋顶或支架上。目的是将母线从室外或变压器上引入柜内或设备上，见图7-29。

把柜顶的盖拆掉，将制作加工好的母线抬到柜上，按原来测量的位置放在支持绝缘子或母线绝缘夹板上。先把每一段母线用塑料带捆扎在支持绝缘上加以固定，捆扎点不得少于两点，然后用红蓝铅笔画出母线和绝缘子用螺栓固定的螺孔位置，画出母线和每一个回路连接的螺孔位置。螺孔的位置应和母线的中心轴线对称，和回路连接的螺孔必须三相同时画出，以取得一致性，螺孔的位置和孔径应符合表7-7的要求。画好后将母线抬下用钻床或台钻按前述的方法开孔。

同样应将母线抬到角钢支架上，将开孔的位置画出。

和支持绝缘子固定应开长孔，以便当母线温度变化时，使母线有伸缩的余地，不致拉坏瓷绝缘子。长孔的孔径由柜上的支持绝缘子决定，一般是（ϕ10～ϕ12mm）×20mm。因此，有些柜采用了夹板或卡板和绝缘子固定，有的则采用了母线绝缘支持夹板固定母线，这样则不必开孔，但与回路的连接仍应开孔。目前市场上开关柜的类型和新产品不断推出，则应按柜体本身来决定，有的产品和回路的连接采用了插接，省掉了开孔。

1. 在柜顶上的安装

柜顶母线室（槽）内已随柜配套安装了绝缘子或母线夹板。母线在母线室的安装有立装和平装两种，这是由支持绝缘的构造决定的。

（1）母线在绝缘子上的固定

1）用螺栓直接固定在绝缘子上，见图7-30a，直接固定应在母线上开长孔；螺母不宜拧得过紧。

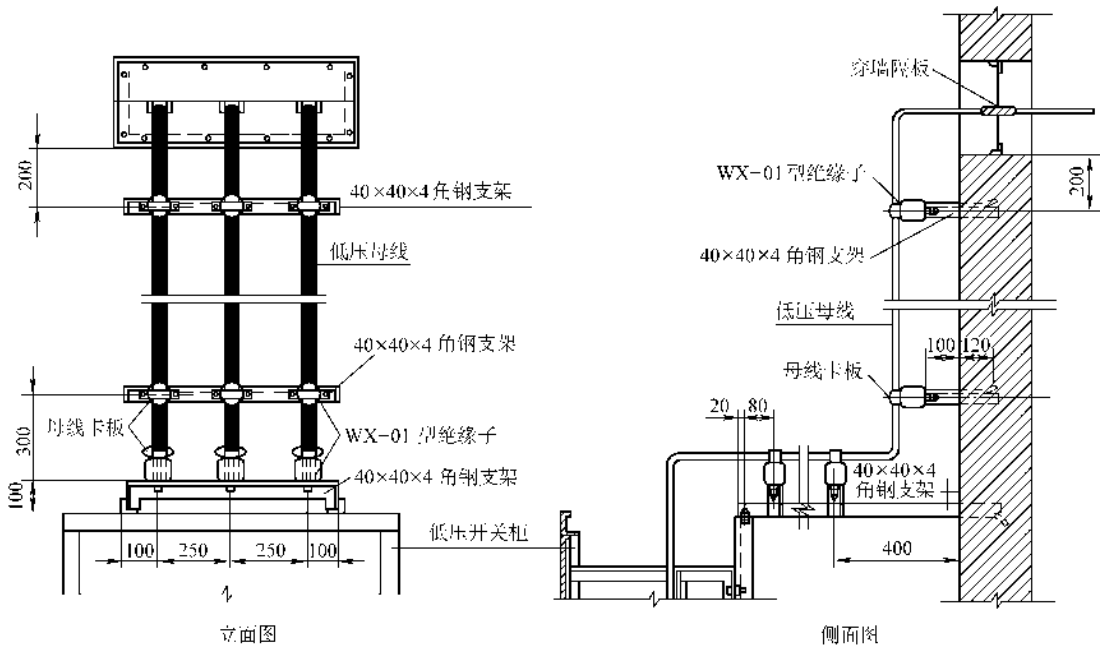


图 7-29 母线从室外引入柜内

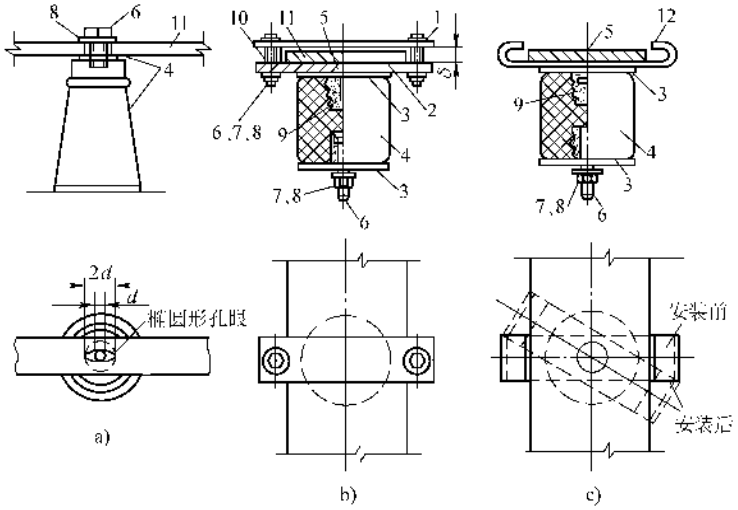


图 7-30 母线在瓷绝缘子上的固定

a）用螺栓直接固定母线 b）用夹板固定母线 c）用卡板固定母线

1—上夹板 2—下夹板 3—红钢纸垫圈 4—绝缘子 5—沉头螺钉 6—螺栓 7—螺母 8—垫圈 9—螺母 10—套筒 11—母线 12—夹板

2）用夹板固定，见图 7-30b，这种方法母线上不开孔，先将下夹板用沉头螺栓固定在绝缘子上，并在下面垫好红钢纸垫片，其螺帽则和下夹板平；然后将母线放在下夹板上，上面压上上夹板，再将两边的夹紧螺钉上好即可。夹紧螺钉的紧固不宜太紧。

3）用卡板固定，见图 7-30c，这种方法母线上也不开孔，先将卡板用沉头螺栓固定在绝缘子上，同样垫好红钢垫片，螺帽和卡板平，把母线放在卡子内，把卡子扭转一定角度即可卡住母线。

4）同相多条母线在绝缘子上的固定一般采用图 7-31 的方法，平放时要使母线与上压板之间有 1～1.5mm 的间隙，立放时母线间应有垫片，母线上部与上压板之间有 1.5～2mm 的间隙。

（2）母线在绝缘夹板上的固定 母线绝缘夹板由

上下两部分组成，三相母线分别立放于夹板的凹形开口内，见示意图 7-32，再把夹紧螺栓拧紧即可。

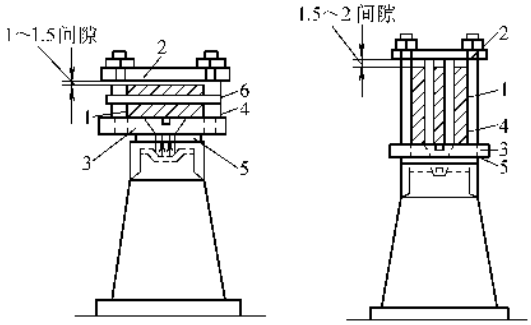


图 7-31　多条母线在瓷绝缘子上的固定

1—母线　2—上部压板　3—下部压板　4—螺栓　5—垫片　6—支持板

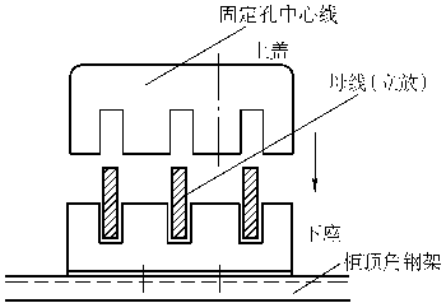


图 7-32　夹板示意图

柜顶的母线安装好后，要把每个回路的支母线按前述要求用螺栓和母线连接好，支母线一般都随柜配套由厂家装好，用螺栓连接即可。同时把从支母线取得电压的主开关的线圈的线接好，通常是在支母线上钻上一个 ϕ3mm 的小孔，攻螺纹后用机螺钉连接。攻螺纹时一般先将支母线从刀闸上拆下，先在上面开孔，开孔的位置应距边缘 10mm 以上，然后手工攻螺纹，完毕后再重新装上，线圈线的固定同样应在螺栓上有平垫和弹垫，导线应搪锡。

2. 母线在支架上的安装

先丈量尺寸制作支架。支架一般用角钢制作，大型母线也有用槽钢制作的，并且在第四章“配合土建工程预埋管理的施工”已在墙上预埋了 T 形铁，加工好后安装在柜和墙之间即可，见图 7-29。和墙的固定是直接焊接在 T 形铁上，如没有预埋则应在墙刨洞将支架直接注入墙内，用 500# 水泥砂浆灌注；和柜体可直接焊，也可用螺栓固定。无论哪种方法都应将支架找平找正，如有多排支架则应整齐对称。

然后把绝缘子装在支架上，绝缘子和支架间应垫红钢纸垫片，并且装绝缘子前应将支架刷和盘柜相符的色漆。装绝缘子时，必须使每一相的绝缘子在一条直线上，且三相要平行，其中中相还应和进户窗口的中心对正。因此支架做好后，固定绝缘子的开孔很关键，否则将保证不了上述的要求。画线要准确，开孔位置确定后应立即用点冲子在开孔中心冲样，一般开长孔。

绝缘子安装好即可按前述方法将固线安装在绝缘子上。

3. 母线在绝缘子上固定的技术要求

1）绝缘子和盘柜、支架的固定应平整牢固，中心轴线和支持面应垂直，不应使其所支持的母线受到额外应力；

2）当母线工作电流大于 1500A 时，每相交流母线的固定金具或其他支持金具不应成闭合磁路，否则应按设计规定采用非磁性固定金具或其他措施；

3）母线在支持绝缘子上的固定死点应位于母线全长或两个母线补偿器间的中点；

4）母线及其固定装置应无显著的棱角，以防止尖端放电。

4. 母线温度补偿器的安装

母线在温度变化时应有伸缩的余地，一般长度每超过 20m 或按设计规定安装补偿器。补偿器实际是一个软母线组成的接头，安装在两个母线段中间，其截面积一般是母线的 1.2 倍。

补偿器通长有两种形式，一种是采用多片和原母线同质的薄板（不大于 1mm）裁成和原母线同样宽度、长不大于 200mm 叠成后在原母线两段间与母线螺栓搭接。要求同前，但各片间应除去氧化层，铝质涂中性凡士林或复合脂，铜质搪锡，用于封闭母线则应镀银。镀银一般由专业厂家加工。

另一种是采用市场上的成品伸缩接头或是现场制作伸缩接头。伸缩接头一般是在原母线两段间与母线焊接，常采用手工电弧焊，方法及要求同前。

伸缩接头的数据见图 7-33 及表 7-25。

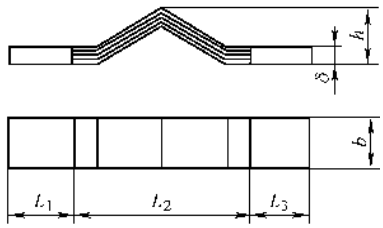


图 7-33　伸缩接头的外形尺寸

伸缩接头的制作

1）按规定尺寸将同质薄板裁好，并将每片薄板端部的氧化膜处理干净；薄片的片数应保证稍大于母

线截面即可。

2）用石墨板刻成一个尺寸比母线截面稍大的框架，其厚度度、宽度视母线截面而定，要有一定的强度即可，见图 7-34。

表 7-25 母线与母线连接的伸缩节尺寸表

型号规格	主要尺寸/mm					
	b	δ	h	L_1	L_2	L_3
SHB_2-50×5	50	5	50	75	160	75
SHB_2-60×6	60	6	50	90	160	90
SHB_2-80×6	80	6	50	80	180	90
SHB_2-80×8	80	8	60	80	180	90
SHB_2-100×8	100	8	60	110	190	110
SHB_2-120×8	120	8	60	130	190	130
SHB_2-100×10	100	10	60	110	190	110
SHB_2-120×10	120	10	60	130	190	130
SHB_2-120×12	120	12	60	130	190	130

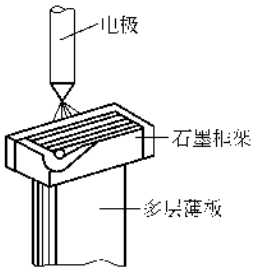


图 7-34 伸缩接头的做法

3）把薄板条叠在一起，在窄面附加一块厚度为 1.5～2mm 的 π 型片将薄片卡住装入框架，并将框架内的所有间隙用薄片挤紧，并保证上端面和框架水平，所有接触面接触良好。

4）采用直流电弧焊预热端面，达到预热温度后应撒上焊粉，加大电流使端部薄片熔化并可加焊条，使其熔为一体，然后把电弧缩短用焊条插入熔池表将端头焊完。焊好后应高出框架 3～4mm。

5）拆去框架将焊接面刨平并打好坡口，可用前述方法和母线焊接好。焊接时应电流大、速度快，避免过热，焊接要求及对施焊者要求同前。

5. 大型多片矩形母线的安装

通常采用吊装法，应在建筑物的顶板预埋 ϕ10～ϕ18mm 的圆钢环（根据母线的重量），然后用 ϕ8～ϕ16mm 的钢丝绳经拉线绝缘子将母线吊起，吊点用绝缘板将每片母线隔开并用螺栓夹紧，见图 7-35。

6. 金属封闭母线的安装与调整

（1）在各段母线就位前，应对外壳内部、母线表面、绝缘支撑件及金具表面进行检查和清理，并应进行相关试验；

（2）吊装母线应使用尼龙绳或套有橡胶管的钢丝绳，并不得碰撞和擦伤外壳；

（3）各段封闭母线布置就位后，应按下列顺序进行调整：

1）离相封闭母线相邻两相母线外壳的中心距离应符合设计要求，尺寸允许偏差为 ±5mm；

2）母线与设备端子的连接距离应符合设计要求；采用伸缩节连接时，尺寸允许偏差为 ±10mm；

3）外壳与设备端子罩法兰间的连接距离应符合设计要求；当采用橡胶伸缩套连接时，尺寸允许偏差为 ±10mm；

4）母线导体或外壳采用对接焊口连接方式时，纵向尺寸允许偏差为 ±5mm；

5）母线导体或外壳采用搭接焊接连接方式时，纵向尺寸允许偏差为 ±15mm；

6）离相封闭母线中的导体与外壳的同心度允许偏差为 ±5mm，不满足时，应通过导体支撑结构进行调整。

（4）外壳短路板应按产品技术文件的要求进行安装、焊接；

（5）穿墙板与封闭母线外壳间应用橡胶条密封，并应保持穿墙板与封闭母线外壳间绝缘；

（6）当金属封闭母线设计有伴热装置时，伴热电缆的固定应保证与母线及外壳的电气安全距离，并应密封伴热装置在封闭母线上的孔洞；

（7）调整过程中，应仔细核查支承处的标高与其他设备的安装位置，应避免对母线进行切割加工；

（8）应在调整完毕后，再进行外壳的固定和母线的连接；

（9）外壳封闭前，应对母线进行清理、检查、验收。

（10）金属封闭母线的焊接应符合前述内容的有关规定。

（11）金属封闭母线的螺栓连接除应符合前述内容的有关规定外，还应符合下列规定：

1）电流大于 3000A 的导体其紧固件应采用非磁性材料；

2）封闭母线与设备的螺栓连接，应在封闭母线绝缘电阻测量和工频耐压试验合格后进行。

（12）金属封闭母线的外壳及支持结构的金属部分应可靠接地，并应符合下列规定：

1）全连式离相封闭母线的外壳应采用一点或多点通过短路板接地；一点接地时，应在其中一处短路板上设置一个可靠的接地点；多点接地时，可在每处但至少在其中一处短路板上设置一个可靠的接地点；

2）不连式离相封闭母线的每一分段外壳应有一

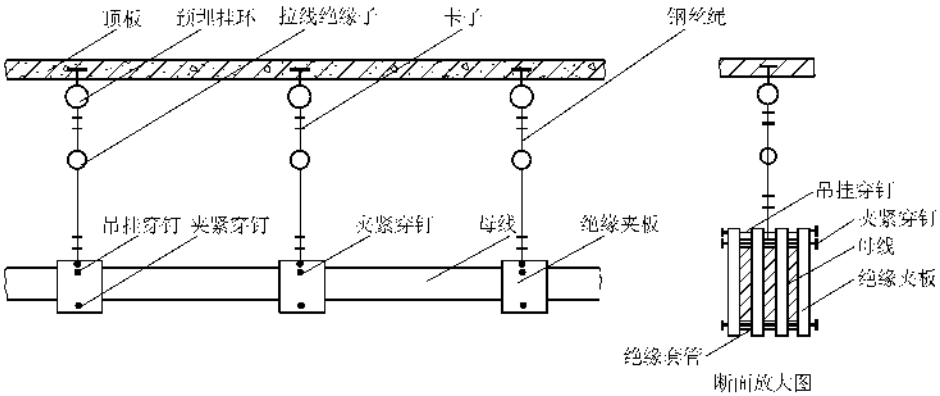


图 7-35　大型多片矩形母线的安装方法示意图

点接地，并应只允许有一点接地；

3）共箱封闭母线的外壳各段间应有可靠的电气连接，其中至少有一段外壳应可靠接地。

（13）微正压金属封闭母线安装完毕后，检查其密封性应良好。

7. 气体绝缘金属封闭母线

（1）气体绝缘金属封闭母线的运输、检查及保管应符合下列规定：

1）母线运抵现场后，应会同有关部门对运输单元的规格、型号、数量及完好情况进行外观检查，并应做好记录；

2）母线应堆放在坚实地面上，下方应有支撑件；

3）母线附件应按产品技术文件要求的存储级别及编号进行存储，并应做到包装完好，分类、标识应清晰；

4）充气运输的母线，验收时应检查内部气体压力是否符合产品技术文件的要求。如母线需较长时间保管，应每月检查一次气体压力；当气压低至允许值时，应查找泄漏原因、进行维修，并应按产品技术文件的要求补充同类气体；

5）母线在运输、保管时，应按产品技术文件的要求保持顶部朝上。

（2）母线安装前应核对母线固定基础、支架、孔洞等的位置及尺寸，安装环境应符合产品技术文件的要求，并应采取防尘措施。

（3）任何情况下不得挤压、碰撞外壳。

（4）母线安装应符合下列规定：

1）母线就位前，应对外壳内壁、导体表面、绝缘支撑件进行检查和清理，法兰结合面应平整、无划伤；

2）吊装母线应使用尼龙绳或有保护外套的吊索；

3）导体表面和母线外壳内壁应光滑无毛刺，各母线段的长度应符合产品技术文件要求；

4）母线隔室打开后，在空气中的暴露时间应符合产品技术文件的要求；

5）清洁母线导体部件时，应使用产品技术文件要求的清洁剂；

6）以插接方式连接的导体，在两段母线连接时，不得损伤插接结构及插接接触面；

7）母线导体连接后，应对连接部位的接触电阻进行测试，测试值应符合产品技术文件要求；

8）密封垫（圈）不得重复使用；密封脂不可涂抹到密封垫（圈）内侧；

9）母线外壳螺栓连接，应用力矩扳手对角紧固；

10）安装调整型伸缩节时，固定伸缩节两端的连接螺杆应按产品技术文件的要求预留胀缩移动间隙；固定型伸缩节其波纹管两端的连接螺杆，则应按产品技术文件的要求将螺母拧紧；

11）外壳接地母线的安装应符合设计和产品技术文件要求，并应无锈蚀和损伤，连接应牢靠；不同材质的接触面应涂电力复合脂；伸缩节间的接地母线跨接，不得影响伸缩节的膨胀收缩功能。

（5）母线隔室的处理应符合下列规定：

1）封闭母线安装完成后，隔室抽真空前，应完成下列工作：

① 密度继电器应经检验合格，并有检验报告；

② 六氟化硫气体检验合格，应符合现行国家标准《工业六氟化硫》GB 12022 的有关规定；

③ 固定伸缩节；

④ 采取措施不得使真空泵在运行时中途停止。

2）对隔室抽真空及真空度保持时间应符合产品

技术文件要求。

3）对隔室充六氟化硫气体过程中，当接近标称压力时，应缓慢充气直至标称压力时停止。

4）充气完成后隔室应进行检漏，其单个隔室年漏气率不应大于0.5%。

5）隔室内六氟化硫气体的含水量，应符合现行国家标准《电气装置安装工程　电气设备交接试验标准》GB 50150的有关规定。

（6）母线安装完成后，应按现行国家标准GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》GB 50150和产品技术文件要求进行现场试验。

与设备的连接采用软带连接，连接软带的截面积则根据设备的容量选择，软带同补偿节。安装时应分段整体吊装，距地高度由设备而定；先将钢丝绳及拉线绝缘子挂好，起吊高度达到后，将一端的钢丝绳穿入吊装的吊环，并将钢丝绳用卡子卡好，每吊点不少于3个卡子；然后再将另一端吊起，找平找正后、将另一端的钢丝绳穿入吊环用卡子卡好。吊点的绝缘夹板应烘干处理，一般是水泥石棉板，240℃烘干24h，然后浸绝缘漆，再烘干即可使用。预埋的圆钢环、钢绳丝和吊点的吊环、拉紧绝缘子的载荷应配套，选用时要计算。

8. 接地母线的配制及安装

接地母线一般用40×4的铝母带配制，方法同前。接地母线通常安装在柜体的下部，这里装设着接地母线绝缘子，用螺钉固定。

柜体的接地螺栓要用16mm^{2}的软铜线和接地母线连接起来，软铜线的两端应装设铜铝过渡线鼻子，用油压钳压好再连接。

接地母线要和接地网的接地引线可靠连接，成列柜和接地母线的连接至少不得少于两点；单台柜可不设接地母线，但接地引线须和柜体接地螺栓可靠连接。接地母线和接地网引线的连接通常是在镀锌的接地接引端焊接－40×4的扁铁，长度不超过200mm，预先开孔并将触面处理平整，一并和引线镀锌，镀锌质量要好，然后和接地母线螺栓连接，螺栓至少不得少于两条。如果镀锌质量不好或未镀锌，则应在扁铁上搪锡再连接。连接前应测量接地网的接地电阻，符合要求才能连接，否则经处理合格后才能连接。

9. 母线的测试及验收

母线安装好后应进行电气测试和验收，合格后才能按规定刷漆。

（1）母线的检查　金属构件的加工、配制、焊接或螺栓连接应符合规定；各部螺栓、垫圈、开口销等零部件应齐全可靠；母线的弯曲、焊接、螺栓连接、安装架设应符合规定，连接正确，螺栓紧固、接触可靠；相间及对地电气安全距离应符合要求；瓷件、铁件及胶合处应完整，充油套管应无渗油漏气，油位正常；瓷件无裂纹，无歪斜，母线的伸缩接头配制合理正确，母线的吊点、吊具选择无误等。

（2）电气参数的测试　母线的截面、材质应符合设计规定；母线相与相、相与地的绝缘电阻应大于1MΩ。绝缘电阻的测量应选用500V的绝缘电阻表或数字绝缘电阻测试仪测试。测试时应将柜体各个回路的刀闸隔离开关断开，从母线直接取得电压的线圈的接线临时断开，接地母线测试时应将与柜体接地螺栓的连接及与接地引线的连接临时断开。吊装的母线还应测量吊索、吊环、绝缘垫板、穿钉等辅件与相、与地的绝缘电阻，应大于1MΩ。凡有不符合规定的要找出故障点修复。

10. 母线的刷漆

母线刷漆一是为了识别相序，二是为了防止母线的腐蚀，三是表示带电体，以防触电。

母线的相序排列应符合表3-11的规定，相序的颜色应按以下的规定刷漆：

1）三相交流电A相黄色、B相绿色、C相红色。

2）单相交流母线与引出相同色：独立的单相母线，一相涂黄色，一相涂红色，排列与三相相同。

3）直流母线正极为赭色，负极为蓝色。

4）直流均衡汇流母线及交流中性汇流母线，不接地者涂紫色，接地者涂紫色并带黑色条纹。

5）母线的以下各个位置应涂相色：单片母线的所有各面，多片、槽形、管形母线所有可见面；钢母线所有表面。

6）母线在以下部位不应涂色：螺栓连接及支持连接处、母线与电气的连接处以及距所有连接处10mm以内的地方、供携带型接地线连接用的触面上。不涂色漆的长度应为母线宽度或直径（指管形母线），但至少不应小于50mm，并应以宽度为10mm的黑色带与母线相色部分隔开。

7）封闭式母线的外表面及外壳内表面涂无光泽黑漆，外壳外表面涂浅色漆。

四、柜内二次回路接线的检查及试验

二次回路是指电气设备的操作、保护、测量、信号等回路及其回路中的操动机构的线圈、接触器、继电器、仪表、互感器二次绕组等。对二次回路的元件和接线安装前应进行检查和试验，一是要保证接线正确可靠，二是要保证元件的质量，三是要保证柜内电气设备操作、保护、测量、信号的正确和可靠。

1）用绝缘电阻表测量绝缘电阻。

①　小母线在断开所有其他并联支路时，不应小于10MΩ；

②　二次回路的每一支路和断路器、隔离开关的操动机构的电源回路等，均不应小于1MΩ。在比较潮湿的地方，可不小于0.5MΩ。

2）进行交流耐压试验。

①　试验电压为1000V。当回路绝缘电阻值在10MΩ以上时，可采用2500V绝缘电阻表代替，试验持续时间为1min；

②　48V及以下回路可不做交流耐压试验；

③　回路中有电子元器件设备的，试验时应将插件拔出或将其两端短接。

3）按照原理图或说明书提供的图样查线，检查接线的正确与否和连接可靠紧密程度。通过查线可进一步发现二次回路接线存在的外在缺陷。特别是对接线端子排要逐一核对。

4）对线圈、接触器、继电器、仪表、互感器等元件应按第五章进行测试和试验，确保其动作的可靠性和准确性。

5）检查二次回路是一项较为繁琐的作业，特别是核对接线端子的标号，要用万用表欧姆档进行，当二次线很多的时候，易产生心急或欠认真的作业行为，这样会给工程带来不利影响。特别是有些端子有内在的联系，测试时还需暂时断开，测试完毕后再接好更会令人产生抵触情绪。衷心地告诫同行，如果有这样的行为或想法，必须克服掉，因为这一点是一名优秀电气工作者最忌讳的事情。

6）检查试验测试后必须将二次回路恢复到初始状态，然后通电试验，应正常。并用手动或模拟动作输入信号，二次回路应动作正常。

第四节　导线及电缆的敷设

一般工业厂房的动力线路有以下几种敷设方法，一种是管内穿线暗敷设，一种是电缆沟内敷设，另一种是电缆桥架敷设；还有的采用母线屋顶明设，支路采用管内穿线明敷设等方法，有的则采以上述方法的几种混合应用，或采用封闭插接母线等，这都是由现场及设计决定的。在第四章中，已将各种敷设方法的预埋管件及准备工作作了详细的讲述，这一节主要是讲述各种线路的敷设、安装方法及注意事项。有关电缆施工的内容见第十一章。

一、管内穿线

详见第二章第八节。

这里主要说明一下穿线后导线端部的处理方法。

1）一般单根线芯的导线和2.5mm^{2}及以下的多股铜芯导线宜采用直接和电气设备的接线端子连接，但铜芯线应镀锡处理。通常是把导线线芯弯成顺时针的开口小圆环，直径稍大于紧固螺钉的直径，用螺母加平垫、弹垫拧紧即可，见图7-36。其中多股铜芯线的镀锡，应先将线芯拧紧再镀锡。也可将线端直接压在元件接线端子的瓦型垫下。

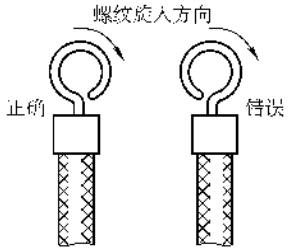


图7-36　单股线芯端部的弯环方法

2）多股铝芯线截面积超过2.5mm^{2}的多股铜芯线的终端，应焊接或压接端子（线鼻子）。线鼻子有两种型式，一种是开口的，所谓开口是指其和导线连接管部分是一个开口的小筒，多用在截面较小的铜线上。另一种是闭口的，多用于截面积较大的铜线或铝线上，见图7-37。按闭口线鼻子的材质分类有三种，一种是铜质的，供铜导线和设备的铜接线柱或铜母线连接的；一种是铝质的，供铝导线和铝母线连接的；再一种是铜铝过渡线鼻子，供铝导线和设备的铜接线柱或铜母线连接的。线鼻子的选择还要考虑连接管接线端子和压模（指油压钳）的规格应与线芯相符。

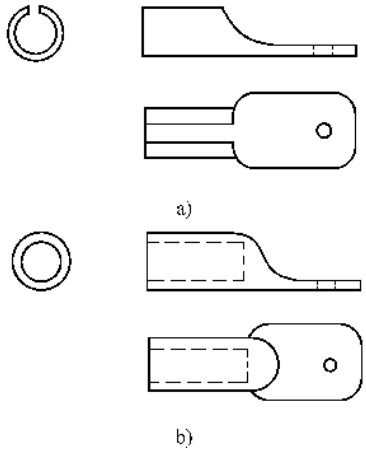


图7-37　线鼻子示意图

a）开口式　b）闭口式

①　开口线鼻子的使用方法：将导线的绝缘层剥掉，剥掉长度不大于50mm，先将多股的线芯分开并每每撑直，用砂布将线芯打磨出金属光泽，涂上一层无酸焊锡膏，然后再将线芯并拢，再将其放入锡液中去镀锡，取出后用棉丝擦去锡渣。按接线管的长度剪

去多余部分，把镀锡的线端放入开口连接管内，用钳子将开口连接管夹紧或用小锤轻击砸紧，这时要注意应将开口部位互相压住，这样才能紧固。然后将整个端子镀锡处理即可。

② 闭口线鼻子的使用方法：剥去导线端部的绝缘，剥去长度为线鼻子连接管深再加上5mm，剥切一定要整齐。用砂布将线鼻子连接管内壁和导线表面的氧化膜除掉，铜线要做镀锡处理，涂上石英粉-凡士林油膏，然后将处理好的线芯插入连接管内，将压接钳或油压钳准备好，并装上符合导线规格的压膜。按图7-38的顺序，将连接管放入钳口，操作压钳。压好后，应停留一会儿，再除去压力，然后再去压第二个坑。压坑的位置应在同一条直线上，压坑深度应以上下模接触为佳，数据见表7-26和表7-27。压好用应用锉刀除去坑边翘起的棱角，并用砂布打磨光洁，然后用汽油棉丝擦净即可。

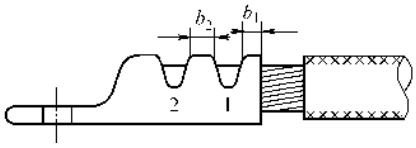


图7-38 接线端子压接工艺顺序及尺寸

表7-26 铜导线压接工艺尺寸表

规格	压坑间距/mm	
	b_1	b_2
DT-16 GT-16	3	4
DT-25 GT-25	3	4
DT-35 GT-35	3	4
DT-50 GT-50	3	4
DT-70 GT-70	3	5
DT-95 GT-95	3	5
DT-120 GT-120	4	5
DT-150 GT-150	4	6
DT-180 GT-180	4	6
DT-240 GT-240	4	6
DT-300 GT-300	5	7
DT-400 GT-400	5	7

表7-27 铝导线压接的压坑间距深度尺寸

（单位：mm）

适用范围	压坑间距			压坑深度	剩余厚度
	b_1	b_2	b_3	h_1	h
GL-16 DL-16	3	3	4	5.4	4.6
GL-25 DL-25	3	3	4	5.9	6.1
GL-35 DL-35	3	5	4	7.0	7.0
GL-50 DL-50	3	5	6	8.3	7.7
GL-70 DL-70	3	5	6	9.2	8.8
GL-95 DL-95	3	5	6	11.4	9.6
GL-120 DL-120	4	5	7	12.5	10.5
GL-150 DL-150	4	5	7	12.8	12.2
GL-185 DL-185	5	5	7	13.7	13.3
GL-240 DL-240	5	6	7	16.1	14.9

③ 做好线鼻子后，要进行绝缘处理，一般是在做线鼻子前，在导线上套上一节约100mm的与相色相同色的塑料管，塑料管的直径与导线的外径相同。线鼻子做好后，应将线芯裸露部分用同样宽度的绝缘带紧密缠紧，并略高于导线的外绝缘层。然后将预先套上的塑料管用力推下，直至套入线鼻子的连接管为止，并且同一回路的套入尺寸应相等。推动塑料管时，可在导线上涂一些凡士林，并对塑料管稍加微热，通常用热水带加热，使其膨胀。最后用汽油棉丝将导线和线鼻子擦干净，并将管口外导线圈起暂时固定在穿线管上。

二、电缆桥架的安装及导线敷设

桥架的规格型号种类繁多，但结构上相仿，它是由1.5mm厚的轻型钢板制成长度不同的倒π形槽，上有盖，并配有梯架、托盘、隔板、二通、三通、四通弯头、立柱、托臂、绞接板等辅件，全部冲压成型并进行镀锌或喷塑处理，抗腐蚀。零部件标准化、通用化，由于架空安装，维修方便，多用于工业厂房和高层建筑中，见图7-39。电缆桥架安装的类型很多，主要是沿墙或柱安装，再者是悬空安装和地坪支架上安装三种。

桥架安装前应进行外观质量检查，并应符合下列要求：

1）型式与设计相符，部件齐全，应有生产厂家的合格证；

2）桥架及附件无扭曲、变形、毛刺、刃边、卷边现象；防护层无剥落现象，防护层（镀锌、涂漆、喷塑等）类别应与设计相符；

3）桥架在装运及现场存放时，应理顺整齐，防止变形；

4）经试组合是否灵巧方便，有无阻卡或与产品设计不同的地方；

5）桥架应采用专业生产厂的定型合格品，否则难以保证安装质量。

（一）沿墙（或柱）安装

一般情况下桥架安装的标高是2.80～3.50m，在配合土建施工时已将T形铁预埋在墙或柱子上的设计标高处。如果没有预埋或者漏埋，则应在安装桥架时先补上，通常在混凝土柱上采用射钉枪，而在砖墙上采用埋注的方法。

1. 划线

在安装标高相同的一段墙或一列柱的两端，分别在安装标高处做一明显的标记，柱上可用铁丝固定一节方木，墙上可钉入一节圆钢，标记的标高必须准确无误，必要时要经过土建人员了解室内的地平线，作好后应有人复查。如果路线太长，也可分成几段划线。

将木工用的墨斗墨线拉出，分别挂于方木或圆钢

标记上，并且让墨线贴于柱或墙上，然后将墨线撑紧撑直，将线水平提起释放，即可在柱或墙上弹出一水平线。如果已预埋了T形铁，那么这条水平线应位于T形铁的中心左右，见示意图7-40。图中T形铁上的划线必须用角尺实际测量，位置要准确。

2. 焊接固定螺钉

选用和桥架及桥架支撑配套的机螺钉（一般是$\phi6\sim\phi12$mm）焊接在T形铁上，焊接位置必须以划线为标准，每块两条，一上一下，间距和支撑固定长孔对应。要求焊接位置必须准确，牢固，螺杆要与柱体或墙体的铅垂面垂直。焊接时一般由两人操作，一人将螺钉焊接位置找好并找正，然后用一直径稍大于螺杆直径的钢管套入螺杆并顶住其螺帽，紧紧将螺栓顶在T形铁上并保证位置准确及垂直，钢管的长度应稍大一些，尽量远离电弧。另一人施焊，要求焊工点焊的技术要高，一点即牢。

如果没有预埋T形铁，采用射钉枪或埋注螺钉时，划线方法同前，螺钉固定要求同前。使用射钉枪时应先选择合适的射钉，将枪口顶死在螺钉的位置上且枪应垂直于柱子，然后搬动拔机，即可将钉射入柱内，操作时一定要戴手套和护耳。

埋注螺栓时，应使用电钻在墙上钻孔，然后再埋注；有时也可采用膨胀螺栓，要求同前。

3. 固定支撑（横臂）

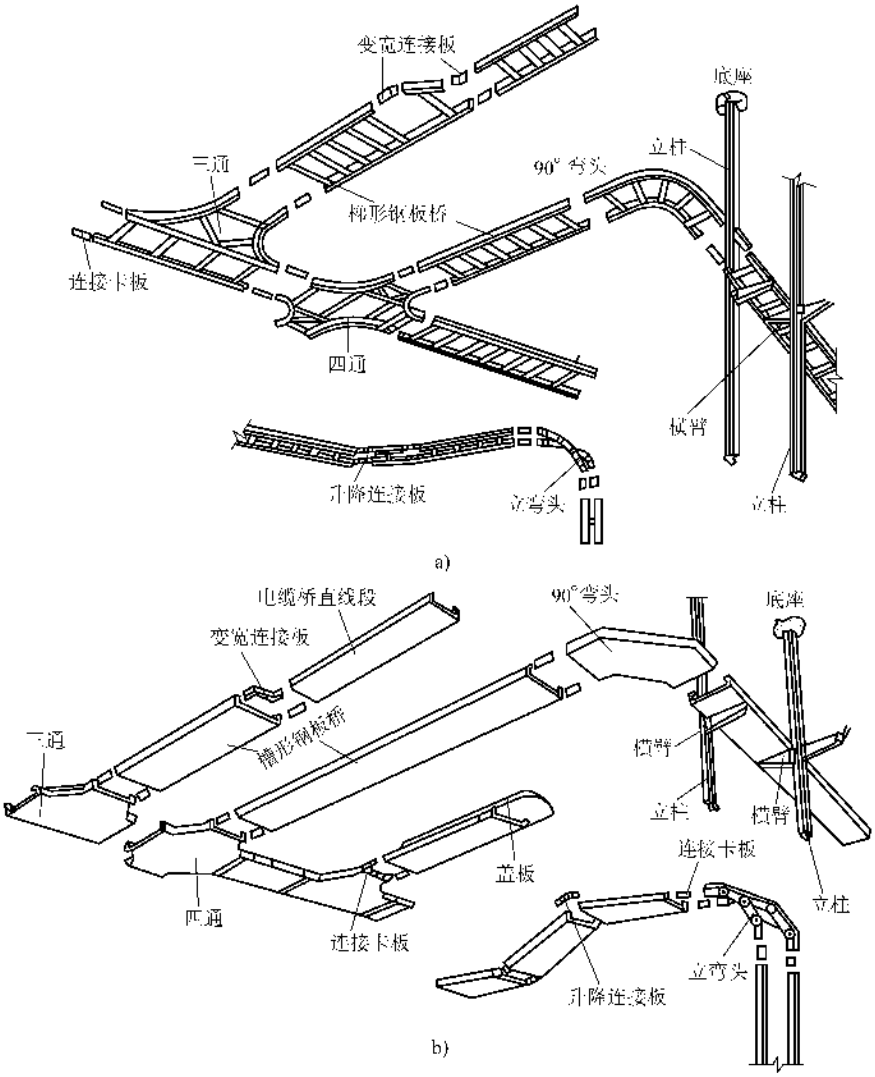


图7-39　电缆桥架示意图

a）梯形电缆桥架部件组合示意图　b）槽形电缆桥架部件组合示意图

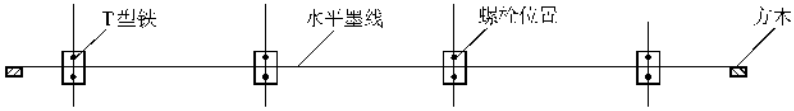


图 7-40 划线示意图

支撑是用 2.5mm 厚的钢板轧制的，外形见图 7-41。

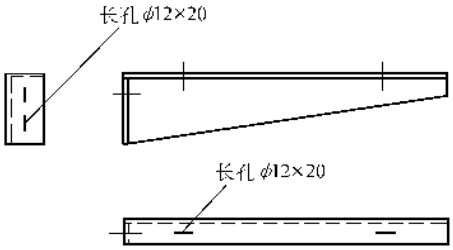


图 7-41 支撑（横臂）示意图

和测量时一样，先在安装标高相同的一段墙或一列柱的两端，分别安装一个支撑，并将其找平找正。支撑的上面应用水平尺测量，应水平，支撑应垂直于安装铅垂面，然后用螺母加平垫弹垫紧固好。

复测无误后，用工程小白线将两端安装好的支撑的顶部连接起来并撑紧，然后以此线为准将所有的支撑固定好。这一步是安装桥架的关键，它将保证整个桥架的平直。

有的则用上述的方法，将支撑直接焊在 T 形铁件上，这将给维修带来很大不便，一般情况下不要焊接。由图 7-42 可见柱上的支撑和墙上的支撑长度是不同的。

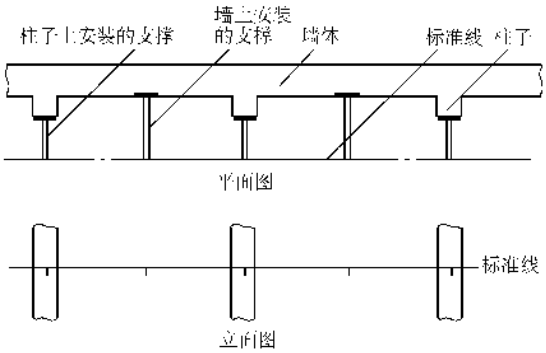


图 7-42 安装好的支撑

4. 安装桥架托盘、线槽

桥架的托盘或线槽一般为 2m 长，也有 3m 长的，但其连接极为方便，每块都有大小头和止口，连接时将小头插入大头，这时的公差也配合得很好，再用螺钉在两侧的孔上垫上连接板紧固即可并在底部装上护板条。可根据支撑的间隔和每块的长度在地面上组装好重量及长度相宜的托盘，然后从一端开始依次将其架铺在支撑上，并铺一块即用螺钉和支撑紧固一块，直至全部铺设紧固完毕。

遇到拐弯、分支、向上或向下引渡以及标高或槽截面的变化时，可直接用成品辅件安装，也可用托盘或线槽改装，一直将桥架引至电缆沟内、柜内或电气设备处。

拐弯和分支的改装，可将托盘或线槽割成一块一块扇形再拼接成需要的角度，然后用电焊点焊成整体，点焊的间隔应为 50 ~ 60mm。托盘或线槽的割开一般应用手工锯。

向上向下的引渡或标高变化的改装，可将托盘或线槽的侧帮割去一定的角度，和用槽钢作架子一样，然后将槽底弯曲使侧帮割去一定的角度再重合，再用电焊点焊牢固即可。

截面积的变化可用加宽或减小槽底的宽度进行，全部用手工锯割和电焊点焊。

上述的改装必要时要由钣金工协助进行。

托盘或线槽的连接以及改装和改装后的连接都必须处理好电气连接的问题。

镀锌原件及辅助件的连接，通常是用紧固螺钉压接端头经镀锡处理的 $10mm^2$ 软铜线来解决的；改装件的连接，是用点焊解决的，和主槽的连接可用焊接，也可用软铜线压接来解决。用软铜线压接时，其触面必须镀锌良好，光洁无疵，否则应搪锡。螺栓必须用铜螺栓或镀锌螺栓，有镀锌平垫及弹垫。

其他喷塑、喷漆、烤漆及刷漆的原件及辅件的连接的电气连接同上，但触面必须搪锡处理。

电气连接时其螺钉应从桥架的内侧穿出，在外侧进行电气连接，以便运行中的检查。桥架线槽经加工后，凡是电焊的焊点应将药渣除净，必要时要用电动手持砂轮打磨，然后涂以相同颜色的漆，镀锌桥架应涂以银粉。全部使用成品件时见图 7-46。

5. 桥架的接地线敷设

桥架的接地有两种方法，一种是利用桥架本身的金属体接地，一种是在桥架上设置接地线。前面讲述的电气连接的内容，就是利用桥架本身的金属体接地的方法，然后在桥架的始端和末端再和接地网连接，距离大的桥架，每隔 30m 还应重复接地一次。桥架的接地线应用 25 × 3mm 的镀锌扁钢和接地网可靠连接。

有的设计采用桥架上设置接地线的方法接地，接地线用铜带或镀锌扁钢，安装在托盘或线槽的外侧，用 M6×25mm 镀锌螺栓固定，每隔 1.5m 固定一次，转弯前后每隔 0.8m 固定一次，并在接地干线与桥架边框间垫以碗形垫，使之有不小于 10mm 的间隙，见图 7-43。固定孔可在现场用电钻钻孔，触面处理同前述软铜线连接。为了保证接地线的水平度和接地点的一致性，孔距偏差不大于 10mm，孔位的高低偏差不大于 ±2mm。其他同桥架本身金属体接地。

图 7-43　线槽接地线安装示意图

1—电缆桥架　2—M6×25mm 螺栓（附螺帽、平垫、弹簧垫）　3—接地线　4—碗形垫

（二）悬空安装

在不靠柱或墙时可采用悬空安装桥架。悬空安装一般是在顶板上或梁上预埋 T 形铁，否则要在顶板上开孔，能否开孔还要征得土建的允许。

（1）加工吊杆　吊杆用 ϕ10～ϕ16mm 的镀锌圆钢制成，一端套好丝扣，丝扣长度要大于 100mm，以便有调节的余量。吊杆长度由安装标高和安装方法决定，和顶板的 T 形铁件焊接时长度为层高减去敷设标高再加上 100mm；顶板开孔固定时为层高减去敷设标高再加上楼板厚度，再加上 150mm。

（2）划线　根据现场的情况划线，井字梁上预埋 T 形铁件时可用墨斗仿前述方法划线；井字梁的顶板上预埋铁件可用米尺测量划线；顶板上开孔的划线应在顶板的上层划线，按照土建图样和建筑物的平面布置和尺寸确定开孔位置。

无论哪种，划线要准确一致，两行 T 形铁或两行孔位的连线要平行，且要于临近墙或梁的中心轴线平行，其间距应不小于托盘的宽度。

开孔必须用打孔机或钻开孔，孔径为吊杆直径加 1mm。

（3）固定吊杆　预埋 T 形铁的楼板，可将吊杆直接焊接在 T 形铁上，焊接要牢固，位置要准确无误，误差 ±1mm，并且要垂直于地面。

楼板开孔，可将吊杆从下向上穿过楼板，在楼上放两根长 100mm 的同径铁棍，然后在两棍中间将吊杆与其焊好，要求同前。楼板开孔安装吊杆，必须在土建没有沫地面以前进行，否则要涉及到修补地面。

（4）安装底架　底架一般用角钢制作或采用成品托臂，规格由桥架和其载荷决定，见图 7-44。将底架安装在吊杆上，高度应一致，并符合安装标高同时应平行于地面。紧固螺母要用机制标准螺母，双母双垫固定。

（5）桥架安装　同前。

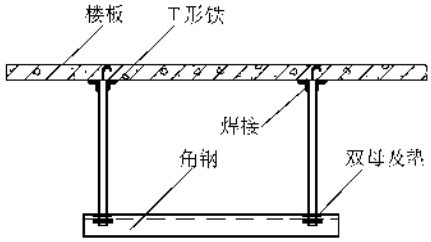


图 7-44　桥架悬空安装示意图

（三）地坪支架上安装

配合土建已在地面上预埋了螺栓，否则要埋注螺栓。先加工底座，底座由厚钢板加工成方形或圆形，其板厚、直径或边长的大小由载荷决定。再焊接立柱，立柱由工字钢或钢管做成，也可使用成品件，其长度由安装高度决定，规格由载荷决定，和底座焊接要垂直牢固并有加强板。然后在立柱顶部安装横撑，常用开口销子连接，横撑要和主柱垂直且平行于底座，见图 7-45。最后将整个支架立起，并使底座和预埋的螺柱螺栓紧固连接。立起的支架要在同一条直线上并垂直于地面，偏差不得大于其长度的 2‰，支架和桥架应有电气连接、桥架的安装同前，立柱应刷漆两道。

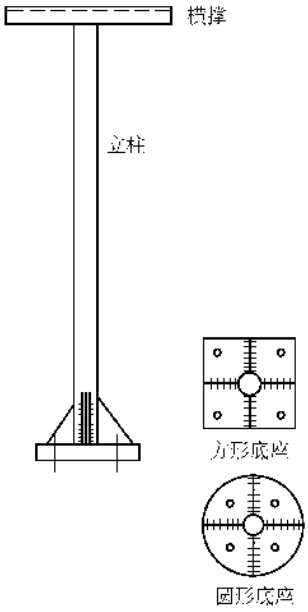


图 7-45　支架示意图

支架上安装的桥架或线槽常用于将总桥架引至设备，以使导线或电缆与设备连接。

桥架的安装根据其构造不同，有很多安装方式，见图 7-46，通常应使用成品件，见图 4-110 ~ 图 4-117。

（四）桥架安装的技术要求

1）桥架应可靠地紧固在支撑或横撑上，并应横平竖直，不得有明显的扭曲或一边倾斜，每一条棱角的直线上水平倾斜不得大于 ±5mm，中心线左右偏差不得大于 ±10mm，高低偏差不得大于 ±5mm。

2）桥架的延续连接宜放在两支撑间的 1/4 处，避免在 1/2 处做接头；桥架的延续连接应用专用的连接板，任何情况下不得用电焊连接；除伸缩缝外，桥架连接处的间隙不得大于 10mm，桥架连接处的间隙不得大于 12mm；连接处的底部应有护板条，护板条应压紧，接头处应光滑、平直无错口现象。

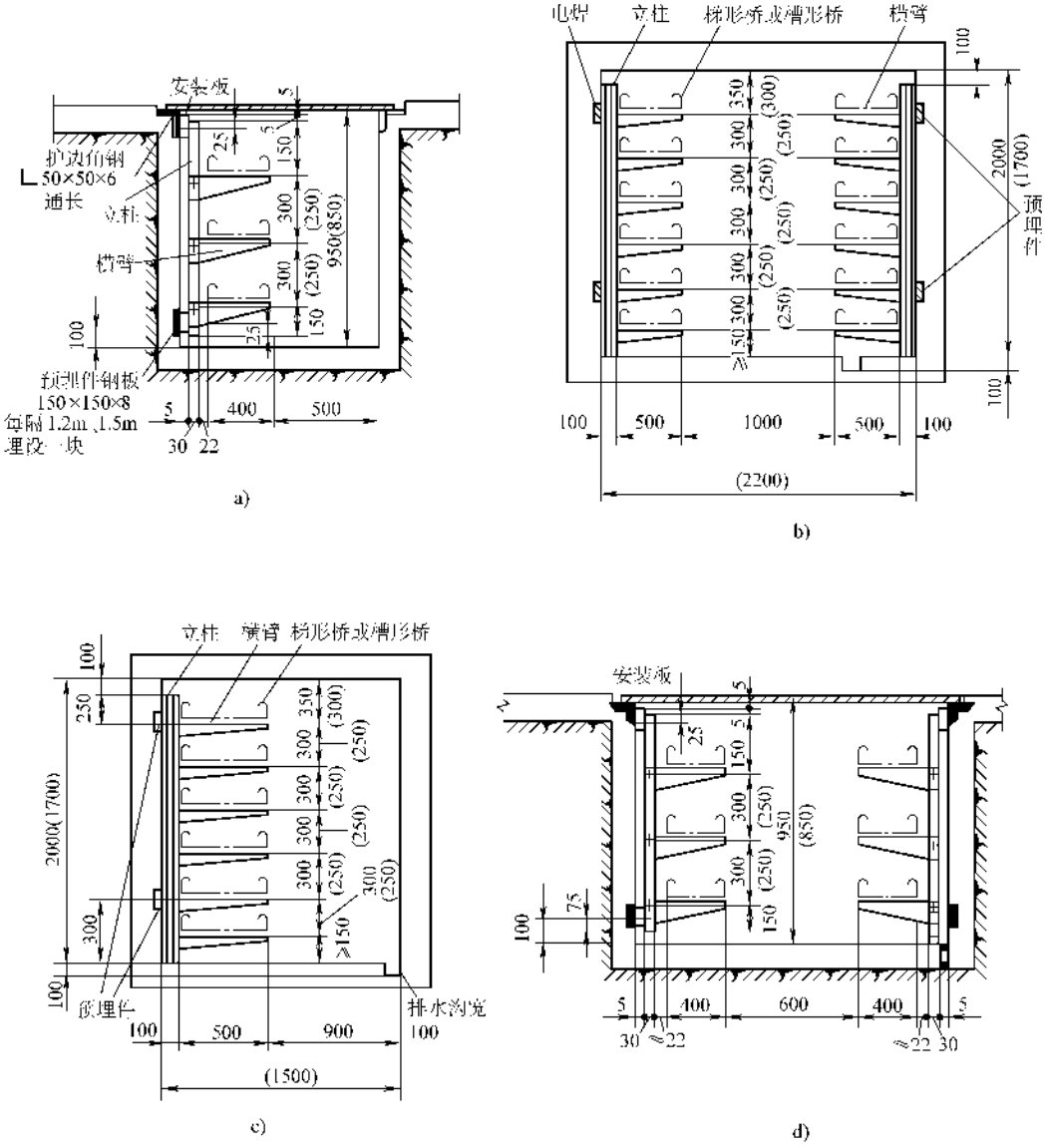


图 7-46 电缆桥架的其他安装方式

a）在室内电缆明沟或隧道内单侧安装示意图 b）在室内电缆明沟或隧道内双侧安装示意图

c）在室内电缆明沟或电缆隧道内单侧安装示意图 d）在室内电缆明沟或电缆隧道内双侧安装示意图

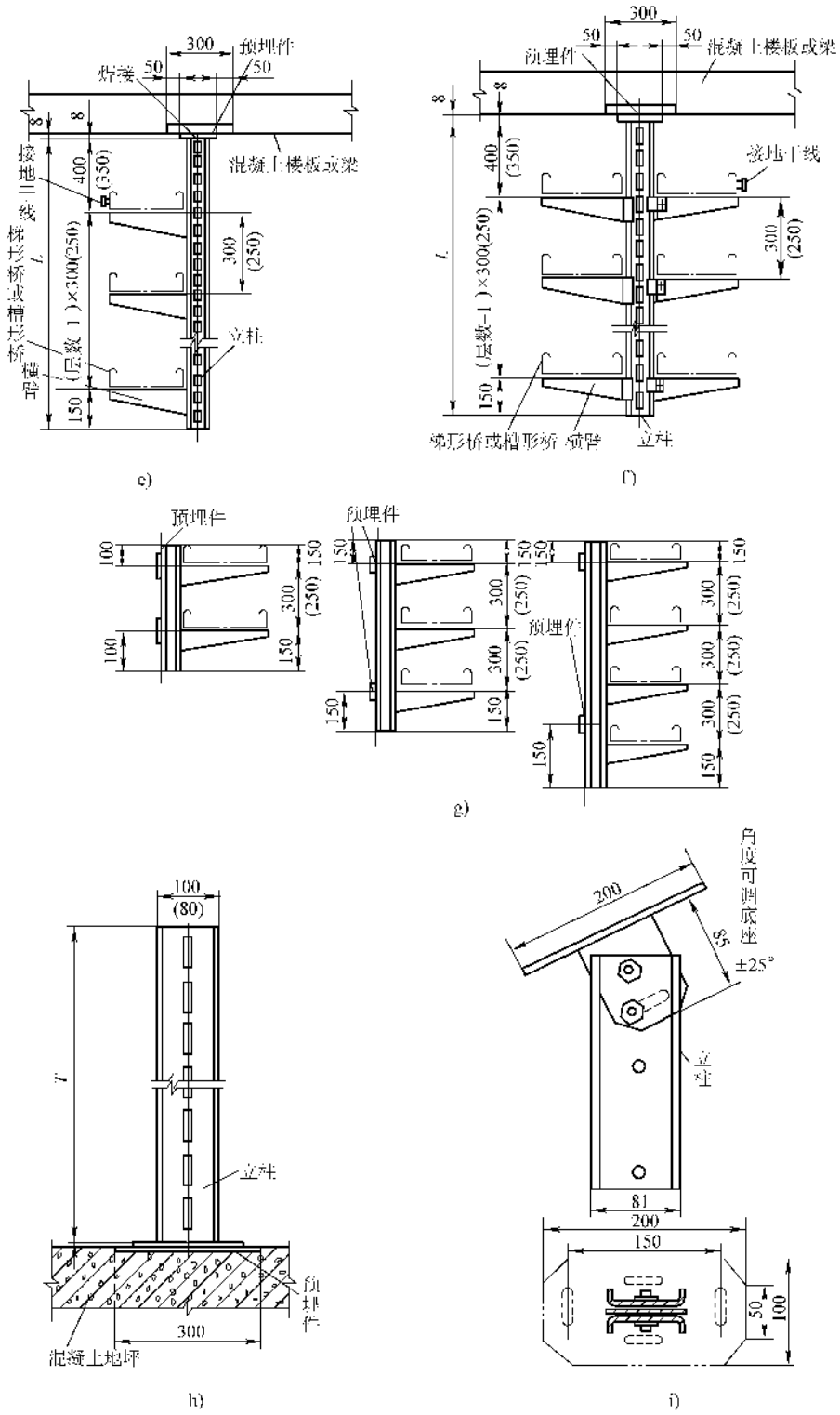


图 7-46　（续一）

e）在混凝土楼板或梁下单侧吊装示意图　f）在混凝土楼板或梁下双侧吊装示意图　g）沿混凝土墙或砖墙侧壁安装示意图　h）Ⅱ型立柱在地面上安装示意图　i）Ⅱ型立柱在斜面上吊装示意图

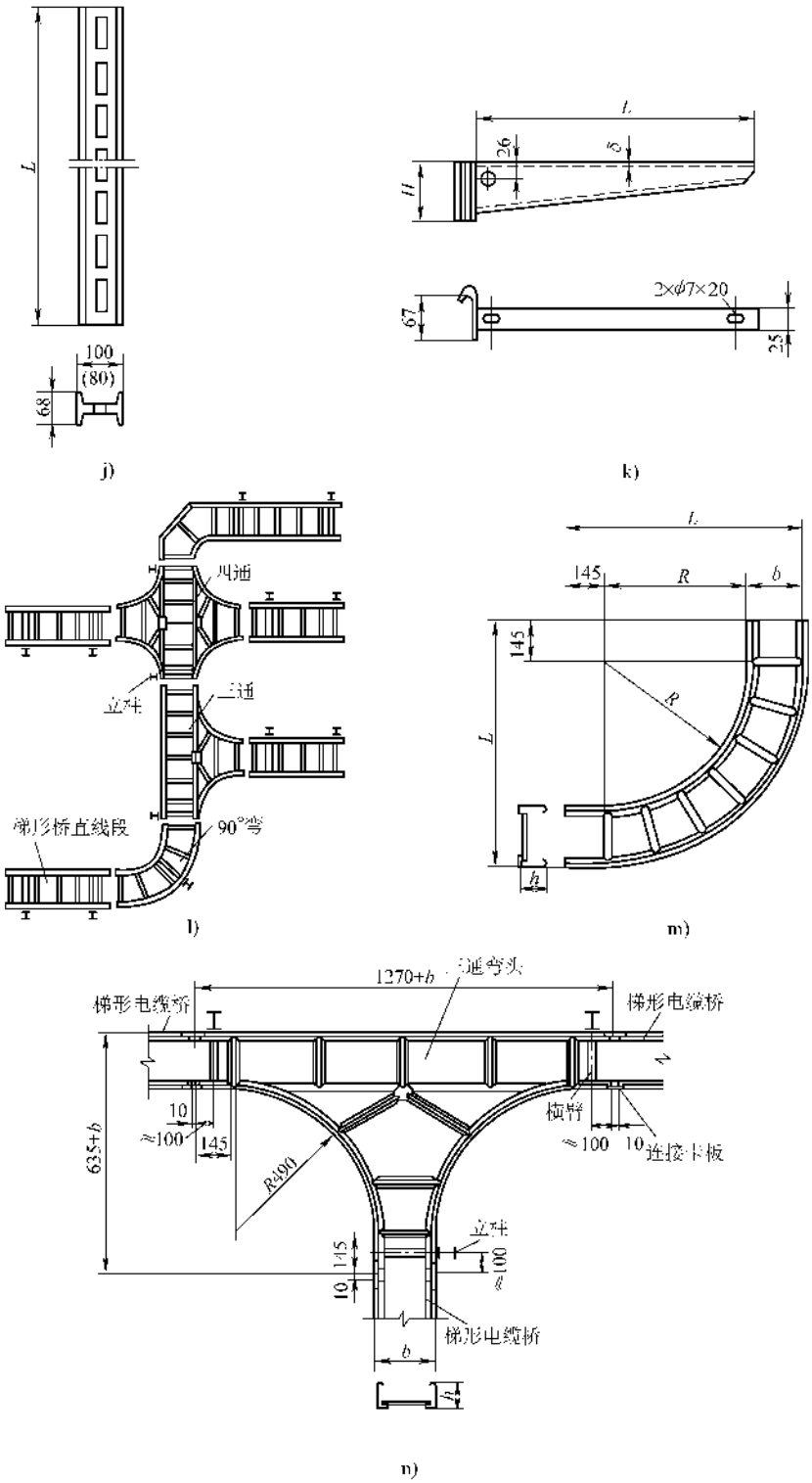
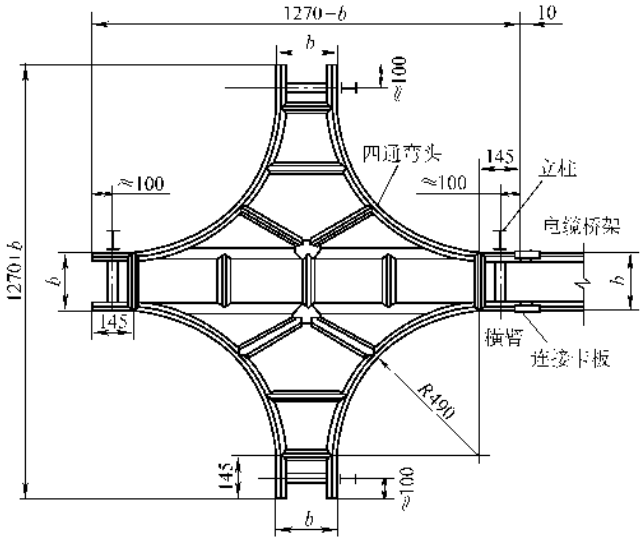
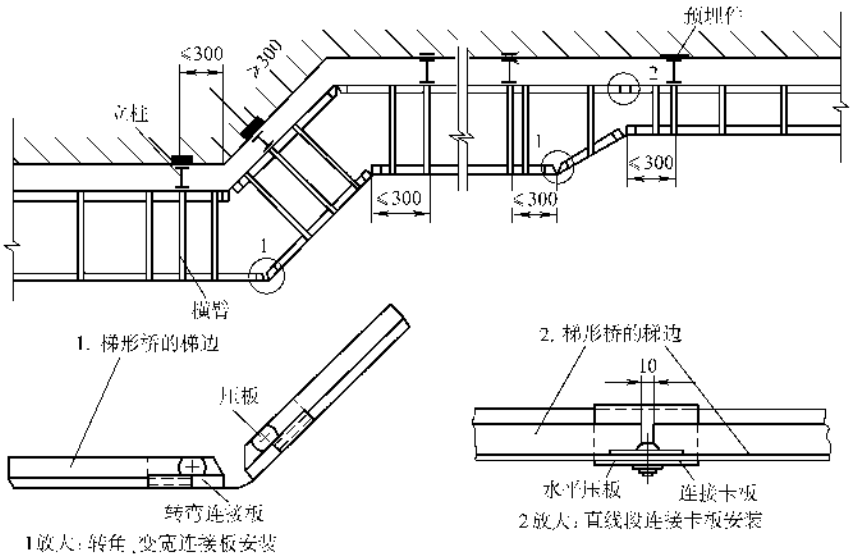


图 7-46 （续二）

j）Ⅱ型支架立柱外形尺寸 k）Ⅱ型支架横臂外形尺寸 l）用标准弯头与梯形电缆桥直线段组合示意图 m）梯形电缆桥 90°弯头外形尺寸 n）梯形电缆桥三通弯头外形尺寸



o)



p)

图 7-46　（续三）

o）梯形电缆桥四通弯头外形尺寸　p）梯形电缆桥直线段与转角、变宽部件组合示意图

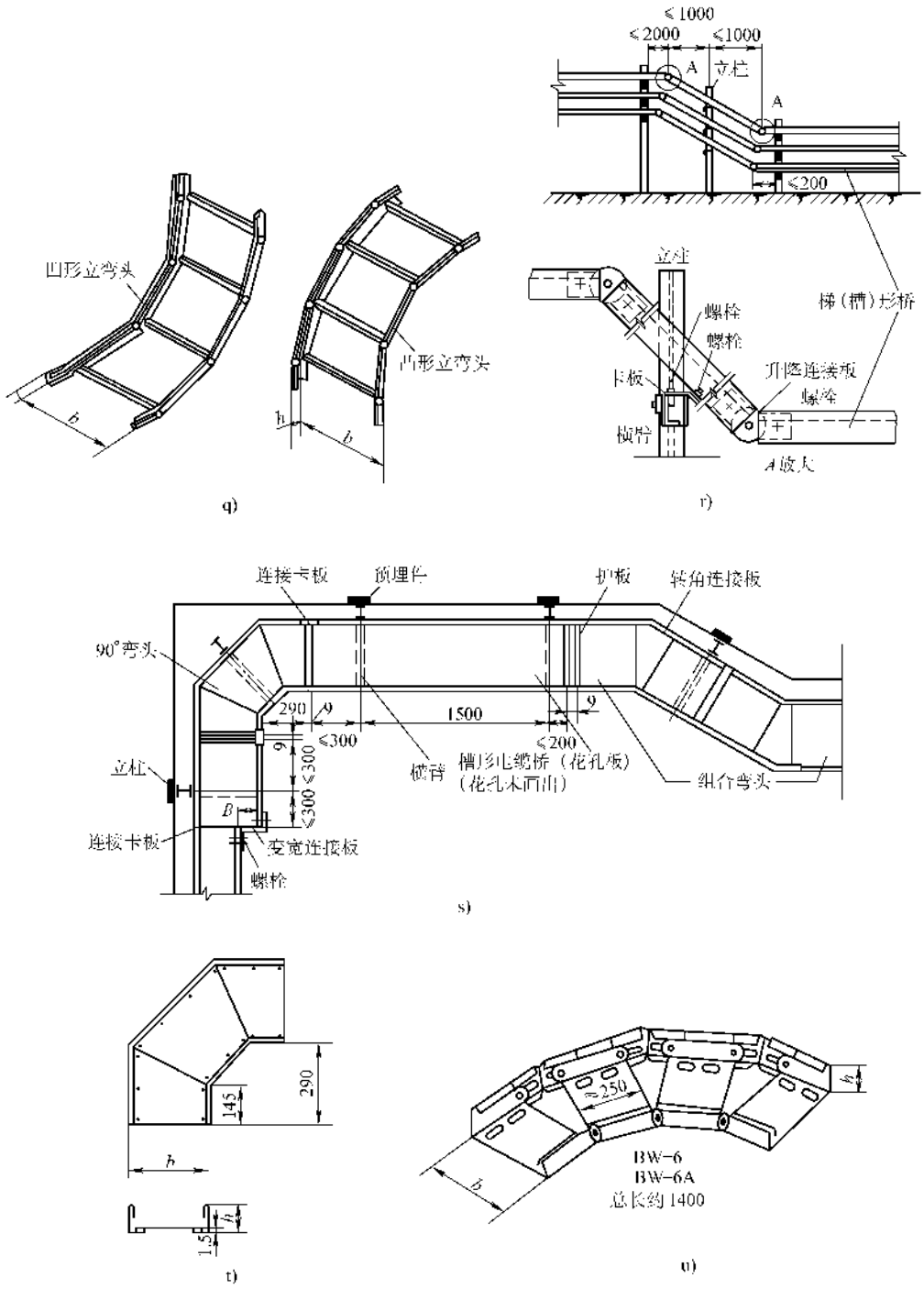
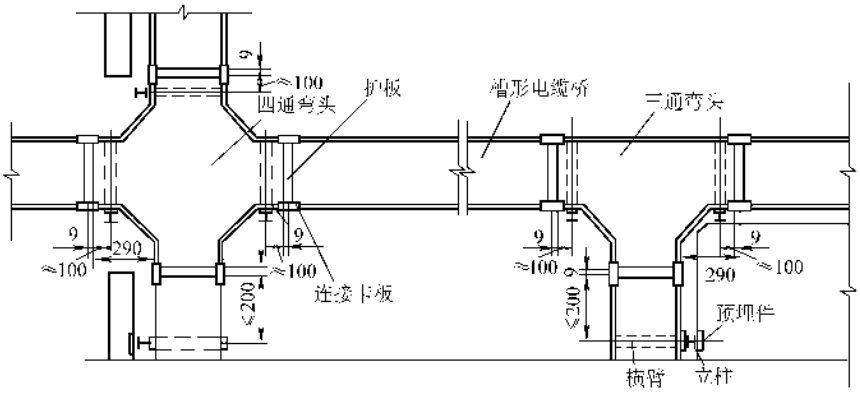


图 7-46 （续四）

q）梯形桥架活节弯头外形尺寸 r）水平升降连接板安装示意图 s）槽形电缆桥直线段与转角、变宽部件组合示意图 t）槽形电缆桥 90°弯头外形尺寸 u）0°～90°组合弯头外形尺寸



v)

图 7-46　（续五）

v）用标准弯头组合的电缆桥架示意图

3）在建筑物的沉降缝处、建筑物两沉降缝之间超过 50mm 时及户外架设每隔 30m 处，均应将桥架留断缝 15～20mm 之间，断缝处应用铜线连接做好接地；

4）严禁将桥架直接点焊在支架上。

5）用于组合桥架延续连接及附件的紧固螺栓，均应从桥架内侧穿出、紧固螺母后露扣 10mm 为宜；所有的紧固螺栓，凡部件上开正方孔的，均应采用方径螺栓连接，不得以圆杆螺栓代替使用。

6）水平拐弯分支应使用成品弯头件，弯头的延续连接应接合自如，接口处不应受力，连接后不得有凸起或扭曲现象，其纵向、横向中心线应相互垂直，上下偏差均不得大于 5mm。现场组合的弯头，应使用专用的转弯连接板，其弯曲角度一般为 135°，但不得小于 90°，弯曲半径应符合设计要求。

7）桥架变标高处的延续连接，须使用升降连接板，升降角度不得大于 45°；如从水平方向转向直上或直下时，宜用各节能活动的立弯头，保证足够的弯曲半径。

8）竖井内或垂直安装的桥架，其垂直度偏差不得大于长度的 0.2%，对角线的偏差不得大于对角线长度的 0.5%。

9）桥架应可靠接地；

金属电缆桥架及其支架和引入或引出的金属电缆导管必须接地（PE）或接零（PEN）可靠，且必须符合下列规定：

①　金属电缆桥架及其支架全长应不少于 2 处与接地（PE）或接零（PEN）干线相连接；

②　非镀锌电缆桥架间连接板的两端跨接铜芯接地线，接地线最小允许截面积不小于 $4mm^2$；

③　镀锌电缆桥架间连接板的两端不跨接接地线，但连接板两端不少于 2 个有防松螺帽或防松垫圈的连接固定螺栓。

10）桥架应在导线电缆敷设前进行质量检查并验收合格。

（五）导线在桥架上的敷设

1）核对线径、相数、回路个数、起止位置及回路标号，并用前述方法把导线放开，导线不得打扭或有死结。

2）槽内的导线一般不得有接头，如有实际困难需要接头时，可以接头，但必须采用压接法，外包绝缘要处理好，一般为两层黄腊绸，三层黑胶布，并在桥架侧极上作好明显的标记，然后将其回路标号、导线截面、接头位置等标注在竣工图上。

导线的压接必须选用和导线材质、截面相符的连接管、连接管一般为椭圆形的长管，将导线端头的绝缘剥去，剥去长度应略大于 1/2 管长即可。铜导线的线芯要作镀锡处理，铝导线应将氧化膜及油污清除干净并涂上石英粉—中性凡士林油膏，同时要将连接管内壁清除干净且不得有裂纹、疤症或其他不妥。

将导线线芯插入连接管，然后用压钳压坑，方法及要求同线鼻子的压接。压接的顺序及工艺尺寸见图 7-47 和表 2-2。

3）导线或电缆在槽内的排列是根据设备引出线的位置及导线的长短决定的。引出线在桥架的两侧时，应将最长的放在中间，其他按长短及引入位置排列在最长导线的两侧，见图 7-48；引出线在桥架的一侧时，应将最长的放在最里边，其他按长短排列在外侧，见图 7-48。

4）分支应避免交叉，分支点应靠近终端引下处，并将其放在其他导线的下面，见图 7-48。分支须采用压接法，方法和要求同接头，见图 7-47。

5）在桥架上敷设导线时，应按导线的长短以次

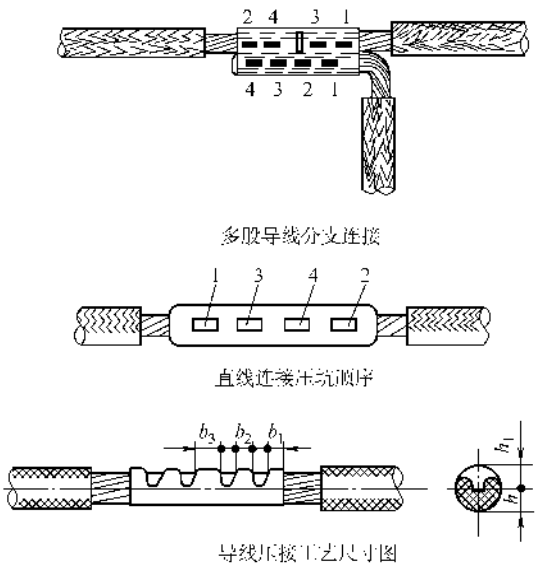


图 7-47 导线连接的压接顺序尺寸

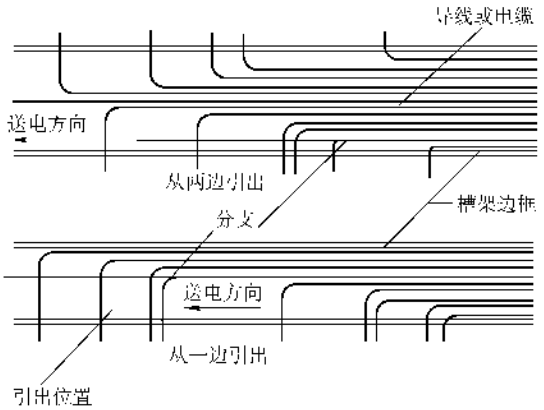


图 7-48 导线或电缆在槽内的排列

放置，一般先放置最长的，并用隔板隔开，隔板每 300～400mm 与桥架固定一次，安装隔片应与边框平行，不得扭曲。每一个回路的导线每隔 2m 应用绝缘带包扎，包扎长度不大于 100mm。施放导线时，每隔 5～6m 桥架上应有人将导线向前传送，不得强行拉拽导线，由地面引上桥架时必须有衬垫保护导线，不至损伤。分层敷设时，应先施放最下一层，然后盖上隔板，再施放倒数第二层，第三层。导线的头尾端应有识别同一回路或同根导线的标记，一般用白布带系好，并写明回路标号。

6）分支导线和导线终端的引出位置要和设备对应，引下时要经弯头（粗导线）或保护管（细导线）并有保护套，引下管或线槽要固定牢固或用成品件引下，见图 4-115。

7）导线敷设完毕后应核对并摇测有无错误，无误后即可在导线的两个端头系好回路标号的标牌，并将临时系的白布带取掉。标牌一般用金属铝片或塑料片做成，主要内容有回路标号、起止地点、截面、有无接头、安装日期、开关柜或控制柜编号、设备容量等。

核对导线的方法很多，最常用的方法是用电话机和万用表来核对。导线的两端分别有一人持电话机，如果是无线电话机则可直接联系，比如先联系核对 1#回路，则双方按临时白布条都将 1#回路的导线拿起，其中一方将其所有的导线线芯用金属丝连在一起，另一方则可用万用表的欧姆档测量回路的任意一对导线，通则正确，并将所有的导线测量完。如果不通，则说明敷设有错误或有断线情况，特别是细导线。这时更应核对回路或找出断线的导线。核对正确后再将标牌正式系紧系牢。

如果用普通有线话机，则可利用地线和导线的任一回路作为通话的回路，将电话机接好，再进行联系，方法同上。如果一开始就联系不通，则说明开始选用的“任一回路”有误，应再换一回路，将话机接好再继续联系。为了使用的方便，话机应用带鱼嘴夹子的导线和回路接线。

线路核对后，再用绝缘电阻表摇测每个回路的相与相、相与地的绝缘电阻，应大于 1MΩ。

导线端头处理同前。

8）最后沿着桥架检查导线敷设及安装有无其他不妥，发现后应立即处理，然后再将盖儿盖好，并用卡锁锁紧。盖板两端均应光滑，无毛刺或卷回现；除伸缩缝外，盖板的中间连接应严密，间隙小于 2mm，转弯处不得大于 5mm；有防磁干扰要求的桥架，全线内的盖板覆盖应保持贯通，不得在转弯或立上、立下处中断，除保证无间隙外，还应跨接接地软铜线；盖板的接缝应与梯形架或桥架的连接缝错开；盖板应卡接严密，不得有虚盖、扭曲、变形现象，卡锁必须牢靠锁紧。

三、绝缘导线在电缆沟内的敷设

绝缘导线在电缆沟内的敷设基本同在桥架上的敷设，不同的是一个地下一个地上。拖放导线时尽量避免在地面上拖拉，要由人抬起向前行走；一个回路的导线应同时放开、同时抬起，全部放完后再将其放入沟内的支架上，首端及末端的余量确定后，即将导线用绝缘带绑扎在支架上。绑扎要整齐一致牢固，或者用 Ω 形卡子固定，Ω 形卡子一般用镀锌铁片做成，见图 7-49。拖放导线时应先放最长的回路，并把其放

在最底层支架的最里边，然后按长短一一放入支架。沟内不得交叉或打扭，尽量减少接头，拐弯处要有足够的曲弯半径。由沟内穿管引入别处的导线，应留有足够的余量，并在管口处挂上标牌。

图 7-49　Ω 形卡子

四、工业车间裸母线的安装

有些工业生产车间常采用裸母线延墙或柱空中敷设，并沿墙明设管路将电源引入地上的控制柜或墙上的控制箱。裸母线的材料一般常用硬母线或裸导线，有时也用绝缘导线。

裸导线距地面高度不应小于 3.5m，有遮网时不小于 2.5m；在屋架上敷设时，导线与起重机铺面板间的净距不应小于 2.2m，否则应设遮栏；导线与遮网净距大于 100mm，与遮板净距为 50mm；在搬运和装配物件时能触及导线的场所不得敷设裸导线；裸导线不得与起重机的滑线同侧架敷设；裸导线与建筑物表面的距离及固定点的距离应符合 GB50258—1996 的要求。见表 6-8。

（一）支架制作

支架一般用角钢制作成三角形，也有用槽钢作成一字形的，其材料规格的大小由导线截面和支架的间距决定。一般情况常用 5×50mm、8×80mm 或 10×100mm 角钢制作，见图 7-50。终端的支架应有水平的拉板。

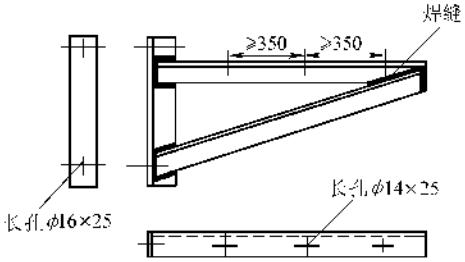


图 7-50　支架示意图

（二）划线并固定支架

安装方法基本与桥架支撑安装方法相同。一般情况下，不得将支架与 T 形铁直接焊接，开孔位置应准确无误，全部开长孔。

（三）安装绝缘子

硬母线用圆柱式绝缘子，导线用针式绝缘子。绝缘子的固定必须用螺母加平垫、弹垫紧固、不得与支架焊接，圆柱式绝缘子应衬垫红钢纸。

绝缘子的安装通常是先将始端和末端的同相各装一只绝缘子，然后将这两只绝缘子顶部的中心用工程小白线连接起来并撑直撑紧，以此白线为准，将每个支架上同相的绝缘子装好。再用同样的方将其他绝缘子装好。

软母线拐弯或分支时，一般采用上下层同相连接的方法，而不采用母线弯曲的方法，见图 7-51。

绝缘子安装前要检查其外观，应无裂纹、无机械损伤、胶合处填料饱满、完整、结合牢固。低压绝缘子一般情况不作耐压试验。

（四）母线的安装

1. 软母线的架设

软母线指用作母线的裸导线或绝缘导线，不得有扭结、松股、断股及其他明显的损伤或严重腐蚀等缺陷，否则不能用作母线；同一截面处损伤面积超过导电总截面的 5% 时不能用作母线。因此放线时要严格检查。

导线放开后应在干净平整的地面上撑直，一般不得有接头。导线引上支架时，应从一端经铜质滑轮向上拉，地下的一端应有人抬起，不得与地面或他物摩擦；支架上的一端应有人接应，并在支架上垫以草袋、棉垫一类柔软物，以免滑伤导线，特别是裸导线更要注意。

为了紧线，这时要把两个终端的支架取下，抬高一个距离 h 安装，并将支柱绝缘子换成蝶形绝缘子，见图 7-52。因此要在终端位置上预埋两块 T 形铁，有时则把终端抬高一次装好，并装设碟形绝缘子，使蝶形绝缘子的中心与其他支架上针式绝缘子的顶槽处于同一水平面上。有时母线的截面偏小，且支架的间隔也不大，即可直接在针式绝缘子上紧线，但不宜太紧太长。

紧线一般用紧线器，先将导线的一端固定在蝶形绝缘子上，固定的方法可用夹子、套管压接或绑扎三种方法。

用卡子固定时，先将导线用铝包带包缠，再从蝶形绝缘子穿过，穿过长度由导线截面而定，一般为 300～400mm 左右，卡子的个数为 2～4 个，间隔不大于 100mm；在卡子处应先用同质金属带包扎，卡子应和导线的截面对应，卡子的紧固不宜太紧。

用套管压接和导线的连接相同。上述两法适用于裸导线。

绑扎法是固定导线时最常用的方法，裸导线应用同质独股线芯线作绑线；绝缘导线应用专用的绑线或独股线芯作绑线，有时绑线也可用镀锌铁丝代替。绑线的直径由导线的截面决定，一般是 2～4mm 左右。

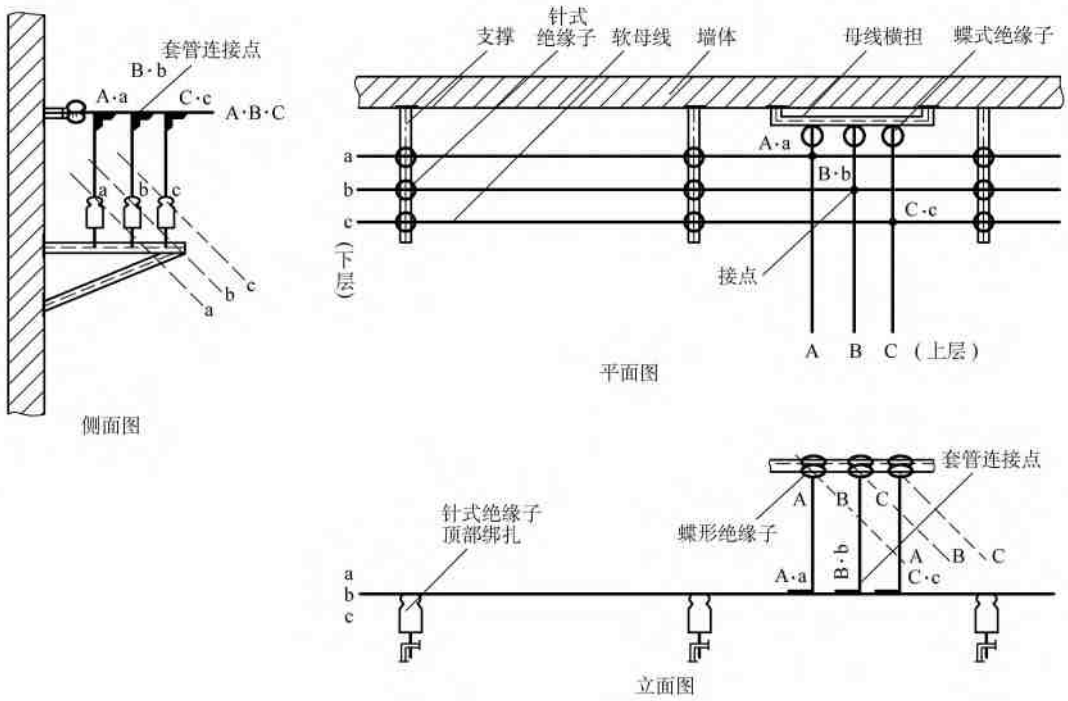


图 7-51 上下层软母线连接示意图

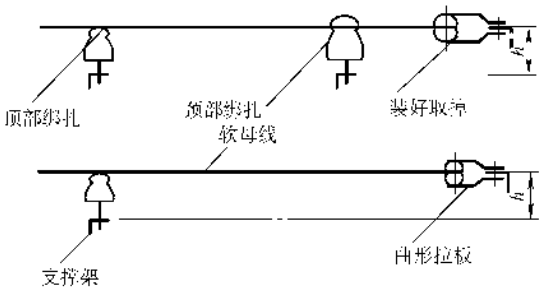


图 7-52 紧线示意图

使用绑线时先把绑线团成多圈状，将其首端 200mm 左右插入导线折回的圈内，要将导线折回的部分和原导线紧紧贴紧，折回的圈要尽量小而形成桃形。左手握住折回的导线和原导线，右手拿住绑线，先在折回部分的根部绑扎 5 圈，再把插入圈内的 200mm 的首端折回后放在右手握住的导线中间，右手从根部开始按顺时针方向一圈一圈将原导线、折回部分和绑线首端的 200mm 紧紧地扎在一起，要严密紧固，绑扎长度为 150 ~ 200mm，然后将折回部分和原导线分开，继续将原导线和绑线首端 200mm 绑扎，绑扎长度约 20mm，最后用绑线和首端 200mm 顺时针扭在一起，约 20mm，并将剩余部分的绑线剪去，这叫做小辫收尾。把折回部分的导线留下 100 ~ 200mm，其余剪掉，再将扎好的部分修整一下即可，绑扎法适用于裸导线及绝缘导线。三种方法见示意图 7-53。

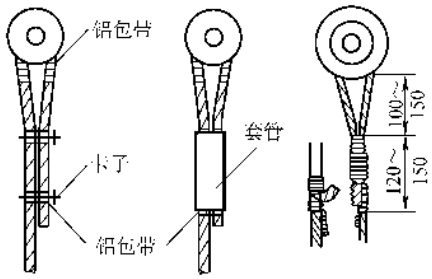


图 7-53 导线在蝶形绝缘子上的固定

然后在另一端紧线，紧线方法详见第十六章，紧好后用前述的三种方法的一种将导线固定在终端蝶形绝缘子上。首端和终端的固定方法要相同。软母线的紧线不宜太紧，伸直即可。

最后将导线用绑线绑扎在绝缘子的顶部或颈部，方法见图 7-54。

2. 硬母线的安装

硬母线的制作安装见本章第三节。这里要注意引下线的开孔，位置必须和设备及引下管对应，开孔必

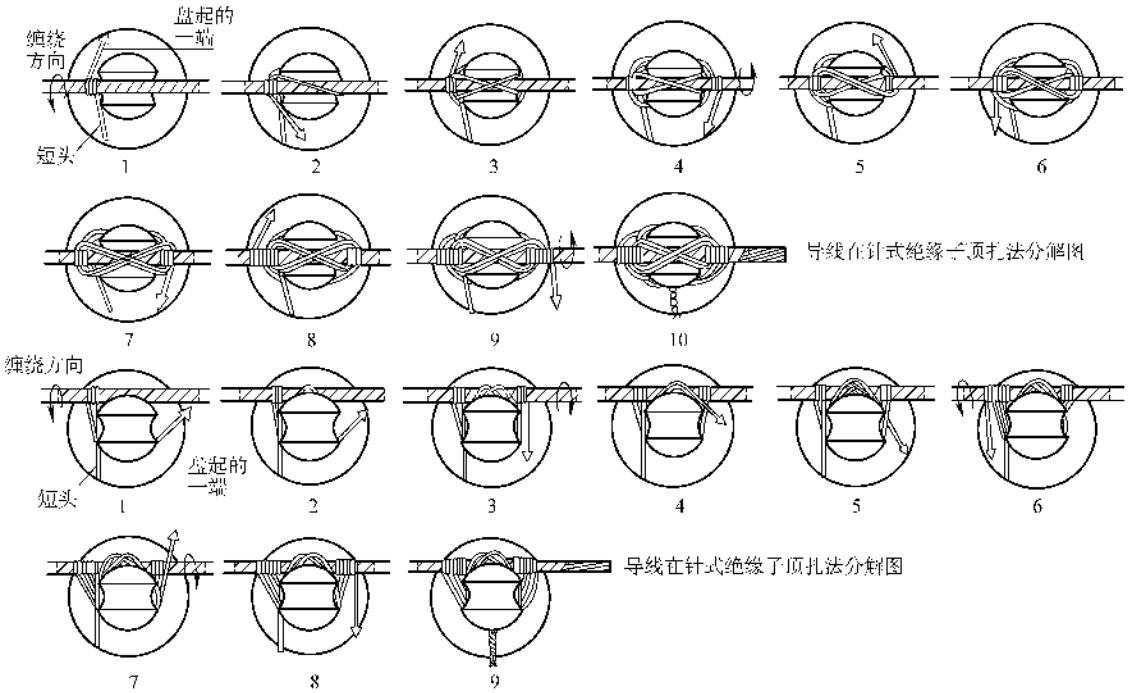


图 7-54　导线在针式绝缘子上的绑扎

须在制作时开好，不得在安装好再开孔。为了接线方便，硬母线一般采用立放的形式。

母线安装好后要测量绝缘电阻，硬母线要刷相色漆。

（五）下引的安装

下引指将母线的电源引至电气控制设备的整套装置，包括管路、导线及导线端头的处理。下引的示意见图 7-55。

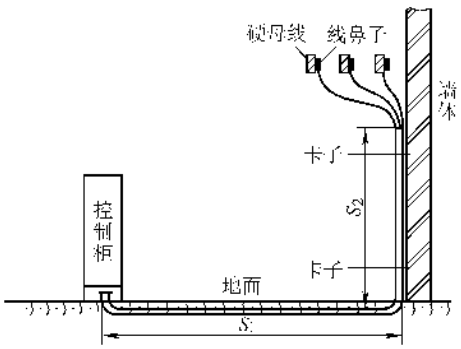


图 7-55　下引线示意图

先测量母线到控制的距离 s_1 和 s_2，并根据电机容量确定管径，然后煨弯、套丝、做喇叭口、焊接地螺，并将管制作成 L 形，涂漆后将其用 Ω 形卡子固定在墙上、下部埋地或沿地平（假定地面已做好，不得刨沟）进入柜体底座槽钢架内。Ω 形卡子常用 ϕ4 ~ ϕ10mm 的膨胀螺钉固定或预埋螺钉固定，卡子的间距 1.2m、间隔要均匀。管子要紧贴墙面并垂直地面。

导线和母线的连接硬母线一般用线鼻子、软母线用套管压接线夹或绑扎法。从管口到母线应有自由的弯曲。铜母线应镀锡，铝母线要涂凡士林，紧固螺栓要穿向一致，有平垫及弹垫，紧固应可靠，线鼻子及线夹应与导线规格对应，见图 2-12。导线和开关的连接也要用线鼻子，紧固在柜内总开关的上闸口。

五、线槽安装及线缆敷设

线槽一般分为金属线槽和非金属（塑料）线槽两种。其中，金属线槽多为敷在建筑物地板内或墙内暗装，与金属管路基本相同。不同的是在地面上设定的位置有出线端或插座、接线盒等，便于设备的使用和控线系统的联络。非金属线槽多为明装于建筑物地板上或墙上明装，与槽板敷设基本相同。

（一）总体要求

1）金属线槽仅适用于环境正常的场所，可在现浇混凝土地面内、墙内或垫层内敷设。

2）金属线槽必须采用配套的配件，线槽及配件

均应内外镀锌处理。转角、分支等处应设分线盒，设备电源处应设插座盒，线槽超过 6m 处应设接线盒。各配件与槽连接处必须做好防水密封处理。

3）同一回路的所有导线应敷设在同一线槽内，不同回路的导线也可敷设于同一线槽内，但槽内导线占据的面积不应超过槽截面的 40%。

4）槽内导线不得有接头，接头应在盒内或出线口进行。

5）强电弱电线路应分槽敷设，两种线路交叉处应设置屏蔽分线板分线盒，在其盒内应分别放置不同位置，不得直接接触。

6）线槽不得作为接地体，线槽全长不少于 2 处与接地线 PE 或接零干线可靠连接。线槽连接处用连接板连接并各点不少于 2 个防松螺母或防松垫圈连接固定螺栓。

7）线槽在建筑物变形缝处，应有柔性补偿装置。

8）线槽可明设，要求同前。

（二）金属线槽暗设

金属线槽暗设须在土建工程施工时与土建配合埋入建筑物内。金属线槽暗设比管路要复杂得多。特别是在地面内敷设，必须保证槽内、盒内的清洁，否则对未来敷设线路、接线将会有很大影响。

1）在土建吊装楼板或支模板时按图样测量分线盒或接线盒，插座盒的位置，并将盒固定在该位置上。

2）安装线槽及配件，调整线槽及配件的整体水平度、误差为 1‰。连接接地或接零干线，并在出线口或分线盒处安装临时防护盖和密封胶圈，在线槽连接器处做好防水密封处理。

3）在浇注和配二层筋前先用水泥砂浆将盒及槽的受力点（每 6m 每个侧面不少于 2 点）稳固，以免碰撞变形。

4）浇注混凝土时应有人监护，及时处理浇注中出现的碰歪或撞斜现象，直到地面施工完毕，直到土建清理现场后再进行下步工作。

5）清扫盒周边尘土灰砂，并用毛刷子彻底清除盒盖及周边做到洁净。去掉护盖，再用毛刷清扫。

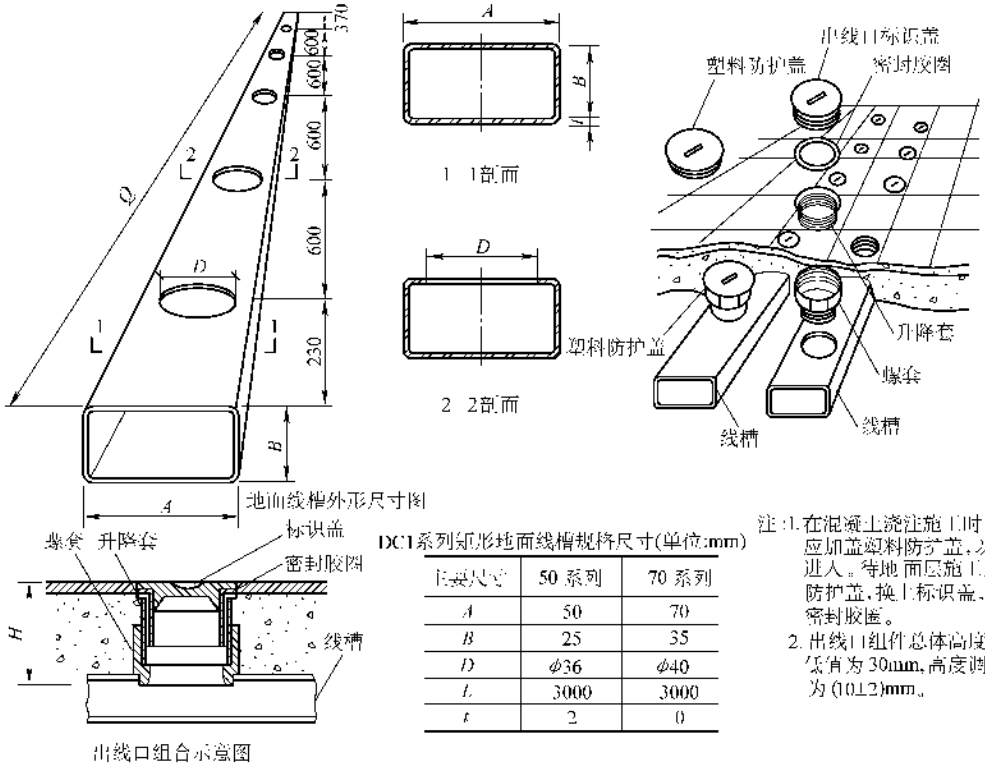
6）穿线，接头，然后用 500V 绝缘电阻表摇测绝缘电阻应大于 2MΩ。

7）安装分线盒标识、出线口标识及胶圈。

8）安装插座。

9）检查无误后试送电，并用万用表测试电压，用试电笔测试插座接线相、零、地线是否正确。

10）这里给出部分示意图，供参考，见图 7-56～图 7-58。



DC1系列矩形地面线槽规格尺寸(单位:mm)

主要尺寸	50 系列	70 系列
A	50	70
B	25	35
D	φ36	φ40
L	3000	3000
t	2	0

注：1. 在混凝土浇注施工时，出线口应加盖塑料防护盖，以防砂浆进入。待地面层施工后，取下防护盖，换上标识盖，并加装密封胶圈。

2. 出线口组件总体高度（H）最低值为 30mm，高度调整范围为（10±2）mm。

图 7-56 地面内金属线槽规格尺寸及出线口组合

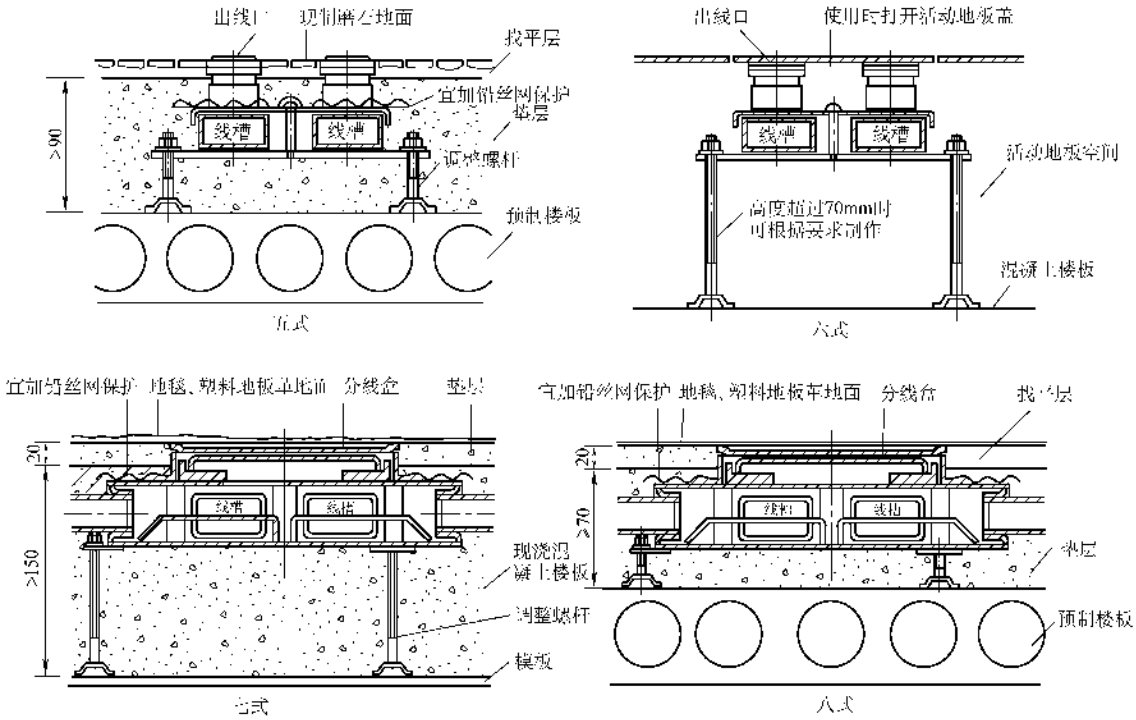
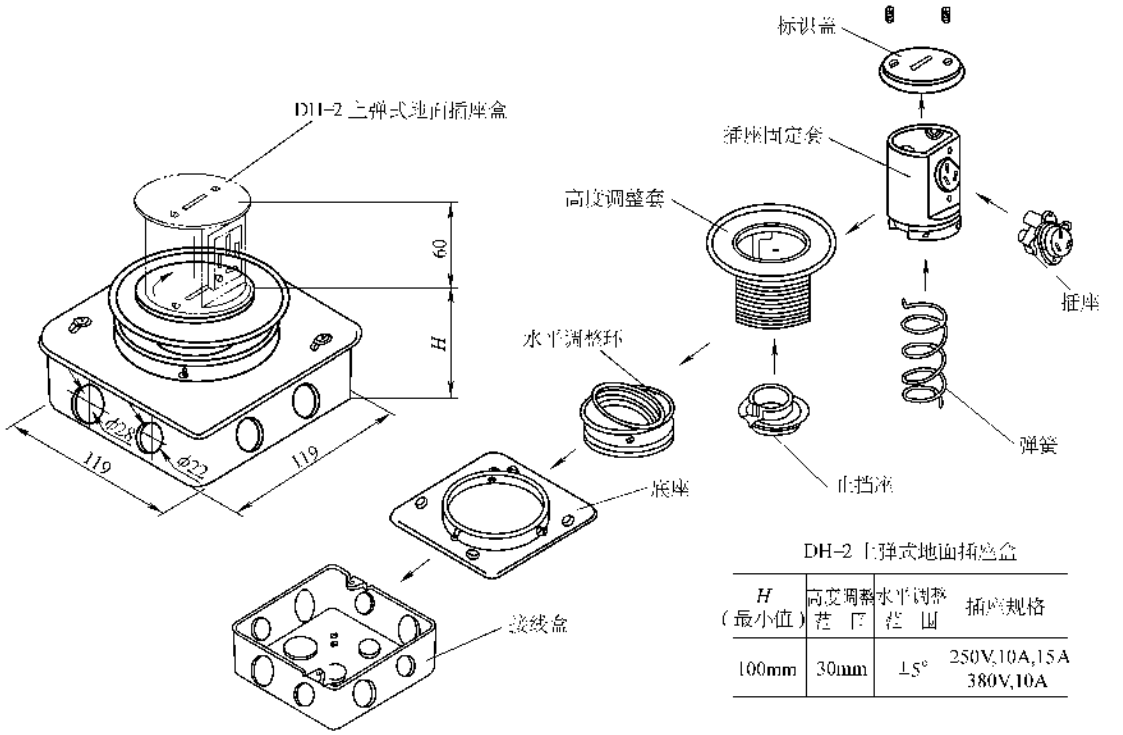


图 7-57　地面内金属线槽在地面内安装部位



DH-2 上弹式地面插座盒

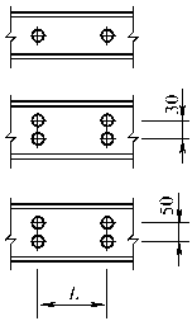
H（最小值）	高度调整范围	水平调整范围	插座规格
100mm	30mm	±5°	250V,10A,15A 380V,10A

图 7-58　地面接线盒、插座规格及附件组合

（三）非金属线槽

1）非金属线槽槽底固定间距应符合表 7-28 的要求。

表 7-28 塑料线槽明敷时固定点最大间距

固定点形式	线槽宽度/mm		
	20～40	60	80～120
	固定点最大间距 L/m		
	0.8	1.0	0.8

2）非金属线槽安装一般应在内装修完毕后进行，安装时应保持屋顶，墙角、墙面的清洁。

3）固定用的塑料胀管、木螺钉、配件必须与线槽配套。

4）金属线槽布线一般适用于正常环境的室内场所，在高温和宜受机械损伤的场所不宜采用。

5）弱电线路可采用难燃型带盖塑料线槽在建筑物顶棚内敷设。

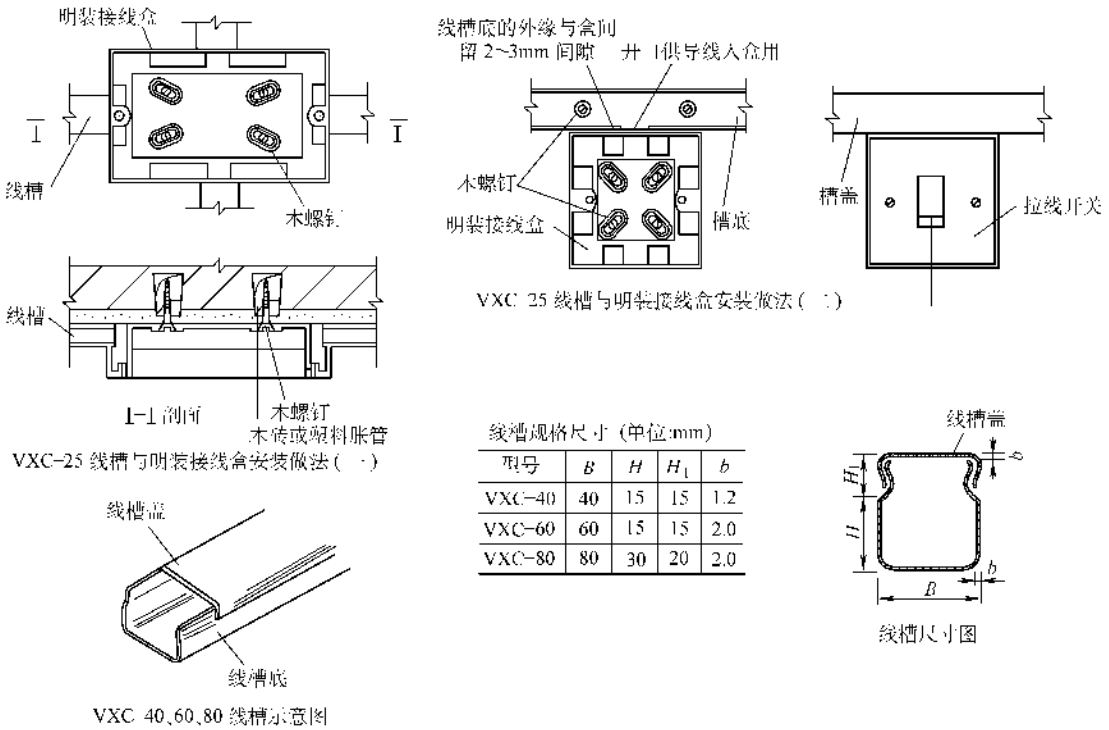
6）强、弱电线路不应同敷于一根线槽内，线槽内导线或电缆的总截面积（包括外护层）不应超过线槽内截面积的 20%，载流导线的根数一般不宜超过 30 根。控制、信号以及与其相类似的导线或电缆的总截面积不应超过线槽内截面积的 50%，导线或电缆根数不限。

7）塑料线槽内敷设的导线或电缆不得有接头，分支接头应在接线盒内进行。

8）塑料线槽布线，在线路连接、转角，分支及终端处应采用相应的附件。

9）槽口向下的线槽内敷设的导线或电缆，应有防止导线或电缆下落的措施。

10）这里给出部分非金属线槽安装示意图，供读者参考，见图 7-59～图 7-61。



型号	B	H	H_1	b
VXC-40	40	15	15	1.2
VXC-60	60	15	15	2.0
VXC-80	80	30	20	2.0

图 7-59 塑料线槽与接线盒安装及塑料线槽规格尺寸

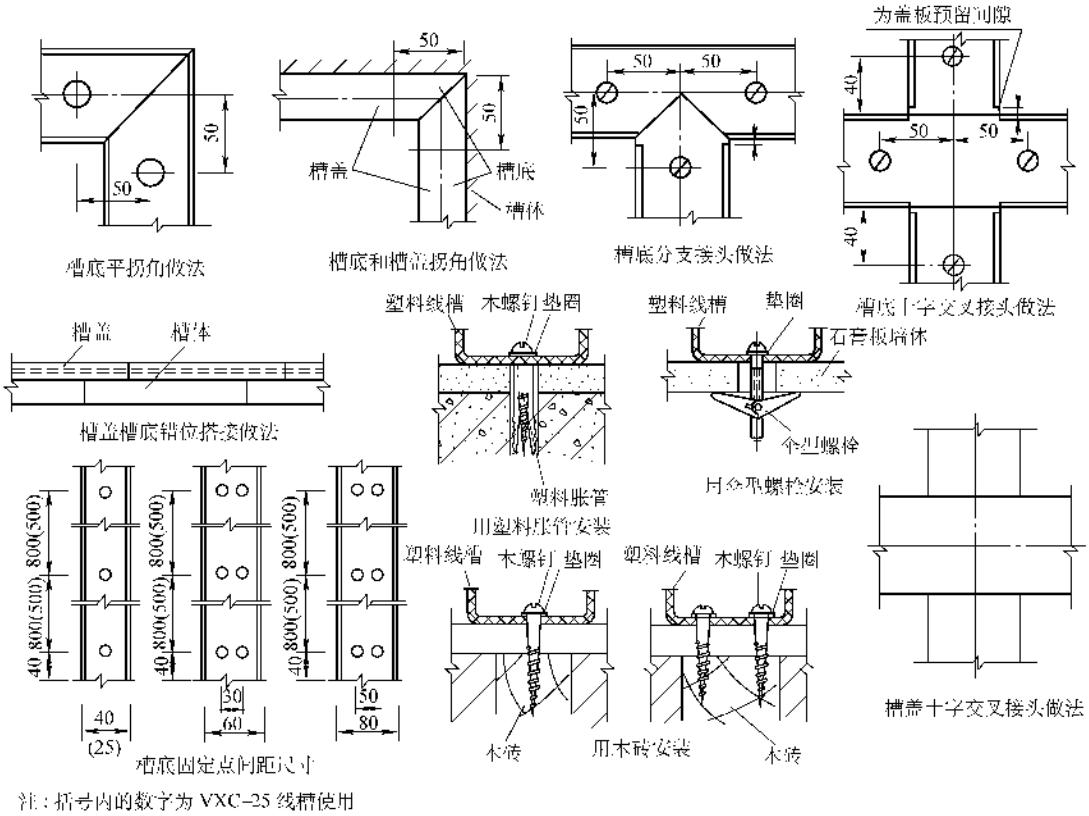


图 7-60　塑料线槽安装

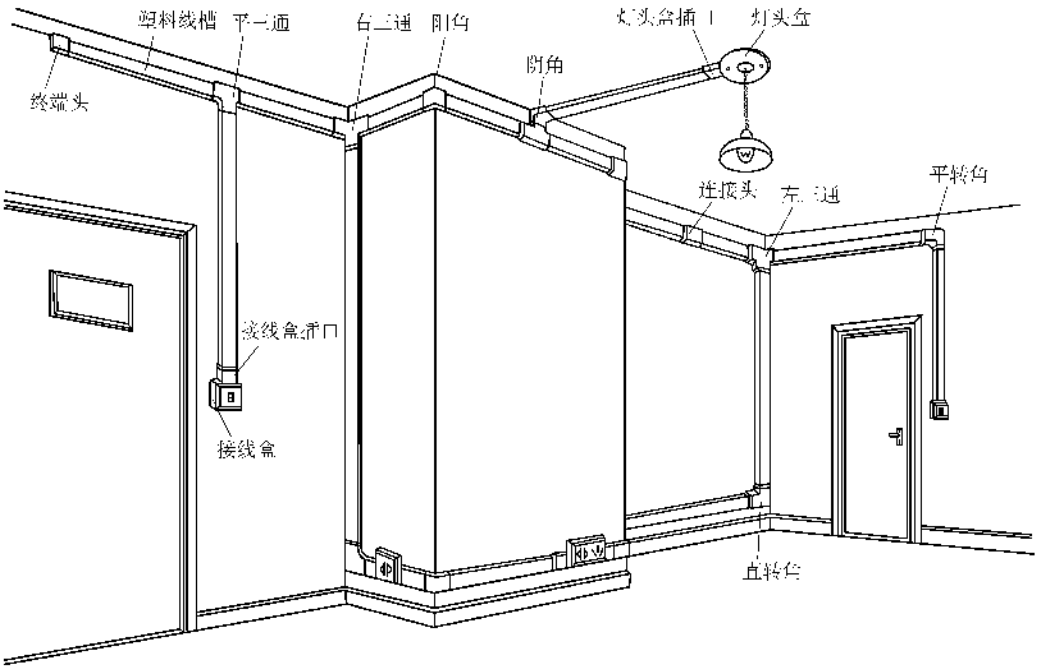


图 7-61　塑料线槽及配套附件安装

第五节 电气设备的检查和调整

在第五章我们已经详细地讲述了电气设备元件、材料的测试和试验，实际上这是安装前的一项最重要的准备工作，已为安装奠定了可靠的基础。安装前为了万无一失还要对电气设备进行安装前的检查和调整，进一步处理调试和试验中发现的问题和不妥。其实，在工程中，测试、试验、检查和调整是连续一次性完成的。但是，测试和试验是基础，是发现问题和不妥的技术手段，而检查和调整是继测试和试验之后确保电气设备、元件、材料质量的补充手段。

一、电动机

（一）抽芯检查

电动机是动力电路中最重要的设备，根据规范的规定，电动机出厂日期超过制造厂保证期限者、经外观检查或电气试验，质量有可疑时、开启式电动机经端部检查有怀疑时、电动机试运转有异常情况者均应进行抽芯检查。而在实际工程中，为了可靠起见，凡是未经使用过的电动机都应进行抽芯检查，特别是40kW及以上的电动机，必须进行抽芯检查，确认无可疑之处和质量合格后才能进行通电空载试验。

1. 抽芯检查应符合下列要求

1）电动机内部清洁无杂物，并吹除内部尘土、物屑等。

2）电动机的铁心、轴颈、集电环、换向器等应清洁无伤痕、无锈蚀现象，通风孔无阻塞。

3）线圈绝缘层完好无损，无任何烧伤及烤糊的痕迹，绑线无松动现象。

4）定子铁心和转子铁心间无碰撞及扫膛的痕迹，铁心无毛刺。

5）槽楔无断裂、凸出及松动现象，铁心槽口的槽楔必须牢固，每根槽楔的空响长度不应超过1/3。所谓空响长度是指槽楔从两边打入线槽时，中间槽楔的两个端头不能相接的长度。

6）转子的平衡块应紧固，平衡螺钉应锁牢，风扇叶的排风方向应安装正确，叶片完整无裂纹，安装牢固。

7）直流电动机、同步电动机的磁极及铁轭固定良好，励磁线圈紧贴磁极，无松动现象。

8）转子导电条和端环的焊接应良好，浇铸的导电条和端环应成为一体，任何部位不得有裂纹、断裂及凸凹现象；观察是否断条应用放大镜。

9）电动机绕组的连接点应正确无误，焊接良好，绝缘可靠。

10）直流电动机的磁极中心线与几何中心线应一致。

11）电动机的滚珠（柱）轴承检查，其工作面应光滑清洁，无裂纹无锈蚀；滚动体与内外圈接触良好，无框动，转动灵活无卡涩；油室的润滑脂宜填满内部空隙的2/3，同一轴承内不得加入两种不同的润滑脂。

12）其他部位均无不妥或怀疑之处。

2. 抽芯工艺方法

小型电动机转子很轻，一般可用手抱出或两人抬出，可按图7-62逐步拆开取出即可，取出时要特别注意不得碰触定子绕组，严禁将转子硬拉出定子。其中端盖的取下应先将四条紧固螺栓松开取下，并做记号以便装配时对号入座，然后用扁铲在螺孔处轻轻将其间隙逐个撑大，使端盖慢慢离开外壳，有的电动机止口很严，应有耐心并注意拆装时不得撞击止口，以免给装配带来困难。

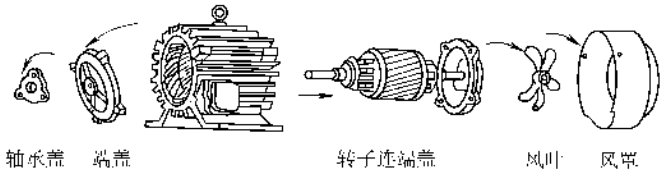


图7-62 小型电动机的拆卸示意图

至于联轴器、带轮或轴承的取下严禁用锤敲打，通常应使用专用工具拔轮器进行，见示意图7-63。拔轮器有大、中、小之分，要根据电动机体积大小来选取，使用时应使拔轮器的钩脚扣住连轴器、皮带轮或轴承的内圈。拔轮器可自制，主要是一根粗丝杠及锻打的拉钩。

装配工艺和拆卸工艺相反，要注意对号入座；端盖装入时先用四条螺钉将端盖和外壳松散固定，然后用手锤轻击，必要时要垫硬木块；紧固螺钉时要对角紧固且不要一次紧死，两个端盖装好后再边紧边转动转子，直至转子灵活无卡后再逐步紧好。任何时候不得硬敲猛击或损坏止口、绝缘。装配好的电动机必须立即摇测绝缘，不得低于抽芯前的摇测值，并试听盘车的声音应正常，否则装配有误。

大中型电动机转子很重，电动机本身的辅件也较多，抽芯工艺也较复杂，需要吊装机具，必要时要有

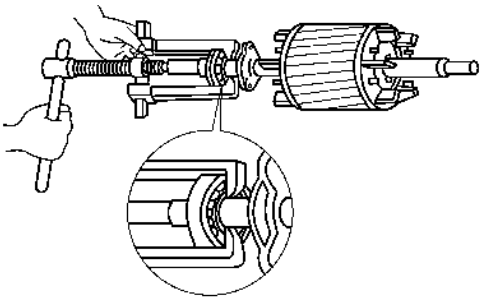


图 7-63　拔轮器的使用方法

电钳工、起重工配合。

1）准备工作：吊装设备应尽量利用室内天车，如有天车但没有安装好，一般应将抽芯工作量按排在天车装好后进行；如无天车则应准备两组人字抱杆及手拉葫芦、吊索及小轮平板导轨车一辆，其中手拉葫芦一般用 2t 的，小轮平板车应能载重电动机的重量。此外还应准备千斤顶一只、道木数根、1～3mm 厚硬质绝缘纸板（宽或长应大于转子长度，要大整张的）、内径等于或稍大于电动机轴径的厚壁钢管一根（长度应大于定子长度），如没有应预先用圆钢车制，要有足够的机械强度，另外还有硬质橡胶垫数块。

抽芯应在平整宽阔的场地进行，特别是采用手拉葫芦吊装，场地必须平整，必要时要修整，并用水平尺测出一块长度略大于电动机长度 2 倍的一段平地。

2）用千斤顶将电动机一端轴头轻轻顶起，但电动机不被顶起，只是使轴头稍吃力，利用千斤顶代替端盖的支撑，见图 7-64。其中千斤顶的顶部应装有半圆形的卡具，以保证不晃动。

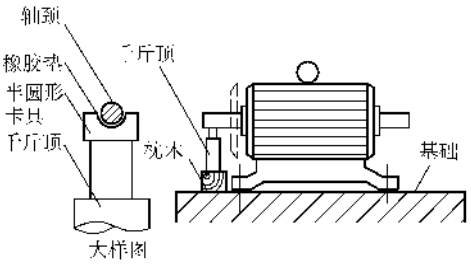


图 7-64　大型电动机抽心示意图之一

3）将被支起端的轴承盖螺栓松开取下。用扁铲及手锤轻轻敲击端盖或撑大螺栓连接处的间隙，使端盖慢慢脱开止口。这个过程应使端盖圆周的脱开程度均匀，应沿圆周对称敲击，并随时观察轴及转子有无位移，必要时应轻微起轻千斤顶，保证转子在中心位置而不下沉。

然后用铜棒和手锤敲击端盖，使其与定子脱离，并移至端部，见图 7-64。

4）用一吊索从即被取下的端盖内侧穿入并缓慢起吊，但并不使转子有位移，只是用吊索代替千斤顶的支撑，保证转子中心位置不变。然后将千斤顶松开取掉。吊索和轴触及处应垫以半圆形卡具及硬质橡胶，以免卡伤轴颈。这时可将端盖从轴上取下，见示意图 7-65。

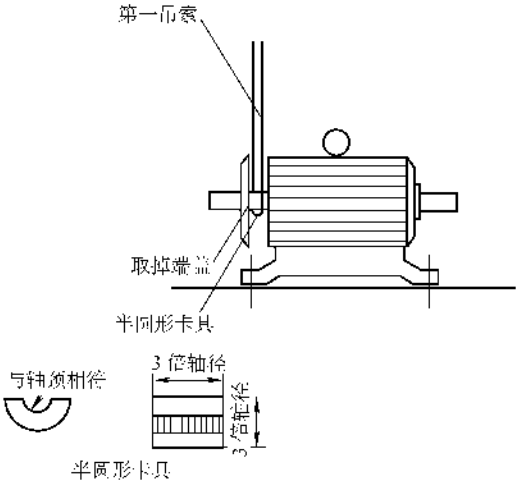


图 7-65　大型电动机抽心示意图之二

5）将 1～3mm 厚硬绝缘板（根据电动机间隙而定）剪成长大于定子 200mm 宽大于 1/2 转子周长，沿转子与定子间隙的下半圆周插进去，一直到推不动为止。目的是保证转子与定子在抽出的过程中不摩擦相碰，避免损坏绝缘。

6）将厚壁钢管套入轴头，套入长度越长越好，用另一吊索将厚壁管端部套好吊起，保证转子中心位置不变，然后将原来的吊索取掉，见图 7-66。

7）将电动机另一端的轴承盖及端盖的螺栓取掉，并用吊索套好吊起，保证转子中心位置不变，见下图 7-66。然后用前述方法将这一端盖和定子离开，这个过程要微微调整两端的吊索，使转子向右位移，见图 7-67。

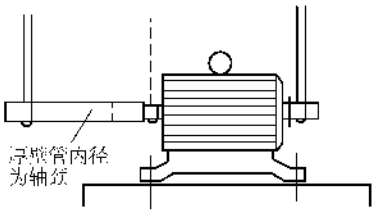


图 7-66　大型电动机抽心示意图之三

8）将两吊索调整为人字形（一般用铁扁担），使转子水平并使其轴位于定子的水平中心上，任何部位转子与定子不得相碰，然后同步向右位移，并将绝缘纸板推至两端分别露出 100mm，保护绕组。当移至转子一大半露出定子时即停止位移，用道木支起定子

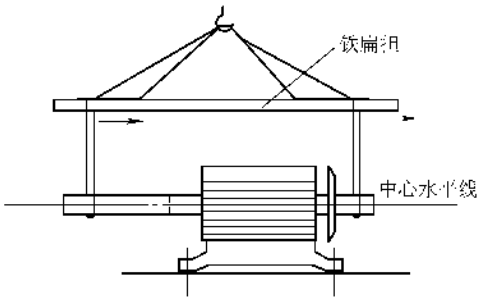


图 7-67 大型电动机抽心示意图之四

使之不能滚动并保证转子与定子的间隙不变，见图 7-67。

这时将两只吊索松开取下，用一吊索将转子的重心部位套好并起吊，这时应垫以硬棉布或胶皮，以避伤及转子，同样应保证定子与转子的间隙不变，然后将厚壁钢管及道木取掉，继续向右位移，直至将转子取出。取出时一定要注意不得使转子碰击定子的任何部位，并将转子轻轻地放在用道木垫好的干净平台上，用木楔支好。见图 7-68 和图 7-69。

9）上述讲述的是用天车吊芯并伴有一个手拉葫芦进行的。如果没有天车，则可将电动机先吊放在小轮平板导轨车上并临时固定，然后用两副人字抱杆及手拉葫芦进行吊芯，其他方法同前。这里要注意抱杆的直径及长度应根据电动机的重量选取，梢径一般不得小于 100mm，见表 7-29 ~ 表 7-33。两人字抱杆的捆绑必须牢固，并用缆绳撑紧后系在可靠的在地锚上。导轨的铺设必须平整且轨距相等，导轨的长度可因电动机体积而宜。详见示意图 7-70。

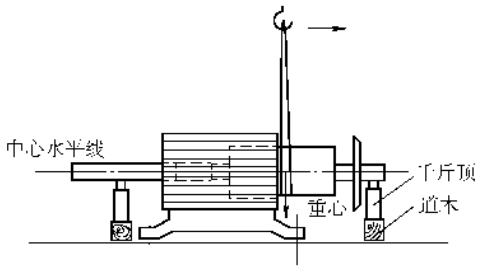


图 7-68 大型电动机抽心示意图之五

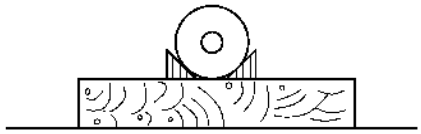


图 7-69 将转子放在平台上

表 7-29 径缩率 0.8% 圆木抱杆容许轴心受力 （单位：kN）

长度/m \ 梢径/cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	12.25	16.856	22.736	29.988	38.808	49.49	62.23	77.322	94.962	115.44	139.16
6	9.604	13.132	17.542	23.03	29.596	37.534	47.04	58.114	71.148	86.14	103.684
7	7.938	10.78	14.308	18.62	23.814	30.086	37.436	46.158	56.252	68.012	81.438
8	6.762	9.114	12.054	15.582	19.894	24.99	31.066	38.122	46.354	55.958	66.836
9	5.978	7.938	10.486	13.462	17.052	21.364	26.46	32.34	39.20	47.138	56.154
10	5.292	7.056	9.212	11.858	14.896	18.62	23.03	28.028	33.908	40.67	48.216
11	4.90	6.37	8.33	10.682	13.426	16.562	20.482	24.892	29.988	35.868	42.434
12	4.41	5.88	7.546	9.604	12.054	14.994	18.326	22.246	26.754	31.85	37.632
13	4.116	5.39	6.958	8.82	11.074	13.622	16.66	20.188	24.206	28.714	34.006
14	3.822	4.998	6.468	8.134	10.192	12.544	15.288	18.424	22.05	26.166	30.87
15	3.528	4.508	5.978	7.546	9.408	11.564	14.014	16.954	20.286	24.01	28.224

表 7-30 径缩率为 1% 圆木抱杆容许轴心受力 （单位:kN）

长度/m \ 梢径/cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	14.406	19.6	26.068	34.006	43.904	55.566	69.58	85.75	104.762	126.812	151.998
6	11.564	15.68	20.678	26.754	34.202	43.022	53.41	65.66	79.87	96.236	114.954
7	9.80	13.132	17.15	22.148	28.026	35.084	43.414	53.018	64.288	77.224	91.924
8	8.624	11.368	14.896	19.012	23.912	29.792	36.554	44.59	53.704	64.386	76.342
9	7.742	10.094	13.132	16.66	20.972	25.872	31.654	38.416	46.256	55.174	65.268

（续）

长度/m \ 梢径/cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	7.056	9.212	118.58	14.896	18.62	22.932	28.028	33.908	40.474	48.314	57.036
11	6.566	8.526	10.878	13.72	16.954	20.776	25.284	30.38	36.358	43.022	50.764
12	6.174	7.938	10.094	12.642	15.68	19.11	23.128	27.734	33.026	39.004	45.766
13	5.88	7.448	9.408	11.76	14.504	17.64	21.266	25.48	30.282	35.672	41.748
14	5.586	7.154	8.918	11.074	13.622	16.464	19.796	23.618	28.028	32.928	38.416
15	5.292	6.762	8.428	10.486	12.74	15.484	18.522	22.05	26.068	30.576	35.672

表 7-31　钢管抱杆的容许轴心受力

容许轴心受力/kN	抱杆长度/m			
	8	10	15	20
29.4	159/6	159/6	273/8	325/8
49	219/8	219/8	273/8	325/8
98	219/8	219/8	273/8	325/8
147	273/8	273/8	325/8	377/10
196	273/8	273/10	325/8	426/10

注：表中分子为钢管外径（mm），分母为钢管壁厚（mm）。

表 7-32　角钢抱杆的容许轴心受力

示意图	a)				b)			c)		
抱杆长度/m	15	20	25	30	15	22.5	30	15	22.5	30
抱杆自重/t	2.3	3.0	3.7	4.4	3.3	4.4	5.4	1.3	1.8	2.2
容许受力/kN	294	245	196	147	372	353	294	147	98	49

表 7-33　铝合金抱杆的容许轴心受力

示意图	a)	b)	c)
抱杆全长/m	11.0	9.7	15
抱杆最大断面积/cm^2	35×35	30×30	50×50
自重/kg	97	83	—
容许受力/kN	78.4	78.4	118

10）有些大型高压电动机的结构其轴承是另设在定子铁心之外，它和定子分别都装设在底板上，见图 12-361、图 12-362，其抽芯和前述略有不同。

①　打开电动机两端的轴承（轴瓦）上盖，并拆掉有碍抽芯的油管路。

②　将电动机定子两端的防护罩拆下取掉。

③　将厚硬质橡胶板从电动机下半部的间隙插入。板厚由间隙而定。

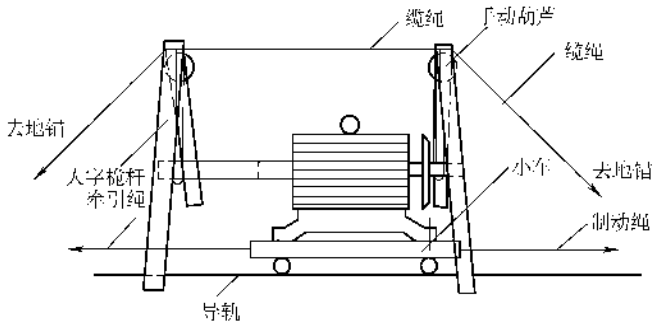


图 7-70 简易电动机抽芯示意图

④ 将定子和底板的固定螺栓取掉。

⑤ 将定子和转子一起吊起，一般不超过200mm，然后用道木支好。这里要注意不得将吊点放在两轴颈上，而应放在定子上，以免轴受重力而弯曲。

⑥ 将一端的轴承架拆掉。

⑦ 用前述的方法将转子取出。

⑧ 除 1. 中检查的内容外，还应由电钳工检查轴瓦及油路是否正常，否则应修复。

⑨ 此种电动机装配和解体的方法相反，但应由电钳工调整轴瓦，使转子、定子同心，并随时转动转子盘车，观察有无阻卡或扫膛现象，盘车应使用专用工具，见示意图 12-364，亦可自制。其他有关事宜详见第十二章第十节。

11）抽芯过程中的注意事项

① 拆下的螺栓、端盖、轴承盖及其他附件等应编号保管，必要时应放在地面铺好的白布上，以免丢失或混乱，结构复杂的电动机应先画好分解图再解体。

② 整个过程应由有经验的熟练技工统一指挥，必要时应编制工艺方案，并向所有工作人员进行技术和安全交底，说明工艺要点和注意事项。

③ 所有的吊索、吊机具在使用前应检查核对，以免失误，为了防止滑脱，一般不宜采用直接在轴颈上的人字形吊法。起吊前必须由起重工核对吊点及有无不妥。起吊高度大于 100mm 时必须在 100mm 处停留，检查无误后才能继续起吊或位移。有关吊装安全事项见第十九章。

④ 检查转子和定子应由专人进行，如需进入定子内腔检查必须穿软底鞋，不得携带任何金属器件，人数最多不得超过 3 人，检查完后应彻底检查内腔，任何器件不得留失在定子内腔中。

⑤ 抽芯及装配一般应在当天完成，如需过夜或午间休息，必须有专人值班看护，以免意外发生。大型电动机抽芯时用的机具较多，必须妥善保管和清点，不得遗失。

（二）干燥处理

电动机出厂后，经运输保管容易受潮，其绝缘电阻有所下降。规范中规定，电动机的绝缘电阻有下列情况之一者必须进行干燥处理，电动机额定电压 1000V 以下、绝缘电阻小于 0.5MΩ 者；容量在 100kW 及以上、吸收比小于 1.2 者；额定电压在 1000V 以上，在接近运行温度时，定子线圈绝缘电阻小于 1MΩ/kV，转子线圈小于 0.5MΩ 者。

电动机的干燥处理应和抽芯配合进行，干燥的方法很多，现介绍常用的几种。

1）小型电动机一般可使电动机空载运行，借绕组发热自身干燥电动机；或者将电动机转子抽出，将定子立置，将 300 ~ 500W 白炽灯泡置于定子之内通电烘干，见图 7-71，必要时可将周围用石棉板围起，以保温，时间一般为 24h 即可。烘干时灯泡不得触及铁心及线圈。

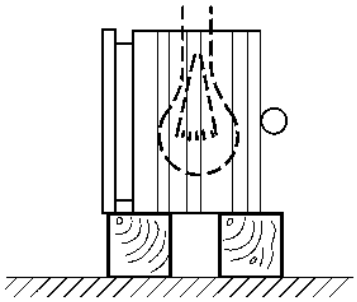


图 7-71 灯泡烘干法

2）烘箱干燥：将电动机定子倒置立放于烘箱之内，并将下部支起，以便热流循环，同时把绕组的端头和接地螺钉用高强绝缘导线悬空引出，和箱体接触部位应用黄腊绸或套管加强绝缘。一般 A 级绝缘应先于 70 ~ 80℃ 预烘 4h，然后升温至 110 ~ 120℃ 烘 16h 即可。对于 E 级绝缘则应将每次的烘干温度提高

10～20℃，时间同上。

3）电流干燥法：电流干燥就是将电动机的绕组按一定的方式连接起来，然后通以低压电流进行干燥。

①　接线方式见图 7-72 和图 7-73。

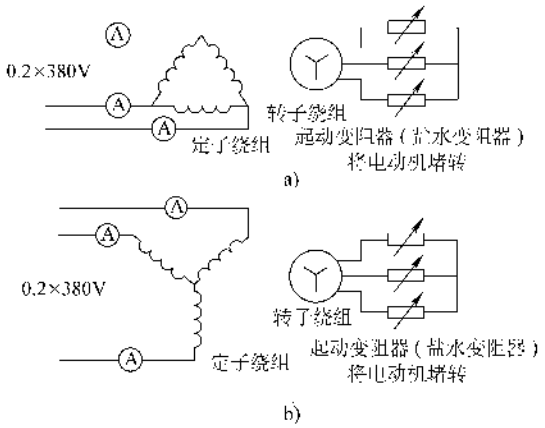


图 7-72　绕线转子电动机电流法干燥接线图

a）定子为三角形联结　b）定子为星形联结

②　电源一般为单相 220V 或 110V，电流一般控制在 0.6 倍电动机额定电流。转子宜抽出定子，必要时应同样用石棉板保温。绕线转子电动机也可按图 7-73进行电流法干燥。

4）注意事项

①　电动机的干燥必须有专人值班，随时观察温度的上升并记录有关数据，电动机的周围不得有明火或其他不安全的隐患。

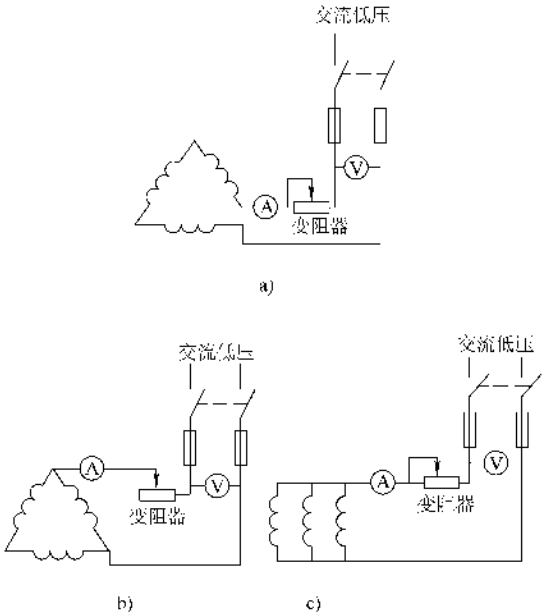


图 7-73　笼型电动机电流法干燥接线图

a）中、大型电动机串联干燥法　b）小型电动机串并联干燥法　c）小型电动机并联干燥法

②　温度应缓慢上升，上升速度为 5～8℃/h，大电动机不得超过 10℃/h。小电动机不得超过 15℃/h。

③　铁心和线圈的最高允许温度，应根据电动机的绝缘等级来确定，见表 7-34。当用酒精温度计测量时为 70～80℃，而用电阻式或温差式热电偶测量时为 80～90℃。

表 7-34　三相异步电动机的最高容许温度和最大容许温升

（环境温度为 40℃时）　（单位：℃）

电动机的部位		A 级绝缘				E 级绝缘				B 级绝缘				F 级绝缘				H 级绝缘			
		最高容许温度/℃		最大容许温升/℃		最高容许温度/℃		最大容许温升/℃		最高容许温度/℃		最大容许温升/℃		最高容许温度/℃		最大容许温升/℃		最高容许温度/℃		最大容许温升/℃	
定子绕组		温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
		95	100	55	60	105	115	65	75	110	120	70	80	125	140	85	100	145	165	105	125
转子绕组	绕线转子	95	100	55	60	105	115	65	75	110	120	70	80	125	140	85	100	145	165	105	125
	笼型	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
定子铁心		100	—	60	—	115	—	75	—	120	—	80	—	140	—	100	—	165	—	125	—
集电环		100	—	60	—	110	—	70	—	120	—	80	—	130	—	90	—	140	—	100	—
滑动轴承		80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—	80	—	40	—
滚动轴承		95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—	95	—	55	—

④ 带转子干燥的电动机当温度达到70℃时后，至少每隔2h应将转子转动180°。

⑤ 烘干（包括预烘）过程中，每隔1h应用绝缘电阻表测量绕组对地的绝缘电阻，开始时绝缘电阻要下降，而后逐步上升，当吸收比及绝缘电阻符合要求时，一般应达到5MΩ，并在同一温度下经5h稳定不变时，即可认为干燥完毕。

⑥ 干燥后的电动机应在降至室温后再进行组装，装配好后必须摇测绝缘电阻，并试听盘车的声音，如有不妥要及时处理。

⑦ 被水浸泡过的电动机，应先用清水将电动机内部冲洗干净，风干后放入烘箱、以低温长时间烘烤，然后逐步升温进行干燥。

⑧ 为了安全，烘干现场应有四氯化碳、二氧化碳电气专用消防器材，以防万一。如果发生火灾应遵守电气灭火规程。

⑨ 干燥后的电动机如不及时运行，应有防潮措施。

⑩ 凡用通电法干燥时，在测量绝缘电阻时要先断开电源、然后放电，放电后才能行绝缘电阻的测量。

（三）电动机试车过程故障处理方法

电动机试车过程中会发现一些常见故障，如不能起动、转速低于额定值，空载电流不稳定、外壳带电、声音不正常、振动、轴承过热、温升过高，绕线电动机集电器火花太大、起动跳闸等故障。

现将电动机常见故障及处理方法列于表2-84内，供读者参考。

（四）电动机内部故障的诊断

经过上述的检查和试验，全部项目合格的电动机即为合格电动机，可进入下一步的负载运行或单机试车，否则应判为不合格。不合格的电动机可由安装单位进行处理，并收取一定的费用；如安装单位无修理条件，则应经供货单位交电动机厂家处理，但应指明故障或原因，并提供电动机试验报告。电动机的故障有些很直观，如前述的外观检查、绝缘电阻和直流电阻的测量、耐压试验、抽芯检查、极性试验等。但有些却隐在电动机绕组的内部，如空载试验中的空载电流过大、过小或不平衡不稳定、振动、吼叫、绞磁、温升过高、转速较低或转速不稳、带动不了负载或带动负载转速降低、声音不正常等。这些电动机内部的故障则应进行确切的诊断，才能进行修理或提交厂家处理，这和医生给病人看病一样，误诊将会给安装单位带来信誉上的不利，造成不可估量的损失。但是往往部分安装单位对这方面的知识浅薄，这里将详细介绍交流异步电动机绕组的接线方法，其他内容详见第二章相关内容。

所谓绕组就是指电动机定子或转子槽中嵌放的每只线圈或线圈的集合，它的形状和在槽中的位置见图7-74。

各类电动机绕组的接线方法不同，但其基本原理是相同的，现以常用的电动机为例说明接线方法，进而掌握故障的诊断及处理方法。

（1）绕组的节距（俗称跨距） 节距表示绕组两个在槽中嵌放的边的距离，这个距离用槽数为计量单位，通常用y表示。

极距表示旋转磁场中相邻的两磁极的间距，这个间距也以槽数为计量单位，通常用τ表示

$$\tau = \frac{\text{槽数}}{\text{极数}} = \frac{Z}{2p} \tag{7-1}$$

式中 p——磁极对数；

Z——电动机的槽数。

为了感应尽量大的电动势，绕组的两个在槽中的边应嵌放在接近一个极距τ的两个槽内，即$y \leqslant \tau$。

当$y=\tau$时称其绕组为整距绕组，如图7-74中36槽4极电动机，$\tau=36/4=9$，这时如果第一只绕组的一边嵌放在第一槽（假定从右向左数），那么另一个边则应嵌放在第十个槽，即y为1～10。当$y<\tau$时称其绕组为短距绕组，如$y=7$，绕组的两边应嵌放在1～8槽之中。双层绕组一般使用短极距$y \approx 0.8\tau$，以使5次、7次谐波的影响削减得更小，既改变电动机的电磁性能，又节省材料。

（2）绕组的种类及特点 绕组有单层绕组和双层绕组两种。所谓单层绕组就是每个槽内只放置一只线圈的一边，这样线圈的总个数只有槽数的一半，这样的绕组只适用于小型电动机。所谓双层绕组就是每个槽内上下分别放置两只线圈的各一个边，这样线圈的总数和槽数相等，这样的线圈可选用合适短距绕组，改善电磁波形，并且可用分数槽绕组来削弱高次谐波等。双层绕组的电动机，电磁性能、起动性能等参数都比单层绕组要好，且绕制方便，大中容量的电动机大都采用双层迭绕组。但双层绕组在同一槽内放置两不同线圈的边，增加了相间短路的可能性，因此，边与边之间必须放置相间绝缘。

（3）无论采用哪种绕组，所有绕组的两个边都将会把所有的槽占满，现在以36槽4极三相电动机采用双层绕组来说明电动机的接法及旋转磁极的生成。

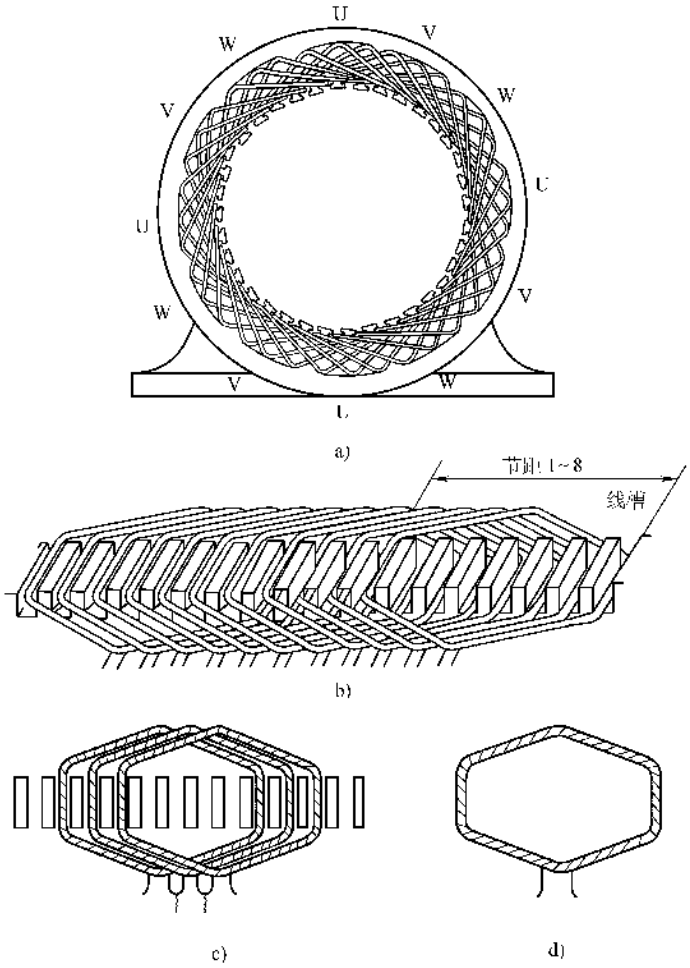


图 7-74　线圈的形状及在定子槽中的位置

a）三相电动机的定子及槽内线圈　b）将定子展后的绕组　c）槽内线圈展开图

d）从槽内取出的单只线圈

1）设槽数为 Z、相数为 m、磁极对数为 p、每相线圈数 n、每极的线圈数为 N，每极每相的线圈数为 q，因采用双层绕组，所以线圈总数也为 Z，则有

$$n = \frac{Z}{m} = \frac{36}{3} = 12(\text{只线圈})$$

$$N = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{2 \times 2} = 9(\text{只线圈})$$

$$q = \frac{Z}{2p \cdot m} = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3(\text{只线圈})$$

如果把电动机的定子从某一槽处切断，展开后的定子及线圈分布见图 7-75，可以看出每极中都含有 U、V、W 相的线圈，我们把每一极中每相的线圈组称作极相组或“一联”，这个联的线圈是串联起来的。串联的时候必须是前一只的“尾”和后一只的“头”连接不得接反。实际中，这个“联”在电机制造的时候是自然连在一起的，见图 7-76。

2）为了简化，我们把图 7-75 画成图 7-77 的样式，然后把每极中 U 相的极相组用导线连起来，实际当中是在极相组的头尾线套上直径合适的黄腊管焊接起来的。这里要特别注意 U_1 的尾和 U_2 的尾连接，U_2 的头和 U_3 的头连接，U_3 的尾和 U_4 的尾连接，然后 U_1 的头用黄腊管套入后引至接线盒的 D_1 端，U_4 的头套管后引至接线盒的 D_4 端，作为 U 相的头尾。这样的接法习惯上叫做反串，我们把 U 相的每个极相组用一小矩形代替，并通以直流电流或在交流电流的瞬时即产

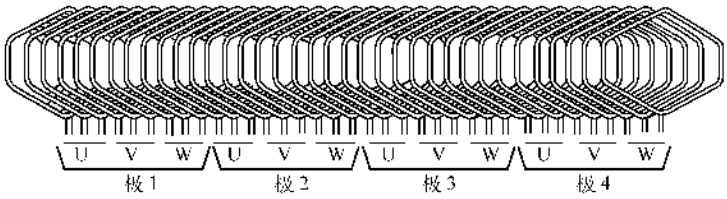


图 7-75 展开后的定子及线圈的分布示意图

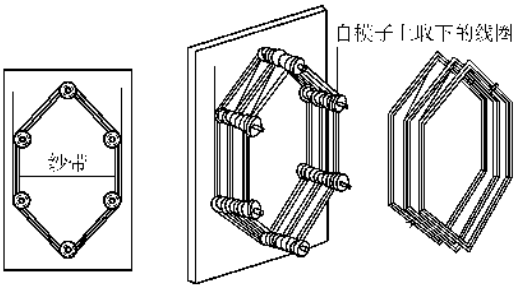


图 7-76 极相组线圈的制作

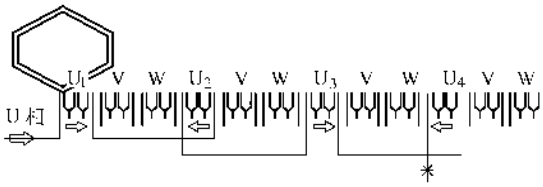


图 7-77 A 相极相组的连接方式

生四个磁极（即 2 对磁极，同极相邻合并），见图 7-78，任何与此不同的连接都是错误的。但是如果按图 7-78b 的方法连接，即可生成八个磁极，习惯上叫做正串，这样的连接将用在变极电机中。

3）用小矩形代替所有的极相组，并用上述反串的方法将 V 相、W 相的极相组连接起来，即完成了该电动机的全部接线，见图 7-79。这里要特别注意，V 相的连接可以从 V_2 正进开始，见图 7-79，也可从 V_1 反进开始连接，见图 7-80。

如果我们把展开后的图形再恢复成圆形，即为实际电动机定子的接线，见图 7-81 和图 7-82。

4）上述的连接方法，能否在通以三相交流电时产生四个磁极的旋转磁场呢？回答是肯定的。现以图 7-83 来说明磁极产生的过程。当在 $\omega t=0$ 时，A 相没有电流，因此 U 相的极相组没有电流流过，也不产生磁场。V 相的电流为负，和 V 相的极相组标注的方向相反，也就是从箭头的方向流进，从箭尾的方向流

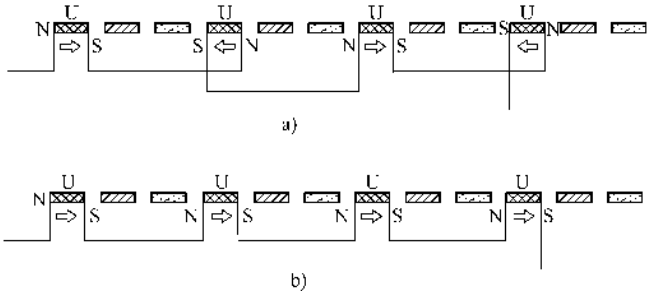


图 7-78 绕组的连接方法

a）反串接法 b）正串接法

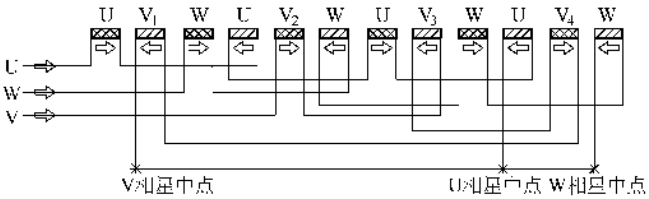


图 7-79 电动机接线方法之一

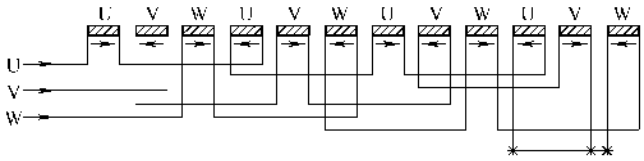
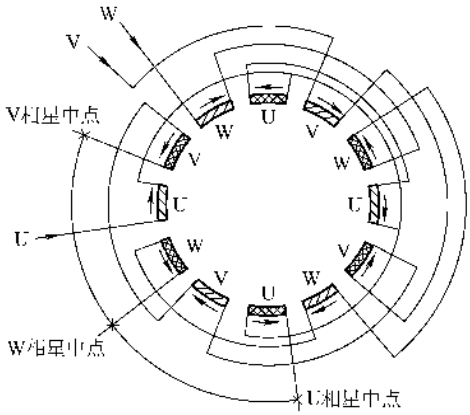


图 7-80　电动机接线方法之二



圆形接线图4极串联星形联结

图 7-81　星形联结

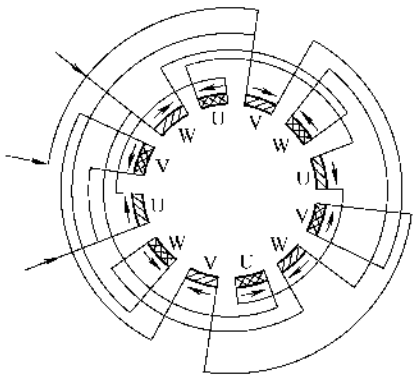


图 7-82　三角形联结

出，这个电流根据右手螺旋定则便要产生磁场，流进端为 N 极，流出端为 S 极，同时我们在图上标出 N 和 S。W 相的电流为正，和 W 相的极相组标注的方向相同，即从箭尾流进，从箭头方向流出，同样我们将 N 和 S 标出。这时我们不难发现，V 相和 W 相极相组相邻的两端产生相反的磁极 N 和 S，由于极相组的导线匝数相同、大小及形状一样，因此产生的磁势相等，因为方向相反，便相互抵消，因此 V 相和 W 相相邻的两端之间磁势为零；而 V 相和 W 相极相组不相邻的中间隔着 U 相极相组的两端则产生相同的合磁极 N 或 S，因此这里的磁势很强。可以看出 $\omega t = 0$ 时，三相绕组产生了四个磁极，即 2 对磁极。

在 $\omega t = 90°$时，U 相电流为正，而 V 相、W 相的电流为负，我们即可在极相组上标出产生的磁极 N 和 S，W 相和 U 相、U 相和 V 相极相组相邻的两端磁势相互抵消了，而 V 相和 W 相极相组相邻的两端产生合磁势，共四个磁极。

同理，在 $\omega t = 180°$和 $\omega t = 270°$时同样产生四个磁极，$\omega t = 360°$即一个周期时将继续产生四个磁极。我们还可以从虚线的连线上看出这四个极是随 ωt 的变化而向左移动的，这就是旋转磁场。以上旋转磁极的产生过程，可供我们对三相电动机内部接法正确与否进行校对。

（4）三相电动机的其他接线方法

1）多路并联，见图 7-84。

2）两种电压的电动机接法，见图 7-85 和图 7-86。

图 7-85 如要高压运转，则每相的绕圈应串联，即 1、2、3 为电源进端，4 与 7、6 与 9、5 与 8 封接在一起。如要低压运转，则应接成双路并联，即 7 与 1、8 与 2、9 与 3 封接在一起，并为电源进端，4、5、6 封接在一起为星点。这是星形联结，见图 7-87。

图 7-86 如要高压运转则按图 7-88a 连接，每相绕组为串联，如要低压运转则按图 7-88b 连接，每相绕组并联。这是三角形联结。

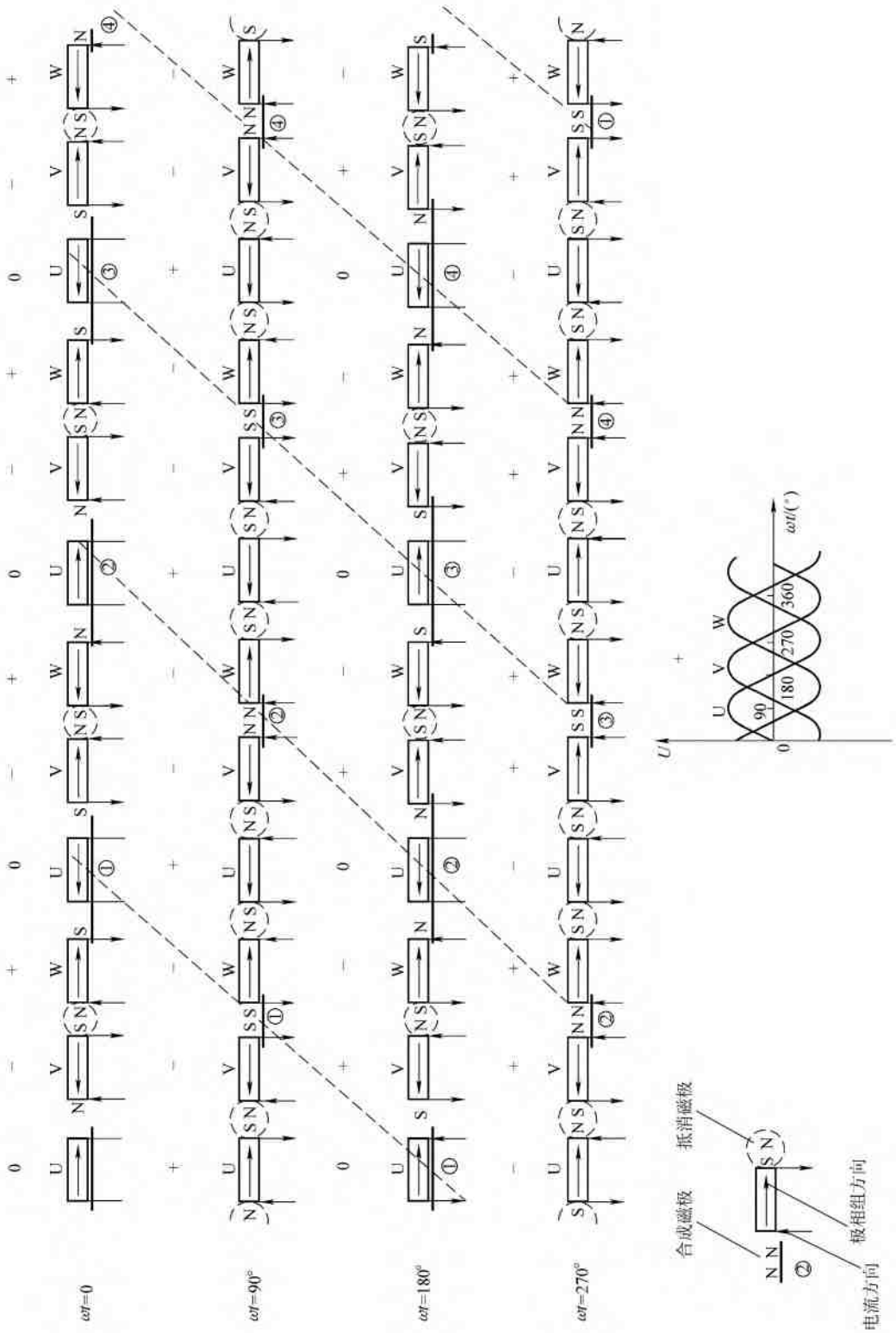
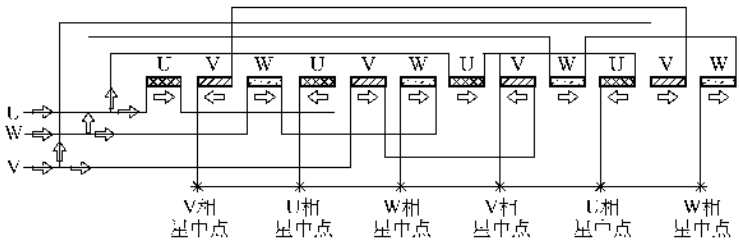
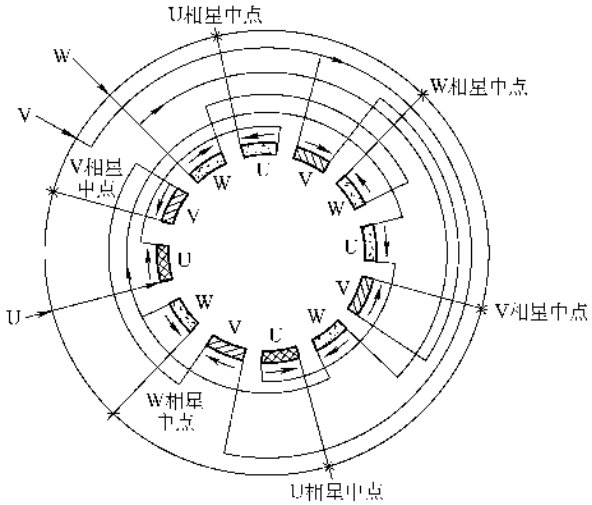


图 7-83 旋转磁场与磁极的产生



三相四极双路并联星形联结展开图



三相四极双路并联星形联结的圆形接线图

图 7-84　多路并联示意图

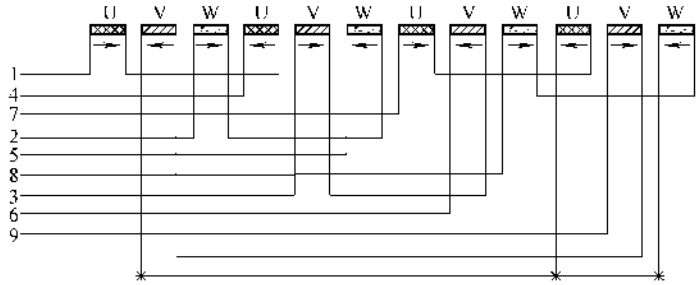


图 7-85　三相四极星形联结

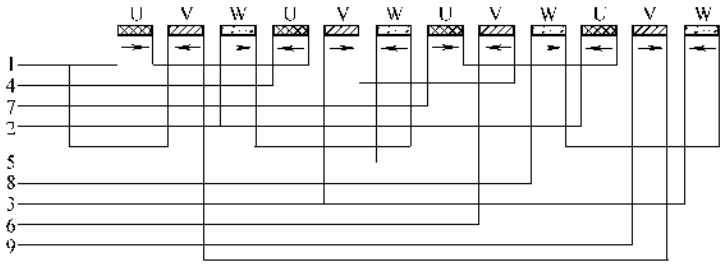


图 7-86　三相四极三角形联结

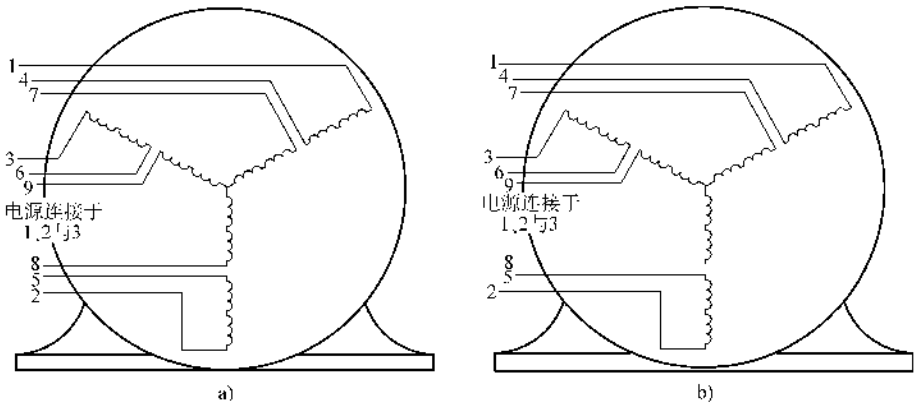


图 7-87　三相四极星形联结二种电压的具体接线

a）两种电压星形联结电动机各线圈组接成串联使用于高电压运转　b）两种电压星形联结电动机各线圈组接成并联使用于低电压运转，4、5 与 6 连接成外星中点

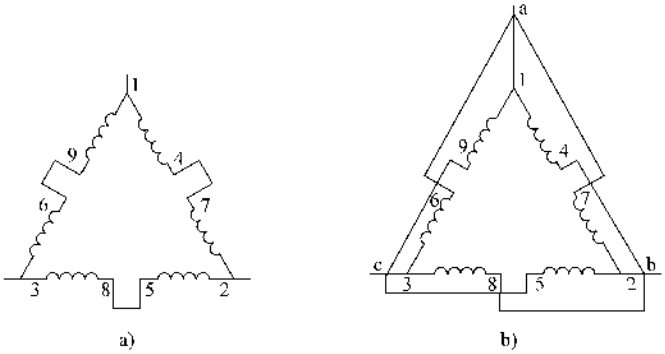


图 7-88　三相四极三角形联结两种电压的具体接线

a）两种电压三角形联结，各线圈组接成串联，使用于高电压运转

b）两种电压三角形连接，各线圈组接成并联，使用于低电压运转

3）多速电动机的接法，双速电动机的接法见图 7-89 和图 7-90。三速电动机的接法见图 7-91。四极电动机的内部接线见图 7-92。

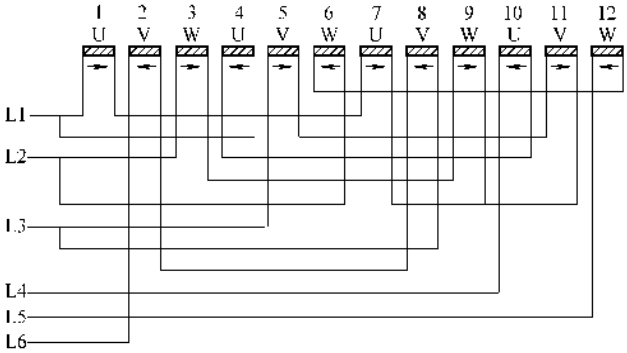


图 7-89　四极恒转矩双速电动机

并联星形连接用于高速运转，串联星形连接用于低速运转。在高速运转时，将 L_1、L_2、L_3 与电源相接；L_4、L_5、L_6 接在一起，在低速运转时，L_4、L_5、L_6 与电源相接，L_1、L_2、L_3 各不相接

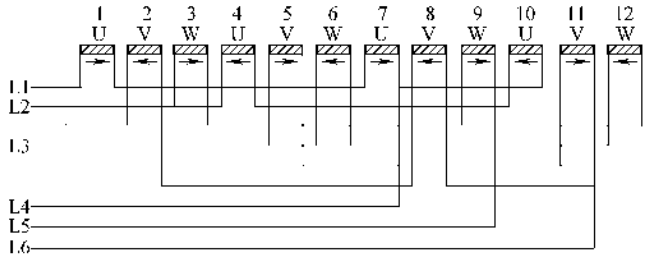


图 7-90　双速恒功率电动机

串联三星形用于高速运转，双路并联星形联结用于低速运转。在低速运转时，L_4、L_5、L_6 和电源相接，L_1、L_2、L_3 接在一起。在高速运转时，L_1、L_2、L_3 和电源相接 L_4、L_5、L_6 各不相接

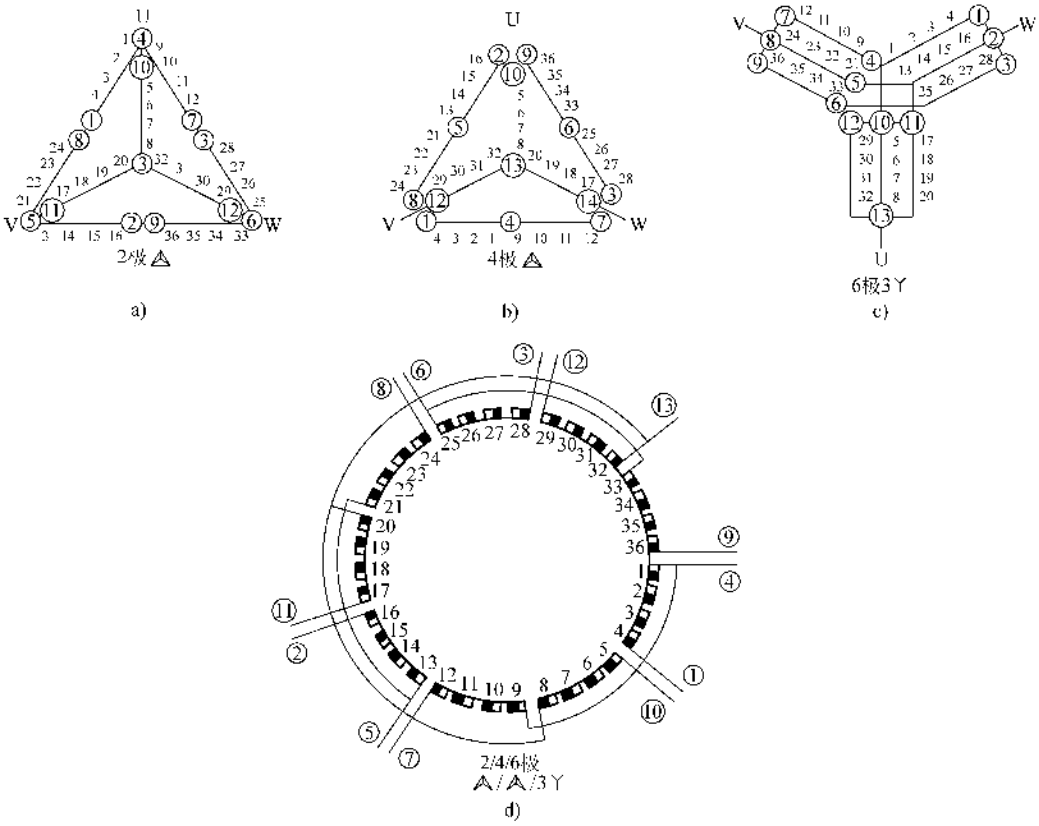


图 7-91　三速电动机的内部接线

a）2 极-星-角　b）4 极-星-角

c）6 极 3 星　d）总接线图

注：带○的数字为引出线序号。

不带○的数字为线圈的序号。

这里需要说明的是多速电动机的接线方案很多，接线时必须按照厂家提供的说明书或接线图进行。

无论哪种连接，都必须保证相邻的两个极相组进线方向相反，并且同相的极相组可串联或并联。为了工作上的方便，将常用电动机的内部接线方法列于图 7-93 中，供参考。

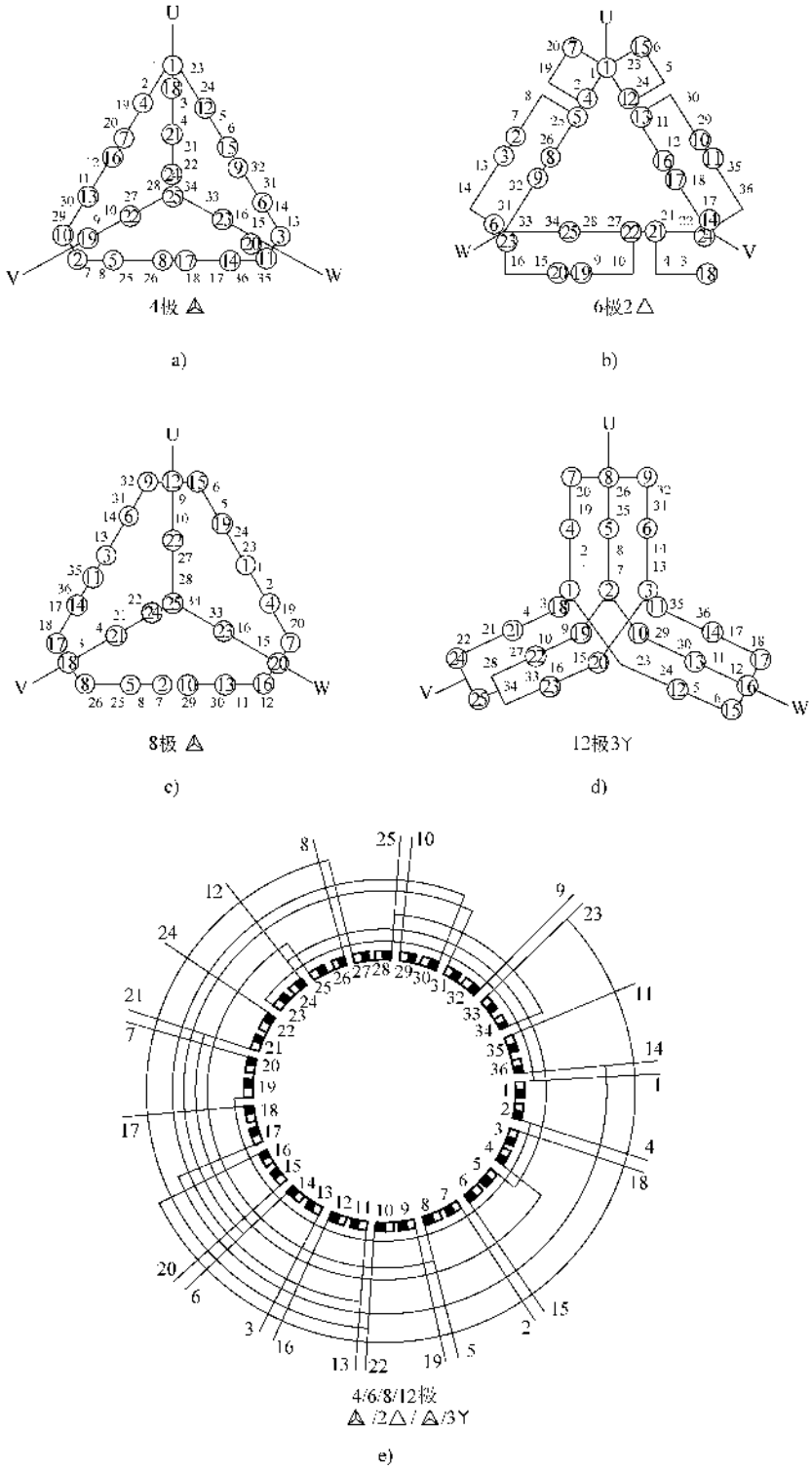
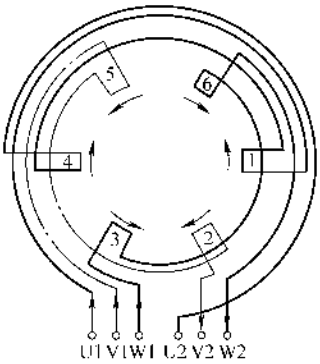
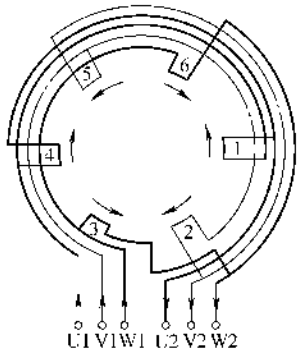


图 7-92　四速电动机的内部接线

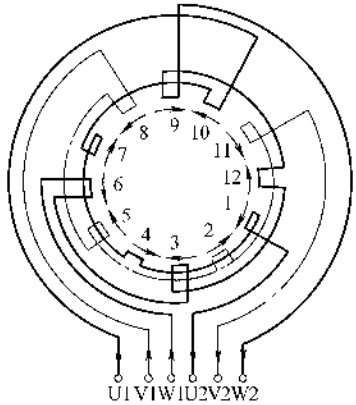
a）4 极-星-角　b）6 极双角　c）8 极-星-角　d）12 极三星　e）接线图



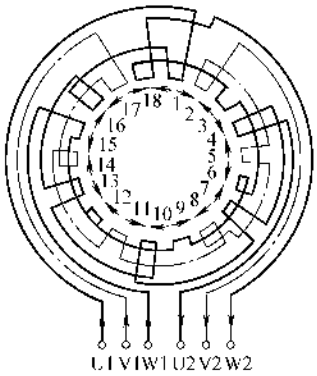
三相二极单路进火接线图



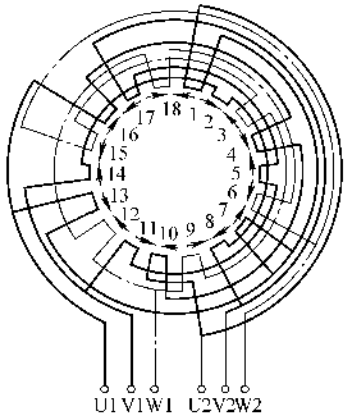
三相二极双路进火接线图



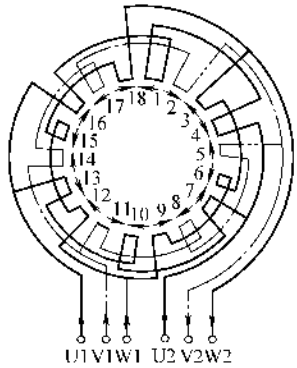
三相四极双路进火接线图



三相六极单路进火接线图

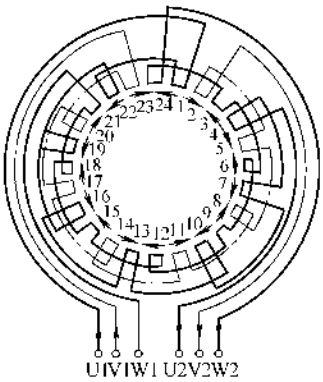


a) 长跳

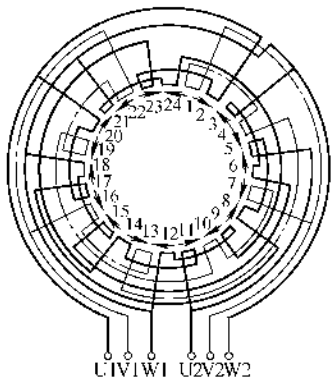


b) 短跳

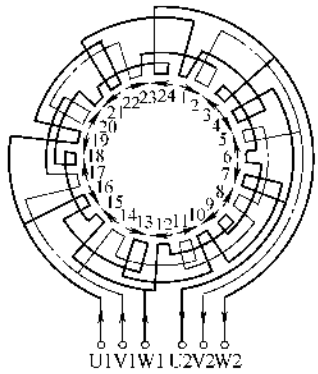
三相六极双路进火接线图



三相八极单路进火接线图



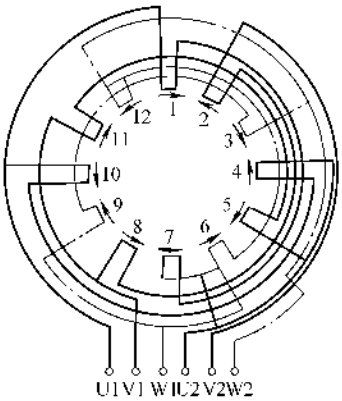
a) 长跳



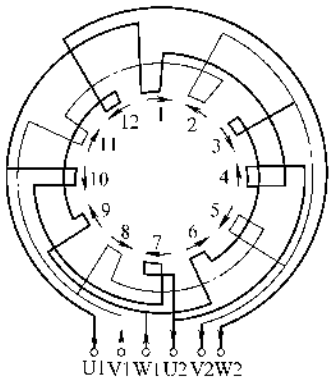
b) 短跳

三相八极双路进火接线图

图 7-93　电动机接线实例

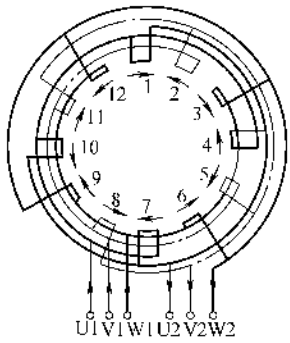


a) 长跳

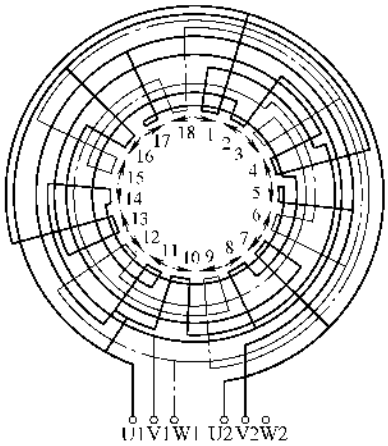


b) 短跳

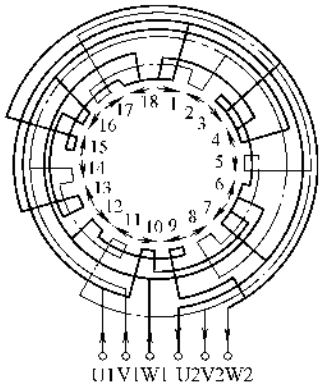
三相四极双路进火接线图



三相四极四路进火接线图

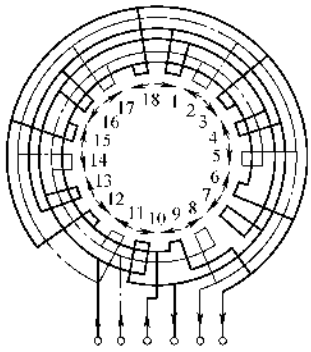


a) 长跳

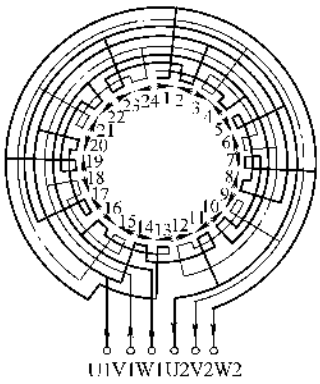


b) 短跳

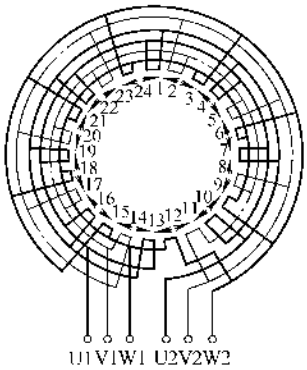
三相六极三路进火接线图



三相六极六路进火接线图



三相八极四路进火接线图



三相八极八路进火接线图

图 7-93 电动机接线实例（续）

（五）直流电动机试验的要点

（1）测量励磁绕组和电枢绕组的绝缘电阻　其值不得小于0.5MΩ。

（2）测量励磁绕组的直流电阻　测量值与制造厂数据比较，其差别一般不应大于2%，补偿绕组不作规定。励磁可变电阻器的电阻差值不应超过厂家数据的10%。

（3）测量电枢整流片的直流电阻　相互间的差值应不超过最小值的10%，由于均压线或绕组结构而产生的有规律的变化时，应对各相应的片间进行比较判断。

（4）励磁绕组和电枢绕组的工频耐压试验　励磁绕组对外壳、电枢对轴的试验电压为0.75（$2U_e$ + 1000）V，但不应小于1200V，U_e为额定电压。

（5）测量励磁回路的绝缘电阻　绝缘电阻值应不小于0.5MΩ（不包括励磁调节装置回路，但包括该回路连同所连接设备的绝缘电阻）。

（6）励磁回路连同所连接设备的工频耐压试验　试验电压为1000V，但不包括励磁调节装置回路。

（7）检查电动机线圈的极性及其连接的正确性　极性与连接应正确。

1）主磁极与换相极的排列关系应为：

电动机　N、n $\xrightarrow[\text{转向}]{}$ S、s

发电机　N、s $\xrightarrow[\text{转向}]{}$ S、n

大写NS为主极，小写ns为换向极。

2）绕组极性检查

①　对于用粗导线绕成且可以清楚地看到各磁极线圈的，可沿着整个绕组检查各线圈的绕制方向及其相互间的连接，见图7-94。

②　线圈试验法：在磁极表面或固定磁极的螺栓外端（在机壳上）放一只多匝数的线圈，其两端接一毫伏表，磁极线圈接通电源后，随即再将电源断开，此时毫伏表的指针将发生偏转，这是感生电流和变压器原理，按照指针的偏转方向可以确定磁极的相对极性。同一绕组相邻极的极性正确与否应使指针一正一反偏转，相同方向的偏转，说明连接或绕向有误。

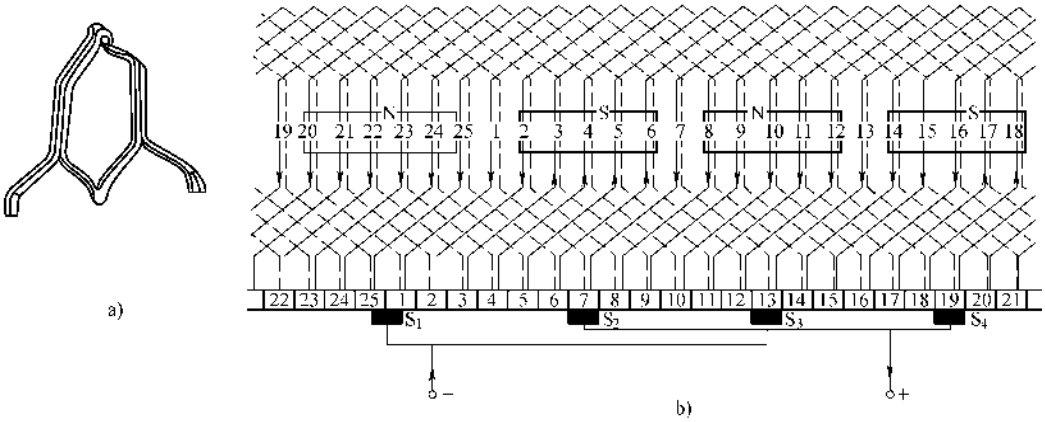


图7-94　25槽4极直流电枢波绕组展开图

a）波绕组的元件　b）绕组展开图

3）换向极绕组和补偿绕组对电枢的极性检查：检查接线如图7-95所示，分别将电池接至换向绕组WHX和补偿绕组WBS，当开关S闭合瞬间，如毫伏表指针向右偏转，则表示两绕组与电枢之间的连接是正确的。如换向绕组分两部分构成，则分别将电池接在电枢的两侧，分两次检查。

4）串励和分励绕组的极性（或各分励绕组间的极性）检查。

①　采用感应法确定同极性端子，见图7-96，当给串励绕组WEC突然加电压瞬时，如并励绕组WEB上的毫伏表指针向右偏转，则说明C_1、B_1或C_2、B_2为同极性端子。

②　根据所测得的同性端子，一般应按图7-97所示连接。

（8）调整电动机电刷中性位置　测定电刷中性线，调整包刷位置，应满足良好换向要求。最常用的是感应法，见图7-98。当电枢静止时，将毫伏表接到相邻两组的电刷上，但必须保证该电刷与换向器的接触良好。当打开或闭合开关时，也就是交替接通和断开励磁绕组的电流，毫伏表的指针会左右摆动（一般选用0位在刻度中央的毫伏表），这时电刷离中性线位置愈大，指针的偏转也愈大。将电刷顺着正向或反向移动，直到毫伏表上的指针几乎不动为止，这时电刷的位置就是中性位置，并用红漆做好标记并固定之。

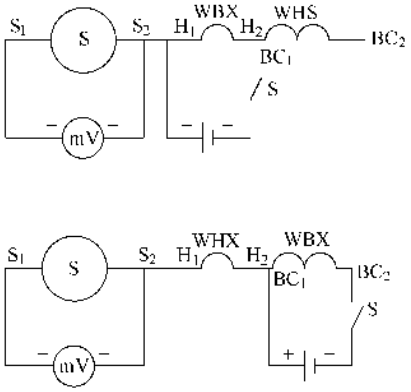


图 7-95 换向绕组、补偿绕组对电枢的极性检查接线图

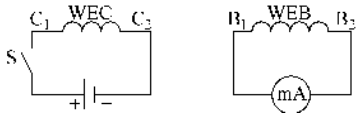


图 7-96 感应法确定极性接线图

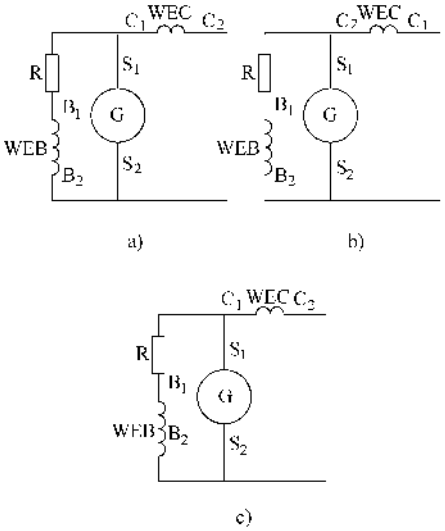


图 7-97 直流电机串励与分励线圈的接线

a）发电机接成积复励 b）发电机接成差复励 c）直流电动机

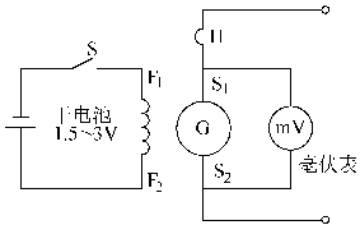


图 7-98 感应法确定电刷中性位置

在调整过程中，如向一方移动电刷毫伏表则越移动越偏转角度大，则应向反方向移动，如越移越偏转小，则应继续向同一方向移动电刷，直至表针指示的绝对值最小为止。

调整时的注意事项

① 励磁电流不宜太大，一般不超过额定值的2%；

② 移动刷架时，应垫塞木块，严禁用工具直接敲击刷架；

③ 固定好刷架后，须重新校正一次中性位置，减小固定时引起的位移；

④ 测量电枢回路的感应电势不能包括串联激磁绕组在内；

⑤ 一般情况下，电刷应放在中性位置。对于无换向极的小型电机或短时超过额定电流而使用的电动机，可适当移动电刷偏离中性位置，但不得超过 0.5～1 整流片，其中发电机顺旋转方向移动，电动机则逆旋转方向移动，对于可逆电动机，应置于中性位置。

（9）测试直流发电机的空载特性和励磁机的负载特性曲线 特性曲线与产品出厂试验文件资料或同型产品比较，应无显著差别。励磁机负载特性系在发电机空载和短路试验同时测试。

试验接线见图 7-99a，双臂电位器及熔断器的熔体应选择适当，A_1 为小量程电流表，A_2 为大量程电流表。发电机的转速应为额定转速，电刷在中性位置或额定工作方式的位置上。电源一般采用硅整流电源。

试验时，应逐步升高励磁电压，第一次升压速度不可太快，最高电压为额定电压的 1.1 倍。测量前先对电机消磁，消除剩磁的影响，然后记录不同励磁电流下的发电机电枢电压即为空载特性。对于不可逆者，只作单方向空载特性，对可逆者、应作磁滞回线。

在空载特性测试的基础上，先正方上减小励磁电流，接着反方向增加，再反方向减小，最后正方向增加励磁电流，记录各相应点的电枢电压值，直至成一完整回线，见图 7-99。

负载特性的测定只对固定负载的电动机，是在额定转速及接入固定的实际负载情况下测得的励磁电流对电枢电压的关系。

测试时应注意的事项：

① 测试磁滞回线的上升或下降分支时，适当选择多点直到额定值的 110%，至少应包括图 7-99 中的 a、b、c、d、e、f 几点，以便确定是否对称。

② 测试中只允许单方向增加或减少，不允许中途间断励磁电流。在电压或电流接近零点时，需缓慢的调整，这时应用 R_3 精调。

③ 如电动机的磁路比较饱和，电枢电压不能调到上述数值时，则应调节到可能达到的最大电压时为止，电流值不得大于额定值的 1.5 倍，以避免励磁绕

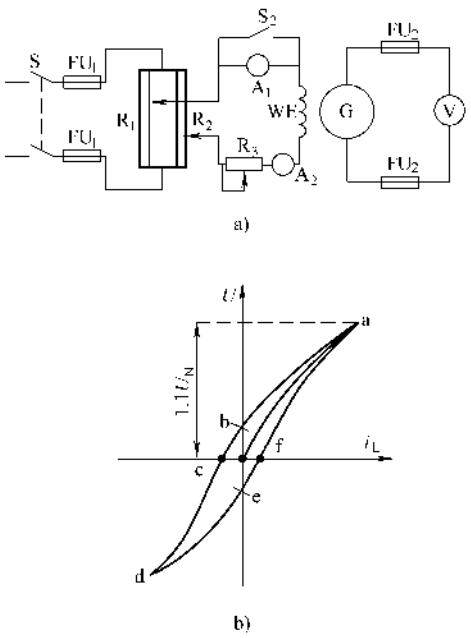


图 7-99　发电机的空载特性试验接线图及磁滞曲线

a）接线图　b）磁滞曲线

R_1R_2—双臂电位器　R_3—精调电阻

组过热。

（10）直流电动机的转速—励磁电流特性测试　特性曲线与出厂试验文件资料比较，应无显著差别。若厂家已绘制磁化曲线或该电机无调速要求时，可不进行该项试验。

试验接线见图 7-100，试验前应将保护元件失磁电流继电器整定好，选择精良变阻器，并检查励磁回路及与端子连接的可靠性。

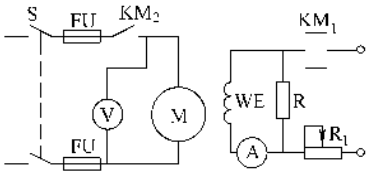


图 7-100　电动机励磁特性测定的接线

KM_1—失磁继电器　KM_2—线路接触器

试验时，先使电动机在额定电压及全磁场下空转，然后调节变阻器 R_1，逐步提高电动机转速直至铭牌上所规定的最高转速的 1.1 倍，并对超速保护装置进行整定。一切正常后，再记录励磁电流对应的电动机转速，即励磁—转速特性。试验过程中，必须避免磁场回路断线或断电，不得在该回路上装置熔断器。

（11）测量轴承绝缘电阻和轴电压　在轴承和绝缘板安装完毕，转子安装前应用 1000V 绝缘电阻表进行，绝缘电阻值不应低于 0.5MΩ，若有润滑油管路连接时，在管路安装完毕后，应进行复测。电动机试运转时应测量轴电压，轴承座与底板间电压应接近两轴端电压。

电动机轴电压、轴承座与底板间电压应按图 7-101 进行测量。在额定转速下先测轴端间的电压 U_1，见图 7-101a，然后将两个轴承的油膜短路，再测量轴承座与底板间的电压 U_2。如 $U_1 = U_2$，则说明绝缘良好，如 $U_2 \ll U_1$，则说明绝缘垫片不良，应处理。因为轴端间的感应电势很小，一般用晶体管式的仪表。此项试验只对大型电动机而言，中小型电动机无需进行。

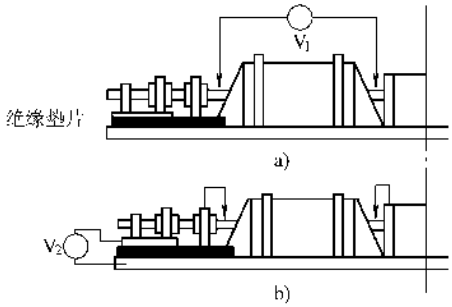


图 7-101　检查轴承与底座之间的绝缘

（12）大型直流电动机必要时要进行负载测试，用来检查电动机集电环火花的情况，火花等级标准及特征见表 7-35。负载测试时应测量主回路的电流、电枢的端电压、励磁电流及励磁电压，及电动机的温升应符合电动机额定参数。

表 7-35　电刷火花等级

火花等级	特　征	换向器和电刷的状态	容许的运行方式
1	无火花	换向器上没有黑痕，电刷上没有灼痕	可以连续运行
1 ¼	电刷下面仅少部分有微弱的点状火花		
1 ½	电刷下面大部分有轻微的火花	换向器上有黑痕，用汽油擦洗即能除去，电刷上稍有灼痕	
2	电刷的整个边缘下面都有较明显的火花	换向器上有较严重的黑痕，用汽油擦洗不能除去，电刷上也有灼痕	只容许在短时冲击负载及过载时发生
3	电刷的整个边缘下面有强大的火花	换向器上有严重的黑痕和灼痕，用汽油不能擦去，电刷烧焦及损坏	只容许在直接起动或反转时瞬间存在

（13）直流电动机的极性与旋转方向的确定及其试运转。

1）对于不可逆电动机应在起动之前确定旋转方向，当不便于盘车时，可在转子不动的情况下，采用感应法，见图 7-102。其中毫伏表接在图中电刷按箭头方向移动数片的整流子上，但刷架不动。在接通 S 的瞬间，毫伏表指针向右偏转，则电源引至电刷的极性与表的接入极性相同，否则相反。

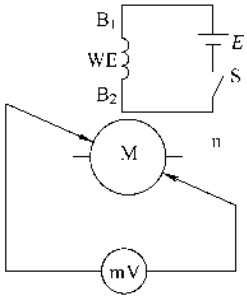


图 7-102　感应法确电动机的旋转方向

用上述方法还可以确定发电机的电枢极性，当 S 闭合瞬间指针向右偏转，则毫伏表的极性则代表其最邻近电刷发电的极性（假定发电机的原动机方向与箭头方向相同）。

2）对于便于盘车的电动机，可按图 7-103 的接线，当盘动电枢时，表针向右偏转，如为发电机，其加在励磁绕组的电源极性与此时电池的极性相同，则电压表极性则为发电极性；如为电动机，且加于励磁绕组的电源极性与电池极性相同（及运行时电枢电源的极性与电表表极性相同），则盘车方向即为电动机转动的方向。试验时通过励磁绕组的电流应能足以消除剩磁的影响。

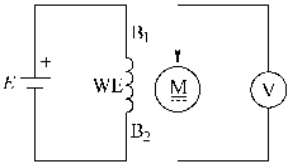


图 7-103　手动盘车确定电动机旋转方向

（14）直流电动机的外观检查不同于交流电动机，应注意以下几点：

1）电动机接线与端子标号一致，端子板完整，所有连线不得触及转动部分；

2）整流子表面光滑、清洁，不得有凹凸、毛刺、裂纹等缺陷。整流片间云母垫不得突出，应有 0.5 ~ 1.5mm 的深沟；

3）电刷在整流子上的排列应使相邻不同极性的一对电刷位于同一整流子的圆截面上，而与另一对电刷错开排列，进而保证整流子面磨损均匀；

4）刷握的安装，按电刷中心测定的整流子圆周刷握的间距应为整流子的极距，其允许误差，对于 200kW 及以下的电动机应不大于 1.5% ~20%；对于 200kW 以上的电动机应不大于 0.5%。刷握与整流子表面的距离一般为 2 ~ 4mm；

5）电刷在刷握内应有一定的框量，游隙轴向为 0.2 ~ 0.5mm；转向一般为 0.1 ~ 0.2mm，电刷厚度大于 12mm 时，为 0.15 ~ 0.4mm；

6）同一刷架上电刷压力，一般电动机为 0.012 ~ 0.017MPa；受冲击有振动及吊车用电动机为 0.02 ~ 0.04MPa；与平均值之差为 ± 10%，且弹簧位置适中，不应有偏斜现象；

7）电刷与整流子表面的倾角一般为：可逆电动机倾角为零；不可逆电动机应按其转速的低高选取，一般为 20° ~ 40°，低取下限，高取上限，见示意图 7-104。

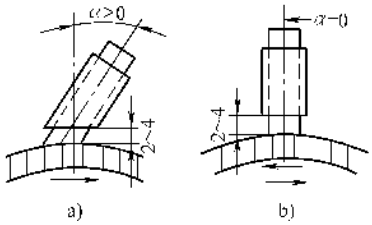


图 7-104　刷握的安装方法

a）$\alpha > 0$　b）$\alpha = 0$

8）电刷的牌号应符合电动机要求，同一台电动机不应有两种不同牌号的电刷；

9）电刷与整流子应有良好的吻合，接触面积不应小于全面积的 75%，接触面应光滑、无烧迹、裂纹及硬颗粒，否则应用“00#”细砂纸磨光，见示意图 7-105。研磨整流子时，发电机应在转动下轻轻研磨，电动机应在静止时研磨；

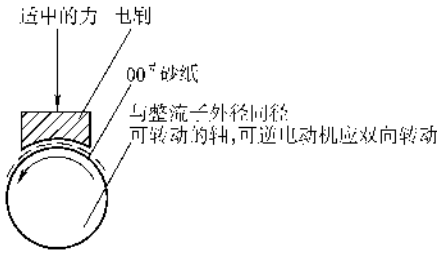


图 7-105　电刷的研磨方法

10）电机气隙的误差，3mm 以下时，不应超过 20%；3mm 及以上时，不应超过 10%；

11）其他可参照交流电动机的有关项目进行。

这里要注意，对于 40kW 以下的直流电动机一般

只作绝缘电阻、直流电阻、励磁可变电阻器的直流电阻、电动机绕组极性及其连接的正确性和电动机电刷中性位置的试验，其他项目可据电动机的有关缺陷进行试验。

（六）同步电动机试验要点

同步电动机的试验基本同异步电动机，此外还有以下项目：

1）同步电动机转子线圈交流耐压试验的电压为额定励磁电压的7.5倍，但应不低于1200V，不高于出厂试验电压的75%；

2）测量可变电阻器、起动电阻器、灭磁电阻器的绝缘电阻。与回路一起进行测量，绝缘电阻值应不小于0.5MΩ。

3）测量可变电阻器、起动变阻器、灭磁电阻器的直流电阻。所测得的电阻值与产品出厂数据相比，其差别不应超过10%。调节过程中应接触良好，无开路现象，电阻值的变化应有规律性。

4）测量电动机轴承的绝缘电阻，当有油管路连接时，应在油管安装后，使用1000V绝缘电阻表测量，绝缘电阻值应不低于0.5MΩ。

5）检查同步电动机励磁各磁极的分布电压，采用交流检查，在各磁极上的电压应接近一致。

6）检查定子线圈的极性及其连接的正确性，中心点没引出者可不检查极性。

7）励磁绕组电压分布的试验可将绕组通入适当的交流电压，一般每极10V，然后测量各极上的电压降，如果个别磁极上的压降比其他极显著减小，则说明该绕组可能存在匝间短路。

二、开关柜、控制柜、电气传动控制装置及其元件

柜和箱与电动机一样，在通电和投入运行前要进行一系列的检查和试验，其中外观的质量性能已在设备进厂时进行了检查和测量，各类开关的机械传动机构已在柜体安装中进行了调整和空投试验，而电气的测试及调整往往在安装好后的调试阶段进行。

（一）绝缘电阻的测试

用500V绝缘电阻表测量各控制开关元件导电部分，如开关上下触头的相与相之间、开关断开时本相上下触头之间、相与地之间的绝缘电阻应不小于10MΩ，通电线圈的端子与地之间的绝缘电阻应不小于2MΩ；互感器应测量一次与二次间的绝缘电阻，电能表应测量电压线圈与电流线圈及不同相之间的绝缘电阻。

测量系统的绝缘电阻，48V及以下的非电子线路，可用不超过500V的绝缘电阻表测量；24V及以下的电子元件及印制电路板线路，一般用万用表测量，此时对不能承受万用表电压的器件（如场效应晶体管等）应予以短路；对于不能承受绝缘电阻表等电压的器件（如电子插件等），测试前应拔出并将整流元件的阳、阴极与控制极短接在一起；对于交流500V以下和直流60V以上的回路，可用500V绝缘电阻表进行测量。

变配电室内二次回路的绝缘电阻，每一支路与断路器、隔离开关、操作机构的电源回路均应不小于1MΩ；小母线在断开其他并联支路时，应不小于10MΩ。

车间电气传动控制系统的绝缘电阻，48V及以下的回路，一般应不小于0.5MΩ；交流500V以下及直流60V以上的回路，一般应不小于1MΩ。

二次回路一般不做交流耐压试验，但发电厂，高压变配电站的二次回路、应用1000V作1min耐压试验，如二次回路的绝缘电阻大于10MΩ，则可用2500V绝缘电阻表摇测1min，无击穿现象即可。

绝缘电阻合格及空投试验调整合格后的柜或箱才能进行下一步的测试。

（二）开关柜（箱）的调整

低压开关柜无论结构如何、回路多少、容量大小，主回路都如图7-106所示，其主要元件有隔离开关、断路器（有时为熔断器和接触器或熔断器和转换开关）、表计和电流互感器，其主要不同是元件的规格型号不同。开关柜的调试包括元件本身的测试及系统动作电流的调整。若元件为同一厂家同一规格型号的产品可按20%进行抽检，抽查结果应合格，否则应全检。

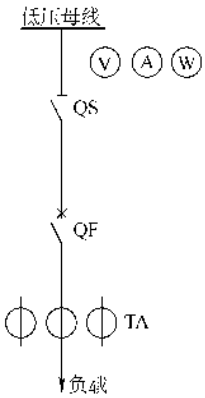


图7-106　开关柜主回路电路图

开关元件本身的测试主要包括通电部位的绝缘电阻、触头的接触电阻、三相同步性及辅助触头的关断性、线圈的直流电阻和吸合分离电压的测试以及电流

试验。测量元件主要包括变比的测试、示值的测试以及相关部位的绝缘电阻、直流电阻的测试。

前面讲述了的这里不再重复，这里只讲述电流试验及其整定值的调整、测量元件的测试等。

1. 隔离开关的测试

隔离开关要作额定电流和回路中最大起动电流的试验。额定电流的试验一般取额定电流的 1.15 倍，试验时间一般为 10min，其被试触头的温度应不大于室温；最大起动电流的试验一般取回路中最大起动电流再加上额定电流，最大起动电流是指回路中三台最大起动电流的电动机同时起动的起动电流的和，这里要注意这三台电动机不一定是回路中功率最大的电动机，这是由电动机的起动方式决定的。这个电流是正常工作条件下，最大的瞬间工作电流，其值可由设计给定或自行计算。试验时间一般为 1min，其被试触头的温度应不大于室温 5℃。温度可用试温蜡片或点式温度计测量，用点式温度计时应事先将其测温探头与被试触头紧密接触部分用金属箔包扎起来，并用油灰或其他类似材料紧密地贴在上面。

试验电路的连接见图 7-107。

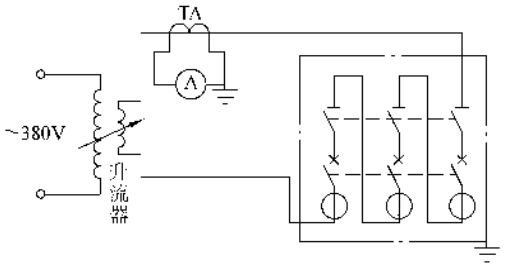


图 7-107　开关柜的电流试验接线图

试验是一并连续进行的，当电流升至额定电流的 1.15 倍 10min 后即可读取温度或用蜡片试验，不必停电，然后再将电流升至最大电流，1min 后即可读取温度或用蜡片试验同时可将电流缓慢下调至零，才能断开升流器的电源。

表 7-36　各系列刀开关电动稳定性及热稳定性电流值

额定电流/A	电动稳定性电流峰值/kA		1s 热稳定性电流/kA
	中间手柄式	杠杆操作式	
100	15	20	6
200	20	30	10
400	30	40	20
600	40	50	25
1000	50	60	30
1500	—	80	40

因为试验设备的能力限制，一般安装单位不作电动稳定性及热稳定性的试验，其电流值见表 7-36。这些能力的保证是由生产厂家的信誉、资质、生产许可证及技术、装备保证的。

2. 自动断路器的测试及调整

自动断路器是一种具有短路、过载及失电压保护（有的断路器不能保护失电压）的开关元件，短路时应瞬时跳闸，过载时应延时跳闸，失电压时能瞬时跳闸。其中短路及过载应进行动作电流值的整定。断路器的额定电流及最大起动电流的试验同隔离开关，一般柜中的隔离开关和断路器的额定电流相同，便可一次进行试验，见图 7-107。

（1）短路试验及调整　短路的调整就是改变过电流线圈（电磁脱扣器）衔铁的间隙，一般已由厂家调好，整定在 10 倍额定电流上，可按图 7-107 进行模拟试验即可，可按相与相短路、相与地短路分别一一进行。相与相之间可用导线连接，相与地之间可用导线与柜体接地螺钉连接，这里要注意，柜体的接地母线应与接地引线连接好，接地电阻应小于 4Ω，这些内容将在第十四章防雷与接地的安装中讲述。其中，连接导线的选取必须使用与主回路导线相同截面积的同质导线，连接导线应压接线鼻子，连接部位必须紧密。一般应备有大、中、小号铜质软短路线，调试中经常用到。升流器的电流一般调至约 10 倍断路器的额定电流即可。从理论上讲，短路电流是无穷大的，一般由设计给出断路点的短路电流值 $I^{(3)}$。但是由于设备能力的关系，一般不选取太大的电流，较小的电流短路时动作，那么较大的电流一定能动作。相与相之间的短路试验应选用三相升流器。通常是先将升流器输出端短路后升至选取的 10 倍开关额定电流值，然后将电源关掉，调节手柄或按钮的位置不变，再将线路接好。检查无误后先合上断路器，再合升流器的电源开关，这样合闸的瞬间即可发生选取电流的短路，断路器应立即掉闸，掉闸后再度合闸，则合不上。这说明断路器的短路瞬时脱扣器系统工作正常，是能够保护短路的。

（2）过载瞬时动作电流的整定　断路器的短路试验合格后，便可根据所控回路的工作电流进行过载瞬时动作电流的整定。过载瞬时动作应躲过回路中最大的瞬间工作电流，这个电流我们通常选取额定电流加上系统中三台最大起动电流的电动机同时起动的起动电流的和，如果系统中由于联锁没有三台同时起动的可能性，则应选两台同时起动电流和，最小值不得小于额定电流加上一台最大起动电流电动机的起动电流。过载瞬时动作电流也可由设计给出。

过载瞬时动作电流确定之后，我们选取其值的 2

~3 倍作为断路器的整定值。整定时的接线图见图 7-108，一般采用分相整定。

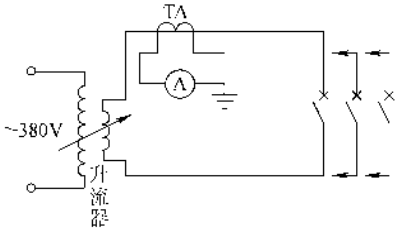


图 7-108　分相整定接线图

先将过电流线圈衔铁的间隙调至最大，也就是短路跳闸的位置，并把断路器合闸；然后接通升流器，并调节电流升至整定值，这时往小调节过流线圈衔铁的间隙，一般是手柄或螺钉调节，一直调到断路器脱扣器动作跳闸为止，这个点即为过载脱扣掉闸点，用红漆做好标记并将手柄或螺钉紧固在这个点上；用相同的方法再调节第二相、第三相。这里要注意，不要为了省事，不升流调节，只在第二、三相上按第一相的标记位置做同样的标记。因为每相过流线圈的磁势不可能制造的完全一样。

调整好后，再重复一次上述的试验，当电流升到整定值时，断路器应立即跳闸，最后用红漆将调节手柄或螺钉封好。因为这个电流值小于短路电流，因此在这个点上即可短路跳闸，又可过载瞬时跳闸。

（3）过载延时动作电流的整定　大多数断路器都采用双金属片式热元件作为过载延时跳闸的元件，它的脱扣机构是和瞬时过载跳闸用同一套脱扣机构，只是跳闸触动的点不同。过载延时的调节就是调节金属片与脱扣器触动点的距离，距离越小，延时越短，距离越长，延时越长，这个距离的大小应和回路中允许的最大工作电流的持续时间对应。这个动作电流的选取和过载瞬时动作电流的选取规则一样，但取其值的 1.05 ~ 1.10 倍（最大不超过 1.5 倍）做为断路器过载延时动作电流的整定值。接线图同图 7-108，也应分相整定。

先测试回路中三台、两台或一台起动电流最大电动机的起动电流和起动时间，具体方法见本章“控制柜的测试”，然后将其起动电流按联锁情况及其他电动机同时起动，起动电流相加即为短时过载的允许电流，我们取这个值的 1.10 倍作为整定值，将其中一台起动时间最长的起动时间的 1.2 倍作为短时过载的允许时间。

然后线路接好整定断路器，先将金属片与脱扣器触动点的距离调小，一般是调节螺钉的锁母，然后将电流升至短时过电流整定值，并把断路器合上，合上断路器的同时即开始用秒表计时。如果在小于允许时间内空开跳闸，则应将这个距离再往大调一点；如果在允许时间到时正好跳闸，则说明这个距离正是调整值，用漆封死即可；如果允许时间已到时仍不跳闸则应将这个距离再往小调一点。调节时应先将断路器拉闸，调节要仔细耐心，调节后不要立即合闸试验，须等双金属片热元件复位且达到常温时再合闸试验，直至允许时间到时正好跳闸。这样断路器就能延时保护过载，并躲开了电动机的起动电流，只要超过电流与时间的整定值即立刻跳闸，有一参数达不到时即不跳闸。

（4）半导体过流脱扣器的调整　有的断路器（DW_5、DW_{15}等）采用了半导体过流脱扣器，见图 7-109，半导体脱扣器具有过载、短路、欠电压等选择性保护特性，可长延时、短延时、瞬时调整保护性能。相比之下半导体过电流脱扣器较容易调整，因为它直接作用于跳闸线圈，可分别调节长延时、短延时及瞬时电路中的电位器即可得到需要的保护性能，其他细节同电磁脱扣器的调整。

（5）失电压脱扣器的调整　大多数断路器都具有失电压或欠电压保护，它是用一只电压线圈作为合闸后的保持线圈而进行保护的；此外，分离脱器线圈、电磁铁操作机构线圈等都对动作电压有一定的要求，都应进行动作电压的试验，接线方法见图 7-110。一

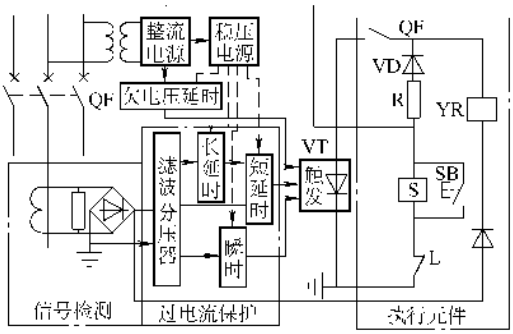


图 7-109　半导体脱扣器方框图

QF—自动开关辅助触头　SB—分闸按钮

YR—分励脱扣器线圈　S—失压脱扣器线圈

L—漏电闭锁触头

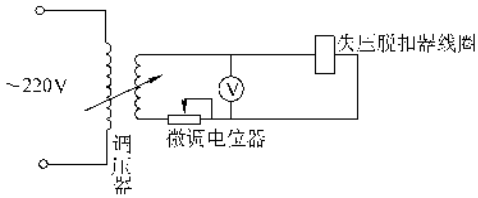


图 7-110　电压线圈的试验接线

般是先将电压调至额定电压的105%使线圈吸合，并缓慢下调直至线圈释放，并记录最低释放电压；然后从释放电压合闸试验，如不能合闸则缓慢升压，直至线圈能可靠吸合并合闸，再将最低吸合电压记录下来。常用断路器线圈可靠动作电压见表7-37和图7-38。

表7-37 DW10断路器线圈可靠动作电压值

名称		额定电压 U_N/V	可靠动作电压	消耗功率	
				交流/VA	直流/W
分励脱扣器		交流36、110、220、380 直流24、48、110、220、440	(75%～105%)U_N	187	100
失压脱扣器		交流110、220、380 直流110、220、440	75% U_N以上不动作 40% U_N以下动作	40	10
电磁铁操作机构	DW10-200 DW10-400、600	交流220、380 直流110、220	(85%～105%)U_N	10000 20000	1000 2000
电动机操作机构	DW10-1000、1500 DW10-2500、4000	交流220、380 直流110、220	(85%～105%)U_N	500W 700W	500 700

注：分励脱扣器和电磁铁操作机构的消耗功率为瞬时功率。

表7-38 DW15断路器线圈可靠动作电压值

名称	额定电压 U_N/V	可靠动作电压/V	消耗功率			
			交流/VA		直流/W	
			220V	380V	110V	220V
欠电压脱扣器	交流220、380	(70%～35%)U_N	18	19	—	—
分励脱扣器	交流220、380 直流110、220	(75%～110%)U_N	44	57	29	24
释能电磁铁	交流220、380 直流110、220	(85%～110%)U_N	670	680	890	903

注：分励脱扣器和释能电磁铁的消耗功率为瞬时功率。

（6）注意事项

1）调整试验时所有的接线应正确、可靠，避免虚接发热；短路线应用容量足够的铜辫子软线，截面积应与电器的导线或母线相同。

2）电流试验时的温度测试，一定要注意室内温度，一般应在周围介质0～40℃范围内进行，并记录测试时的温度。同时应避免外界气流、阳光和其他射线对电器的影响。

3）试验回路的电压线圈应加额定电压，有手动、电动合闸的开关元件，两种合闸都应进行试验，试验时必须将灭弧罩上好。

4）合闸后除上述测试外，应用万用表检查辅助触点的开闭情况及可靠性。

5）试验过程中如发生意外，如打火、烧红、漏电、变形等应立即将升流器调零并关掉电源，然后再分析原因，试验设备和被测试元件必须接地良好。

3. 接触器的测试

接触器的线圈应加额定电压，电流值的选择同隔离开关。

其他内容及方法同断路器。

4. 熔断器的测试

熔断器的测试主要是绝缘电阻（导电部位与熔盒的通电部位）和其触头与柜体主回路插入部位的接触电阻。此外应核对熔体的电流值，一般按被保护线路或被保护电动机额定电流的1.5～2.5倍选择，并能躲过电动机的起动电流；对频繁起动的电动机。放宽到3～3.5倍；对保护多台电动机时，应按容量最大的电动机起动电流同其余多台电动机额定电流之和选取。必要时熔断器应按断路器的试验方法进行试验。

5. 电流互感器的测试

电流互感器应测试线圈的直流电阻或进行匝数比（电流比）的校验。直流电阻的比值应和互感器的变比相对应。

匝数比（电流比）的校验接线方法见图7-111。其中电流表应选用准确度较高的标准表，一般用0.05级的，A_1的量程应为互感器一次电流额定值，A_2的量程应选用5A量程的标准电流表。首先观察电流表的零位是否和表针对应，否则应先调零；然后将升流器的电源合上，指针仍为零，而后可在A_1的刻度上选择低量、中量、满量三个刻度（如100A的表可选10、50、100三个点）再升流，并在每个点停止升流并观察A_2的指示值，三个点的电流值对应于A_2的三次指示值的比值应相近于互感器的匝数比，其误差不得大于互感器允许误差的三分之一。测量时必须

注意电流互感器的二次绕组不得开路，接线必须紧密可靠；同时二次绕组应可靠接地。

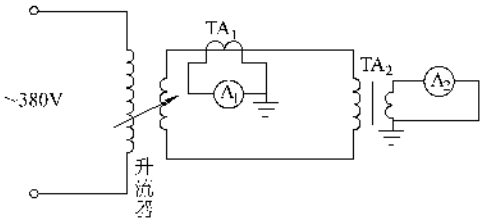


图 7-111　电流互感器的试验

6. 电工仪表的测试

见第五章相关内容。

（三）控制柜（箱）及控制系统的调整

控制柜（箱）是根据电动机的起动方式及系统的控制方式而制造的，在“预制加工”一章中已进行了详细的讲述，它的调试工作部分内容和开关柜相同，大部分内容和开关柜不同，特别是电子传动设备、硅整流装置、晶闸管传动设备、可编程序控制器（PC）、交-直-变频调速系统及微机控制系统的调试等都远远地超出了传统电气控制的调整方法。控制柜的调整包括元件本身的测试、保护系统动作电流的调整、控制系统的空投操作试验、起动参数的整定、电子设备电磁兼容性试验，系统或整机调试等内容。

1. 传统电气控制柜的调整

传统电气控制柜是指接触器—继电器控制方式的控制柜，有时附带一点电子元件，也是目前用得最多的控制柜。

（1）元件的测试　详见第五章，并参照本节“开关柜（箱）的调试”进行。

（2）看读图样并分析控制电路的工作原理，结合电动机的起动方法，找出调节元件及其调节参数。下面以常用的控制电路进行工作原理的分析和说明。

1）直接起动：一般用断路器或接触器直接起动，接触器起动时一般配有熔断器作为短路保护，配有热继电器作为过载保护；容量较大的电动机用断路器作为总开关并作短路保护；接触器起动，配有热继电器作为过载保护及断相保护。控制电路简单，调节元件有断路器，热继电器及熔断器的熔丝选择。直接起动的电路见图 2-93。

2）多台电动机的联锁起动及控制：多台小型电动机传动的系统，由于设备的要求，如输煤廊的皮带输送机，电动机的起停都有一定的顺序，也就是说第一台起动以后，第二台才能起动；停止时第二台停止后第一台才能停止。多台电动机的联锁都采用直接起动，调节元件及参数同前。联锁起动的控制电路较复杂，图 7-112 为三台电动机顺序起动及控制电路，可以看出控制回路中是把已经起动了的电动机的主接触器的常开辅助接点串联在即将起动电动机控制回路的自保电路中，这样这台电动机在上一台电动机没有起动前只能点动试车，而不能连续运转；同时可以看出控制回路中是把已经停止了的电动机的主接触器的常开辅助接点并联在即将停止的电动机的停止按钮上，这样这台电动机在下一台电动机没有停止前是不能停车的，因为两条停车回路都是接通的。读者可以自行分析电路的工作原理。

3）多速电动机的起动和控制：多速电动机是采用改变电动机极对数的方法而达到有级变速的，一般采用直接起动，调节元件及参数同前。

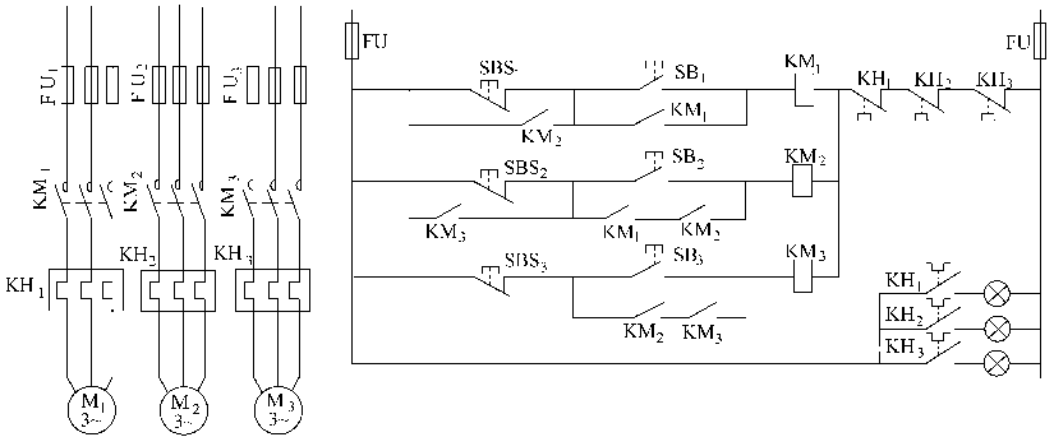
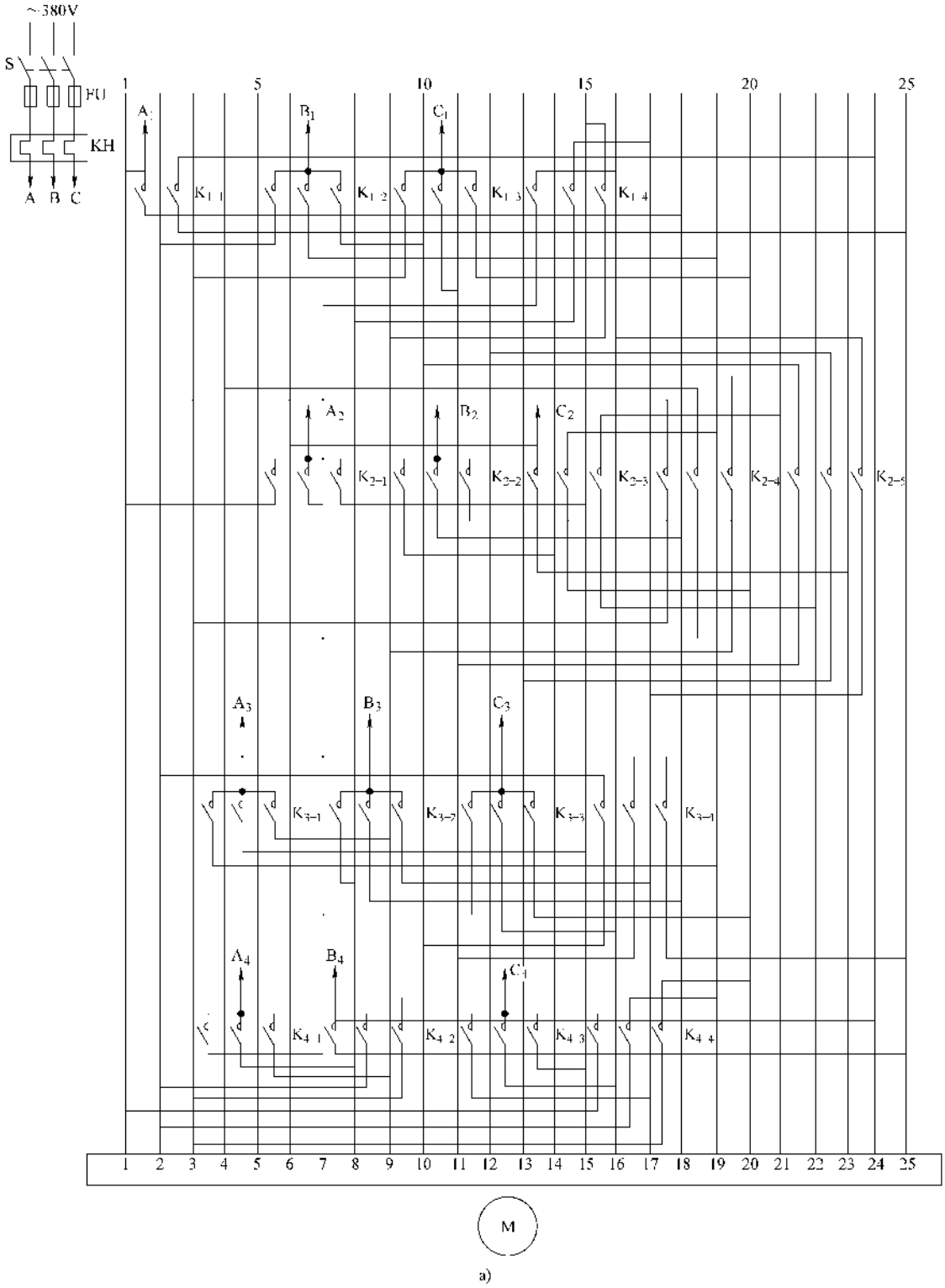


图 7-112　三台电动机的联锁控制电路

① 双速电动机的起动控制电路见图 7-113，可以看出，是将电动机的内部引线全部引至电动机外面，利用接触器的切换来改变电动机绕组的接法而改变转速的。慢速时只有 KM_1 吸合，电动机接成△形 4 极，快速时 KM_1 断开，KM_2 吸合，电动机接成双丫形 2 极。KM_2 为六极接触器。

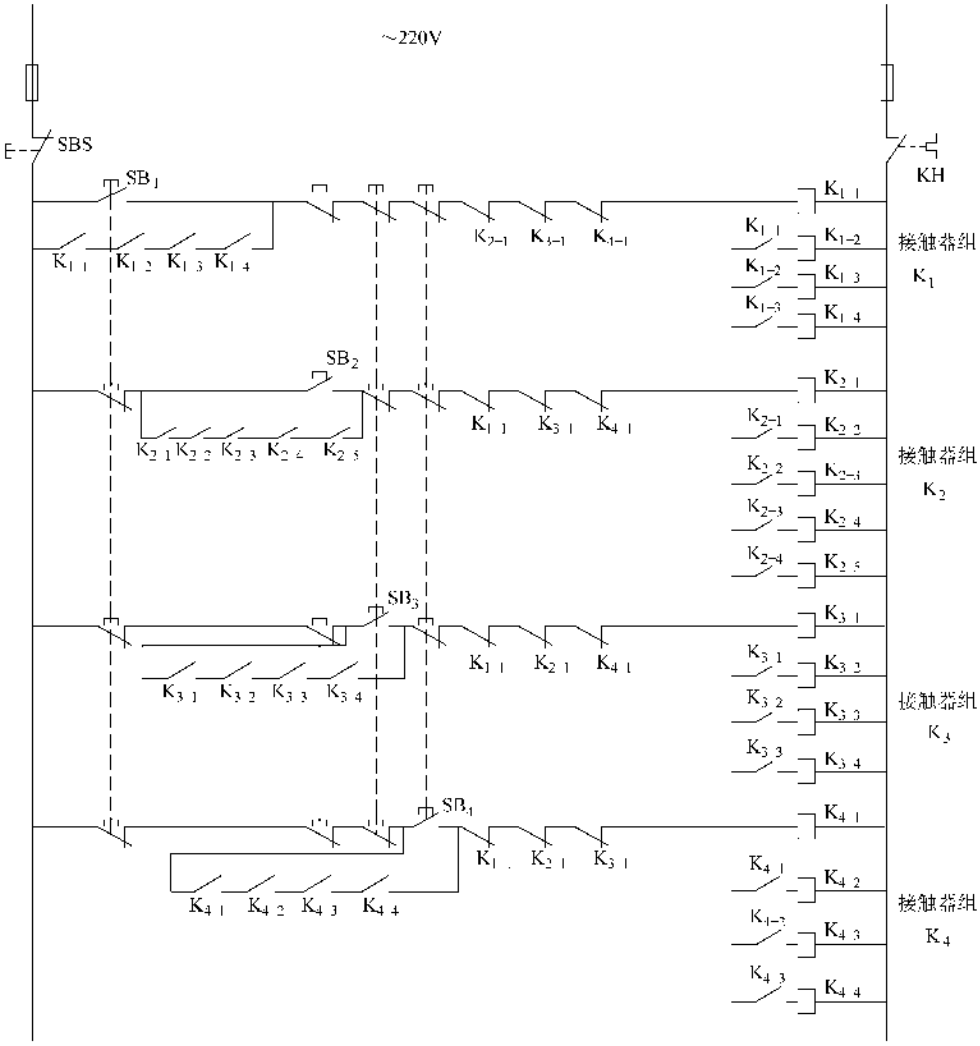
② 三速电动机的起动控制电路见图 7-114，图中也采用了多极接触器，如果没有多极接触器也可用三极接触器来组合。慢速时只有 KM_1 吸合，电动机接成△形，中速时只有 KM_2 吸合，电动机接成丫形，高速时只有 KM_3 吸合，电机接成双丫。

③ 四速电动机的起动控制电路见图 7-115。四速电机有 25 个出线端，为了控制可靠，通常采用单独的接触器组控制，不相互关联，且控制回路有连锁装置，杜绝误动作。接触器组 K_1 吸合时，电机接成



a)

图 7-115　四速电动机的起动控制电路



b)

图 7-115 （续）

开，KT_2 和 KH 不会动作），这样才能在正常条件下，保证电动机起动，而在过载情况下，又能使电路跳闸，保护电动机。图中电动机起动时，只有 KM_1 吸合，电动机经自耦变压器减压起动，同时 KT_1 开始延时；动作切换时 KM_1 先释放，将变压器甩掉，然后 KM_2 吸合，电动机全压运行。当有一过流继电器动作，KT_2 开始延时，过流时间超过 KT_2 整动时间，便跳闸。

5）(-△起动器的起动及控制：见图 2-95，除无自耦变压器抽头调节外，其他调节元件及参数的调节同自耦变压器起动。它在起动时，先由 KM_1 和 KM_3 吸合，将电机接成(形，电压降至 220V，当转速或电流达到额定值时，将 KM_3 释放，同时又将 KM_2 吸合，电动机接成△形，全压（380V）运行。(-△虽然也是减压起动，但只能将电压降到 220V 这一等级，只降低到 57.7%，起动转矩小，只适用于△接法的电机，这样就限制了它的应用。一般情况下，它适用于轻载起动的电动机。它的切换也是采用时间继电器。手柄操作电路可自行分析。

6）串联阻抗起动及控制：见图 2-96，调节元件及参数的调节基本同自耦减压起动，但无自耦变压器的抽头调节，增加了串联阻抗参数的调节。起动时 KM_1 吸合，电动机经阻抗将电流减小且将电压降低加在电动机上，当转速或电流达到近似额定值时，KM_2 吸合，将阻抗短接，电动机再全压运行。短接是经过时间继电器整定时间后进行的。其中阻抗的调节是在满负载起动下进行的，阻抗大，电流小、起动转矩小，只适合轻载起动的电动机；阻抗小，电流大，起动转矩大，可用于重载起动的电动机，但要考虑起动电流的允许程度，起动电流太大、减压起动就没有意义了。阻抗的调节还要考虑阻抗本身的允许最大功率，否则会在起动时烧坏。

7）延边三角形起动及控制：见图 7-116，调节元件及参数基本同自耦减压起动，不同的是无自耦变压器，而是调节电动机绕组的抽头。起动时，KM_1 和 KM_2 吸合，定子绕组一部分接成△形，总体上接成(形，电动机在减压后起动，当转速或电流达到近似额定值时，KM_2 释放，而 KM_3 吸合，并通过 KM_1 将电动机接成△，电动机全压运行。电动机绕组接成延边△时，每相绕组的电压、起动电流及起动转矩的大小，是根据每相绕组两部分的比例即抽头比决定，可根据负载的实际情况进行调节。抽头的比例可为1∶1、1∶2、1∶3、2∶1 等，其每相绕组的电压分别为直接起动的 71%、78%、84%、66% 等。延边△起动性能好，且不增加起动设备，但是由于电机构造不普及，也限制了它的应用。图中 KH 的整定应按相电流整定。

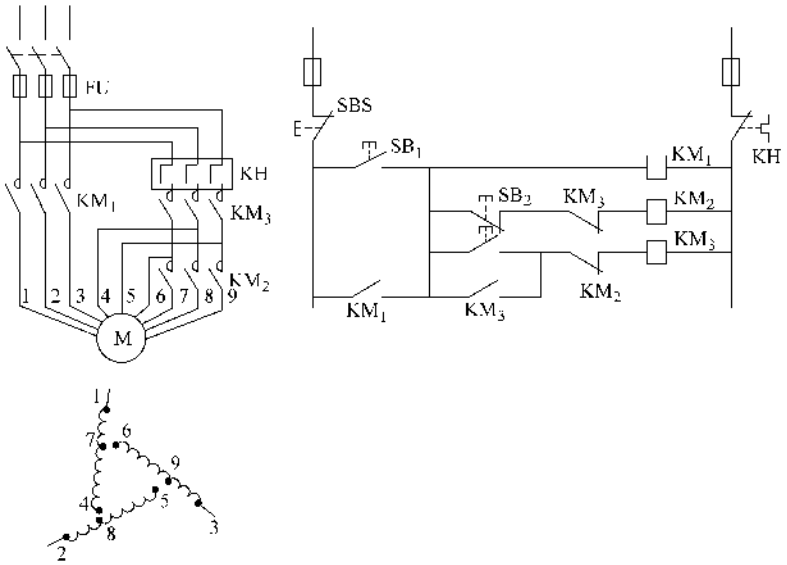


图 7-116　电动机延边三角形起动控制电路

8）绕线转子电动机的频敏变阻器起动及控制：见图 3-29，调节元件及参数基本同自耦减压起动。频敏变阻器不需调整，是和电动机配套的非调节元件。起动时，K_1 吸合，电动机全压起动，且转子接入频敏变阻器，以减小定子电流，当转速或电流达至相近额定值时，K_2 吸合，将频敏变阻器甩掉，电动机呈笼式运行。绕线转子电动机频敏起动适用于重载起动，起动转矩大，起动电流小，但电机构造较笼型电动机复杂，价格较笼型电动机高。

9）绕线转子电动机的电阻起动及控制：见图

2-97，调节元件及参数基本同频敏起动，详见第三章。但无频敏变阻器，转速的调节需调节串联电阻，串联的电阻阻值越大、转速越小，反之转速越大。起动时，KM1 吸合，电动机全压起动，且转子接入电阻器，以减小定子电流，可用接触器 KM1 ~3 的切换调节转子电阻进而调节电动机的转速，且可在任何转速下运行，这就是绕线转子电动机的优点，常用在需要调速运行的机械传动上。其中，KT1、KT2、KT3 的整下时间由起动要求调整，但均应小于 KT 的整定时间。KA1 ~3 的动作电流由负载决定，但不得超过电动机最大允许电流。KA 与 KT 配合，能很好地保护过载。

10）电磁调速电动机的起动及控制：电磁调速电动机的控制是与电动机的功率及用途有关的，有的用于 0.6 ~30kW 单机无级恒速控制，有的用于 40 ~100kW 单机双速控制，有的用于多机同步控制，还有的用于船用电动机的控制等。现以常用的 ZLK-1 型晶闸管控制器，说明工作原理及调试方法，见图 7-117 图中分两部分，第一部分是主拖部分，和直接起动相同；第二部分是控制调速部分，是由测速反馈、给定、比较放大、移相触发及电源五部分组成；它的调速过程是给离合器的励磁线圈通以直流电流，电流的大小可调节离合器的输出转矩和转速，离合器的电枢和主拖电动机同轴，因此可调节主拖电动机的转速。离合器的结构近似直流电动机，是由电枢、磁极和励磁线圈等部件组成，并和主拖电动机同轴。起动时先将控制器的电源接通，并将速度给定旋钮（电位器）先调至较低的速度档，然后起动主拖电动机；主拖电动机起动后，便可再次调节电位器，电动机即可工作在给定速度的范围内，并通过电位器的调节，在调速范围内任意无级调速。

调节转速时，可转动电位器旋钮，增加或减小给定电压，经晶体管 V_2 放大后输入触发器的控制电压就增加或减小，触发脉冲就前移或后移，晶闸管的移相角 α 则减小或增加，离合器的励磁电流就增加或减小，转速就增加或减小。

当离合器上的负载（也就是电动机的负载）增加或减小时，其转速就要下降或上升，测速发电机的

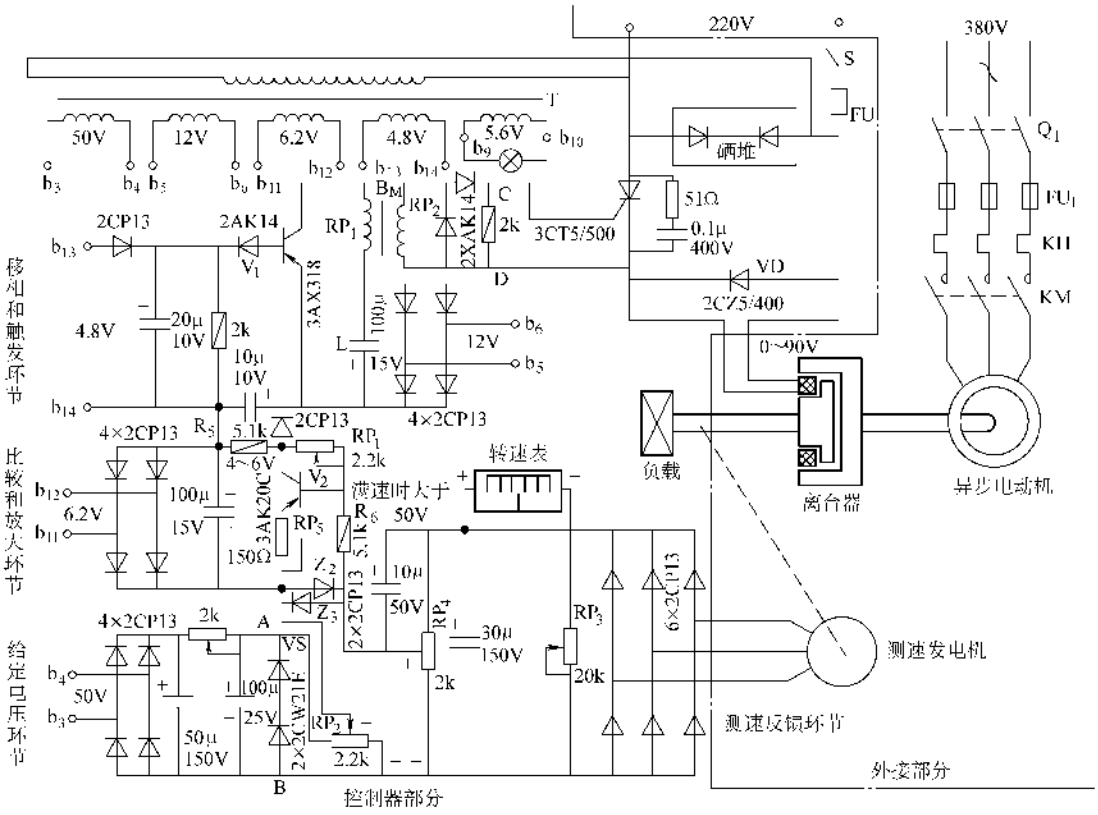


图 7-117 电磁调速电动机的起动控制电路

输出电压就要减小或增加，因给定电位器未动，因此给定电压与测速电压的差就要增大或减小，这样 V_2 的输入信号就要增大或减小，进而导致触发脉冲的前移或后移，晶闸管的移相角 α 减小或增加，离合器的励磁电流就要增加或减小，转速就要上升或下降，上升或下降的转速与因为负载变化而引至转速的下降或上升互相弥补，保持了转速的不变，这就叫做速度负反馈，或电压负反馈。系统引入负反馈以后，增加了电动机及系统的机械特性的硬度，也就是负载的变化，不会引起转速的变化，这在自动控制系统中应用很广。

控制器测试可先将其电源接通，调节电位器，即可在输出端 AB 点用直流电压表看到变化的直流电压；也可在脉冲输出端 CD 点用示波器观察脉冲的变化；也可将测速发电机的输出线与控制器接好，手盘动电动机转动，即可用电压表或控制器上的转速表（实际上也是一块电压表，但用转速刻度）观察到电压或转速的变化。同时可用电压表测量变压器各个二次线圈的电压，应和图中标注相同。如需测试各个分立元件可参阅第五章。

11）电动机常用的几种辅助电路的调整

①　机械制动电路：见图 7-118，机械制动使用电磁抱闸，有断电制动和通电制动两种，一是要调整抱闸和抱轮的间隙且使其同心，二是要通电或断电试验电磁铁的吸合是否可靠。

②　能耗制动电路：见图 7-119，是在电动机断电的同时给定子绕组通以直流，产生一个静止的磁场，惯性转动的转子便感生电流并产生与原转动方向相反的转矩，使电动机制动。调整的参数是制动时间及 R 的调整，制动时间一般为 2s 左右，两者均应在电动机断电时实测。

③　单相或断相保护：见图 7-120 也叫做零序保护，通过中性点或人为中性点在断相时产生的不平衡电压使中间继电器动作，进而使电源跳闸。中间继电器动作电压的选择应在电动机断相时实测，一般为 12～24V。实测时可人为的将其电源断相，而测量中性点电压，见图 7-121。电动机正常运转时，操作 SBS_2 即时读取电压表的读数，操作时间越短越好。

④　具有点动功能的自动往返电路的调整：见图 7-122，主要是测试行程开关本身动作的可靠性和撞块压迫行程开关动作的正确性，其他同直接起动电路。调速时应用点动按钮，使电动机转动，仔细观察撞块压迫行程开关时的情况，然后再调整撞块的形态或位置，或调速行程开关的安装位置。

12）直流电动机的起动及控制：直流电动机有直接起动、电枢回路串联电阻起动和降压起动等几种；直流电动机的电源，一般 10kW 以下的采用单相全控桥式整流电源、10～300kW 采用三相全控或半控桥式整流电源、300kW 以上常采用三相或多相全控桥式整流电源。在中小型直流电动机较多和电解工艺为主的场所，如铝厂，或是造纸、化工等要求调速传动较多的专业厂常采用硅整流所直接提供直流电源，有的也

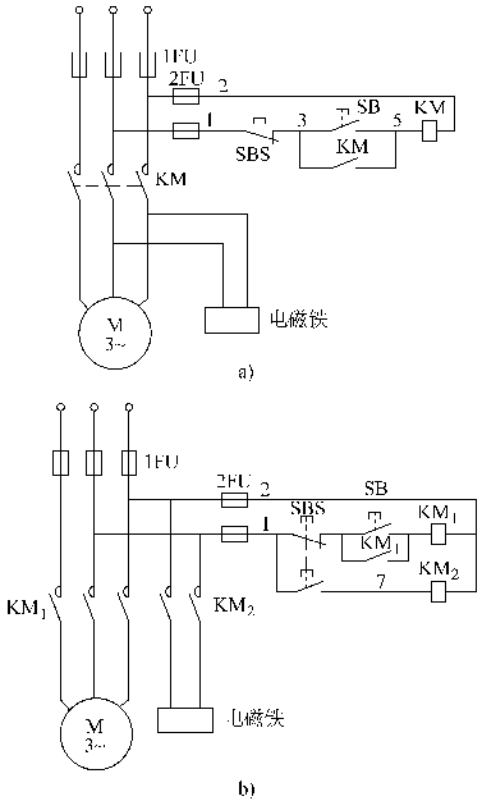


图 7-118　电磁抱闸制动控制电路

a）在电源切断情况下起制动作用

b）在有电源时起制动作用

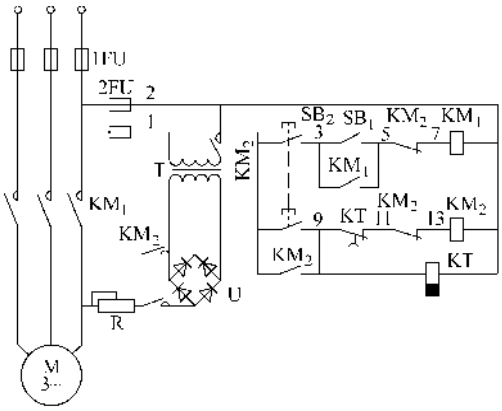


图 7-119　能耗制动控制电路

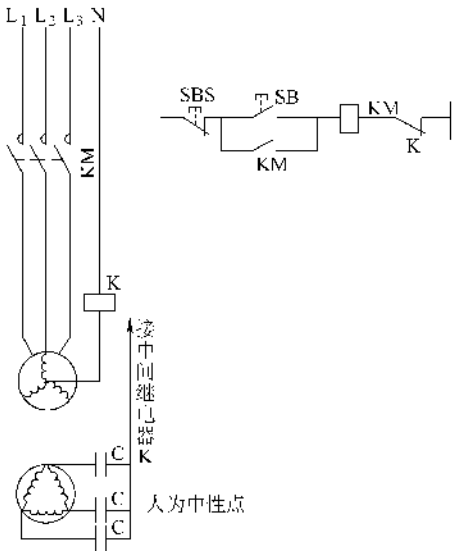


图 7-120 断相保护电路

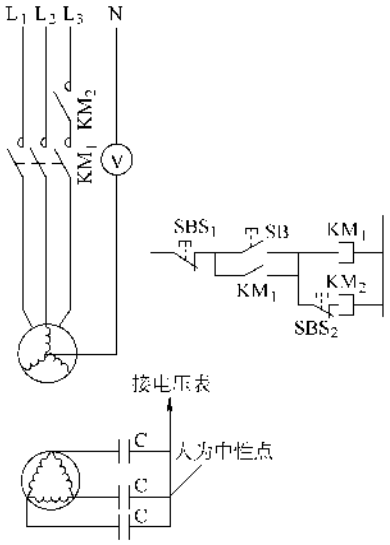


图 7-121 断相保护的调整

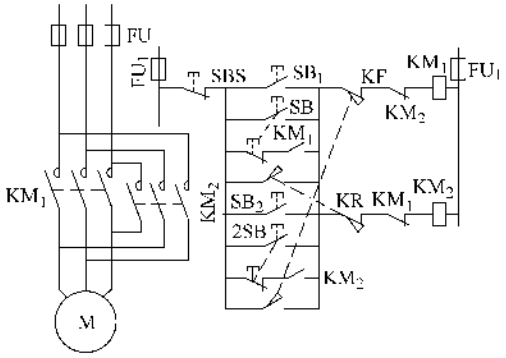


图 7-122 具有点动功能的自动往返电路

采用直流发电机组提供直流电源；直流电动机的接法又分并励、串励、复励及他励几种。上述三个原因导致了直流传动系统的复杂和难度，再加上直流电动机的构造和价格较交流电动机复杂和昂贵，便限制了直流传动系统的应用。本节只就常用直流电动机的起动及控制作一介绍。

① 串联电阻起动：手动起动电路，见图 7-123 ~ 图 7-125。自动起动电路，见图 7-126 和图 7-127。

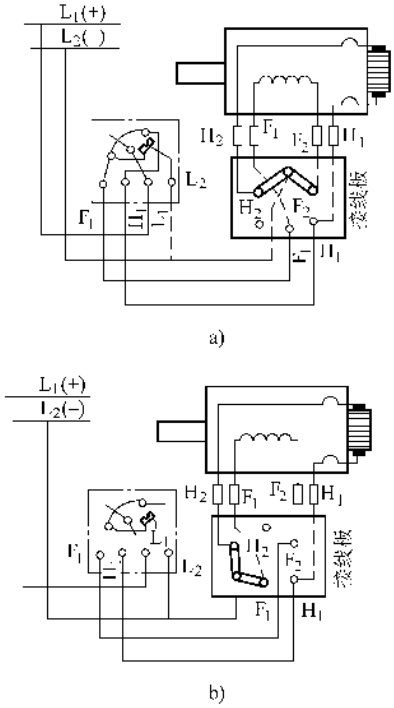


图 7-123 并励电动机接线图

a）正转 b）反转

注：如系他励电动机，并励磁场由外电源供电，磁场的出线标记用 T_1、T_2（或 W_1、W_2）来表示，或他励有二种电压，其二组磁场用 T_1、T_2（或 W_1、W_2）、T_3、T_4（或 W_3、W_4）来表示。

手动起动电路的主回路常用熔断器或自动断路器保护短路和过载。起动时，将起动器手柄逐级转动，且在每个级（触点）上停留约 2s，直到最后一级被低压释放器吸住为止。这里要注意，并励电动机的励磁回路不得断开；串励电动机不允许空载或轻载起动，避免飞车。

自动起动电路主回路常用熔断器或自动断路器保护短路和过载，并用电流继电器保护过电流，控制回路调节元件有时间继电器、欠电流继电器、零位保护继电器。调节方法及参数基本同异步电动机，不同的

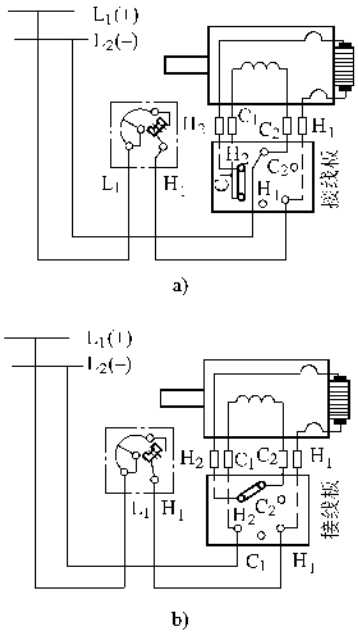


图 7-124　串励电动机接线图

a）正转　b）反转

注：如系他励电动机，并励磁场由外电源直接供电，励磁绕组不可与 H_1、H_2 及 C_1、C_2 并接，其出线标记用 T_1、T_2（或 W_1、W_2）来表示。

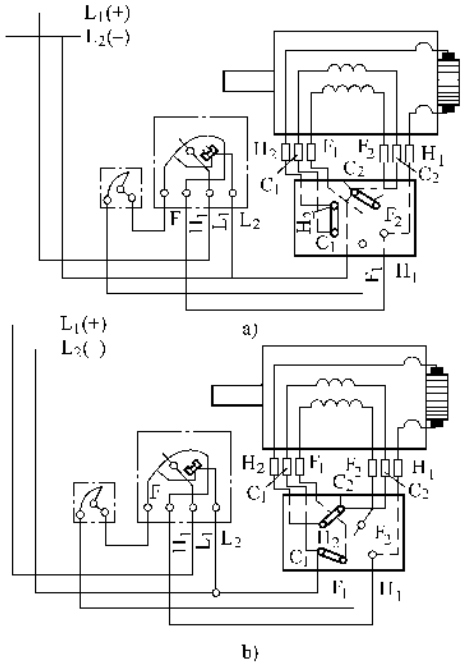


图 7-125　复励电动机接线图

a）正转　b）反转

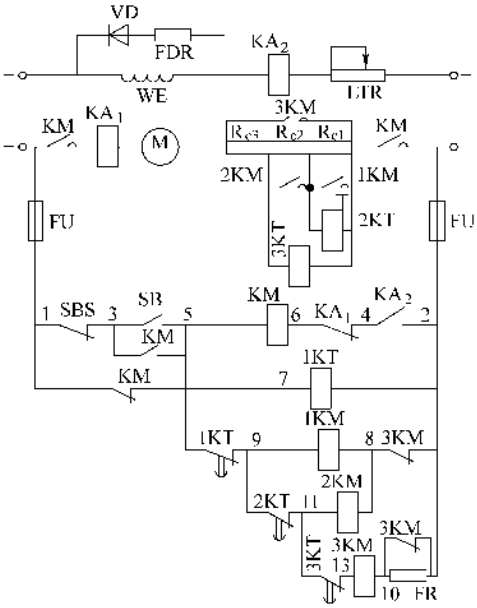


图 7-126　直流电动机时间继电器自动起动电路

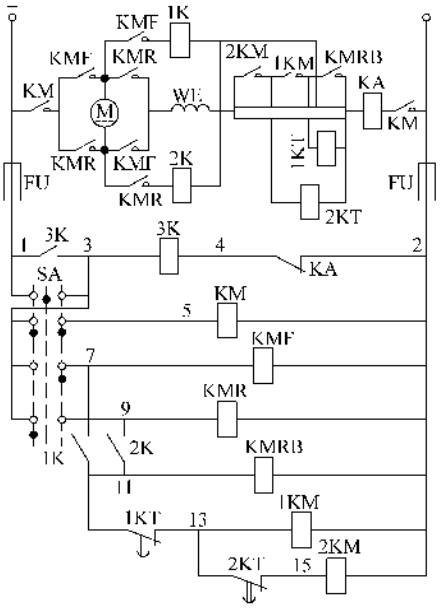


图 7-127　直动电动机具有反接制动的自动控制线路

是所有继电器和接触均采用直流驱动。起动时是先将额定直流电源加在励磁回路、主回路及控制回路上，电动机在串联全部电阻下慢速起动，起动电流在电阻上的压降使时间继电器动作，经延时后逐级将电阻短接，电动机则逐级加速，直到额定转速，电动机起动完毕。线路简单可靠，且不受负载大小变化的影响，在实际中应用很广。

② 减压起动：减压起动大都采用晶闸管整流电

源，通过触发脉冲的前移或后移改变电动机电枢的电压使电动机减压起动。此种电路大多用于要求调速准确度较高的场所，详见后述“6. 晶闸管供电的电气传动系统调试的要点”。

13）同步电动机的起动及控制：低压同步电动机的起动常采用异步起动，也就是和异步电动机的起动方法相同，当接近同步转速时，在转子励磁绕组中通入直流电流，使同步电动机进入同步运行，这便叫做异步起动，同步运行。

① 直接起动：即在全压下起动，当电动机达到准同步速度（一般转速达到 0.95～0.98 倍的额定转速）时即供给励磁，然后牵入同步运行。直接起动的线路及设备同异步电动机，但能否直接起动主要取决于电动机的结构是否允许直接起动、起动转矩能否满足负载的要求及起动时母线上的电压下降的程度三点。

如果母线的短路容量与电动机的起动容量不相适应，则母线电压降会超过允许值，有碍于系统的运行。因此，能否直接起动，可用下式确定：

$$\frac{S_K + Q_H}{S_M + S_K + Q_H} \geqslant a \qquad (7\text{-}2)$$

式中 S_K——母线的短路容量（kVA）；

Q_H——母线的无功负荷（kVAar）；

S_M——电机的起动容量（kW）；

a——母线允许的最低电压相对值。对于动力与照明混合用电的母线为 85%，电动机单独用电的母线为 80%。

② 减压起动：即通过电阻、电抗器或自耦变压器，把电动机接到电网上，当加速到一定转速时，再切换到全压，线路及设备基本同异步电动机，见图 7-128的主回路结构。

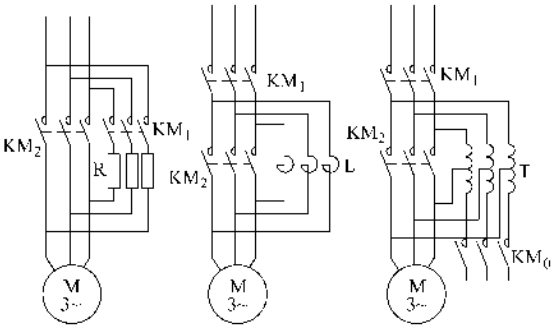


图 7-128 同步电动机减压起动方式

a. 自耦变压器起动：先使零位接触器 KM_0 吸合，再使线路接触器 KM_1 吸合，这时经自耦变压器 T 把降低了的电压接到同步电动机的定子上。当转速加速到一定值时，先断开 KM_0，电动机经 T 的一部分线圈接到电网上，这时 T 相当于一个电抗器，再使加速接触器 KM_2 吸合，电动机得全压。这里要注意，KM_0 断开后加到电动机上的电压，不应比断开前低；KM_2 合闸前，KM_0 必须可靠断开。

b. 电抗器或电阻起动：先使线路接触器或起动接触器 KM_1 吸合，电动机经限流器接到电网上，随着电动机转速的增加，定子电流逐渐下降，电动机端电压逐渐增加。当加速到一定速度时，使加速接触器 KM_2 吸合，电动机得全压。其中电抗起动，KM_2 吸合后，KM_1 仍保持吸合。而电阻起动，KM_2 吸合后 KM_1 应断开。

c. 供给励磁的时间：一种是电动机在降低了的电压下加速到准同步速度时，供给励磁，使电动机进入同步，然后再接入全压，这叫做“轻载起动”。采用“轻载起动”可以用限流器减小励磁电流接入时引起的电流冲击。另一种是由于机械需要牵入的转矩较大，电动机在减压时所产生的转矩，不能带动机械加速到准同步转速，这就需要采用“重载起动”。这就是在电动机接入全压后再加速到同步转速时，再供给励磁电流。

由此可见，采用何种起动方法，除考虑电动机构造、母线压降外，还要考虑负载的实际情况。

③ 励磁的方法：励磁有自励和他励两种，自励就是由和电动机同轴的励磁机励磁，他励则是由专用的直流电源励磁，一般常用成套的晶闸管整流装置。自励根据励磁机与同步电动机励磁绕组连接的方式，又分为固接、经电阻固接和非固接三种。

a. 固接励磁：励磁机的电枢与同步电动机的励磁绕组直接连接，见图 7-129。电动机接通电源后，逐渐加速，当达到一定速度时，励磁机开始自励，电动机进入同步，只要励磁机励磁回路的电阻 R 调得合适，就可以避免励磁机过早的自励，又能保证不到准同步转速时供给同步电动机励磁。电动机轴上的阻矩不超过电动机额定转矩的 0.4 倍时，可采用固接励磁，一般固接励磁适用于 2000kW 以下的轻起动的电动机。

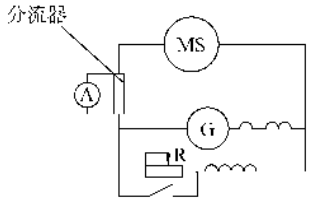


图 7-129 固接励磁接线图

b. 经电阻固接励磁：励磁机的电枢经放电电阻

R_{fd}与电动机励磁绕组固接的连接，见图 7-130。电动机接通电源后，逐渐加速达到准同步速度后，励磁接触器 KM 的接点短接了 R_{fd}，励磁机给电动机励磁，电动机进入同步。放电电阻的接入，避免了固接励磁的缺点，适当地选择 R_{fd}的数值，可以改变电动机的起动特性。一般取 R_{fd}/R_L为 6～10，R_L为励磁绕组的直流电阻。

c. 非固接励磁：励磁机与放电电阻不同时接在电动机励磁绕组上，见图 7-131。电动机起动时，励磁绕组接在放电电阻 R_{fd}上，当达到准同步转速时，励磁接触器 KM 吸合，使励磁机向励磁绕组供电，并断开放电电阻，电动机进入同步。这种线路可以在电动机内部故障断开时，励磁电流可以较快的减少到零。所以对具有差动保护的重要电动机常采用非固接线路。

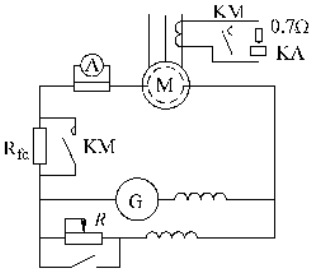


图 7-130　经电阻固接励磁接线图

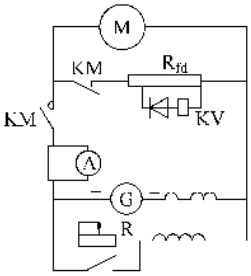


图 7-131　非固接励磁接线图

d. 他励：见图 7-132。这种励磁方式克服了上述的缺点，并使同步电动机的体积大大减小，又便于调节，可成为自动励磁系统。但需要一套硅整流电源。电动机异步转速达到定值时，晶闸管触发导通，硅整流装置向励磁绕组提供直流电流，电动机进入同步运行。

④　励磁供给的控制：电动机的异步转速接近同步转速并给以励磁电流时，电动机能否牵入同步并正常运行，决定于励磁电流供给的时刻与电动机的转差率。在最不利的条件下仍能保证牵入同步的最大转差率为临界转速率（S_L），S_L 可用经验公式计算：

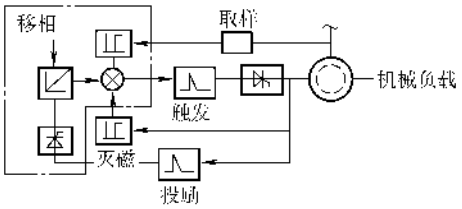


图 7-132　他励框图

$$S_L = \frac{243}{n_0}\sqrt{\frac{P_{max} - 0.6P_f}{f \cdot GD^2}} \qquad (7\text{-}3)$$

式中　n_0——同步转速（r/min）；

P_{max}——在给定励磁电流下牵入同步的功率最大值（kW）；

P_f——负载功率（kW）；

f——电源频率（Hz）；

GD^2——电动机及拖动系统的飞轮矩（kgm^2）。

a. 按定子电流控制：见图 7-130，KA 为一普通 LJ 型电流继电器，电动机起动之初，定子电流很大，使其吸合；随着电动机转速的逐渐增加，电流则逐渐下降，当接近同步转速时，电流很快降至最小值，继电器释放，使励磁接触器吸上，电动机进入同步。电流继电器释放值一般整定为 1.5～2 倍电动机额定电流。

b. 按转子电流频率控制：见图 7-131，KV 为普通的 JT_3 带铜套的直流电压继电器，在电动机起动开始的瞬间，立即吸合，在整流器不导电的半波时，由铜套中的感应电流产生的磁通，使继电器保持着。随着电动机转速的逐渐增加，转子电流的频率逐渐下降。接近同步转速时，整流器不导电半波的时间增加到继电器不能保持的程度，继电器释放励磁接触器接通。实际上继电器是在不导电半波的末尾释放的，图中标志的极性，能保证励磁电流接入的时间和相位最有利，即分离角为零。

c. 采用他励时，则将定子电流或转子电流频率的变化经传感器变成电信号，使励磁可靠接入，见图 7-132。详见本节“晶闸管励磁的同步电动机起动控制及调试要点”。

d. 正常运行中励磁的调节：同步电动机在过励磁下工作时，可向电网送出无功功率，节电效果是很显著的。如果电动机轴上负载不变，也就是有功电流不变，而励磁电流变化时，负载电流（包括无功电流）则不变。励磁电流增大，定子电流超前，送出无功功率；励磁电流减少，定子电流滞后，吸收无功功率。因此，运行中的同步电动机一般将励磁电流调到大于额定值。

⑤ 异步起动自励式同步电动机的调整

a. 欠电压保护继电器，释放值一般为额定值的0.5～0.6，时间继电器的延时一般不大于10s。同步电动机主回路和操作回路使用同一交流电源时，主回路的交流接触器即为无延时欠电压保护，不必整定。

b. 作为强励用的欠电压继电器，释放值一般为额定值的0.75～0.8，返回电压为额定值的0.88～0.94；强励时的励磁电流一般额定值的1.4，强励时间不得超过30s。采用交流操作时，强励接触器的线圈电压应比操作回路电压低一级，380V操作回路，线圈宜用220V的，以保证低电压时可靠动作。接触器动作后，线圈回路串入电阻，使操作回路为额定值时，线圈端电压也为额定值。

c. 起动时间的限制：大型同步电动机的起动时间一般限制在40s，中小型一般不超过20～25s，执行元件宜采用电动机式时间继电器。中小型同步电动机常采用热继电器或GL型过流继电器作为过载保护，元件本身有限时作用。

d. 失磁保护：由励磁回路中的电流继电器构成，吸合电流一般为0.5倍额定励磁电流。

e. 起动电流继电器KA的释放值一额为电动机额定电流的1.5～2倍，则在负载试车时整定。

f. 起动频率继电器Kf按图7-133接线进行试验，检查吸合电压、释放电压、释放延时。延时一般为0.2～0.5s。

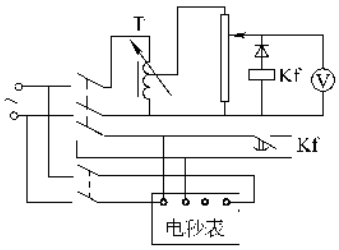


图7-133 起动频率继电器试验接线图

g. 同步电动机的起动试车应做好准备工作，并对注意事项逐一检查，参见本章第七节“送电试车及试运行”。

h. 固接励磁同步电动机的调整。在起动前要确定励磁绕组与电柜的相对极性，使其能够自励（见本章直流电动机的试验及调整）。磁场变阻器应打在电阻较小的位置，如发现过早自励，应增大阻值，使电动机转速接近准同步转速时，励磁机刚好能自励，并在这一位置上作一记号。固接励磁或经电阻固接的线路，励磁回路的磁电式直流电流表应是零点在中间位置的，由于电动机异步起动时，转子中交流电流对励磁机的影响，在各次起动时，励磁电流的方向可能有正有反。

i. 带有起动频率或转差率继电器Kf的励磁控制方式的调整。断开励磁接触器的合闸回路，在继电器Kf跨接的部分放电电阻两端并联一只交流电压表，量程可为0～300V，读取起动瞬间电压表的指示，Kf继电器的整定值一般为上述测得的最大电压值的20%吸合，5%释放。

再次起动电动机，继电器应可靠吸合，观察交流电压表在电动机加速过程中指针的摆动情况，指针摆动两次即为转子感应电流的一个周期。同时观察继电器Kf释放时的转差率，应比异步运转稳定转差率稍大一点。如果继电器的释放值相差不多，可当时进行调整，不需多次起动电动机，以免电动机过热。当电动机达到稳定转差率时，如果继电器的弹簧稍松一点就不释放，紧一点就能可靠释放，就把弹簧放在紧一点的位置上。

继电器调整好后，就可起动电动机利用Kf供给励磁，观察电动机牵入同步时，主回路电流与励磁电流的变化，以判断继电器的整定是否合适。

j. 带有起动电流继电器KA的励磁控制方式的调整　断开励磁接触器的合闸回路，在KA回路中串联一只电流表，量程0～10A或0～20A，在起动开始，用短路开关将电流表短路。当电动机的速度接近同步转速时，将短路开关打开，读取电流表稳定时的数值，继电器KA的释放值应稍大于此值。继电器整定好后，即可接通励磁接触器的合闸回路，起动电动机，利用继电器KA供给励磁，观察电动机牵入同步时，主回路电流的变化和励磁电流的数值，以判断继电器的整定是否合适。

电流表指针达到稳定时的读数，有时不一定说明电动机已加速到接近同步转速，此时KA释放，电动机不一定能牵入同步。这时可参照频率继电器整定中观测同步机接近同步转速的方法来确定KA的释放值。

（3）控制电路的通电试验及空投试验　控制柜（箱）的控制回路常采用380V或220V，也有用127V、110V的，有的则用直流110V或24V（有变压器及整流装置）等，无论哪种，其电源的取得一般应在该柜总开关的上闸口，详见第三章控制柜制作一节。这样的接线方式，可以在主电路不得电、电动机不起动的情况下，控制回路有电，继电器和接触器及其所有的接点都可以动作；可以试验控制回路接线的正确性、并通过试验可以证明电器动作的程序正确与否；根据起动原理则可判断控制电路能否完成电动机

的起动过程，能否在事故情况下跳闸保护电动机或在短时过载时延时跳闸等功能。

先将控制回路接上临时电源，这时要注意检查控制回路的熔断器或小型断路器，一般情况下控制回路的熔丝宜选5A，小型空开不超过10A。然后将控制回路的开关合上，这时控制回路中，控制回路得电时应该动作的继电器应得电动作，灯光指示应正确。而后可操作起动按钮，主接触器应吸合，继而时间继电器、中间继电器也应吸合，延时后起动辅助接触器应吸合，完成起动。继电器和接触器的动作情况一般是将灭弧罩取下，这样观察起来方便。正常动作后，可用手触动保护元件动作，如过电流继电器的衔铁、电压线圈的衔铁、时间继电器气囊或旋钮等，使其吸合动作，这时主接触器应跳闸，指示灯或报警器应显示等。如果动作不正确，则说明线路或元件有误，应修复。

读者可以自行分析图3-29的工作过程，指出继电器的动作程序以及保护元件的动作情况。

2. 电子式电气传动装置的元件调试要点

（1）常规性检查及测试

1）插件板的标号及其元件应完整无损，无锈蚀，元件排列规则整洁，外形尺寸与装配或焊接应符合要求。

2）插件板上印制线路清晰、平滑、无毛刺、光洁，线条无断开、无起皱现象，线条间无粘连无短路，线条间距一般应大于或等于0.8mm，插脚间隔明显。

3）插件板的插头与插座之间的压力应均匀紧密，接触必须良好，插入后不得歪斜，不得承受其他外力；插件的拔出及插入应能避免碰及相近元件且方便自如，防松装置或挡板应齐全可靠实用。

4）成套装置的供电电源的容量、电压等级、保护功能应符合系统的设计要求。

5）绝缘电阻的测量及要求，应按本节二、（一）进行；

6）电子元件的工作环境应满足元件的要求，一般允许使用在环境温度10～40℃范围内和相对湿度不大于85%的场所。

（2）稳压器的检查及试验

1）稳压器的稳定度应符合产品设计要求，一般当输入电压为额定值的80%～110%范围内任意值，且使负载由零到额定值的变化时，其输出电压的波动范围，不应大于额定值的±5%。通常是用调压器进行试验，负载可用一电阻代替，见图7-134。

2）稳压器的过载及短路保护特性应符合产品设计要求。过载及短路时应报警、跳闸。通常是用假负载进行试验，见图7-135。

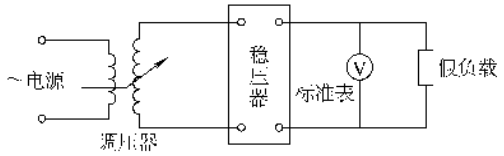


图7-134　稳压器稳定度的试验

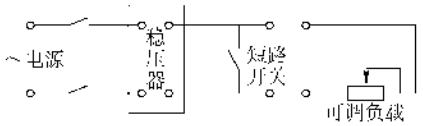


图7-135　稳压器保护性能试验

（3）运算放大器及各种调节器的检查及试验

1）在放大器放大倍数为1的接线情况下，当输入信号为零时，调零装置应能使其输出接近于零；无调零装置的调节器，则允许存在较小数值（mV级）的输出，且无振荡现象，可用图7-136的接线进行观察。

2）限幅的调整：正负限幅电位器应能从零到最大连续可调，限幅的范围和电压值，应符合设计要求。

3）对元件有怀疑时，应检测调节器的静态输入输出特性。在额定负载下，所测取的特性，在最大允许输入输出范围内应呈线性，正反向特性应对称于零点，一般性偏差应接近于0.5%。

4）观察调节器的阶跃输入的输出动态波形，波形的变化应分别符合各类型调节器特性变化的规律。

5）如果出现零点漂移，应检查调节器的温漂情况，一般分立件的漂移值应小于100μV/C，集成元件应小于20μV/C。

6）对具有封锁装置的调节器，需检查其工作是否正常可靠。

（4）给定积分器的检查及试验

1）发送器单元与积分器的连接线，应符合系统图的要求。

2）输入为零时，其输出应为零，并无振荡现象，否则应调零。

3）测取静态发送器的输入与积分器的输出特性曲线，所测得的曲线，在额定工作电压范围内应符合系统的要求，各级每点应均无振荡现象，积分时间应均匀可调，且呈线性，线性度的偏差一般应接近于0.5%。

4）检查积分器的封锁动作情况，其动作应正常可靠。

5）传动电动机有潜动现象（零点爬行）时，除检查系统其他原因外，应检查给定积分器的温度和时间漂移情况，是否符合要求。

6）检查输出电压保持时间，在系统要求的时间内，输出电压值应保持不变。

（5）直流电压变换器的检查及试验

1）隔离变压器的连接极性和相序均应正确，并调制频率及波形，应符合设计要求。

2）当输入为零时，其输出应近似于零，否则应调零。

3）测取静态时正反向输入（电压、电流）与输出（电压）的关系特性曲线，在额定输出范围内应呈线性，线性度的误差应接近于1%，死区应小于设计规定值。

4）检查变换器的过载能力，一般输以3倍额定电流时，输出仍呈线性。

5）检查有无零点漂移，零点漂移一般应小于50mV。

（6）交流电流检测器的检查及试验

1）电流互感器的变比和极性，应符合设计要求。

2）当输入为零时，其输出应近似于零，否则要调零。

3）测取输入（交流电流）输出（电压）关系特性曲线，其线性度误差应在1.5%～3.0%之间。

4）检查过载能力，输以3倍额定电流时，其输出仍为线性。

（7）乘法器的检查及试验

1）输入输出补偿和变换系数的调整，应先预热5～10min，待温度稳定后再进行而后调零；

2）测取工作范围内交叉特性曲线，曲线上各点的准确度应符合设计要求，一般准确度误差应接近于1%～3%。

3）对时分割型的脉冲宽度调制器，应调其零位和限幅值，观察脉冲波形，脉冲前、后沿的陡度和占空因素，均应符合制造厂的要求。

（8）函数发生器的检查及试验

1）当输入信号为零时，其输出应为零，或当输入为零时，其输出也可根据工作要求来选择，且无振荡现象。

2）在额定工作范围内（带实际负载），能按预定函数作出模拟曲线，且曲线的各点无振荡，其误差应符合设计或制造厂的要求。

3）将其调整到系统所需要的函数模拟的工作点上。

（9）电压频率变换器

1）当输入信号为零时，其输出频率应为零，或输出频率可根据工作要求来选择；

2）测取输入输出特性，输入信号与输出频率之间的关系应保持规定的函数模拟关系；当输入信号不变时，其输出频率应不波动；在额定工作范围内，输出各点的频率误差应符合制造厂的规定。

（10）开关逻辑元件、电平检测器和运转指令器的检查及试验

1）开关逻辑元件的逻辑功能、输出信号的状态和负载能力，均应符合系统的要求。

2）电平检测器的动作电平与返回电平，应符合系统要求，用作过电流、过电压或欠电流、欠电压元件时，还应检测其回环电压，其值不宜小于100mV。

3）测取运转指令器各点动作波形图，该图应符合切换动作的顺序和要求。

（11）移相触发器的检查及试验

1）同步电源的相位和电压值，均匀符合系统的要求。

2）触发器的输出端接模拟负载或在不接通主回路电源的情况下，直接接通晶体管的控制极，通电检查各点的触发脉冲的波形、幅值、极性及各脉冲之间的相位关系，均应符合系统的工作要求，同时应符合以下要求：

① 各脉冲之间的相位间隔应一致，如三相桥式整流系统六个臂上脉冲之间的相位间隔按相序依次为60°；它们的相位间隔的最大相对偏差应不大于±2°～4°。

② 各相脉冲的宽度、幅值、前沿陡度均应一致，并符合晶闸管触发和系统设计要求；对并联晶体管的脉冲前沿一般宜小于1μs，必要时可检测最大脉冲电流，其值可达晶闸管规定的触发电流的2～3倍。

③ 采用单脉冲触发的系统，其触发脉冲的宽度和移相范围应符合设计，其脉冲宽度 Q 一般在60°～120°之间；采用双窄脉冲触发时，其脉宽一般在3°～10°之间，且每相触发装置应同时产生两个互差60°的窄脉冲。

上述检查后，输入控制信号，检查各脉冲移相范围，应符合系统设计要求。如有稳压设备时，检查交流电源在额定电压85%和110%的情况下，输出脉冲的相位应均无明显变化。

3. 电子设备电磁兼容性试验要点

装有电子元件的电控设备、可编程序控制器、电子数字传感器、转换电路、接口电路、微机系统以及电子数字仪表等电子设备运行前则应进行电磁兼容性

试验。其试验项目有：静电放电敏感度试验、串模抗干扰试验、共模抗干扰试验、电源尖脉冲敏感度试验、交直流磁场敏感度试验、无线电磁场干扰测试、环境电磁场干扰测试。

（1）试验程序

1）试验前应制定安全措施，包括设备出现异常时安全措施。各种电源的投入和切除、设定值的改变、运转方式切换等均应按操作规程进行。

2）试验应按先部分试验后整体试验的步骤进行。

3）干扰信号的量值、施加时间均应分级逐步增加，前一级未通过时不得进行下一级试验。

（2）静电放电敏感度试验

1）用标准静电放电发生器的静电电压施加于受试设备的试验点上，进行放电，放电过程应通过仪器观察。受试设备在放电和放电衰减期间，可以超差工作，但在放电衰减后应即恢复到正常工作；具有数据储存或带标准接口而进行数据传递的设备，在标准放电中和放电后，不得丢失数据，储存的程序不得有任何变化，不得改变状态，接口上的各点电平不应有任何变动；受试设备和系统的自动装置，工作性能应正常。

2）标准静电放电发生器的静电电压，应符合受试设备的技术条件和出厂试验的规定。一般也可按以下方法进行；标准静电放电可将一只300pF的电容器充电到－15000V，然后经过一只500Ω的电阻对受试仪器进行放电；标准静电放电可将一只150pF的电容充电到2000（1±10%）V，然后经过一只150Ω的电阻对受试设备进行放电。这里必须注意，电子测量仪器与电控设备的放电方法不同。

3）放电试验点的选定：受试设备门把、操作手柄或键盘上不应少于3点；每根输入、输出线上不应少于3点，输入、输出电缆线上离开受试设备150mm以外处各选一点；输入、输出接插头的外壳上选一点，试验时可将外接电缆断开；受试设备外壳上距安全接地线端最远处选一点；在每个与地隔离的金属罩上选一点。

4）放电次数的规定：放电探头应垂直加于试件上，并逐渐接近试验点直到产生放电。放电应以单次放电方式进行，在选定的试验点上分别进行10次单次放电。

5）试验方法及注意事项：试验方法的接线见图7-136。高压电源和放电探头的接地线均应接到受试设备的接地线上，接地线与主接地体的连接应可靠，接地线的连接和接地线的截面应符合有关规定，详见“防雷与接地系统的安装”一章中有关电子设备的接地的内容。放电探头应以垂直于被试品表面的形式逐步接近试验品，每次放电后，应重新进行充电，再进行下一次放电试验。

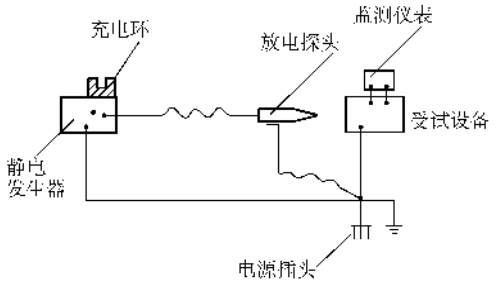


图7-136　静电放电试验接线框图

试验时，高压操作应用绝缘工具，有人监护，试验完后应充分放电。

（3）串模抗干扰试验　试验接线见图7-137，对输入输出互相绝缘的仪表，试验时应将输出一端接地。试验时，将串模干扰电压施加于受试设备的输入信号线上，然后通过仪器观测其对受试设备工作性能的影响。

串模干扰电压频率应与受试设备主电源频率相同，干扰电压的幅值应符合制造厂的规定，一般取最低值为1V（峰值），电压的相位能在0°～360°范围内连续可调。

试验标准：在0°～360°范围内调节串模电压的相位，受试设备应工作正常；受试仪表指示值三次读数的平均误差值应在仪表允许误差范围之内；测量干扰电压施加前后的信号值，按下述方法计算后所得的串模抑制比应符合产品的要求。

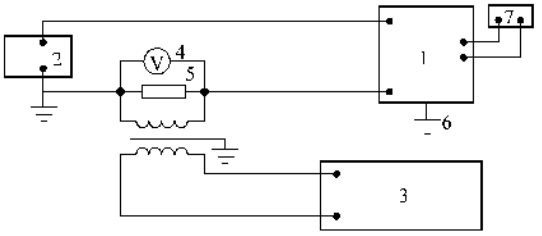
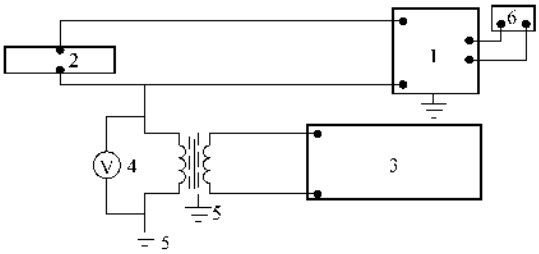


图7-137　串模干扰试验接线框图

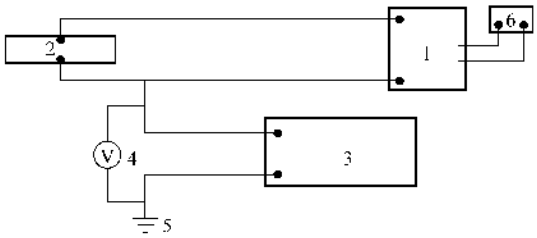
1—受试设备　2—输入信号源　3—可调相位和幅值的50/60Hz交流电压源　4—电压表　5—串模负载电阻　6—安全接地线　7—监测仪表

$$\text{串模干扰抑制比}=20\log\frac{\text{串模干扰电压峰值}}{\text{（干扰前－干扰后）电压信号值}} \tag{7-4}$$

（4）共模抗干扰试验　试验接线见图7-138。试验时，将交流共模电压施加于受试设备输入/输出端子与地之间，通过仪器观测其对设备的影响。



a)



b)

图 7-138 共模抗干扰试验接线框图

a）交流共模干扰试验接线方框图

1—被试设备 2—输入信号 3—可调相位和幅值的 50/60Hz 交流电源 4—电压表 5—接地线 6—监测仪表

b）直流共模干扰试验接线方框图

1—被试设备 2—输入信号源 3—可调的直流电源 4—电压表 5—接地线 6—监测仪表

干扰电压应符合制造厂的规定，一般干扰电压幅值应不低于 250V，电压的相位应能在 0°～360°范围内连续可调。

试验标准：在 0°～360°范围内调节共模抗干扰电压的相位，受试设备应运转正常；必要时，对变送器等受试设备还应以 50V 或 1000 倍变送器最小量程的直流共模干扰电压，分别以正电压和负电压施加于受试设备上，设备仍应运转正常。受试仪表示值的三次平均误差应符合制造厂的规定，所测得的共模抑制比应符合产品规定。

$$\text{共模抑制比} = 20\log\frac{\text{共模干扰电压峰值}}{\text{（干扰前－干扰后）电压信号值}} \tag{7-5}$$

（5）电源尖脉冲敏感度试验 试验接线见图 7-139，试验电源应通过滤波器（至少为 500μH 的扼流圈或 10μF 的穿心电容器）接入，并有隔离变压器保护。

尖脉冲电压波形应符合图 7-140 的要求；尖脉冲电压应以 6～10 次/s 的重复频率施加于受试设备的电源线上，对交流供电的受试设备，应分别以正负极性尖脉冲电压施加于受试设备电源线上；脉冲频率应

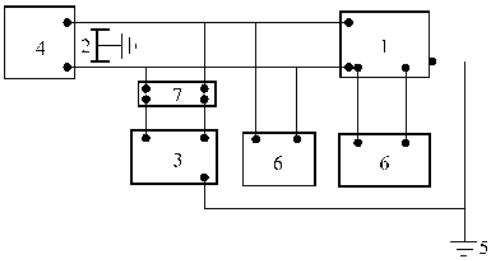


图 7-139 电源尖脉冲敏感度试验框图

1—被试设备 2—穿心电容器 3—尖脉冲发生器 4—交流或直流试验电源 5—安全接地线 6—监测仪表 7—隔离变压器

与电源频率同步；脉冲相位应为 0°～360°连续可调，试验时调节脉冲相位，确定出最敏感的脉冲相位；脉冲幅值应为电源电压有效值的 4 倍；脉冲施加时间应不少于 30min，受试设备不应出现系统不稳定、元件误动作或输出波形失真等异常现象，设备的各项动作功能和程序均应正确无误。

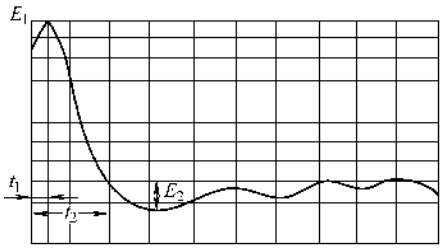


图 7-140 尖脉冲波形图

E_1—尖脉冲电压 E_2—电源电压

$t_1 = 0.5\mu s$ $t_2 = 10\mu s$

（6）交流、直流磁场敏感度试验 分别将交流、直流干扰磁场施加于受试设备外部的任何点上，受试设备不应出现运转异常现象。施加的干扰磁场强度应不低于受试设备制造厂的规定，一般为 0.5mT。

环境电磁场干扰场强的测试，对所测电子仪表和电气设备机房内无线电干扰的场强，应符合设计规定；外部干扰场强应符合制造厂的规定，一般 3m 以内交、直流干扰场强应小于 0.5mT，10m 以内应小于 10mT。

4. 成套硅整流装置的试验

安装及试验应满足 GB 50255—1996《电气装置安装工程电力变流设备施工及验收规范》的要求。

（1）常规检查及要求

1）电子元件的检查，见“2. 电子式电气传动装置的元件调试要点”。

2）硅元件内冷却风道应干净，风向应正确；循

环水冷却系统无渗漏现象，循环水的水质和出口水温应符合设计要求，出口水温应控制在 30～37℃之间，进出口水的温差约 5℃，进口水温以调到不低于空气的露点为宜。

3）母线和导线的连接均应正确，对地和相间距离、接头或接点的接触应符合要求。要确认母线和导线的截面，应符合设备容量的要求。

4）硅整流柜要求对地绝缘时，应检查对地绝缘的完好性。

（2）绝缘电阻的测量

1）测量硅元件夹紧螺栓的绝缘电阻，一般应不低于 1MΩ。

2）测量主回路对硅外壳、对地、对二次回路的绝缘电阻，均应大于 1MΩ；水冷却硅整流柜主回路对地的绝缘，在充水后应不小于 50kΩ；二次回路的绝缘电阻按本节三、（一）进行。

（3）耐压试验　耐压试验前，应将主回路与二次回路断开，切断接地点，并将整流元件、电容器、压敏电阻短接，在冷却系统无水的情况下，用 1kV 绝缘电阻表测量各受试部分的绝缘电阻，在环境温度为(20±5)℃和相对湿度 85% 的情况下，其数值每千伏额定电压不应小于 1MΩ。

主回路对二次回路、对地试验电 U_p 可按下式计算：

$$U_p = 2 \times \frac{U_m}{\sqrt{2}} + 1000 \qquad (7\text{-}6)$$

式中　U_m——桥臂端子之间的空载最高峰值电压（V）。

如果 $\frac{U_m}{\sqrt{2}} \leqslant 90V$ 时，U_p 取 1000V；$90V < \frac{U_m}{\sqrt{2}} \leqslant 500V$ 时，U_p 取 2000V。试验时，施加电压上升至试验电压值的时间应不小于 10s，加至试验电压后的持续时间均为 1min，应无击穿或闪络现象。

（4）均压系数的测定　两个以上硅元件串联工作时，应测定串联元件的均压系数 C_V，晶闸管整流装置包括正向或反向阻断电压的均衡度测试。电压均压系数的测定，以最低电压逐渐升到 50% 额定电压，如各整流元件电压数值大致接近时，再升到额定电压下测试，均压系数 C_V 应按下式计算：

$$C_V = \frac{\Sigma U}{n_V U_{max}} \qquad (7\text{-}7)$$

式中　C_V——正（反）向电压分配均匀度的均压系数；

ΣU——一个支路串联元件承受的反向或正向阻断峰值电压 U_m 的总和；

n_V——一个支路串联元件数；

U_{max}——一个支路中承受最大正（反）向峰值电压元件所承受的电压值。

均压系数随串联元件数目的多少而有不同的要求，当串联元件数为 2 时，一般不小于 0.9；串联元件数大于 2 时，可适当放宽，但一般不应小于 0.8。

（5）均流系数的测定　两个以上硅元件并联工作时，应测定并联元件的均流系数 C_I，电流均流系数的测定应在有冷却条件下进行，以不低于 80% 的额定电流下检测，同时应检测主要接点的温升有无异常现象。均流系数 C_I 可按下式计算：

$$C_I = \frac{\Sigma I}{n_I I_{max}} \qquad (7\text{-}8)$$

式中　C_I——支路电流分配均匀度的均流系数；

ΣI——各支路正向电流之和；

n_I——并联支路数；

I_{max}——电流最大的支路正向电流值。

均流系数随串联元件数目的多少有不同的要求，一般应符合表 7-39 的规定。

表 7-39　均流系数（参考值）

串联数	并联数							
	2	4	6	8	10	12	14	16
1	0.90	0.90	0.90	0.85	0.85	0.80	0.78	0.76
2	0.93	0.93	0.93	0.88	0.88	0.87	0.86	0.85
3	0.94	0.94	0.94	0.90	0.90	0.88	0.88	0.88
4	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.92	0.92	0.91

（6）检查正向压降　试验时，应检查元件的正向压降，一般元件的正向压降不大于 800mV；任何一支路的成组元件正向压降之和，其误差应不大于支路平均正向压降的 ±25mV。

（7）对触发脉冲的要求　除了均压、均流系数外，必须考虑各元件在工作中确实导通，因此对触发脉冲有一定的要求。

1）脉冲的幅值：在串联或并联线路中，较大的晶闸管整流器必须强力触发，中小容量的硅件，脉冲幅值可调至 10V 以上。

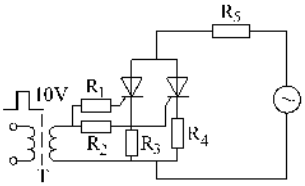
2）脉冲源的内阻抗：为了保证晶闸管的可靠导通，应采用内阻抗低的脉冲电源，并分别在控制极回路中串入 10～50Ω 的电阻，或采用 0.1μF 电容器代替电阻。而在控制极与阴极间接入 200～1000Ω 电阻。有的电路为了平衡电流而采用均流器 L，借以发出的电压强制其他元件导通。因此脉冲源内阻抗与 R_1 之和可选至 20～50Ω。见图 7-141。

3）脉冲的前沿：脉冲前沿越陡越好，这样可避免并联时先导通的晶闸管承受大部分电流或串联时后

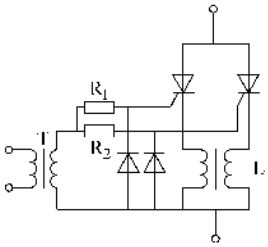
导通的晶闸管承受全部电压，而使元件损坏。脉冲前沿最好在1μs左右，一般不得大于10μs。

4）脉冲的宽度：三相反并联电路中，宽脉冲应在60°以上，窄脉冲应采用双脉冲输出，宽度为20°左右即可。

5）串联电路中各个元件的控制电路必须隔离，一般可选用多个输出线圈的变压器或多个单独的变压器，将它们的一次侧互相并联，二次则分别引至相应的硅件上。



a)



b)

图7-141 脉冲控制电路

（8）晶闸管的保护

1）过电流保护：一般采用快速熔断器作短路保护，采用快速开关、快速过电流继电器等过载保护。要求不高时，可用快速熔断器兼作过载保护。有时利用取自主回路上的电流反馈信号叠加于脉冲触发电路，使晶闸管导通角α减小来限制负载的过载。在特殊情况下，可用普通螺旋熔断器代替快速熔断器，但熔体的额定电流一般不大于晶闸管额定电流的2/3。

① 快速熔断器与硅件直接串联使用时，熔体电流应为晶闸管额定电流的1.57倍，但要考虑两者的过载能力，因此熔体额定电流应按下式选择：

$$\text{快速熔断器熔体电流} = \frac{1.57 \times I_g \times K_g}{K_R} \quad (7\text{-}9)$$

式中 I_g——晶闸管的额定电流（A）；

K_g——晶闸管的过载能力（倍数），一般为5；

K_R——快速熔断器的过载能力（倍数），一般为6。

因此，在实际当中，常按1.25～1.5倍选择。对不可控硅元件，则按1.5倍选择。

② 快速熔断器在整流桥进口或出口连接使用时，熔体的选择应按：

进口保护熔体电流 $= KI_d$，K按表7-40选取；

表7-40 接线系数K值选取

单相全波	单相桥式	三相零式三相曲折	三相桥式	六相零式六相曲折	双(带平衡电抗器
0.707	1	0.577	0.816	0.408	0.289

出口保护，负载为电感或电动机时可选为I_d。I_d为硅件最大可能使用的直流整流电流。

RSO系列熔断器主要用作于硅件的短路或过载保护，其中RSO-2用来保护2CZ不可控硅件，RSO-3用来保护3CT晶闸管。

2）过电压保护

① 交流二次侧的保护：线路见图7-142，一般用阻容吸收装置和硒堆VD保护。

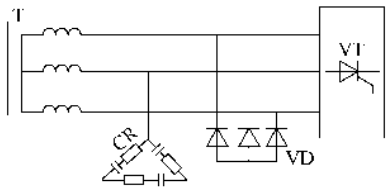


图7-142 交流二次侧保护

a. 硒堆片数的选取可按下式计算：

$$\text{每堆片数 } n = \frac{KU}{U_n} \quad (7\text{-}10)$$

式中 U——被保护侧电压有效值（三相时为线电压）；

U_n——每片反向电压有效值，一般为18～24V；

K——安全系数，一般为$\sqrt{2} < K < 2$。

硒片面积可取30/mm×30/mm～100/mm×100/mm一般可取60/mm×60/mm。

b. 单相220VA以下电容的选取应按下式计算：

$$C = 700\frac{P}{(PRV)^2} \quad (7\text{-}11)$$

式中 P——整流变压器的容量（VA）；

PRV——晶闸管额定反向峰值电压（V）；如几个串联应乘以n；

c. 单相200VA以上电容的选取应按下式计算：

$$C = 400\frac{P}{(PRV)^2} \quad (7\text{-}12)$$

d. 三相5kVA以下电容的选取应按下式计算：

$$C = K\frac{P}{(PRV)^2} \quad (7\text{-}13)$$

式中 K——决定于变压器与电容器连接方式的系数，见表7-41。

表 7-41　计算系数 K 值

变压器接线方式	电容三角形连接	电容星形连接
Y/Y 初级中性点不接地	150	450
Y/△ 初级中性点不接地	300	900
其他接法	900	2700

e. 电阻的选取按下式计算：

$$R = 100\sqrt{\frac{U_d}{C\sqrt{f}I_d}} \tag{7-14}$$

式中　U_d——额定整流电压（V）；

I_d——额定整流电流（A）；

f——电源频率（Hz）。

电阻容量用下式计算：

$$P_R = R\left(\frac{U_2}{X_c}\right)^2 \tag{7-15}$$

式中　U_2——二次相电压或线电压（V）；

X_c——电容的容抗，$X_c = \frac{1}{2\pi fc}\cdot 10^{-6}\Omega$。

经计算后应选计算值的 2 倍，以免发热。

f. 大功率整流电路 C、R 的计算：

$$C = K_c\left(\frac{I_{02}}{fU_{02}}\right) \tag{7-16}$$

$$R = K_R\left(\frac{U_{02}}{I_{02}}\right) \tag{7-17}$$

$$P_R = (2\sim 3)(K_P I_{02})^2 R \tag{7-18}$$

式中　I_{02}——折算到变压器二次的空载相电流（A）；

U_{02}——变压器二次线电压（V）。

计算系数 K_C、K_R、K_P 的选取见表 7-42。

表 7-42　K_C、K_R、K_P 的选取

整流电路方式		K_C	K_P	K_P
单相桥式		30000	0.3	0.25
三相桥式		10000	0.3	0.25
三相有中性点	一次侧	10000	0.3	
	二次侧	800	0.36	0.25

②　直流侧的保护：线路见图 7-143。

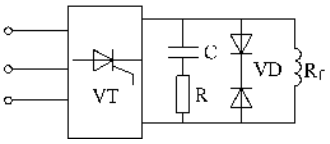


图 7-143　直流侧的保护

C、R 按“大功率整流电路”中式（7-16）、式（7-17）计算方法计算，但系数 K_C、K_R 则按表 7-43 选取。

表 7-43　直流侧 K_C、K_R 的选取

整流电路方式	K_C	K_R
单相桥式	120000	0.25
三相桥式	$70000\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$
三相有中性点	$70000/\sqrt{3}$	$0.1\sqrt{3}$

③　晶闸管的保护：线路见图 7-144，其中 C、R 按下式计算：

$$C = (2.5\sim 5)10^{-3}I_F \tag{7-19}$$

电容电压 $U_C = 1.5PRV$

$$R \leqslant (1\sim 3)\sqrt{L_L/C} \tag{7-20}$$

式中　I_F——晶闸管额定正向平均电流（A）；

L_L——变压器漏感（H），其中

$$L_L = \frac{U_1 e\%}{100 I_1 2\pi f}H \tag{7-21}$$

式中　U_1——变压器一次侧相电压有效值（V）；

I_1——变压器一次侧相（线）电流有效值（A）；

e%——变压器短路阻抗百分比。

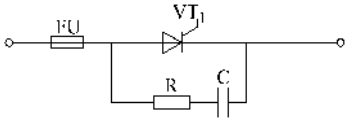


图 7-144　晶闸管的保护

从实际经验上讲，200A 元件电容选 0.5μF，100A 元件电容选 0.25μF，20A 及以下选 0.1μF；R 可在 10～40Ω 范围内选取，$P_R = 1.5(2\pi fc\cdot PRV)^2 P.10^{-12}$W。

3）均压保护：线路见图 7-145 适用于两个或两个以上串接的硅件上，均压电阻 R_a 一般选用 2～5kΩ 为宜。换相过压保护的阻容吸收装置 R_b、C_b 也可兼作均压保护。

$$R_a \leqslant 0.25\frac{PRV}{I_L} \tag{7-22}$$

$$P_{R_a} = \frac{2PRV}{KR_a} \tag{7-23}$$

式中　I_L——晶闸管反向平均漏电流，一般 50A 晶闸管取 5mA，100A 晶闸管取 10mA；

K——经验系数，一般为 2～5。

5. 晶闸管整流装置的调试方法

（1）单相晶闸管整流装置

1）调试步骤：先调控制回路，然后再调主回路。

①　控制回路调试时，先加接通控制回路的电

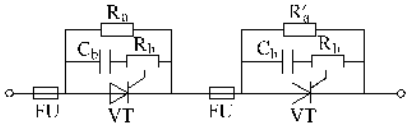


图 7-145 串联硅件的均压保护

源，用示波器观测脉冲管两端有无梯形波，再观测触发电路的电容两端有无锯齿波。调整给定电位器时，应观察锯齿波的数目是否均匀地变化，最少应调到只出现半个锯齿波，最多可出现七、八个锯齿波，否则要检查原因。

② 主电路调试时，先用调压器给主电路加一个低电压，约 10～20V、同时用示波器观察晶闸管阴、阳极之间电压波形的变化，如果波形上有一部分是一条平线，就说明硅件已经导通，平线的长短可以变化，说明硅件的导通角可调。同时应注意输入、输出电压变化是否对应，有无局部短路或发热现象及其他不妥之处。

2）调试中出现问题的检查及处理。

① 合闸后立即烧断熔丝：除检查变压器一次或二次是否短路外，还应检查整流二极管是否短路，二极管是否完好。

② 电位器刚转动不久，熔断器熔丝就烧坏：应检查晶闸管器件是否有一只短路，当另一只触发导通，立即形成短路，导致熔丝烧断。

③ 合闸后，调节电位器晶闸管不导通：首先检查输出熔断器，负载是否接通，脉冲变压器二次绕组的极性是否接反。下步检查，用示波器检查触发电路中稳压管两端是否有梯形波，是否够高，电容器上是否有锯齿波，是否可前后移动，脉冲的极性方向是否正确，脉冲幅度是否够，因为有的晶闸管要求触发功率大，触发回路输出功率不够（如稳压管的稳压值太低，电容太小），也会导致晶闸管不能导通。下步再检查控制极是否开路，可用万用表检查；如果电容上有锯齿波，而无脉冲输出，一般是控制极短路了。

④ 晶闸管不触发而自行导通，一般是以下原因造成：

a. 触发电路中单结管两个基极电阻太小，而在第一基极上所接电阻太大，漏电流造成第一基极电阻上压降较大而导致晶闸管触发导通。

b. 晶闸管触发电压、电流太小。

c. 晶闸管两端没有阻容保护，加在硅件上的电压上升率太高，造成正向转折导通。

d. 因温度升高，晶闸管正向转折电压下降或晶闸管正向阻断能力丧失变成二极管。

e. 控制极或触发引线受干扰引起误触发。

⑤ 晶闸管导通角开不到最大，又关不到最小。

a. 开不到最大是因为触发脉冲移不到半波的最前沿，原因是同步电源电压太低，梯形波前沿不陡，应将同步电源电压提高到 50V 以上，以提高梯形波前沿的陡度。再者是因为充电回路的固定电阻太大，如电阻大于 2kΩ，应适当减小，以提高前沿陡度，增加导通角。适当减小触发回路的电容，如大于 1μF 时应适当减小。

b. 关不到最小是因为触发脉冲移不到半波末尾，应适当增大触发电路的电容，如小于 0.1μF 应增大至 0.4μF 左右。再者电容充电用的调整晶体管的穿透电流太大，硅件就关不到最小，特别是温度升高时更要严重。因此应选择穿透电流小的晶体管作调整管，或在调整管的发射极串一只二极管。

⑥ 控制电路受干扰大，如果接线正确，一般由以下原因造成：

a. 电源安排不当，变压器一次、二次或几个二次线圈之间形成干扰。消除办法是在同步变压器和脉冲变压器的一、二次绕组间加屏蔽层接地。

b. 放大器的输出、输入及反馈线太长，没有适当屏蔽，特别是晶体管的基极回路最易受干扰。消除办法是接线时尽量缩短输出、输入和反馈的引线，并加以屏蔽。

c. 空间电场和磁场的干扰。消除办法是输出脉冲回路用绞线，引线要尽量短，把控制回路用金属罩屏蔽起来。

d. 布线不合理，主回路与控制回路有平行走线，产生干扰。消除办法是重新布线。

e. 元件特性不稳定，将元件进行老化处理，严格筛选。

⑦ 反馈调节系统不稳定：主要原因是反馈调节系统的调节过程反应迟缓，而对于偏差的放大作用又很大，结果造成超调，产生振荡或不稳定现象。通常是引入被调零的微分负反馈，适当减小调节系统的放大倍数。因此，可以加大放大器的第一只晶体管的发射极电阻，或在第一只晶体管基极与发射极之间并联一只 50～1000μF 的大电容。最好是采用有调节器的调速系统。

⑧ 晶闸管整流电压输出波形一个半波大，一个半波小，主要原因是放大器输入端引进了交流谐波电压而造成的。交流谐波电压的产生是由于给定电压滤波不好，测速发电机的高次谐波电压影响、电压负反馈引入的整流电压的交流分量、微分负反馈引进的整流电压的交流分量等原因引起的。

克服交流谐波干扰的措施主要是所有主回路引入

的反馈信号，都应加滤波器滤掉交流谐波，保证给定电压的质量，即加稳压滤波装置。微分反馈时，尽量采用分压衰减，如还干扰，则应加大放大器的输入电容，或采用 T 形或 π 形滤波。也可以在放大器的第一只晶体管的集电极与基极间附加反馈电容，一般在 0.1～0.47μF 范围内选用，作为抗干扰电容。

（2）三相晶闸管整流装置

1）调试步骤：单相晶闸管整流装置的调试基本适用于三相整流装置，此外还有相序问题，触发电路与主电路的同步问题，三相平衡问题。在主电路和控制电路接线正确及局部调试完毕后，要检查三相电源的相序，要按要求的相序接通主电路与控制电路；然后检查主变压器和同步变压器的一、二次绕组的极性，应对应一致；再检查三相触发电路的输出脉冲与连接的主电路的晶闸管相位是否一致；最后调整三相触发电路中的电位器，使三相脉冲发出的时间对称，使输出波形的三个波顶变化均匀一致。

2）三相交流电相序的测定：一般有三种方法，在前面介绍过相序表法，现在再介绍两种方法。

①　示波器法：把示波器的“整步选择”放在“电源”一档，输入某一线电压（任意取，如 U_{AB}），使其一个周期（即 360°）在屏幕上的横向宽度为六个格，则每格为 60°，记下波形过零点的位置，再换另一线电压，观察其过零点的时刻是落后前者 120°，还是超前 120°，即可确定三相交流电的相序，见图 7-146。

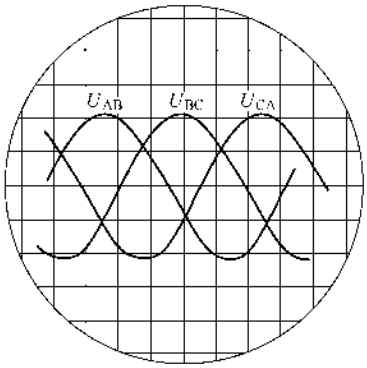


图 7-146　示波器测量相序

②　电容灯泡法：把电容、灯泡接成图 7-147 所示的星形电路。当把三相变压器通电时，一个灯泡亮，而另一个暗。如果以接电容的一相为 A 相，那么接较亮灯泡的则为 B 相，暗的为 C 相。如果直接测 380V 电源，电容应选小一点的，一般在 0.2μF 以下，以避免灯泡烧坏。

3）触发器的定相：用示波器观察控制电路中稳

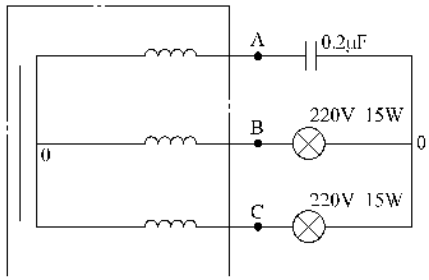


图 7-147　灯泡电容测量相序

压管两端的波形，与被控晶闸管所承受正向电压的相位是否一致（一般同步电压滞后主电源 120°）；也可以先把各个晶闸管控制极全部断开，把触发电路输出的脉冲逐个加到每个晶闸管的控制极上，看是否可使该硅件导通角从最大变化到最小，否则相位不对。

4）同步变压器二次绕组极性不得接反，否则 A 相触发器触发不了 A 相硅件，却可能触发 B 相或 C 相，但是不能达到全范围的调节。如果极性接对，但相序接错，扩大移相角的范围不是向后扩大而是向前扩大，结果造成硅元件输出电压不能从零逐渐升高，而开始就有一个较大的数值。

5）三相的硅元件特性不一致，触发功率有大有小，但只要触发电路选用的参数合理，输出脉冲的幅度较高，前沿较陡，则三相硅元件的特性不一致并不影正常工作。在单相桥式自控电路中，用一套触发电路触发并联的两只硅元件，如果硅元件特性相差太大，则应在控制极回路中串联不同的电阻，以便使脉冲分配适当。

6）三相晶闸管输出电压波形平衡对称的调整：首先相序及相位接线应正确，选用元件参数一致，特别是脉发电路及控制电路中的晶体管及其他元件的参数要接近，然后慢慢调整三相触发电路中的电位器就容易使三相调到平衡对称。

7）调整给定信号时，输出电压波形中三个波头的上升增大不一样快，以至于硅元件在导通角小时可调对称，而导通角大时又不对称，这是由于三相触发电路元件参数不一致，特别是由于晶体管漏电流不一致而造成的不对称。再者是因为三相电源本身不对称，可用万用表测量三相电压是否相同；调整输入信号时如果有一相增长的速度比另两相快，则可更换输入三相电源的相序后再调整，观察是否仍是原来那样，这样即可区分是电源问题，还是触发电路问题。

6. 晶闸管供电的电气传动系统调试的要点

（1）常规检查及要求　基本同成套硅整流装置；此外，交流电源的电压和相序应符合要求；直流输出电压和极性以及稳压电源的稳压范围，均应符合设计

及有关要求。

（2）调节器的调整　先在晶闸管不投入工作的情况下，按设计值整定调节器的放大倍数和时间常数、输入及反馈滤波时间常数。如设计无要求者，可按表7-44的规定整定。

表7-44　调节器技术参数参考值

技术参数 \ 名称 / 技术要求项目	电流调节器	速度调节器	电压调节器
放大倍数	0.6～8	7～10	～100
给定滤波时间/ms	<12	15～400	
反馈滤波时间/ms	<17	<6	

（3）系统调试

1）检查各控制、保护与信号回路的工作程序，应符合设计要求。

2）定相：检查主电源和同步电源均应为正相序；按照本节前述“移相触发器的检查及试验”的方法和要求检查各桥臂晶闸管的触发脉冲与主电源或同步电源之间、各脉冲之间的相位关系，均应符合要求。

3）空载升压试验。

①　在硅件输出端接一轻负载，提供维护电流导通。在开环情况下加一可调信号，分别检查各组硅件系统的输出电压及其波形是否正常，并能在要求移相范围内逐级连续可调，且应符合要求。

②　按系统要求整定最小滞后（整流）角 α_{min} 和最小超前（逆变）角 β_{min}。

③　检查并联输出的各组硅件，在同一控制信号作用下，输出电压波形应一致。

④　检查串联硅件的均压系数。

⑤　检查电压检测装置与阻容吸收装置，应符合设计，并按设计要求整定过电压保护装置，一般为额定电压的1.1倍；必要时应按本节“晶闸管的保护”进行计算。

⑥　检查电压反馈回路的极性和接线，应符合系统要求，并按设计要求整定反馈参数。

4）负载短路试验。

①　将电动机短接，利用电路闭环，从电流调节器的输入端外加一可调给定信号，调节其限幅以控制短路电流为所要求的数值，再检查电流反馈回路的极性与接线应符合系统要求，并按设计值初步整定电流反馈参数。

②　按设计要求整定快速开关及过电流保护，一般过电流保护的动作值不大于被保护电动机额定电流的2.5倍，快速开关的动作值则不大于2.75倍。

③　检查并联硅件的均流系数，同时在额定负荷的情况下，检测各桥联结的负荷不平衡值应不大于平均值的3%。

5）电流环的调试。

①　在电动机堵转的情况下，进一步校正零位，当控制信号为零时，使晶闸管的输出为零，并确定初始相位角 α_0。

②　在电动机堵转的情况下，加阶跃给定，测取电流闭环时正、反向电流响应特性，检验其超调量和振荡次数是否符合设计要求，否则按常规检查及要求进行。对没有电流变化率调节器的系统，应测取其闭环响应特性及电流增长率；对没有电枢电流自适应环节的系统，应检测电流断点及在电流断续区系统的响应特性。

③　按系统设计要求，进一步整定电流反馈回路的参数和正、反向电流限幅值，一般电流限幅值的整定不大于电动机额定电流的2.25倍。

④　检查反并联逻辑无环流正、反组的切换时间，一般为8～12ms。

6）励磁系统的调试。

①　励磁系统的供电装置和元件的单体测试同前。

②　按系统要求整定过励磁和弱磁（失磁）保护，一般过励磁按1.2倍额定励磁电流、失磁（弱磁）按0.6～0.8倍最小励磁电流整定，而失磁整定应注意与弱磁升速曲线相配合。

③　当系统各环调试后，测取电动机转速-励磁电流特性，应符合系统工作要求。

④　模拟检查自动弱磁系统，弱磁起始电压和电势点均应与设计值相符，一般按主机额定电压的90%～95%。

⑤　系统的励磁非线性补偿特性的整定，应符合设计要求。

⑥　在阶跃给定下，测试励磁电流响应特性，应符合系统工作要求，如满足线性升速要求等。

7）速度环和电压环的调试。

①　开环调试：电动机空载，由零逐级升速，观察电动机空转情况是否正常，并检查和整定测速发电机的电压及电压反馈回路的极性与参数等，均应符合设计要求。

②　闭环调试：按设计值整定电压和速度反馈回路的参数、整定调节器的正、反向限幅值；必要时检测速度反馈电压的波形是否正常，应无明显锯齿状。

③　按设计要求整定超速保护，一般可按额定转

速的 1.12～1.15 倍整定。

④　在阶跃给定下，分别测试和调整速度闭环响应和电压闭环响应特性以及速度过渡过程的响应时间；速度和电压闭环响应特性的超调量和振荡次数，应符合设计要求，一般的传动系统，超调量应小于 6%，最大为 8%；振荡次数一般为 1。

（4）试运转

1）通过给定积分器或给定电位器，逐级给出信号使电动机空转。电动机由静止到基速、并由基速到最高速的逐级运转情况应正常；测量这两级调速范围的速度响应特性应一致，该响应特性应接近速度给定曲线。

2）通过给定积分器或给定电位器，发出阶跃信号，在电动机空载情况下，测量电动机正反转基速到最高速时的速度、主回路电流与励磁电流等加减特性，均应符合设计要求。

3）在阶跃给定下，利用制动电阻模拟冲击负载，在不同速度时的系统动态降速和恢复时间，应与设计要求相符，动态降速一般小于或等于 3%，恢复时间在 0.3～0.8s 之间。

4）在带负载的情况下，测试电动机速度、主回路电流、励磁电流等的动态波形图。

5）对有动力制动回路的系统，应检查和调整其结果；制动电流应小于额定电流，电动机的火花等级应符合制造厂的规定。

7. 晶闸管励磁的同步电动机起动控制及其调试要点

（1）轻载起动的晶闸管励磁系统　励磁主回路采用三相半控整流桥固接励磁线路，见图 7-148。如采用全压直接起动，按电动机转子转差率为 3%～5%、顺极性自动投励，使电动机牵入同步运行；如采用减压起动，当转速达到同步转速的 90% 左右时，自动切除电抗，投入全压加速至准同步转速，并按转子转差率为 3%～5% 顺极性投励，使电动机牵入同步运行。当电网电压波动时，具有电压负反馈自动保持基本恒定励磁，当电网电压降至额定值的 85% 时进行 1.4 倍历时 30s 的强励；可手动调节励磁电压电流，进行功率因数的调整，调节范围从 10%～100% 连续可调。

1）起动控制过程：电动机异步起动后，转子感应出来的交变电压在 G_2 端为正时，转子经续流二极管 VD 短接；在 G_1 端为正时，转子通过晶闸管 VT_1 的导通将放电电阻 R_{fd} 接入，避免了转子感应高压危及整流桥上的晶闸管。电动机进入同步运行后，励磁电压加在 $1R_2$ 上的压降（必须）低于稳压管 1VS 的工作电压，使 1VS 关断，进而使 VT_1 关断，切断了灭磁。假如 VT_1 没有关断，则由于 G_5 和 G_9 的连接，使其灭电流流过而自行关断。

投励环节的作用是保证电动机起动到准同步转速时，顺极性自动投励。电容器 5C 的充电速度受电阻 16R 及晶体管 4V 控制，4V 的工作又由转子感应交变电压控制。起动后，如 G_1 为正，也就是 24 端为正，25 端为负，4V 导通，5C 则经 15R 放电，5C 得不到充电；如 G_2 为正，即 25 端为正，4V 截止，这时 6VS、5VS 的稳压电源则经 16R 向 5C 充电。这时由于电机刚起动，转子电压频率为 50 周/s，且随着转速的增高而降低，到达准同步转速时约为 1.5～2.5 周/s。这样便将 5C 充电到单结管 3V 峰点电压 U_P 的时间整定到 0.3s 左右，以至使在未进入准同步以前，G_2 端为正的时间均小于 0.3s，即 5C 充不到 U_P 值，即不可能有触发脉冲输出。5C 的充电时间 τ 是用下式计算的：

$$\tau = RC\ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right) \tag{7-24}$$

式中　η——单结管分压比，一般取 0.7；假如 5C 为 1μF，16R 为 270kΩ，τ 则为 0.33s。

当电动机转速接近准同步转速时，G_2 为正的时间达到 0.3s，这时 5C 则充电到 $\geqslant U_P$ 值，单结管导通，发出脉冲，使移相晶闸管 VT_2 导通，接通给定电压 U_{gd}，使脉冲插件工作并送出触发脉冲，进而使励磁整流桥的晶闸管导通工作，投入励磁，牵入同步。其中给定电压 U_{gd} 可用 2RP（在控制柜上）或 3RP（在电动机旁）进行调节。当电网电压下降到额定值的 85% 时，电压继电器 KU 的常开接点将 20R 短接，U_{gd} 突然增大，使脉冲插件的脉冲前移，励磁桥硅件导通角减小，而电流增大，实现 1.4 倍的强励。

2）调试元件及参数：该励磁电路中，放电电阻 R_{fd} 的阻值应满足下式：

$$\frac{\text{额定励磁电压}}{VT_1\text{ 的额定电流}} \leqslant R_{fd} \leqslant \text{10 倍转子绕组的直流电阻}$$

同时，整个起动过程中，R_{fd} 上感应的交变电压，不得大于 800V，流过的交变电流，不得大于 VT_1 的额定电流的 3.14 倍（峰值）。

然后在现场调整以下参数：

①　VT_1 的导通开放电压为 300V；

②　投励环节中 5C 充电时间整定为 0.3s 左右；

③　三相晶闸管触发导通的对称度及其晶闸管整流系统的调整；

④　电压下降至额定值 85% 时的突加强励的特性；

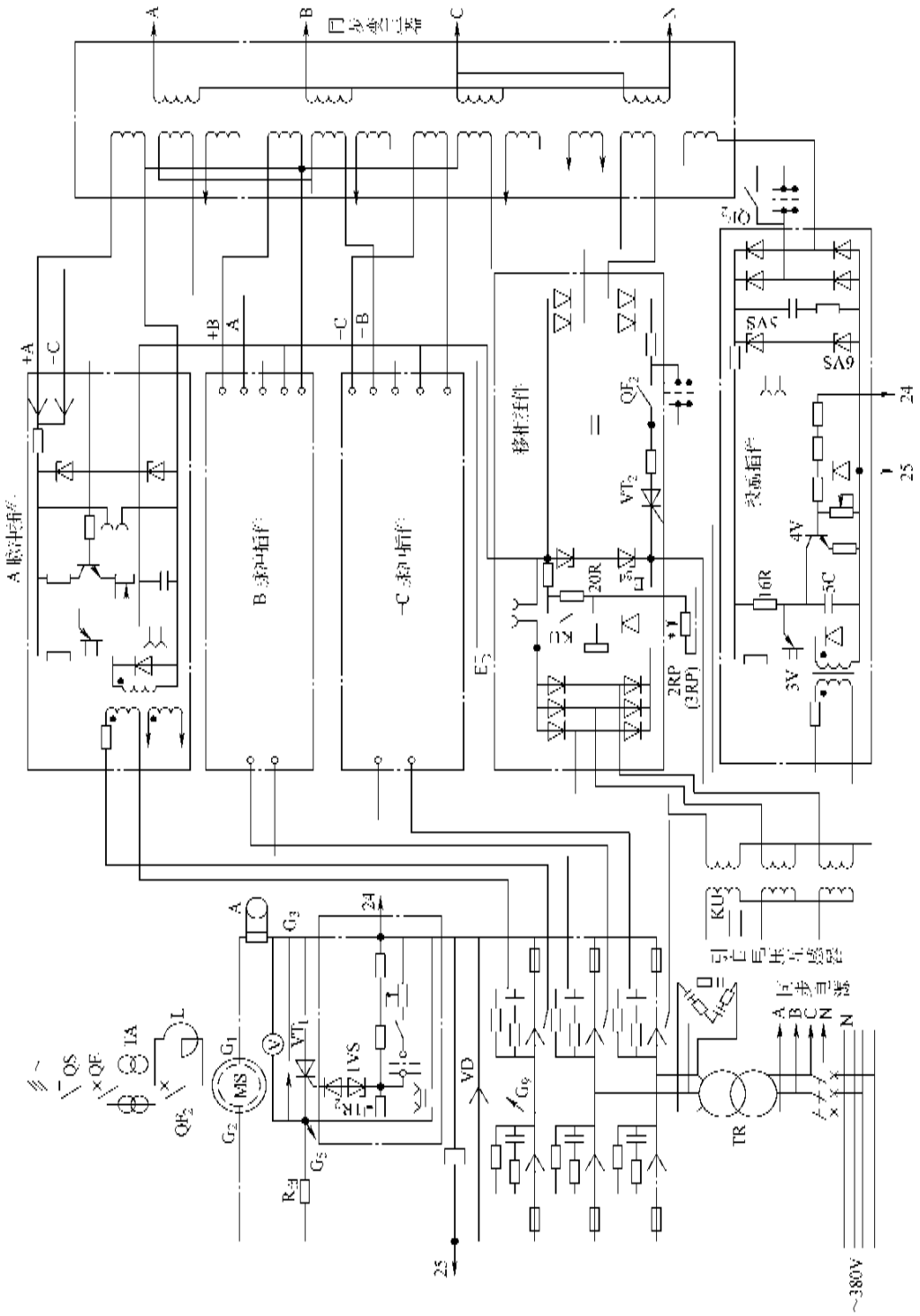


图 7-148 轻载起动晶闸管励磁原理图

⑤　元件的可靠性试验。

（2）重载起动的晶闸管励磁系统　励磁主回路采用三相全控整流桥固接励磁线路，见图 7-149。按转子转差率为 4% ~5% 顺极性投入励磁；电网压降至额定值的 80% 时进行突加强励，强励电流为额定值的 1.4 倍，时间不超过 10s；手动调节励磁可从额定值的 10% ~125% 连续可调；同步机从停车开始 5s 内不得断开三相全桥电源及触发装置的同步电源。其他基本同轻载可控系统。

1）起动控制过程：起动控制过程基本与轻载晶闸管系统相同，灭磁环节采用了两只晶闸管，换相交替工作，并在起动后自动关断，切除放电电阻 R_{fd_1} 和 R_{fd_2}。

投励环节与轻载可控系统相同，不同之处是转子感应交变电压经 R_{fd_1} 和 R_{fd_2} 与硅整流器 VD 起动半波是对称的。投励插件与全压插件中 26R > 39R，其他相同，这样同步机减压起动至同步转速的 90% 左右时，全压插件发出脉冲，使附加插件中晶闸管 11VT 导通，中间继电器 2KC 动作，其触点（139 ~ 141）闭合，接通 2QF 合闸回路，且 1QF 断开，并用其辅助接点（88 ~ 87）断开 2KC 电源。这样便完成了同步电动机降压起动到全压运行的切换，在这个过程中投励和移相插件工作，使励磁晶闸管工作，投入励磁，牵入同步。

附加插件的另一个作用是当电动机停车后，转子仍在电感放电的作用下，发出电流，这对三相全桥硅件是有害的，这时变压器 4T 断电，脉冲件中晶体管 1V 失去偏压而封锁，但附加件中的 5V 基极偏压却由 6C 缓慢放电而维持 5s，故脉冲环节中的 1C 却得到经 4VD 整流后的同步电源且经 3RP、11R、5V 集电极至发射极回路进行充电，由于 11R 较大，使 1C 充电缓慢，因此使导通角 α 接近 140°，三相全桥硅元件进入“逆变”状态，而不致烧坏。

当电网电压降到额定值的 80% 时，中间继电器 3KC 动作，其接点（80 ~ 81）闭合，短接 19R 和 6RP，提高了给定输出电压 U_{gd}，以进行 1.4 倍和 10s 的强励。时间继电器是接在控制设备上，如电网电压尚未回升，时间继电器动作切除强励。

系统采用双脉冲触发，即在三相晶闸管桥上一只硅元件触发脉冲触发的同时，又按一定的顺序给另一只晶闸管一触发脉冲，使励磁电流为一通路。即 + A 控制 1VT 和 6VT，+ B 控制 2VT 和 3VT，+ C 控制 4VT 和 5VT，- A 控制 3VT 和 4VT，- B 控制 5VT 和 6VT，- C 控制 1TV 和 2TV。

2）调节元件及参数。

①　灭磁环节中的晶闸管 7VT、8VT 的导通开放电压分别整定为不小于本装置额定励磁电压的 2.5 倍（峰值）。

②　投励元件中 5C 的充电时间为 0.2s 左右。

③　全压插件中 10C 的充电时间为 0.14s 左右；全压插件只适用于同步电动机降压起动，如直接起动，其可为备用，并便换 39R 之值。

④　断开投励插件与全压插件的输入端子 8 与 14 上的进线，分别将 8 ~ 10V 交流有效值送入 8 及 14 端，这时两插件不应发出脉冲。

⑤　同步电动机停车或励磁停止时，励磁绕组电感放电，三相全桥应工作在“逆变”状态，$\alpha \approx 140°$。

如果使用低于额定励磁电压的 90% 时，还须重新调整以下几项：

⑥　全桥中六只晶闸管触发导通的对称度。

⑦　电网电压负反馈自动调节基本维持恒定励磁的特性。

⑧　电网电压降至额定值 80% 时突加强励特性。

（3）冲击负载的晶闸管励磁系统　本系统增加无功补偿环节，其功能是用来检测同步机运行中的定子有功电流，且在负载增加（突变）时实现自动增励，使冲击负载下的同步电动机以输出较稳定的无功电流而运行。无功补偿电路见图 7-150，其他与重载可控系统相同。无功补偿环节由二极管开关式相敏桥和双 T 滤波器组成，当打黑点一端为正时，上桥工作，下桥截止；为负时上桥截止，下桥工作，相敏桥输出电压平均值 $U_P = KI_B$，实现了电压电流的转换，经双 T 滤波器后作为无功补偿直流输出电压 U_{SC}，并与移相插件输出电压迭加后引至脉冲件，自动调节励磁，见图 7-151。

（4）动力制动与投励联锁　同步电动机能耗制动的励磁电流比正常运行时的励磁电流小得多，采用附加插件 2 中的电位器 10RP 与移相环节（见图 7-149）给定电位器 6RP 并联，见图 7-152。动力制动时，辅助接点 3K（82 ~ 78）接通，移相给定 U_{gd} 减小，供给的制动励磁电流减小。

（5）晶闸管励磁系统的调整

1）重载可控系统的调整：轻载可控系统可参照进行，见图 7-147 和图 7-149。

①　灭磁晶闸管导通开放电压值的整定：灭磁晶闸管 7VT 和 8VT 导通开放电压的瞬时值不得小于装置额定励磁电压的 2.5 倍，见表 7-45。

整定时，用 2.5mm² 铜导线先将一只晶闸管短接，并把主励磁回路的 G_1、G_2 从回路上拆下，然后

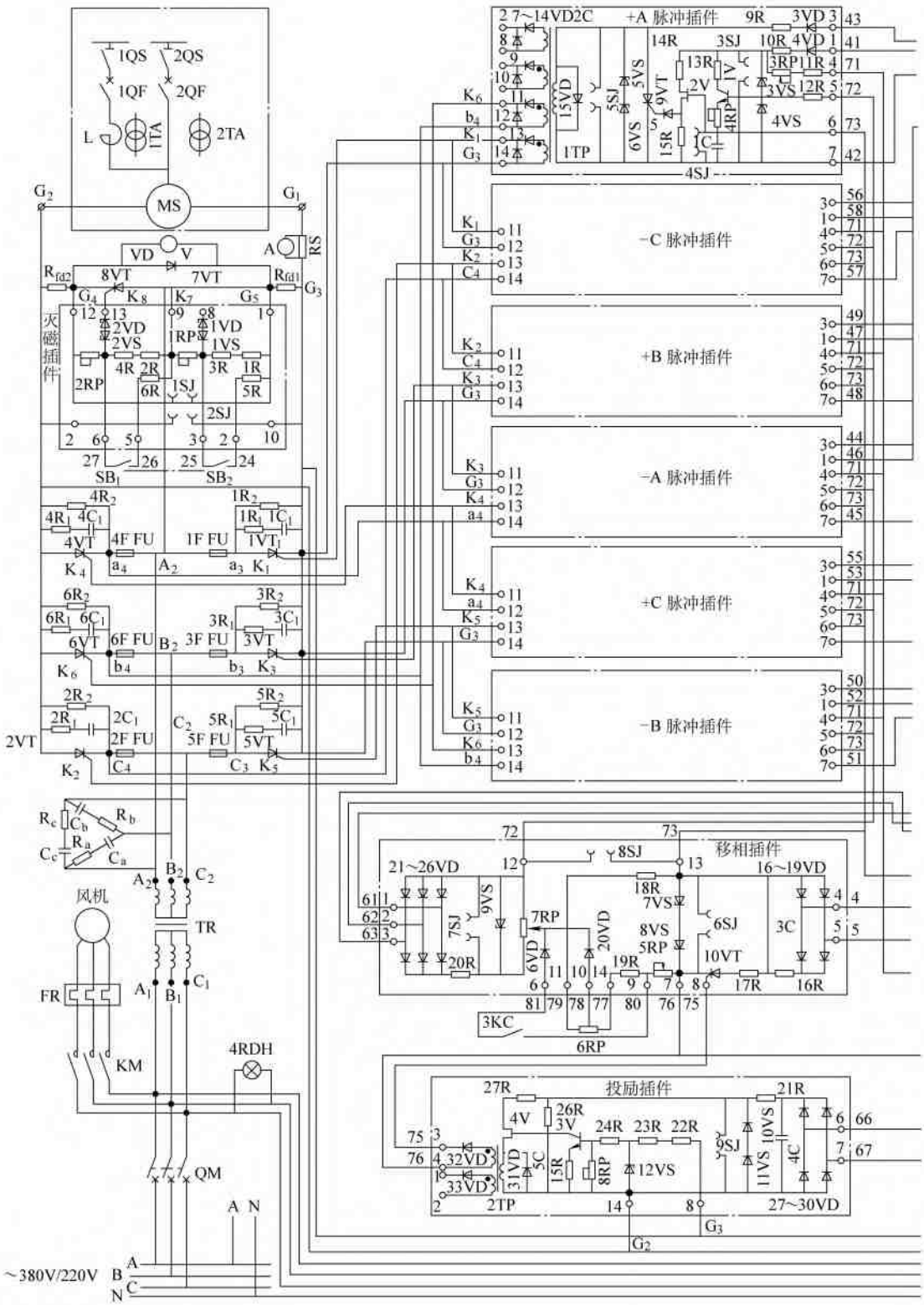
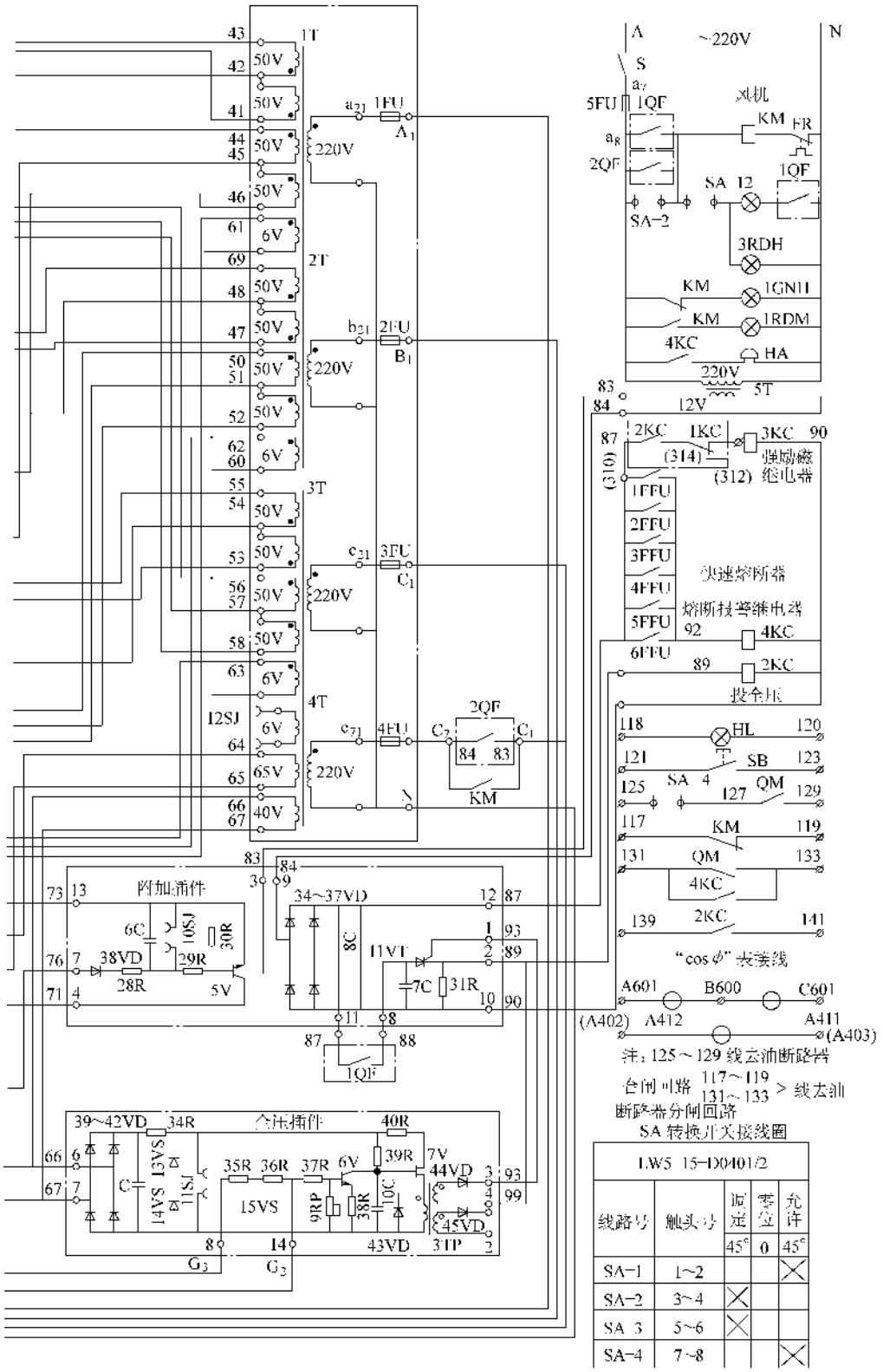

1QS
2QS
1QF
2QF
L
1TA
2TA
MS
G2
G1
VD
V
A
RS
Rfd2
8VT
7VT
Rfd1
G3
灭磁插件
2VD
2VS
1RP
1VD
1VS
4R
2R
3R
1R
2RP
6R
1SJ
5R
2SJ
SB1
SB2
4R2
4R1
4C1
4VT
4F FU
1F FU
1R2
1R1
1C1
1VT1
K4
a4
A2
a3
K1
6R2
6R1
6C1
6VT
6F FU
B2
3F FU
3R2
3R1
3C1
3VT
K6
b4
b3
K3
2R2
2R1
2C1
2VT
2F FU
C2
5F FU
5R2
5R1
5C1
5VT
K2
C4
C3
K5
Rc
Cb
Rb
Ra
Cc
Ca
风机
TR
FR
KM
4RDH
QM
A N
~380V/220V
B
C
N
+A 脉冲插件
-C 脉冲插件
+B 脉冲插件
-A 脉冲插件
+C 脉冲插件
-B 脉冲插件
移相插件
投励插件
7~14VD2C
9R
3VD
14R
3SJ
10R
4VD
13R
3RP
11R
2V
1V
3VS
12R
4VS
5SJ
5VS
9VT
6VS
15R
1C
4RP
15VD
1TP
4SJ
21~26VD
8SJ
18R
7VS
16~19VD
9VS
7SJ
7RP
20VD
8VS
6SJ
3C
20R
6VD
5RP
10VT
19R
17R
16R
3KC
6RP
27R
26R
4V
3V
24R
23R
22R
21R
10VS
9SJ
11VS
4C
32VD
33VD
31VD
5C
15R
8RP
12VS
2TP
27~30VD

图 7-149 重载起动晶



LW5 15-D0401/2				
线路号	触头号	预定	零位	允许
		45°	0	45°
SA-1	1～2			×
SA-2	3～4	×		
SA 3	5～6	×		
SA-4	7～8			×

闸管励磁原理图

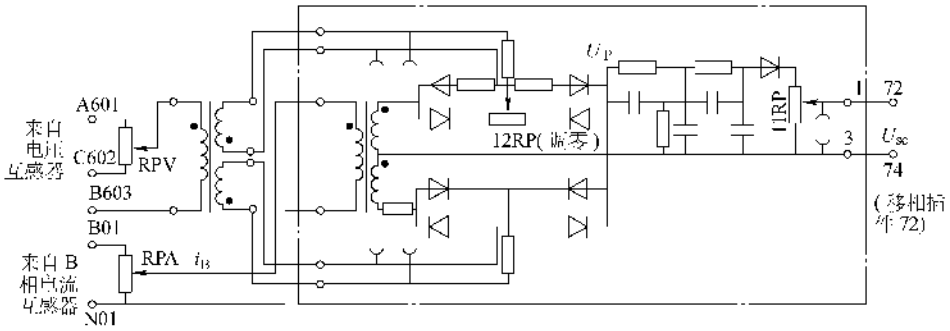


图 7-150 无功补偿插件原理电路图

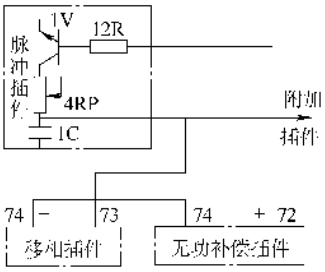


图 7-151 移相插件与无功补偿插件连线图

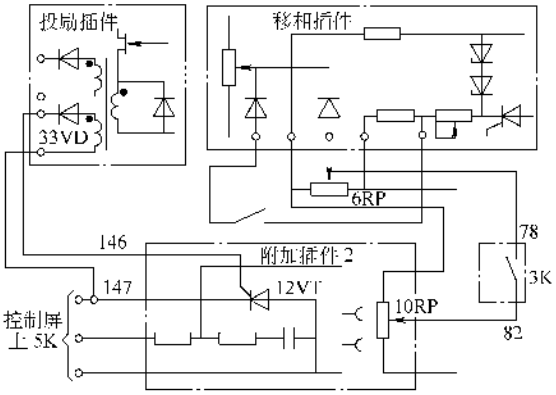


图 7-152 附加插件 2 与有关部分的接线

接入 220V 调压器模拟转子电压，并调至 10V 左右，这时直流电压表的读数约为 5V 左右，再从插孔 1SJ 引出信号至示波器，正极接 1，负极接 12，便出现 7-153a的波形，这时逐渐升高电压至晶闸管导通开放值（用直流电压表观测，从表 7-45 中查出电压值）并调节 1RP，使之导通，这时示波器应出现图 7-153b 的波形，但时间要短，然后降低至规定值的 50%，按下 SB_1，又出现图 7-153b 波形，放开 SB_1 又为原波形，则为正常。然后再将另一只短路，再测试，最后将 1RP 和 2RP 封死。

② 插件的检查。

a. 常规检查：试验电源 一般用三相调压器（6kVA 380/0 ~ 430V）将 380V 加到整流变压器，便于调整电源电压。

插件电源电压检查：测量各小变压器二次侧电压，应符合图纸要求。

波形的检查：将插件插好，用低频示波器测量各环节的波形，示波器外整步电源取自插孔 12SJ，6V，将转换开关搬到“调定”位置，依次观察各插孔的波形，见图 7-154，则为正确。其中其他相的脉冲插件波形与 +A 相同，但相位差 60°。

表 7-45 灭磁晶闸管导通开放电压

装置额定励磁电压/V	晶闸管导通开放电压瞬时值/V	晶闸管导通开放电压工频有效值/V
50	125	89
75	187.5	133
110	275	195
140	350	248

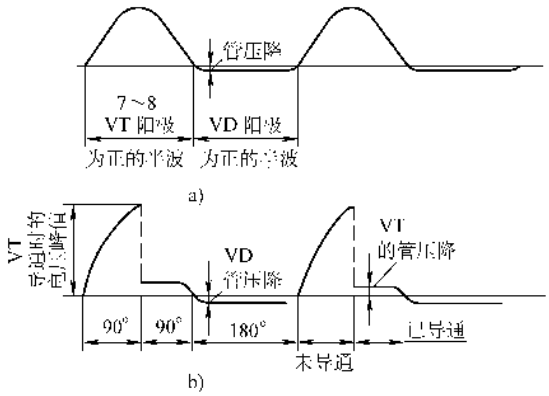


图 7-153 灭磁环节的波形检查

b. 触发脉冲对称度的检查：插孔 2SJ 接示波器，通过依次调节“励磁调节”电位器 6RP，一般按顺时针方向，使示波器在一个周期（360°）内出现 6 个

整流电压波形，并使其中一个电压波形的最低点与零线相遇，然后依次调节4RP，使其余电压波形的最低点也与零线相遇。再调整6RP，使直流电压表V指示额定励磁电压的1.25倍，波形见图7-155a。P_1～P_6点间隔应相等，如不对称，可微调4RP使其对称。然后，反时针调整6RP，使整流电压为额定值的25%，则应出现图7-155b的波形，其对称与否对控制系统无影响。

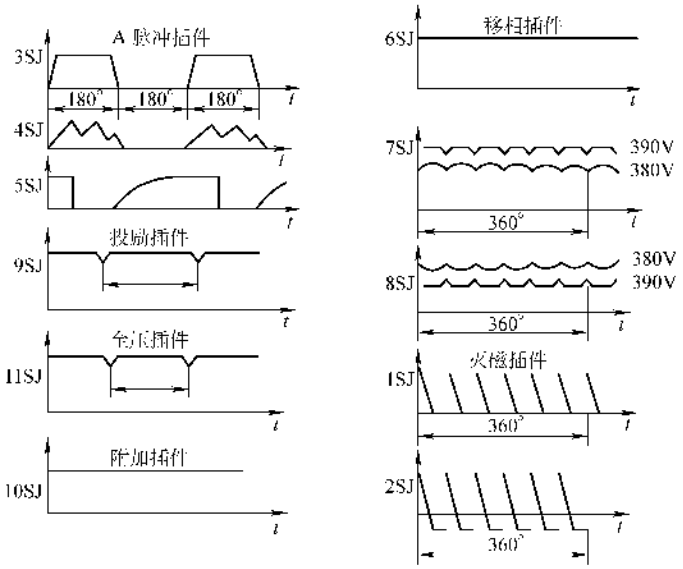


图7-154　各插孔显示的波形

③　用直流充电法测试转子转差率的自动投励特性：同步机起动过程中，转子感应电压的频率随转速的上升而降低，到达任一转速时电压频率$f_{转}$可用下式计算：

$$f = f_1 s = 50s \qquad (7\text{-}25)$$

式中　f_1——起动瞬间转子电压频率；

s——转差率；

当转差为5%～4%（即转速为同步转速的95%～96%）时投切励磁，此时转子电压频率为

当$s=5\%$时，$f=50\times0.05=2.5\text{Hz}$，

当$s=4\%$时，$f=50\times0.04=2\text{Hz}$，

一个周期的时间$T=\dfrac{1}{f}=\left(\dfrac{1}{2.5}\sim\dfrac{1}{2}\right)\text{s}=(0.4\sim0.5)\text{s}$

投励插件电容器5C只有在同步机起动到$s=0.05\sim0.04$时，转子电压G_2为正，G_1为负的半周才有足够的时间充电至单结管开放所需要的峰点电压，其他的转子电压频率内5C的充电时间太短且远远小于这个数值，不足以充电到峰点电压而触发。因此整定C的充电时间应为$\dfrac{1}{2}$（0.4～0.5）s＝0.2～0.25s。

试验方法一般用图7-156的结线，KJ为12V直流中间继电器（吸合电压可任意选择，与触发时间无关，这里只是为了试验的方便而已），t为电气秒表。将380V电源送至TR，转换开关搬到“整定”位置，使接触器KM吸合，这样4T才能得电，移相插件进入工作状态，这时调整6RP，使可控桥输出电压为12V，然后停电。再使KM吸合进行试验，这时电气秒表开始计时，投励件的5C也即时充电，待整流电压输出使继电器KJ吸合，秒表计时停止，这个时间正是5C的充电时间。可将26R先用一只可调电阻（100kΩ～220kΩ之间）代替，如第一次测得的时间小于（0.2～0.25s）可调26R为大一点，如大于（0.2～0.25s）可调26R为小一点，这样反复作几次即可将5C的充电时调整到0.2～0.25s。同时要注意KJ的吸合时间误差，调好后可重复几次。最后用电

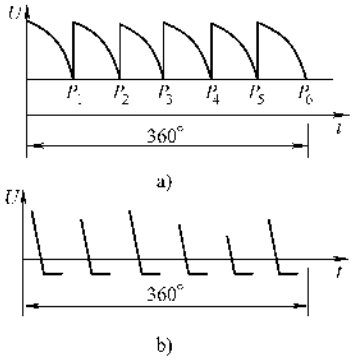


图7-155　整流电压波形的对称性

桥测量 26R 电位器的调整值，再用一合适电阻代替，或者将 26R 电位器锁死。作上述试验时，同步机不起动，只作励磁的调整。

④ 用直流充电法测量转子转差率自动短接电抗器 L，使同步机得到全压加速起动环节动作频率的调整。

全压插件应在转子转差率 $s=0.07$ 发出脉冲，使主回路切换为全压，故 10C 充电时间应整定为 0.14s。将全压插件插在投励插件的位置上，按③中方法将 10C 整定，电阻 39R 之值约在 100～150kΩ 之间整定，f 一般为 7～9Hz。

⑤ 用 50Hz 电源电压整定投励插件及全压插件中晶体管 3V 及 6V 的最小工作偏值。

试验时的电路见图 7-156 打开 1K 和 2K，接通电源，调节电位器，使直流电压表有一点读数，然后分别整定两个插件。整定投励插件时，先将全压件拨下，再用另一台单相调压器将其输出调至 50V 左右，加在投励插件的 8 和 14 端，此时投励环节应不起作用，这样才能排除转子感应电压幅值的干扰，完全按转子感应电压的频率发出脉冲。然后逐渐减小调压器的输出电压至 8～12V，此时直流电表才应有读数，否则可微调电位器 8RP 使之减小，直至电压表有读数为止。如果不到 8～12V 就有读数，则应增大 8RP 之值，直至符合要求。

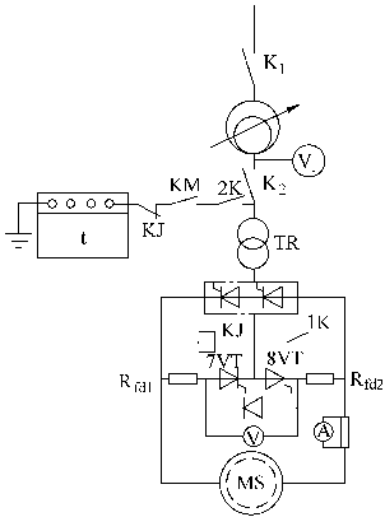


图 7-156 投励特性测试接线图

整定全压插件时，应将其插至投励件的位置上，方法同上。

⑥ 电压负反馈自动保持恒定励磁特性的调整：调整的电路见图 7-156，将 1K、2K 断开，将移相插件中的 7RP 调到中间位置，（应用万用表测量、测量先将其两端断开）先将交流电源接通并调至 380V，调节 6RP，使整流桥电压为同步机带负载运行时的励磁电压。然后将电压调至 380V 的 80%～110%，整流电压的波动应不大于原整定值的 +10%，否则应增减 7RP 之值，重调 6RP，直至满足要求为止。

⑦ 有触点强励特性的调整：方法同上，只是当电源电压调到 380V 的 80% 时，人为短接强励触点（80～81），观察整流电压应为原整定值的 1.4 倍，否则应调节移相件中的 5RP 或 19R 的值。

⑧ 全控桥在“逆变”状态下的检查：分别从每个脉冲插件插孔 5SJ 观察波形，按图 7-156 接线，断开 1K、2K，拆开电位器 6RP 的中间头（78#）线。当电源合上后，示波器出现图 7-157a 的波形，这时脉冲环节还未工作，所示波形为经 5～6s 后的波形。然后将转换开关打在“调定”位置，调节电位器 3RP，所示波形为图 7-157b，此时脉冲插件发出的脉冲相位是 140°左右。这时电容器 1C 的充电速度比较慢，相对放电速度比较快，因此所示波形表明晶闸管 9VT 的不导通时间长，而导通时间很短（10°），然后从插孔 2SJ 检查应无整流电压的波形。

2）冲击负载晶闸管励磁系统的调整：见图 7-150。

除按重载晶闸管系统调整外，还应进行无功补偿环节的调整，主要有：二极管开关电压和极性的检查、调零电位器整定、测量输入输出特性及动力制动励磁电流等。

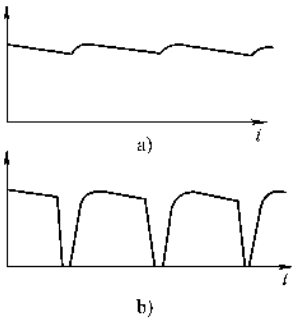


图 7-157 全桥逆变状态下插孔 5SJ 上的波形

通常用模拟方法进行，用三相调压器调至 100V 代替电压互感器，要注意相序；用单相调压器代替电流互感器，接至 B 相及中线 N 上。将电阻移相器 RPV 调至中间位置，单相调压器调至 0 电压输出，用毫伏表检测 U_{se}，再调节调零电位器 12RP，使电压表输出为 0；在 *RPA* 电位器中心抽头线上接一电流表，并调节单相调压器和 *RPA*，使电流表按 1、2、3、4、

5A 变化，这时毫伏表的变化也应按 1K、2K、3K、4K、5K 变化，K 为变化量中的常数。

在试验前应按图 7-150 所示，检查二极管的极性和连接的正确性。必要时要检查变压器的同名端，一般用直流通电感应法。

动力制动电流一般按正常运行励磁电流的 0.4～0.6 倍整定，可用附加插件工中的电位器 10RP 调节，方法可让整流桥工作，用主励磁回路的电流观测，接线图见 7-152。

（6）晶闸管励磁系统同步机的系统试车及注意事项

1）试车前应按常规对供电系统、主机及励磁系统进行各项试车前的检查和试验，对成套励磁装置还应根据厂家说明书进行详细检查和测试，并根据“成套硅整流装置的试验要点”进行调试。此外运行前应在晶闸管与其散热器接触处涂以硅油以利导热，避免运行中的局部过热。脉冲环节的电位器 4RP 不能调的太小以避脉冲失控。

2）起动过程中，直流电流表指示转子经续流二极管 VD 短接半波（或半控桥）或经 VD 与放电电阻 R_{fd} 接入半波（全控桥）的感应电流平均值。在起动过程中电压表被短接无指示，直至投入励磁时，灭磁晶闸管自行关断，才指出励磁电压。如投入励磁后，同步机进行同步运行后电压表仍无指示，则说明灭磁晶闸管没有关断。此时，应检查灭磁线路和接触情况是否良好，并修复。

3）在起动过程中，不允许有断电现象，如采用减压起动，则减压起动器的分闸必须在加速起动器合闸之后，否则将造成装置的误投励。

4）作为“检测”或“调定”等用的转换开关，一经选定后，在试车及运行中不得随意切换。同时在起动过程中，禁止用示波器在插孔 1SJ 中观察灭磁件的波形。

5）调整励磁电流使同步电动机在过励情况下运行时，应保证励磁电流与励磁电压的额定数值的交点在工作区，见图 7-158。

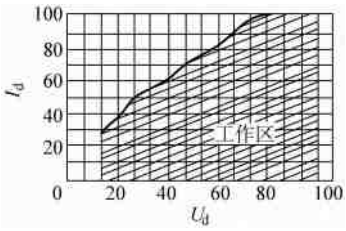


图 7-158　额定整流电压与电流之间关系曲线

6）同步机定子电网电压降低时，同步电动机的起动转矩与牵入转矩也相应降低，使起动时间延长，并使电动机起动后所能到达的最小转差率 s_{min} 增大；同样重载起动的同步电动机负载越重，起动时间越长，转差率 s_{min} 也增大。因此，上述情况整定投入励磁时的转差率值较小时，起动成功率较低，如按 s 为 5%～4% 整定有困难，可适当增大 s 为 7%～6%。

7）对于冲击负载系统试车时，先将无功补偿插件电位器 11RP 可调头移到零位，即端子 1 和 3 短接，等电动机运行正常后，再按电动机在不同负载时输出比较稳定的无功电流确定无功补偿强度来调节 11RP。

8）所有插件上的电位器一经整定好后应随即锁死，不得随意乱动。另外，必须保证整流电源与同步机定子电源相序的一致性，并为同一交流母线。

有关同步机的调整除上述内容外，要以厂家提供的技术资料为准，本书提供的资料仅对读者作为参考，读者可按其思路和基本操作方进行扩散，便能在同步机的调整中收到良好的效果。

8. 可编程序控制器（PLC）系统的调试要点

PLC 系统的调试包括常规检查、单元调试、整机调试、联动试验、整机试运转等。

（1）常规检查及要求

1）进机条件的检查：机房内的土建、照明、动力电源、空调设施等均应施工完毕，并经检查验收符合设计要求。室内温度、湿度等均已符合设计和设备要求，一般可按表 7-46 的规定执行。

表 7-46　可编程序控制器机房环境条件标准

项目名称	温度	湿度	有害物质	尘埃	震动、冲击
要求条件	0～40℃	年平均湿度 < 75%，且不应有结露	$SO_2 < 0.5 \times 10^{-6}$ $H_2S < 0.1 \times 10^{-6}$	$0.2mg/m^3$ 以下	不影响设备运行

2）设备的检查及验收：检查设备、元器件、附件的数量、规格、颜色和标志；应用软件原程序清单的内容和数量；以只读存储器 EPROM 或 E^2PROM 为介质的应用程序内容和数量；程序框图和使用说明书的内容和数量；设备说明书和图样资料的内容和数量；设备出厂试验记录等。

3）外观检查及线路的校对：各元器件应无损伤、变形、潮湿生锈和脏污异物等；元器件固定牢固，密封无异常；插座插件无松脱，灯、键、开关、仪表等无缺损；元器件上的标号、线号齐全并与图样相符；电源进线回路、盘内外控制回路、变压器、开关、熔断器等的

连接应符合图样，接线正确无误；保护接地线、信号线、屏蔽线连接正确并与图样相符；各插件盒（箱）的装配应平整牢固，倾斜角应小于15°，抽拉无阻卡，到位明显。固定在金属底板上的插件盒底座应绝缘良好；地线插件应接触良好，接地可靠；高电位屏蔽应可靠；开关板上的开关、跨接线、灯、仪表及插件板上的测试孔应符合设计图样或说明书的要求。

4）接地检查：测量接地电阻，应符合设计规定，详见防雷与接地系统的安装一章；检查各种接地线安装的正确性。断开接地线，测量保护地对工作地、保护地对逻辑地之间的绝缘，确认各种地线应无混线现象；测量保护地对交流电源中性点（零线）之间的电压，一般应不大于1V。

5）绝缘试验：测量电源回路、信号线、输入输出回路的绝缘电阻，可按本节二、（一）进行，应符合表7-47的规定，必要时应进行耐压试验。

表7-47 PC装置绝缘电阻和耐压试验标准

序号	试验名称	工作电压	试验标准				
			绝缘电阻测定		介质耐压试验		
			使用电压	标准	试验电压	时间	标准
1	电源主回路①对地	AC 380V	DC 1000V	>1MΩ/每回路	AC 1500V	1min	（1）耐压时无击穿、放电和表面闪烁 （2）耐压前后测得的绝缘电阻应无明显变化
2	电源变压器线圈②对壳及地						
3	电源变压器线圈之间						
4	电源板上各馈电回路对壳及地						
5	电源板上各馈电回路之间						
6	风扇电动机回路对壳及对地						
7	操作控制台、编程器等电源回路对地	AC 220V	DC 1000V	>1MΩ/每回路	AC 1000V		
8	信号线对屏蔽及地	AC 110V	DC 500V				
9	PDI/O隔离型③内部5V对外部端子	DC <60V	DC 250V或500V	>1MΩ/每回路	AC 500V		
10	PDI/O隔离型③外部端子间						
11	PDO继电器接点型④内部5V对外部24V						
12	PDO继电器接点型④外部端子对内部5V和外部24V						
13	PDO继电器接点型④外部端子之间						
14	PDI/O⑤输入/输出通道对壳（隔离型）						
15	盒式磁带机电源回路对地						
16	数据输入/输出设备电源回路对壳及地						
17	CPU存储器、磁带机、PDI/O等内部回路对壳⑥	DC <50V	万用表	>0.1MΩ	AC 100V		
18	蓄电池回路对壳	DC 5V	万用表	>0.1MΩ	AC 50V		

① 绝缘试验时电源滤波器拆除，不能拆时可以工作电压为试验电压侧漏泄电流代替耐压试验；

② 线圈两端临时短接；

③ PDI/O指开关量输入/输出装置，对非隔离型PDI/O可以最大工作电压为试验电压测绝缘电阻或漏泄电流；

④ PDO指继电器接点输出型开关量输出装置；

⑤ PDI/O指隔离型模拟量输入/输出装置，对非隔离型模拟量输入/输出装置可以加工作电压测输入/输出电阻代替耐压试验；

⑥ 本项系指内部的电子回路和电子器件等电子设备。

（2）单元调试

1）稳压电源装置（包括 UPS 电源）应按“电子式电气传动装置的元件调试要点”中，稳压器的检查及试验进行。此外还应进行以下测试：

检查供电电源的质量应满足“全国供电规则”的要求：

①　供电频率的允许偏差：

电网容量在 3000×10^3kW 及以上者为 ±0.2 周/s；

电网容量在 3000×10^3kW 以下者为 ±0.5 周/s。

②　供电电压变动幅度，应不超过：

35kV 及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的 ±5%；

10kV 及以下高压供电和低压动力用户为额定电压的 ±7%；

低压照明用户为额定电压的 +5% ~ −10%。

③　计算机在开机时，供电电源应满足：

频率：50Hz；

电压：380/220V；

相数：三相四线制。

依据计算机的性能允许变动范围，见表 7-48。

表 7-48　依据计算机性能允许的变动范围

项目＼指标＼级别	A 级	B 级	C 级
电压变动(%)	−5 ~ +5	−10 ~ +7	−10 ~ +10
周率变化/Hz	−0.05 ~ +0.05	−0.5 ~ +0.5	−1 ~ +1
波形失真率(%)	≤5	≤10	≤20

在实际使用负载下持续通电 2h，检查输出电压、电流和通风散热均应良好；检查备用电源的连接和切换，其动作、显示均应正常，UPS 电源的间歇时间应符合要求。

2）中央处理器（CPU）的调试。

①　通电测量电源电压、负载电流应在规定范围之内；检查启动、运行程序和显示均应正常。

②　CPU 指令检查：使用 CPU 测试程序检查，指示正常，如无测试程序，则检查 CPU 的启动、停止、总清零和装入应用程序运行正常；使用测试程序，连续反复执行所有指令和指令组合，进行逻辑运算功能测试均应正常；对所有指令进行综合检查，连续反复 10 次，应无故障；在测试程序正常运行状态下，应显示出全部指令正常的标志，当指令发生误动时，应显示出该动作的指令的详细清单。排除故障后，应连续正常运行且反复 10 次无异常现象。

③　主存储器的试验：使用测试程序，以主存储器为独立系统与逻辑运算单元配合进行试验，试验项目有：

用测试程序对主存储器进行全领域内读/写检查和地址译码系统的检查各 10 次，无差错出现；用测试程序或自编测试程序对主存储器进行检查，反复操作 10 次，无差错出现；用测试程序对主存储器进行页面保护检查；检查断电后，存储器的备用电源供电切换功能正常无误。

④　硬件计时器、定时器的检查：有条件时可用外部校正的时间标准进行对比和校验，应符合要求。

⑤　用模拟信号或用程序设定中断，使用测试程序进行以下检查：

检查每一中断产生及对应的中断地址，应符合要求；在所有各级中断产生时，优先处理顺序应正确无误；中断发生时，应能正确检出中断位置，CPU 应能通过硬件实现自动退避和复位；禁止中断和开放中断指令功能正确；多道中断产生时，检查优先中断动作的正确性，确认在全部级别组合情况下，动作应正确无误。

⑥　拉偏和稳定性试验：在电压、频率、温度为额定条件下，输入测试程序连续运行 8h 应无差错；电压、频率和温度拉偏试验，需要时按设备规定进行。但主机电源采用稳压稳频电源并在有空调的机房内运行时，可不作这项试验。

⑦　可靠性及可维修性检查：在不损坏装置的条件下，用外部模拟信号检查存储保护功能、堆栈溢出检测功能、计时检测、监测功能和故障信息保存功能等均应正常。设备可靠性、可维修性指标应符合出厂标准或设备标准。

3）盒式磁带机的调试。

①　通电检查电源电压和直流电压应符合要求，指示灯显示应正常；检查温度升高保护和断电报警功能是否正常。

②　与 CPU 联机，用测试程序分别检查信息传送、控制器、信息写入/读出和寻找功能、磁带反绕、出错检测等功能是否正常，其中写入/读出应连续试验 10 次，应正常。

③　在电源电压和温度正常条件下，启动和停止多次，磁带机应工作正常，存储内容不被破坏。

4）数据输入/输出设备的调试检查。

①　电源电压及频率应与说明书要求一致；通电检查，当发生温度、空打、电源等故障时，设备应报

警；设备内部机械传动部分应工作正常，无异常声音和超温等现象；所有操作开关键、按钮等应动作灵活，指示灯、显示装置、出错报警等均应工作正常。

② 用测试检查程序反复对键盘上各种键进行功能操作试验，应无差错；对打印字体、行间距、字间距与打印速度进行试验，字迹清晰、色带、走纸等运转正常。

③ 若配有屏幕显示装置（CRT）应按计算机控制系统的调试进行。

5）过程输入/输出（I/O）装置的调试。

① 模拟量 I/O 和智能 I/O 的调试：通电前检查设定方式、测量范围和分流器的接线均应正确无误；寻址试验，使用测试程序对全部 I/O 点进行寻址，输入与输出应一致，地址显示正确，并具有最大采样速度；稳压和恒流电源通电后，在额定负载下的输出电压、电流、电能消耗均应符合规定；测量各点电压和脉冲波形应符合规定；检查输出信号线与负载连接线的电压降，在额定负载下测试连接线的电压降应符合规定；检查温度异常、备用电源投入、输出保持和断线监视等保护装置的功能及动作应正常。

② 数字量 I/O 设备调试。

寻址试验：依次对各地址设定数据，测量输出值应与输入一致；

接点输入型信号检查：测量能检测到的触点最大接通电阻和不能检测到的触点最小断开电阻应符合规定；

触点输出型信号检查：接通和切断各种负载时，检查输出继电器接点，应工作正常；

电平输入型信号检查：测定能正确检测到的最小“I”电平的输入电压值和不能正确检测到的最大“O”电平的输入电压值，均应符合规定；

电平输出型信号检查：测定能驱动的最大负载，应符合规定；

脉冲输入型信号检查：输入脉冲信号，通以测试程序、确认读出的脉冲数应与输入脉冲数一致，计数应准确无误；

测试延时功能应符合要求；

特殊功能检查：电源断电再恢复时，检查各采样点的工作状态应符合规定。

③ 中断试验：使用测试程序，检查检出中断、禁止中断和多道中断的动作应符合要求。

④ 拉偏试和稳定性试验：应按前述 2）CPU 的调试中拉偏和稳定性试验进行，在温度拉偏试验时还应检查模拟量 I/O 装置的温漂。

6）操作台、显示器控制台、模拟板和专用编程器等的检查试验。

① 开关动作试验：开关、按键、按钮、锁式开关、复位开关等多次动作试验、应正确无误；拨码开关设定功能正常；动作试验时各指示灯、显示器的指示正常；模拟器计时和信号设定应符合要求。

② 显示屏、控制台试验：即检查键盘输入和图像显示功能：全部字符键、功能键操作试验，反复进行检查字符显示及功能是否符合规定；画面质量、图面尺寸、水平垂直方向的线性度、稳定度是否符合要求；检查模拟图像显示和趋向图存储功能，应正常；具有测量显示功能的，应加入模拟信号，输入值与显示值应一致。

③ 检查专用编程器各开关、按键和拨码开关等功能动作是否正常；检查并试验编程器编程功能应符合要求。

7）故障诊断单元试验：与 PLC 装置联机，通电检查各种诊断功能是否符合要求。

（3）整机调试

1）PLC 装置主机带外部设备综合试验：使用综合测试程序和单元测试程序，进行 PLC 系统硬件综合试验，在额定电压、频率、温度下整机连续运行正常无误。

2）抗环境干扰检查：在大型电动机启动及开关、接触器等投切动作时，检查 PLC 整机运行是否正常。

3）系统运行中，断电再恢复供电，检查保护功能是否正常；中断某一 I/O 单元的电源，检查对整机和其他单元的影响。装有空调和 UPS 的可不进行此项试验。

4）应用程序调试。

① 程序清单、图表等检查：输入应用程序，按图样逐条进行回路检查，显示和打印的输出程序清单、流程图等均应符合系统要求。

② 必要时使用应用软件测试程序进行检查：设定中断、检查中断原因分析的执行情况；进行寻找功能试验；进行信号状态显示，程序执行控制和直接控制等试验；进行错误分析试验；用编程器调看中断堆栈试验，均应满足系统要求。

（4）联动试验 联动试验条件为主回路不得电，被控设备（电动机、阀门等）不参加动作仅其执行器参加联动，即空投试验。

1）应用程序投入运行，相应的停止、启动机构运行的顺序和指示灯显示应正常无误。

2）与执行器联动试验：进行各逻辑回路联锁动作试验；检查和调整各运行系统的执行器，其动作顺序、控制特性和调整准确度是否符合系统设计和工艺

要求；测量各监测系统的 I/O 值，其误差应符合规定；进行编程器联机和脱机编程试验，对系统正常运行应无影响。

3）PLC 的稳定性试验：在温度、湿度、电源电压、频率等均在规定或额定值下，不接被控设备的条件下进行。

①　考核对象及范围。

对象：PLC 主机、存储器、I/O 装置、操作控制台、显示器和数据接口等；

范围：基本操作系统和应用程序。

②　检查 PLC 装置整体运行工作率或无故障率应符合规定，通常应不小于 99.95%。

③　PLC 装置电磁兼容性试验可按本节“3. 电子设备电磁兼容性试验要点”进行。

（5）整体试运转。

1）PLC 装置与被控设备联合动作的整体试运转应与主、辅机试运转配合进行，运转时检测被控设备的动作、控制准确度、仪表示值、信号指示和报警装置等均应符合设计要求和工艺条件，PLC 及程序应正常运行。

2）PLC 控制的工艺设备运行时的考核指标，如动作次数、考核时间等应根据上述要点和工艺设备的要求进行。

9. 交-直-交变频调速系统的调试要点

（1）常规检查和单元调试按“电子式电气传动装置的元件调试要点”和“晶闸管供电的电气传动系统调试要点”进行。

（2）整流组的调试：整流组的定相、轻载升压、直流输出短路试验和电流环调试等内容、要求按“晶闸管供电的电气传动系统调试要点”进行。

（3）逆变组的调试

1）频率变换插件的调试：电压-频率变换器等频率变换插件的输入输出特性，应符合设计要求，特性曲线的斜率或分段曲线的斜率在上下两方向正均应有足够的调节裕度。

2）逆变桥晶闸管触发电路的调试：连续给出频率指令信号，在整个输出频率范围内，检查逆变桥晶闸管触发脉冲的幅值、宽度、顺序及相邻两相的触发脉冲间隔，均应符合设计要求；如无设计规定时，一般相邻两相触发脉冲间隔误差不得超出 ±2°。对于采用脉冲列进行触发的系统，脉冲列宽度与个数均应与设计要求相同。

3）再生回路的调试：与直流调压系统的调试方法相同，再生回路整流桥晶闸管触发移相角应大于 135°。

4）变频交流电压输出的试验：在逆变桥输出端或输出变压器二次侧接入三相对称电阻负载，由最低频率开始连续改变频率给定信号，检测输出电压、频率、波形。输出电压频率的变化应与指令同步，波形近似正弦波，波形畸变系数与偏离位移，应在设计允许范围之内，输出电压有效值或幅度与频率之间的函数关系曲线，应与设计要求相符。

（4）电动机空载升速试验　接入交流电动机负载后，由最低频率开始向上提高，使电动机升速、每提高 5Hz，保持 1min，逐级使电动机升速，最后升至超速保护设定点为止，整个过程应无异常现象。

（5）动态响应特性试验　电动机运行在某一转速时，给出 5% ~10% 额定转速的阶跃信号，测试转速或频率、电压、电流闭环控制的动态响应特性均应与设计要求相符。

（6）多重化技术的变频系统　采用多重化技术的变频系统，在输出电流为额定值时，各组逆变桥输出电流之间的电流分配应基本平衡，相差值应小于平均值的 ±10%。

（7）无换向器电动机的调试

1）常规检查、单元调试和整流组的调试同上。

2）晶闸管逆变器的调试。

①　逆变桥晶闸管触发电路的调试：模拟给出电动机转子位置检测信号，在整个运行速度范围内，对各桥臂触发脉冲的幅值、宽度、触发顺序、相邻桥臂触发脉冲的间隔进行检查与测试，均应与设计要求相符。

②　位置检测信号的确认：盘动被拖动的电动机，确认转子位置检测信号的幅度、宽度、检测信号与转子位置及逆变桥触发脉冲出现次序的对应关系，均应符合设计规定。

③　逆变桥作整流运行的试验：将整流桥的触发脉冲信号临时改接到逆变桥上（接法及相序要准确无误），从逆变桥的输出侧输入三相交流电，其直流侧接入电阻性假负载，使逆变桥作整流运行。按整流器要求进行轻载升压试验，应正常工作。然后经直流电抗器将直流侧短路，进行短路试验，对逆变桥晶闸管进行电流考核，见“6. 晶闸管供电的电气传动系统调试的要点”。

（8）电动机空载升速和动态特性试验　同直流调压调速系统。

三、新型软起动器、变频起动器及其元件

软起动器和变频起动器有着传统间接起动器无法比拟的优点和广泛用途，有节能和环保的功能。近几

年来发展很快，并且能与微机接口，有通信功能，在自动控制系统中将占有显著的地位。变频器属电力变流设备，应按 GB 50255—1996 的标准执行。

（一）总体要求

1. 总则

1）为保证电力变流设备或软起动器、变频起动器安装工程的施工质量，其设计单位应具备相应的资质，并有相关工程的设计经历。

2）电力电子器件及变流变压器等组成的电力变流设备安装工程的施工和调试单位除相应资质外，须有相应测试设备仪器。

3）电力变流设备的安装，应按已批准的设计进行施工。

4）电力变流设备及器材的运输、保管，应符合国家现行标准的有关规定。当产品有特殊要求时，尚应符合产品技术文件的要求。

5）设备及器材在安装前的保管期限，应为一年及以下。当需长期保管时，应符合设备及器材保管的专门规定。

6）采用的设备及器材，均应符合国家现行技术标准的规定，并应有产品合格证件。设备应有铭牌。

7）设备及器材到达现场后，应在规定期限内作验收检查，并应符合下列要求：

① 包装及密封应良好。

② 按装箱单检查清点，其规格、数量和技术参数应符合设计要求，附件、备件应齐全。

③ 产品的技术文件应齐全，完好无损。

④ 按规范要求，外观检查合格。

8）施工中的安全技术标准，应符合规范和现行有关安全技术标准及产品技术文件的规定。对重要的施工项目或工序，尚应制定相应的安全技术措施。

9）与电力变流设备安装工程有关的建筑工程的施工，应符合下列要求：

① 与电力变流设备安装有关的建筑物和构筑物的建筑工程质量，应符合国家现行的建筑工程的施工及验收规范中的有关规定。

② 设备安装前，建筑工程应具备下列条件：

a. 屋顶、楼板施工完毕，不得有渗漏。

b. 室内地面、门窗、墙壁粉刷等工程应施工完毕，并应符合设计要求。

c. 电力变流设备安装用的基础、沟道、预埋件、预留孔（洞），应符合设计要求。

d. 采暖通风、照明系统等工程，应基本完成，并应符合设计要求。

e. 会损坏已安装的设备或设备安装后不能再进行的装饰工程，应全部结束。

③ 设备安装完毕，调试运行前，建筑工程应符合下列要求：

a. 清除构架上的污垢，填补孔洞及装饰工程应结束；

b. 室内抹面工作应结束；

c. 保护性网门、栏杆等安全设施应齐全；

d. 受电后无法进行或影响运行安全的工程，应施工完毕。

10）设备安装用的紧固件，除地脚螺栓外，应采用镀锌制品。

11）电力变流设备的施工及验收，除按本节规定执行外，尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

2. 电力变流设备的冷却系统

1）电力变流设备的油浸冷却系统的安装：

① 贮油箱、阀门及管路系统，应无渗漏现象。

② 补充或更换的新油，应符合现行国家标准 GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的有关规定。

③ 贮油箱油面高度，应与标定的刻度指示线一致。

④ 密封用材料应具有耐油性能。

2）变流装置的进口、出口水管与冷却系统之间，应采用绝缘管连接；当变流装置输出电压在 1000V 以下时，绝缘管长度不宜小于 1.5m。

3）冷却系统的管道、阀门及管件，在安装前均应吹洗干净；当管道使用无镀层的普通钢管时，管内壁应按设计要求作防腐处理；安装后系统内部应冲洗干净。

4）电力变流设备水冷却系统的水质。

① 设备额定直流电压在 630V 以下时，电导率不应大于 0.5mS/m。

② 设备额定直流电压在 630 ~ 1000V 时，电导率不应大于 0.1mS/m。

注：自然水冷却的 50V 以下设备，电导率不应大于 0.04S/m，酸度（pH 值）6 ~ 9；溶解性总固体含量不应大于 1000mg/L，总硬度（以碳酸钙计）应小于 450mg/L。

5）液冷却系统的管路应畅通，在额定压力下，其流量及出口水温应符合产品技术条件的规定。

6）冷却管路的连接应正确可靠，使用软管连接时应无扭折和裂纹。

7）变流装置内液冷却系统的管路，应施加（200 ± 25）kPa 压力进行水压试验，时间为 30min，管路应无渗漏现象。油浸式油箱，应施加（35 ± 5）

kPa 压力进行油压试验，时间为 12h，应无渗漏和油箱变形现象。对风冷系统应检查风道畅通、过滤器无堵塞现象。

3. 电力变流设备的安装

1）变流柜及控制柜的安装，应符合现行国家标准 GB 50171—2012《电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》的有关规定。

2）变流柜及控制柜与基础连接，宜采用螺栓固定。组合式柜间的连接，应采用螺栓连接。

3）变流柜的非带电金属部分需接地时，应符合现行国家标准 GB 50169—2006《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》中的有关规定。

4）变流柜的非带电金属部分需与大地绝缘隔离时，在变流柜周围的地面应作绝缘处理；其变流柜周围的绝缘处理范围及绝缘的耐压强度应符合设计要求；距变流柜 1.5m 的范围内，正常情况下能触及到的管道、电缆等均应采用绝缘层隔开。

5）变流柜及控制柜就位后，柜内外的污垢应清除干净。临时固定器件的绳索等应拆除。

6）变流柜及控制柜的外观检查。

①　插件板的名称与标志应无错位，插件板内的线路应清晰、洁净、无腐蚀、平滑无毛刺、线条无断裂、无粘连；各焊点之间应明显断开；线条间相邻边距离应符合国家现行有关标准的规定。

②　插接件的插头及插座的接触簧片应有弹性，且镀层完好；插接时应接触良好可靠。

③　变流元件、熔断器、继电器、信号灯、绝缘子、风机等器件的型号、规格、数量应符合技术文件的要求，并应完整无损。

④　螺栓连接的导线应无松动，线鼻子压接应牢固无开裂。焊接连接的导线应无脱焊、虚焊、碰壳及短路。

⑤　元件、器件出厂时调整的定位标志不应错位。

⑥　固定在冷却电极板或散热器上的电力电子元件应无松动。

7）抽屉式结构的变流设备盘、柜的安装。

①　盘、柜的框架应无变形；抽屉在推、拉操作时应灵活轻便。

②　接插式抽屉的动、静触头的接触面及压力，不应小于产品的规定值。抽屉的机械联锁装置应可靠。抽屉的框架与盘、柜体，应接触良好。

③　抽屉内的印制电路板插拨时应灵活，接触应可靠。

8）快速熔断器的型号和规格，不得任意调换或代用。

9）变流元件更换时，新换上的元件的电气性能。

①　新换上的变流元件的管形尺寸，应与被更换的元件一致，其极性连接应正确。

②　正向和通态平均电流，应与被更换的元件一致；反向或正（反）向重复峰值电压，不应低于被更换变流元件值。

③　并联支路的变流元件，正向或通态平均电压宜与被更换的变流元件值一致。

④　串联支路的变流元件，其反向漏电流宜与被更换的变流元件值一致。

⑤　更换的晶闸管门极的触发电压和电流，宜与被更换的变流元件值一致。其维持电流，应符合产品技术条件的规定。

10）变流元件的拆装。

①　对螺栓型整流管或晶闸管，应使用专用的工具拆装；对平板型整流管或晶闸管，应与散热器同时拆装。

②　装配时，在散热器与变流元件的接触面上宜涂以硅脂；其紧固力矩应符合产品技术条件的要求。

③　整流管或晶闸管的散热器装配后，其相与相之间和相与地（外壳）之间的最小电气间隙，应符合产品技术条件的要求。

11）电力变流设备的电缆敷设与配线。

①　控制电缆、屏蔽电缆及电力电缆的敷设，应符合现行国家标准 GB 50168—2006《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》的有关规定。

②　晶闸管触发系统的脉冲连线，宜采用绞合线或带屏蔽的绞合线。当采用屏蔽线连接时，其屏蔽层应一端可靠接地。

③　电气回路的接线应正确，配线应美观，接线端子应有清晰的编号；弱电与弱电回路应分开，与母线的连接应符合现行国家标准 GB 50149—2010《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》的有关规定。

12）变流设备中的印制电路板及电子元件的焊接。

①　焊接时严禁使用酸性助焊剂；焊接前应除去焊接处的污垢，并在挂锡后进行焊接。

②　电子元器件的焊接，宜使用不大于 30W 的快速电烙铁，其操作时间不宜过长。

③　焊接高灵敏度元件时，应使用电压不高于 12V 的电烙铁。或断开电烙铁电源后再焊接。

13）电力变流设备中所用的蓄电池的保管、安装

及使用，应符合现行国家标准 GB 50172—1992《电气装置安装工程蓄电池施工及验收规范》的有关规定。

4. 电力变流设备的试验

（1）一般规定

1）表 7-49 中未规定的试验项目，可按国家现行有关标准或产品技术条件的规定进行试验（因为有新产品不断出现）。

2）电力变流设备的调试，应在设备安装完毕，且设备和安装的质量均应符合要求后进行。

3）电力变流设备中变流器、变压器、电缆、高压电器或低压电器等电气设备的交接试验，应符合现行国家标准 GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的有关规定。

4）电力变流设备中的测量仪器、仪表的检验，应符合国家现行标准《电测量指示仪表检验规程》及《电力建设施工及验收技术规范（热工仪表及控制装置篇）》的有关规定。

（2）变流装置的试验

1）电力变流设备各类装置的交接试验项目，宜符合表 7-49 的规定。

表 7-49 电力变流设备各类装置的交接试验项目

试验项目	类型			
	可控整流装置	整流装置	变频装置	逆变电源装置
绝缘试验	✓	✓	✓	✓
辅助装置的检验	✓	✓	✓	✓
轻载试验	✓	✓	✓	✓
电压均衡度试验	✓	✓	✓	—
低压大电流试验	✓	✓	✓	—
电流均衡度试验	✓	✓	✓	—
控制性能的检验	✓	—	✓	✓
保护系统的协调检验	✓	✓	✓	✓
稳定性能的检验	✓	—	✓	✓
音频噪声测量	✓	✓	✓	✓

注：1. 表中符号“✓”为需做的试验项目。

2. 制造厂在出厂试验未进行该表中的试验项目，应在现场交接试验时，由订货单位协调制造厂与安装单位共同进行。

3. 电力电子开关的试验，可按该表中逆变电源装置的试验项目进行。

2）绝缘电阻的测量。

① 绝缘电阻的测量，应按现行国家标准 GB 50150—2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的规定进行，对不同电压等级的设备或回路，应使用相应电压等级的绝缘电阻表进行试验。

② 主回路对二次回路及对地的绝缘电阻值，不应小于 1MΩ/kV。

③ 二次回路对地的绝缘电阻值，不应小于 1MΩ；在比较潮湿的地方，不宜小于 0.5MΩ。

注：不包括印制电路板等弱电回路的绝缘电阻测量。

3）耐压试验

① 交流耐压试验值，应为产品出厂试验电压值的 85%。

② 当不宜施加交流试验电压时，可按规定施加与交流电压峰值相等的直流电压进行试验。

③ 耐压试验时，施加电压上升至试验电压值的时间，不应小于 10s；加至试验电压后的持续时间均应为 1min，并应无击穿或闪络现象。

4）绝缘试验前，对回路中的电子元器件、电容器、压敏电阻、非线性电阻、开关及断路器断口等，均应将其各极短接。对与绝缘试验无电气直接连接的回路或线圈，也应短接，并可靠接地。印制电路等弱电回路在耐压时，可将其插件板拔出。

5）辅助装置的检验。

① 辅助装置的检验，其绝缘试验应按上述 2）、4）规定进行；其他检验工作可采用外施电源进行模拟试验或在轻载试验时同时进行。

② 试验时，可将辅助装置接至额定电压，其运行机能及工作应可靠；测得的有关参数、冷却风机的风速、泵的流量等，应符合设计及产品技术条件的规定。

6）轻载试验。

① 试验可用递升加压，逐步升至设备额定电压，对其设备输出端选用的负载，应能满足所验证的性能要求。加压后对谐波吸收装置的检查，可按国家现行有关标准或产品技术条件的规定进行。

② 试验测得的变流设备静态或输出特性以及控制、保护等性能，均应符合设计及产品技术条件的规定。

7）电压均衡度（均压系数）试验。

① 变流装置的整流臂中有串联整流元件的支路，应作电压均衡度试验，其测试可与轻载或负载试验同时进行。

② 串联连接的整流元件的反向阻断电压、正向阻断电压，可采用瞬态电压测试仪、电子管峰值电压

表及示波器等仪器进行测量，其电压均衡度应按式（7-7）进行计算，并应符合产品标准的规定。

8）低压大电流试验。

①　试验时，可将变流装置的直流输出端子直接或通过电抗器短路，交流端子所加低压交流电压应加至能产生连续额定直流电流输出；变流装置的控制设备和辅助设备的工作电源，应单独用其额定电压供电。

②　在额定电流下，按产品技术条件规定的连续通电时间检查各部件和主回路各电气连接点的温升，不应超过产品技术条件的规定，且不应有局部过热现象。

9）电流均衡度（均流系数）试验。

①　当变流装置的整流臂有多只整流元件并联时，应作电流均衡度试验，并应测定其瞬态和稳定电流均衡度。

②　电流均衡度测量，可与低压大电流试验或负载试验同时进行。

③　瞬态电流均衡度，可采用测量电流互感器取样电阻、标准母线段或快速熔断器熔丝上的瞬态电压的方式确定。瞬态电压的测量，可采用瞬态电压测试仪、电子管峰值电压表或示波器进行。

④　稳态电流的测定，可采用钳形电流表测量其电流值或测量标准母线段、快速熔断器熔丝两端的稳态电压降的方式确定。

⑤　电流均衡度的测定，应以变流装置的额定工况为准。电流均衡度，应按式（7-8）进行计算，并应符合产品标准的规定。

10）控制性能的检验。

①　变流装置的控制性能，其静态特性可在轻载试验时进行，动态特性应在带负载工况下进行。

②　各种控制特性的测定方法和要求，应符合国家现行有关标准或产品技术条件的规定。

11）保护系统的协调检验。

①　装置电源和变流装置的过电流、过电压、超速、欠电压、低频、断水、停风以及失脉冲等保护设施的检验、调整及整定，可分别在轻载、低压大电流和带负载工况下进行，或可采用外施电源以模拟试验法进行。

②　各类保护的检验调整方法和整定值，可按设计及产品技术条件规定进行。

12）稳定性能的检验。

①　变流装置的电流、电压、频率的稳定性能和误差的检验，应在实际负载条件下进行。

②　当电网电压、交流系统条件及负载变化均在装置允许波动范围内时，测量其工作性能变化和允许误差，均应符合设计及产品技术条件的规定。

13）音频噪声的测量。

①　应在2m范围内没有声音反射面的场所进行试验。测量应在正对设备操作面垂直距离0.5～1m，距地面高度1.2～1.6m处至少取两个测试点进行测量；测量时测试话筒应正对设备噪声源，取噪声最大一点的数值作为测试值，其值应符合设计和产品技术条件的规定。当设计和产品技术条件无规定时，变流装置在正常运行时产生的噪声，应符合下列规定：

a. 不需要经常操作、监视或维护的产品不应高于95dB（A）；

b. 需要经常操作、监视或维护的产品以及需要与具有这种设备安装在一起的产品，不应高于80dB（A）；

c. 安装在要求安静环境的产品，不应高于65dB（A）。

②　按现行国家标准GB/T 14367—2006《噪声源声功率级的测定》的规定，可采用声级计或其他噪声测量设备进行测量；当采用A声级测量时，应避免周围环境噪声对测量结果的干扰。

5. 电力变流设备的工程交接验收

1）工程交接验收时，应按下列要求进行检查：

①　设备试运行的连续时间、试验工况及应测的参数，应符合合同的技术协议或有关技术文件的规定。

②　设备的外观应完整、无缺损。

③　油浸式变流器或变压器应无渗油；油位指示应正常。

④　高压和低压开关的操作机构、传动装置、辅助触点或闭锁装置，应安装牢固；其动作应灵活可靠，位置指示应正确。

⑤　设备油漆应完整，母线及电缆相色应正确。

⑥　设备或装置的外壳接地应良好。

2）工程交接验收时，应提供下列资料和文件：

①　安装试验记录和竣工图纸。

②　设计变更通知等证明文件。

③　产品说明书、产品合格证、出厂试验报告等技术文件。

④　安装检查和安装中器件紧固、修整、更换的记录。

⑤　调整、检验以及整定值的记录。

⑥　设备轻载及负载的试运行记录。

（二）变频起动器的规格型号

变频起动器规格型号及产品很多，我们这里仅列出 Altivar 68、58 变频器相关参数，供读者参考，见表7-50和表7-51。其他规格型号的产品使用以产品

表 7-50 Altivar 68 变频器相关数据表

高力矩应用（150% *T*n）													
电机		电源				Altivar 68							
电机铭牌功率①		线电压②				变频器最大额定电流				最大瞬时电流③	额定负载时功率④	型号	重量
		400V	440V	460V	500V	400V	440V	460V	500V				
kW	HP	A	A	A	A	A	A	A	A	A	W		kg
三相电源 400V（－15%）～500V（＋10%）50/60Hz													
75	100	133	121	116	106	142	129	124	113	213	2050	ATV-68C10N4	60.000
90	125	161	146	146	129	172	156	156	137	258	2400	ATV-68C13N4	95.000
110	150	194	177	169	157	208	189	180	167	312	2800	ATV-68C15N4	95.000
132	200	234	224	225	188	250	240	240	200	375	3250	ATV-68C19N4	95.000
160	250	304	282	383	244	325	302	302	260	488	4000	ATV-68C23N4	190.000
200	300	378	343	338	304	404	367	361	323	606	5000	ATV-68C28N4	190.000
250	350	444	403	388	357	475	431	414	380	713	6200	ATV-68C33N4	190.000
315	500	577	552	553	454	617	590	590	494	926	7800	ATV-68C43N4	500.000
400	600	717	673	675	577	767	720	720	614	1151	9700	ATV-68C53N4	500.000
500	800	845	785	787	680	904	840	840	723	1356	12000	ATV-68C63N4	500.000
标准力矩应用（120% *T*n）													
电机		电源				Altivar 68							
电机铭牌功率①		线电压②				变频器最大额定电流				最大瞬时电流⑤	额定负载时功率④	型号	重量
		400V	440V	460V	500V	400V	440V	460V	500V				
kW	HP	A	A	A	A	A	A	A	A	A	W		kg
三相电源 400V（－15%）～500V（＋10%）50/60Hz													
90	⑥	159	145	⑥	128	170	155	⑥	136	213	2400	ATV-68C10N4	60.000
110	⑥	193	175	⑥	155	206	187	⑥	165	258	2800	ATV-68C13N4	95.000
132	⑥	234	212	⑥	188	250	227	⑥	200	312	325	ATV-68C15N4	95.000
160	⑥	280	269	⑥	226	300	288	⑥	240	375	3800	ATV-68C19N4	95.000
200	⑥	365	338	⑥	293	390	362	⑥	312	488	4700	ATV-68C23N4	190.000
250	⑥	453	411	⑥	365	485	440	⑥	388	606	5800	ATV-68C28N4	190.000
315	⑥	533	483	⑥	429	570	517	⑥	456	713	7300	ATV-68C33N4	500.000
400	⑥	692	662	⑥	556	740	708	⑥	592	926	9100	ATV-68C43N4	500.000
500	⑥	860	808	⑥	692	920	864	⑥	736	1151	11300	ATV-68C53N4	500.000
630	⑥	1015	942	⑥	816	1085	1008	⑥	868	1356	14000	ATV-68C63N4	500.000

① 稳态，调制频率 2.5kHz 时给出的功率值，运行在 5kHz 或 10kHz 时，变频器必须降额使用。

② 4 极电动机带附加电抗器时的典型值，3 相电源电压为 400～500V 时，短路电流大约为 22000A。

③ 400V 电压时，每 10min 内可承受 60s 1.5 倍的额定电流。

④ 在额定电流和调制频率为 2.5kHz 时的功耗。

⑤ 400V 电压时，每 10min 内可承受 60s 1.2 倍的额定电流。

⑥ 460V 仅有高力矩性能。

表 7-51　Altivar 58 变频器相关数据表

电机		主电源				Altivar 58				
额定功率①		线电流②		线路最大短路电流		额定电流	最大瞬时电流③	额定耗散功率④	型号⑤	重量
		$U_{最小}$	$U_{最大}$	$U_{最小}$	$U_{最大}$					
kW	HP	A	A	kA	kA	A	A	W		kg
高力矩应用（170% *T*n）										
三相电源电压：208～240V⑥50/60Hz										
11	15	43	40	10	22	47	64	745	ATV-58HD16M2X	34.000
15	20	59	54	10	22	60	82	900	ATV-58HD23M2X	34.000
18.5	25	71	64	10	22	75	102	895	ATV-58HD28M2X	57.000
22	30	84	78	10	22	88	120	1030	ATV-58HD33M2X	57.000
30	40	115	104	10	22	116	158	1315	ATV-58HD46M2X	57.000
三相电源电压：380～500V⑥50/60Hz										
18.5	25	43	35	22	65	41	55	660	ATV-58HD28N4X	34.000
22	30	51	41	22	65	48	66	775	ATV-58HD33N4X	34.000
30	40	68	55	22	65	66	90	925	ATV-58HD46N4X	34.000
37	50	82	66	22	65	79	108	930	ATV-58HD54N4X	57.000
45	60	101	82	22	65	94	127	1085	ATV-58HD64N4X	57.000
55	75	121	98	22	65	116	157	1455	ATV-58HD79N4X	57.000
标准力矩应用（120% *T*n）										
三相电源电压：208～240V⑥50/60Hz										
15	20	58	52	10	22	60	64	890	ATV-58HD16M2X	34.000
18.5	25	70	63	10	22	75	82	980	ATV-58HD23M2X	34.000
22	30	82	74	10	22	88	102	975	ATV-58HD28M2X	57.000
90	40	114	102	10	22	116	120	1215	ATV-58HD33M2X	57.000
37	50	141	125	10	22	143	158	1610	ATV-58HD46M2X	57.000
三相电源电压：380～500V⑥50/60Hz										
22	30	51	41	22	65	44	55	735	ATV-58HD28N4X	34.000
30	40	67	53	22	65	60	66	915	ATV-58HD33N4X	34.000
37	50	82	66	22	65	72	90	1020	ATV-58HD46N4X	34.000
45	60	99	79	22	65	85	108	1030	ATV-58HD54N4X	57.000

（续）

高力矩应用（170% T_n）										
电机		主电源				Altivar 58				
额定功率①		线电流②		线路最大短路电流		额定电流	最大瞬时电流③	额定耗散功率④	型号⑤	重量
		$U_{最小}$	$U_{最大}$	$U_{最小}$	$U_{最大}$					
kW	HP	A	A	kA	kA	A	A	W		kg
三相电源电压：380～500V⑥50/60Hz										
55	75	121	97	22	65	105	127	1245	ATV-58HD64N4X	57.000
75	100	160	130	22	65	138	157	1700	ATV-58HD79N4X	57.000

① 功率是依据变频器连续工作不降容，最大接通频率下给出的（2kHz 或 4kHz），如再提高接通频率，变频器必须采用间断工作制或降容使用。

② 典型值为 4 极电动机。

③ 60s。

④ 耗散功率是在连续工作，最大接通频率下给出的（2kHz 或 4kHz）。

⑤ 变频器与小型终端一起供货，若不要求小型终端则在型号最后加字母“Z”
如：ATV-58HD16M2X 不带小型终端时则型号变为 ATV-58HD16M2XZ。

⑥ 电源电压 $U_{最小}$～$U_{最大}$。

说明书为准。

（三）变频起动器的安装调试和试运行

变频起动器的安装应符合 GB 50255—1996 的要求，安装后应进行频率和电压的测试。

测试方法应配备频率表、转速表和电压表各一块，按其容量选择一台较小的电动机，如 3kW。将电动机、频率表和电压表与其连接好，起动变频器，观察电动机起动情况及电压、频率和转速的变化，应与其使用说明书相符。连接见图 7-159。

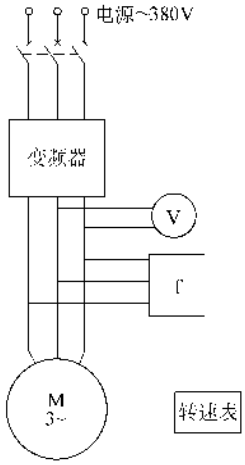


图 7-159 变频起动器安装试验连接示意图

变频起动器的调试和安装人员应掌握和了解的内容：

1. 相关技术资料

1）掌握与工程有关的各种技术资料，包括技术文件、工艺文件、施工图、元器件产品说明书及维修委托书等。

2）掌握电气安装情况、安装质量验收情况、安装过程中的有关试验情况、运行情况、发生故障或异常的详细情况等。

3）掌握系统的工作原理、主回路和控制回路的控制原理及其接线、布线情况，主要控制端子的位置等。

4）掌握系统中各元器件的主要技术数据、运行数据、工作原理和故障数据等。

5）掌握通用变频器的主要技术数据、设置数据、运行数据和故障数据等。对于故障维修应开盖检查做好记录，保留故障痕迹，必要时应做好标记。

6）了解与系统有关的其他资料，如运行记录、历史资料等。

2. 制定工作计划

1）制定调试或安装技术文件、技术标准，必要时应绘制工作图。

2）制定与变频器相关的外围设备的检验、测试、试验和调试程序和方法。

3）变频器送电前的检查和送电。对于故障维修后，应确认已维修好，并恢复原状。

4）变频器空载调试程序和方法。对于故障维修后，应有保护措施。

5）变频器负载调试程序和方法。对于故障维修

后，应有保护措施。

6）系统带负载调试程序和方法。对于故障维修后，应有保护措施。

3. 调试程序及要点

1）外观检查，重点检查接线紧固情况及元器件完好情况，检查框内是否有遗漏的工具、导线、五金件、元器件及其他不妥等。

2）主回路及其元器件的绝缘性能检查，测试的测试项目应按制造厂的技术文件及相关标准执行。

3）柜内控制回路及其元器件、计量仪表的检定校验应有相应资格的部门出具的证书或报告。

4）按照电气原理图设计要求，按控制回路、保护回路、信号回路顺序逐项调试，并做好调试过程参数记录，直至符合设计要求。

5）测试方法：

① 主回路电力电缆的测试：按照电缆的电压等级、型号，遵照电气安装标准测定绝缘电阻并进行电缆的耐压试验。

② 电动机试验：电动机试验应按相应标准（GB 50170—2006、GB 50150—2006）进行，一般要测试绝缘电阻、直流电阻及旋转方面的试验，必要时需要做交流耐压试验。

③ 变频器的调试：按照变频器空载调试、负载调试和系统带机械空负载联动及系统带机械负载联动顺序调试，带负载调试时应自小到大逐步加负载，不得一次性带满载调试。调试过程为：变频器→电动机→机械空负载联动→机械加负载联动→机械带负载联动。每一个调试过程都应当检查、测定、记录有关技术参数，调试完毕后及时对设定参数加密处理，记录应归档。其中，变频器输出回路的频率测试为重点项目。

④ 安全防护：根据电气设备各回路不同的电压等级选择不同电压等级的绝缘电阻表，变频器绝缘检查应使用500V绝缘电阻表。变频器故障检修后，通电前应将前盖盖好，恢复整机原样后方可通电。在变频器维修过程中，测试设备的电源应采用隔离电源。在检测输出功率模块时，需采用示波器观察三相驱动与输出电压、电流波形。在采用示波器测量PWM驱动波形时，应采用高压探头进行测量，并加隔离措施，如无隔离措施，应将示波器电源线的接地线断开，以确保示波器机壳带电部分与其他电源或线路绝缘，特别是将示波器放置于导电的防静电实验台上时，要注意其外露金属壳体部分不与导电桌布接触，然后采用带衰减的示波器探头直接测量。另外，许多电源插座没有接地线，但插在同一插座上的设备地线也会形成接地回路，如使用不当，有时会造成设备损坏。

（四）变频器主要故障的类型

1. 参数设置类故障

1）确认电动机参数，在变频器参数中设定电动机的功率、电流、电压、转速、最大频率，一般变频器会自动辨识。设定的这些参数必须与电动机铭牌中的数据一致，否则就会引起变频器不能正常工作。

2）变频器控制方式的设定主要有频率（速度）控制、转矩控制、PID控制或其他控制方式。每一种控制方式都对应于一组数据范围的设定，如果这些数据范围设定的不正确，就会引起变频器不工作或不能正常工作，或发生故障保护动作而跳闸，并显示故障类型代码。

3）变频器起动方式，在变频器出厂时设定为面板起动，可以根据实际情况选择用面板、外部端子、通信方式等几种，除面板起动外，其他需要与相对应的给定参数及控制端子匹配，否则就会引起变频器不工作、不能正常工作或频繁发生保护动作甚至损坏。

4）频率给定参数的选择，通用变频器的频率给定也有多种方式，如面板给定、外部给定、外部电压或电流给定、通信方式给定等，可以选择其中的一种或几种方式的组合。正确设置参数后，还要保证信号源工作正确，否则就会引起变频器不工作、不能正常工作、或频繁发生保护动作甚至损坏。

5）发生了参数设置类故障后，变频器都不能正常运行，可根据故障代码或产品说明书进行参数修改。否则，应恢复出厂值，重新设置。如果不能恢复正常运行，通常要检查是否发生了硬件故障。

2. 过电流和过载故障

过电流和过载故障是变频器常见故障，可分为加速过电流、减速过电流、恒速过电流，过载故障包括变频器过载和电动机过载。

（1）外部原因

1）由于电动机负载突变，引起大的冲击电流而过电流保护动作。这类故障一般是暂时的，重新起动后就会恢复正常运行，如果经常会有负载突变的情况，应采取措施限制负载突变或更换较大容量的变频器，一般可选用直接转矩控制方式的变频器，这种变频器动态响应快、控制速度非常快，具有速度环自适应能力，从而使变频器输出电流平稳，避免过电流。

2）变频器电源侧断相、输出侧断线、电动机内部故障引起过电流和接地故障。

3）电动机和电动机电缆相间或每相对地绝缘破坏，造成匝间或相间对地短路，因而导致过电流。

4）受电磁干扰的影响，电动机漏电流大，产生轴电流、轴电压，引起变频器过电流，过热和接地保护动作。

5）在电动机绕组和外壳之间、电动机电缆和大地之间存在较大的寄生电容，通过寄生电容就会有高频漏电流流向大地，引起过电流和过电压故障。

6）变频器输出侧功率因数矫正电容或浪涌吸收装置引起，应调整其参数。

7）变频器的运行控制电路遭到电磁干扰，导致控制信号错误，引起变频器工作错误，或速度反馈信号丢失或非正常时，也会引起过电流。

8）变频器的容量选择不当，与负载特性不匹配，引起变频器功能失常、工作异常、过电流、过载、甚至故障损坏。

（2）变频器的原因

1）参数设定不正确，如加减速时间设定的太短，PID 调节器的 P 参数、I 参数设定不合理，超调过大，造成变频器输出电流振荡等。变频器的多数参数，如果设置不当均可能引起变频器的故障，因此故障类型是多种多样的，需根据具体情况判断。

2）变频器本身原因主要是内部硬件出现问题，如变频器的整流侧和逆变侧元器件损坏引起电路过电流、欠电压，变频器保护动作；变频器的电源回路异常，引起无显示、不工作或工作不正常；变频器本身控制电路的检测元器件故障，引起逆变器不工作或工作不正常，甚至过电流保护动作；通用变频器本身遭到电磁干扰，引起通用变频器误动作、不工作或工作异常等。

故障检查时应首先断开负载先对变频器进行检查，断开负载后，过电流故障依然存在，说明变频器内部元件，需要进一步检查维修。断开负载后，过电流故障消失，则从电动机开始逐个回路检查，直到排除故障。

3. 过电压、欠电压故障

1）过电压故障集中表现在直流母线电压上。正常情况下，直流母线电压为三相全波整流后的平均值，若以 380V 线电压计算，则平均直流电压为 513V。在过电压发生时，直流母线的储能电容将被充电，当电压上升至 760V 左右时，变频器过电压保护动作。因此，变频器都有一个正常的工作电压范围，当电压超过这个范围时很可能损坏变频器，如有的变频器规定的电压范围为 380V 级 323～506V，当运行电压超过限定的容许电压范围时，下限出现欠电压保护（300V）停机，上限出现过电压保护（506V）也会停机，如果输入电压超过 506V 时，过电压保护也保护不了变频器。有的变频器允许输入电压波动，这时变频器的自动电压调整 AVR（稳压）功能会自动地工作。

2）电动机制动过程中，电动机处于发电状态，变频器没有能量回馈单元和制动单元或制动能力不足时，则会引起直流回路电压升高，过电压保护动作，变频器停机。处理这种故障可以增加再生制动单元，或修改变频器参数，将变频器减速时间设长一些。再生制动单元有能量消耗型、并联直流母线吸收型和能量回馈型。能量消耗型是在变频器直流回路中并联一个制动电阻，将回馈能量消耗在制动电阻上；并联直流母线吸收型多用在多电动机传动系统中，这种系统往往有一台或几台电动机经常工作于发电状态，产生的再生能量通过并联母线被处于电动状态的电动机吸收；能量回馈型是将再生能量通过网侧可逆变流器回馈给电网。

4. 其他类型故障

（1）过热保护　变频器的过热保护有电动机过热保护和变频器过热保护两种，电动机过热保护动作，应检查电动机的散热和通风情况；变频器过热保护动作，应检查变频器的冷却风扇和通风情况。

（2）漏电断路器、漏电报警器误动作或不动作　为防止人体触电及因绝缘老化而发生短路时造成火灾为目的，系统中要求必须装设漏电断路器、漏电报警器等。变频器运行过程中经常发生频繁跳闸现象。系统中的机械设备（如水泵、风机、电梯等）本身外壳已经与大地可靠接地，漏电断路器的设定值是按照工频漏电流的标准设定的。而在采用通用变频器的控制系统中，会增加高频漏电流和工频漏电流两部分的漏电流，造成系统电流不平衡分量较大。在系统电源侧安装的漏电断路器或漏电报警器，会产生误动作，有时为了防止误动作而调大了漏电断路器的动作值，会发生不动作的情况。一般方法是使同一变压器供电的各回路单独装设漏电断路器或漏电报警器，分别整定动作值，变频器回路中装设的漏电断路器应符合变频器的要求。有时可设置隔离变压器、输入电抗器抑制谐波干扰，或者降低变频器的载波频率，减小分布电容造成的对地漏电流。

（3）静电干扰　在工业生产过程中，由于绝缘物高速摩擦会产生静电场，静电场很强时会使变频器产生误动作、不能正常工作，甚至损坏变频器。处理方法应使机械设备与变频器的共用接地系统分开，分别单独接地，不应采用接零方式地线。严重时应加装静电消除器。

（4）与变频器载波频率有关的故障　通用变频

器的载波频率是可调的，可方便人们对噪声的需求。变频器的载波频率出厂值往往与现场需要不符，需要调整。实际调整时，往往因载波频率值设定不当，造成各种异常现象，甚至故障，损坏通用变频器。

1）变频器中的功率模块 IGBT 的功率损耗随着载波频率的提高、功率损耗将增大，致使其效率下降及温升增加而发热，如果环境温度亦较高，将引起变频器过热保护动作，严重时会造成功率模块损坏。

2）在调试过程中应试探性地调整载波频率，遵循电动机功率大的，相对选用载波频率要低些，并从低端向高端调整的原则；首先要确定合适的载波频率值后，再考虑是否需要加装滤波器或谐波抑制装置。

（五）变频器主要部件故障分析

1. 主电路故障

1）变频器的主电路主要由整流模块、滤波电容、逆变模块、限流电阻、继电器等组成。其中，影响变频器寿命的主要元件之一是滤波电容器，它的寿命主要由加在其两端的直流电压和内部温度所决定，在主回路设计时已经充分考虑了直流环节可能出现的最高电压，所以内部的温度对电解电容器的寿命起决定性作用。因此，一方面应在安装变频器时考虑环境温度的影响，另一方面，当谐波干扰较大时应采取措施减小脉动电流，如在中间回路加装直流电抗器、在输入端加交流电抗器后可以减小脉动电流，从而延长电解电容器和变频器的寿命。

2）整流模块和逆变模块及电流传感器故障损坏现象较为少见，一旦故障则是破坏性的，并有明显的特征，主要是由于电源断相、过电压，输出侧过负载、过电流、接地等。

3）变频器内部元器件偶然故障等原因，如逆变器的驱动光耦合器故障、因为操作时不慎使控制端子不适当的闭合、由于连接线有毛刺，致使相邻端子短接，造成短路等。如果发生在控制回路，通用变频器会出现 E^2PROM 故障信息，这只要对 E^2PROM 重新置位就可以消除，但严重时需要送制造厂做软件恢复性维修。其他故障，如限流电阻烧损，其主要原因是通用变频器内部继电器损坏。

4）维护保养时应通过测量电解电容器的电容量来判断其劣化程度，当电容量低于初期值的 80%、绝缘阻抗在 5MΩ 以下时，应考虑更换电解电容器。

2. 控制电路板

1）控制电路板是变频器的心脏部分，由于集成芯片的各引脚之间的距离极小，要特别注意防止导电物质掉入，在粉尘大、湿度大的场合要注意除尘防潮，否则极易引起故障。在变频器运行环境较差的场合，应选用 IP 等级高的机型，另外要注意防尘，并增加清扫次数。

2）控制电路板上的电路种类较多，影响变频器寿命的也是电路中的电容器和逆变器电路中的缓冲电容器。其寿命主要由温度和通电时间决定。一般根据目测观察其表面是否有异常，然后确定测量点，找出故障位置；另外还可通过置换控制电路板的方法判断故障，必要时更换新的控制电路板。

3）控制电路板上的电流、电压检测通道，如果损坏会出现过电流故障。控制电路板损坏，是由于环境太差、有导电性固体颗粒附着在电路板上或者有腐蚀性气体，使控制电路板腐蚀而致绝缘降低；控制电路板的零电位是与机壳连在一起的，由于接地不良，会使控制电路板的零电位受干扰，造成控制电路板损坏；由于连接插件松动，如电流或电压反馈信号线接触不良，会出现过电流故障时有时无的现象等。

4）电源电路是为变频器本身提供工作电源，如控制端子用电源、逆变器驱动用电源、操作显示板电源及风扇用电源等，这些电源都是从主电路的直流电压回路取出后、通过开关电源再由内部变压器分路整流得到的，因此，某一回路的电源短路，除了使本回路的整流电路受损外，还可能影响其他电源部分，如若误将本机提供的控制端子用电源与公共地短接，将致使电源电路上的变压器或开关电源部分损坏；风扇电源的短路将导致其他电源故障等，一般通过观察电源电路元件的外观就比较容易发现。

5）逆变器驱动电路和缓冲电路以及过电压、断相等保护电路，与控制板间通过光耦合器相连接，控制电路板将 PWM 驱动信号输入到逆变器功率模块上，或保护电路将故障信号传输到控制电路板上，所以在检测逆变器模块的同时，还应测量光耦合器，以判断逆变器是否受到影响。

3. 冷却风扇

1）冷却风扇主要包括散热片和冷却风扇。冷却风扇出现异常或运行一定时间后就应考虑更换新的冷却风扇。

2）保证变频器在较低温度状态下运行是延长通用变频器寿命的基本条件。因此需要在安装变频器时降低环境温度，尤其是需要将通用变频器安装在控制盘内时更需注意。

4. 操作与显示面板

操作与显示面板包括参数设定和显示接口电路，及发光二极管或者 LCD 液晶显示屏。接口电路内的集成芯片和辅助回路一般不易出现故障，只有当发光二极管变暗或显示字符出现缺损及液晶显示屏的显示

明显变淡时，才考虑更换新的操作与显示面板。

（六）变频器控制系统中的电力电缆及其电磁兼容性

（1）馈电电缆电压等级的选择　额定电压为380V等级的通用变频器应选用耐压为1000V的电缆产品，至少也要选择750V以上的电缆产品。

（2）馈电电缆载流量的选择　在馈电电缆中除了流通通用变频器向电动机输出的负载电流之外，还有通过由于寄生电流流通的电容电流，电容电流的大小与电缆长度、电缆的分布电容及变频器的载波频率成正比，这些电容电流将使电缆的实际电流增大。一般按1个千瓦3~4个电流选取。

（3）馈电电缆的屏蔽　一般地应选择对称芯线带屏蔽的电缆结构，采用对称屏蔽电缆可以减少通用变频器控制系统的电磁辐射，以及减小电动机的轴电流和由此引起的轴承磨损等。

（4）电缆的绝缘介质　在1kV及以下塑料电缆中，交联聚乙烯（XLPE）电缆的电性能优于聚氯乙烯电缆（PVC），在敷设弯曲半径较小的场合，乙丙橡胶绝缘电缆柔软性好，可根据具体情况选用：从绝缘介质的角度进行比较，聚氯乙烯电缆、交联聚乙烯电缆和普通橡胶电缆相比较，通常普通电缆的分布电容要比变频器专用电缆大一个数量级。从介质损耗和介电常数两个参数进行比较，交联聚乙烯或普通橡胶电缆均优于聚氯乙烯电缆。

（5）电缆附件　不仅要考虑电缆本身的电磁兼容性要求，还必须考虑整个电缆线路中的电缆接头、中间接头、终端封头及各种端接材料和导电垫衬材料的屏蔽连续性，防止电磁干扰能量的泄露和辐射。

（七）变频器控制系统中的接地

（1）主回路接地　变频器主回路接地端子PE（E、G）的正确连接是提高变频器抑制噪声能力和减小干扰的重要手段。由于变频器内部控制端子上的控制屏蔽接地及采用线性电源变压器的屏蔽层均连接至PE，因此PE的连接情况直接关系到通用变频器的可靠性。变频器应采用专用接地线，变频器接地导线的截面积一般应不小于2.5mm^2，长度控制在20m以内。变频器应避免与其他设备公用接地，变频器的接地与其他动力设备接地点必须分开，不能共用接地。

（2）控制线屏蔽接地

1）传感器信号屏蔽接地：生产线和设备上安装压力、温度、张力、线速度等检测传感器、速度传感器（如脉冲编码器、旋转变压器）等，这些传感器的信号线均采用屏蔽线，而且屏蔽线在传感器内部与传感器壳体接在一起。当传感器安装在电动机、管道或生产线设备上时，屏蔽层就与这些设备相连接，传感器与变频器连接时，屏蔽层又连接至PE端子上。因此，在采用外部传感器的控制系统中，距离较远时，一定要保证外部设备和变频器可靠独立接地，或选用传感器外壳不与控制屏蔽层连接的传感器，在变频器侧要一点接地，距离较近时，可采用公共接地母排接地，保证传感器与控制设备接地点之间电位差近似为零，从而消除地环流形成的干扰。

2）模拟信号屏蔽层接地：双绞线或双绞屏蔽线对磁场的屏蔽效果明显优于单芯屏蔽线，对于采用4~20mA/0~10V等模拟信号控制变频器频率/转速的系统中，一定要采用双绞线或屏蔽电缆。变频器控制系统中，一般在信号电缆数量多的控制装置一侧接地。另外，对于抗干扰要求非常高的场合，可采用双屏蔽电缆，此时，外屏蔽层接至屏蔽地线，内屏蔽层接至系统地线。系统地线可以是通用变频器外部控制隔离地、模拟控制地，或系统独立的接地线。对于共模干扰严重的场合，可通过加装共模电感来消除共模干扰，也可采用DC/DC隔离模块来实现电气隔离，彻底杜绝干扰。

3）通信线屏蔽接地：变频器通信控制信号一般低于100kHz，通常采用屏蔽控制电缆或双绞线。在通信频率低于100kHz时，选用一点接地效果较好，对于如PROFIBUS、MODBUS等现场总线控制的高速通信控制电缆的屏蔽层应该采用多点接地，最少也应该在两端接地。一般情况下，当低频干扰严重时应采用屏蔽单点接地，在高频干扰严重情况下要多点接地，同时利用通信电缆中提供的一根等电位线将各节点的通信地串接起来，以提高抗干扰能力。

（3）变频器附件接地　变频器控制系统中，根据需要有的加装直流电抗器或交流输入电抗器、有的在变频器输出侧加装交流电抗器、有的在变频器输入侧加装EMI滤波器等等，它们的接地点的连线也是非常重要的。对于在同一控制柜中的中小功率变频器其控制系统，采用公共母排接地方式较好；对于不在同一控制单元，较为分散的系统，在不同单元之间采用独立接地方式较好。

（4）测试中的接地问题　变频器的维修过程中，在检测功率模块时，需要采用示波器观察三相输出电压和电流波形。在采用示波器测量PWM驱动波形时，不要直接测量，应采用高压探头进行测量。如无隔离措施，应将示波器电源接地端子暂时断开，以确保示波器机壳带电部分与其他电源或线路绝缘，特别是将示波器放置于导电的防静电实验台上时，要注意其外露金属壳体部分不与导电桌布接触，然后采用带

衰减的示波器探头直接测量。

（八）调整和试验

1. 常规检查

（1）内部清扫　用吸尘器吸取内部尘埃，吸不掉的东西用绸布擦拭，清扫时应自上而下进行，主回路元件的引线、绝缘端子以及电容器的端部应该用软布小心地擦拭。冷却风扇系统及通风道部分应仔细清扫，保持变频器内部的清洁及风道的畅通。应一边吸尘一边观察可疑的故障部位，对于可疑的故障点应做好标记，保留故障印迹，以便进一步判断故障，有利于安装和排除故障。

（2）检查所有接线点、连接点和螺钉之间有无松动、有无发热或烧灼痕迹、有无接触不良、并用扳手、套管扳手、起子等紧固工具，对其一一紧固，紧固后再进行一次紧固检查。对于有锡焊的部分、压接端子处应检查有无脱落、松弛、断线、腐蚀等现象。还应检查框架结构件有无松动，导体、导线有无破损、变异等。检查时可用起子、小锤轻轻地叩击给以振动，检查有无异常情况产生，对于可疑地点应采用万用表测试。

（3）电容器检查　滤波电容器有无漏液，电容量是否降低。有自动指示滤波电容容量功能的变频器，可由面板显示出电容量及出厂时容量初始值，并显示容量降低率，推算的电容器寿命等。无此功能的则需要采用电容测量仪测量电容量，测出的电容量应大于初始电容量的 85%，否则应予以更换。浪涌吸收电容器、电阻器应检查有无异常，二极管限幅器、非线性电阻等有无变色、变形等。

（4）控制电路板检查　检查应注意连接有无松动、电容器有无漏液、板上线条有无锈蚀、断裂等。控制电路上的电容器。若其表面无异常现象发生，则可判定为正常。控制电路上的电阻、电感线圈、继电器、接触器的检查，主要看有无松动和断线，各类元器件有无变色变形或过热烧坏情况等。

（5）绝缘电阻的测定

1）主回路绝缘电阻的测定：在做主回路绝缘电阻的测定时，应保证断开主电源，并将全部主电路端子，包括进线端（R、S、T 或 L1、L2、L3）和出线端（U、V、W）及外接电阻端子短路，以防高压进入控制电路。将 500V 绝缘电阻表接于公共线和大地（PE 端）间，绝缘电阻表指示值大于 5MΩ 为正常。

电动机及电缆绝缘的测量必须将电动机电缆从变频器的 U、V、W 端子和电动机上拆下，测量相间和相对地（外皮）绝缘电阻，其绝缘电阻应大于 5MΩ。

电缆绝缘检测的方法是将电源电缆与变频器的 R、S、T 或 L1、L2、L3 端子及电源分开，测量相间和相对地绝缘电阻，其绝缘电阻应大于 5MΩ。

电动机绝缘检测的方法是将电动机与电缆拆开连接，在电动机接线盒端子间，测量电动机各绕组绝缘电阻，测量电压不得大于 1000V，但也不得小于电源电压，其绝缘电阻应大于 1MΩ。

2）控制电路绝缘电阻的测定　用万用表的高阻挡测量控制电路的绝缘电阻，测量值大于 1MΩ 为正常。

3）外接线路绝缘电阻的测量　在测量外接线路的绝缘电阻时，必须把需要测量的外接线路从变频器上拆下后再进行测量，防止绝缘电阻表的高压加到变频器上，并应注意检查绝缘电阻表的高压是否有可能通过其他回路施加到变频器上，否则应将所有有关的连线拆下。

（6）保护回路动作检查　保护回路动作检查应在上述检查项目完成后进行。

1）过电流保护功能的检测：通常是通过模拟过载，调整动作值，试验在设定过电流值下能可靠动作并切断输出。

2）断相、欠电压保护功能检测：在变频器电源输入端通过调压器供电给通用变频器，模拟断相、欠电压等故障，观察通用变频器的断相、欠电压等相关的保护功能动作是否正确。

2. 变频器的检测测量方法

变频器的测量电路见图 7-160，并按其选择测量仪表，采用的仪表类型见表 7-52。测量功率因数不能用功率因数表测量，应采用实测的电压、电流值通过计算得到。

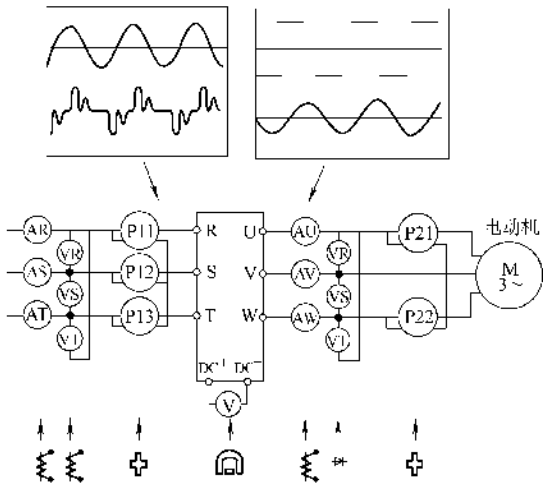


图 7-160　变频器的测量电路

表 7-52 主电路测量时推荐使用的仪表

测定项目	测定位置（见图 7-160）	测定仪表	测定值的基准
电源侧电压 U_1 和电流 I_1	R-S、S-T、T-R 间和 R、S、T 中的线电流	电磁式仪表	通用变频器的额定输入电压和电流值
电源侧功率 P_1	At-R、S、T 和 R-S、S-T、T-R	电动式仪表	$P_1 = P_{11} + P_{12} + P_{13}$（3 功率表法）
电源侧功率因数	测定电源电压、电源侧电流和功率后，按有功功率计算式计算，即 $\cos\varphi_1 = P_1/\sqrt{3}U_1I_1$		
输出侧电压 U_2	U-V、V-W、V-U 间	整流式仪表	各相间的差应在最高输出电压的 1% 以下
输出侧电流 I_2	U、V、W 的线电流	电磁式仪表	各相的差应在变频器额定电流的 10% 以下
输出侧功率 P_2	U、V、W 和 U-V、V-W	电动式仪表	$P_2 = P_{21} + P_{22}$，2 功率表法（或 3 功率表法）
输出侧功率因数	计算公式与电源侧的功率因数一样：$\cos\varphi_2 = P_2/\sqrt{3}U_2I_2$		
整流器输出	DC^+ 和 DC^- 间	动圈式仪表（万用表等）	$1.35U_1$，再生时最大 850V（380V 级），仪表机身 LED 显示发光

（1）变频器主电路电气量的测量

1）变频器输出电流的测量：选择能测量畸变电流波形有效值的仪表，如 0.5 级电磁式（动铁式）电流表和 0.5 级电热式电流表，测量结果为包括基波和谐波在内的有效值，当输出电流不平衡时，应测量三相电流并取其算术平均值。当采用电流互感器时，在低频情况下应选择适当容量的电流互感器。

2）变频器电压的测量：一般选择整流式电压表（0.5 级），需要时可考虑用适当的转换因子表示其实际基波电压的有效值。数字式电压表不适合输出电压的测量。为了进一步提高输出电压的测量准确度，可以采用阻容滤波器与整流式电压表配合使用，见图 7-161 所示。输入电压的测量可以使用电磁式电压表或整流式电压表。考虑会有较大的谐波，推荐采用整流式电压表。

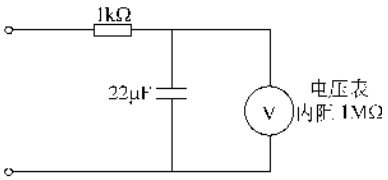


图 7-161 阻容滤波器的使用

3）变频器的输入/输出功率的测量：使用电动式功率表或数字式功率表测量，输入功率采用 3 功率表法测量，输出功率可采用 3 功率表法或 2 功率表法测量。当三相不对称时，用 2 功率表法测量将会有误差。当不平衡率 > 5% 额定电流时，应使用 3 功率表测量。

4）变频器输入电流的测量：使用电磁式电流表测量有效值。为防止由于输入电流不平衡时的测量误差，应测量三相电流，并取三相电流的平均值。

5）直流母线电压的测量：直流母线电压的测量是在变频器带负载运行下进行的，在滤波电容器或滤波电容器组两端进行测量。把直流电压表置于直流电压正、负端，测量直流母线电压应等于线路电压的 1.35 倍，这是实际的直流母线电压。电容器被充电，此读数应保持恒定。将交流电压表置于同样位置测量交流纹波电压，当读数超过 AC 5V 时，这就预示滤波电容器可能失效，应采用 LCR 自动测量仪或其他仪器进一步测量电容器容量及其介质损耗等，如果电容量低于标称容量的 85% 时，必须予以更换。

6）电源阻抗的影响：一般采用谐波分析仪进行谐波分析，并对系统综合分析判断，当电压畸变率大于 4% 以上时，应考虑加装交流电抗器抑制谐波，也可以加装直流电抗器，提高功率因数，并有减小谐波的作用。

7）压频比的测量：将整流式电表（万用表、整流式电压表）置于交流电压最大量程，在变频器输出为 50Hz 运行下，在变频器输出端子（U、V、W）处测量送至电动机的线电压，读数应等于电动机的铭牌额定电压；接着，调节变频器输出为 25Hz 运行下，

电压读数应为上一次读数的 1/2；再调节变频器输出为 12.50Hz 运行下，电压读数应为电动机的铭牌额定电压的 25%。

8）功率模块漏电流的测量：功率模块漏电流的测量是在变频器通电并按给定指令运行时，调节变频器输出为 0Hz 运行下，测量电动机端子间的线电压，这时变频器中的功率模块不应被驱动，但在电动机上可有 40V 左右的电压或较少的漏电流。如电压超过 60V 就应判断功率模块存在故障或表明功率模块有故障预兆，应对其进一步检查。

9）通用变频器效率的测量：变频器的效率需要测量输入功率 P_1 和输出功率 P_2，由 $\eta=(P_2/P_1)\times 100\%$ 计算。测量时应注意电压畸变率小于 5%，否则应加入交流电抗器或直流电抗器，以免影响测量结果。

（2）主回路整流器和逆变器模块的测试

变频器的输入输出端子 R、S、T、U、V、W 及直流端子 P、N 上，见图 7-162 所示，用万用表电阻档，变换测试笔的正负极性，根据读数即可判定模块的好坏。一般不导通时，读数为“∞”，导通时为几十欧姆以内。模块的好坏可按表 7-53 进行判定。

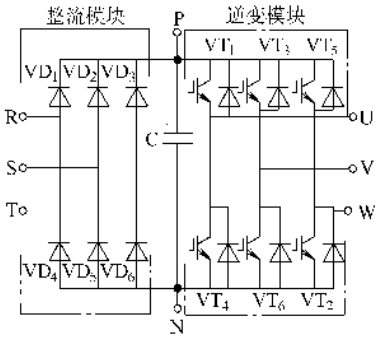


图 7-162　变频器模块测试图

表 7-53　模块测试判别表

测试项目	测试点	电表极性 +	电表极性 −	测定值
整流模块	V1	R	P	不导通
		P	R	导　通
	V2	S	P	不导通
		P	S	导　通
	V3	T	P	不导通
		P	T	导　通
	V4	R	N	导　通
		N	R	不导通
	V5	S	N	导　通
		N	S	不导通
	V6	T	N	导　通
		N	T	不导通
逆变模块	TR1	U	P	不导通
		P	U	导　通
	TR3	V	P	不导通
		P	V	导　通
	TR5	W	P	不导通
		P	W	导　通
	TR4	U	N	导　通
		N	U	不导通
	TR5	V	N	导　通
		N	V	导　通
	TR6	W	N	导　通
		N	W	不导通

（九）变频器控制系统故障判断及处理

变频器控制系统常见的故障主要有过电流、短路、接地、过电压、欠电压、电源断相、变频器内部过热、变频器过载、电动机过载、CPU 异常、通信异常等。不同型号规格的变频器故障判断处理方法不尽相同，应以其产品使用说明书为准。

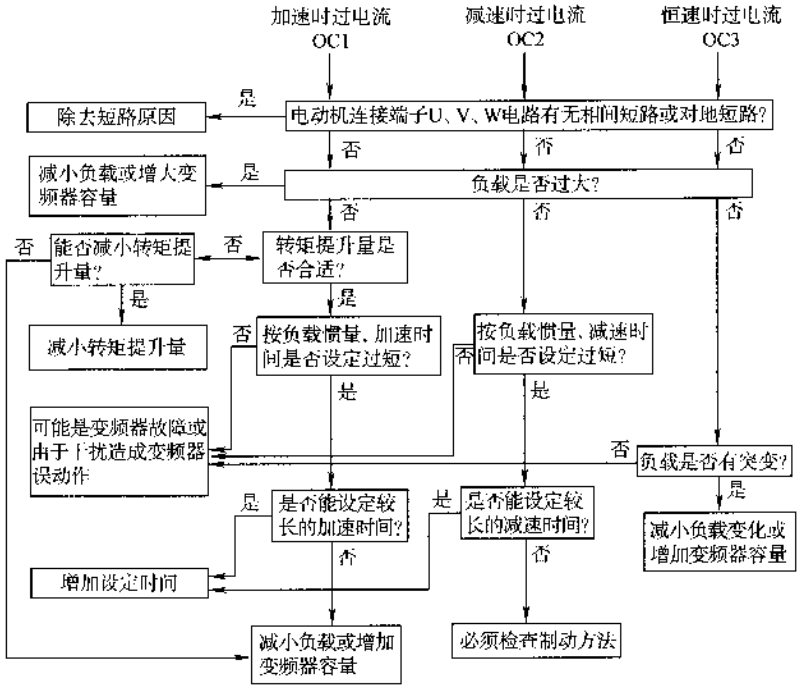
1. 变频器控制系统常见故障分析

（1）过电流引起跳闸

显示字符：OC1（加速时过电流）、OC2（减速时过电流）、OC3（恒速时过电流）。

跳闸原因：过电流或主回路功率模块过热。

故障判断：一般是由短路、接地、过负载、负载突变、加/减速时间设定太短、转矩提升量设定不合理、变频器内部故障或谐波干扰大等原因造成。故障判断程序如下：



故障分析：故障原因包含了过电流、短路、欠电压、接地、过热、谐波干扰等各种可能导致跳闸的因素在内。采用 IPM 模块的变频器后，在模块内包含有过电流、短路、欠电压、接地、过热等保护功能，而这些故障信号都是经过模块的控制引脚的故障输出 Fn 端引入到控制器的。准确判断跳闸是由负载原因还是由变频器的原因引起的是很重要的。确定变频器是在加速过程、减速过程还是在恒速过程中出现的过电流跳闸也是重要的。如果外观看不出明显的故障痕迹，可以先将变频器连接电动机的电缆拆下，分别试验变频器和电动机。变频器还连接有外部控制信号电路，也同时断开，这时可用手动方式试验变频器，如果正常，说明通用器正常。然后检查设定值是否有变化，并重新设定一遍。可以采用一个试验控制信号或电位器接到外部信号控制端子上，试验变频器的外部信号控制性能，如果正常，说明变频器完好。再用绝缘电阻表检查电动机绝缘情况、检查接触器的触点是否正常。最后采用工频电源起动电动机，运行一段时间后观察是否存在异常，然后检测电流、转速及温升情况。外部控制信号一般是各种传感器的输出信号，或来自于控制器，应根据传感器或控制器的检验方法检验，一般采用现场信号校验仪校验。经过检查测试基本可以确定故障部位。

是否存在电动机的堵转、电动机的突然甩负载（在变频器正常运行过程中突然断开负载等）等，堵转一般发生在电动机与机械连接部位的机械原因，或电动机轴承出了问题，甩负载一般发生在外部控制信号丢失的情况。当三相电流不平衡，则可能是电源侧断相、电动机端子或绕组内部断线等。若跳闸时的电流在变频器的额定电流或者电子热继电器的设定值范围内，可判定变频器内部的逆变器模块或相关部分发生故障。这时通过测量变频器主回路输出端子 U、V、W 分别与直流侧的 P、N 端子之间的正、反向电阻来判断逆变器模块是否损坏。模块无损坏，则是驱动电路出了故障。减速时逆变器模块过电流或是变频器对地短路跳闸，一般是逆变器桥臂的上半桥或其驱动电路部分发生故障，而加速时逆变器模块过流则是下半桥或其驱动电路部分发生故障。

变频器跳闸后，发现电动机外壳很热，则有可能是载波频率调整的过高所致。

外部原因引起过电流保护动作的可做如下分析。

1）电动机负载突变引起较大的冲击电流造成过电流保护动作。

2）电动机内部和电动机电缆绝缘破坏，造成匝间或相间及对地短路，因而导致过电流保护动作。对于对地短路接地故障，如果变频器有接地保护，则接地保护动作。

3）变频器控制系统中装有测速编码器时，速度反馈信号丢失或非正常时会引起过电流。外部控制信号线断线或传感器故障，也会引起过电流，导致过电

流保护动作。当变频器增加了反馈信号断线保护功能，可以通过设定程序防止这种故障发生。

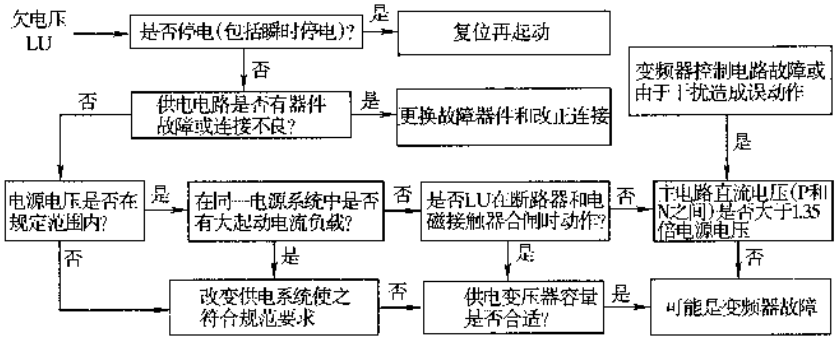
4）变频器输出侧安装了接触器，接触器的触点瞬间抖动、损坏等也会引起过电流保护动作，因此加强平时的巡视检查，并用万用表检查触点是否正常。

（2）欠电压引起跳闸

显示字符：LU。

跳闸原因：交流电源欠电压、断相、瞬时停电。

故障判断：一般是由电源电压偏低、电源断相、系统中有大起动电流的负载起动、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如下：



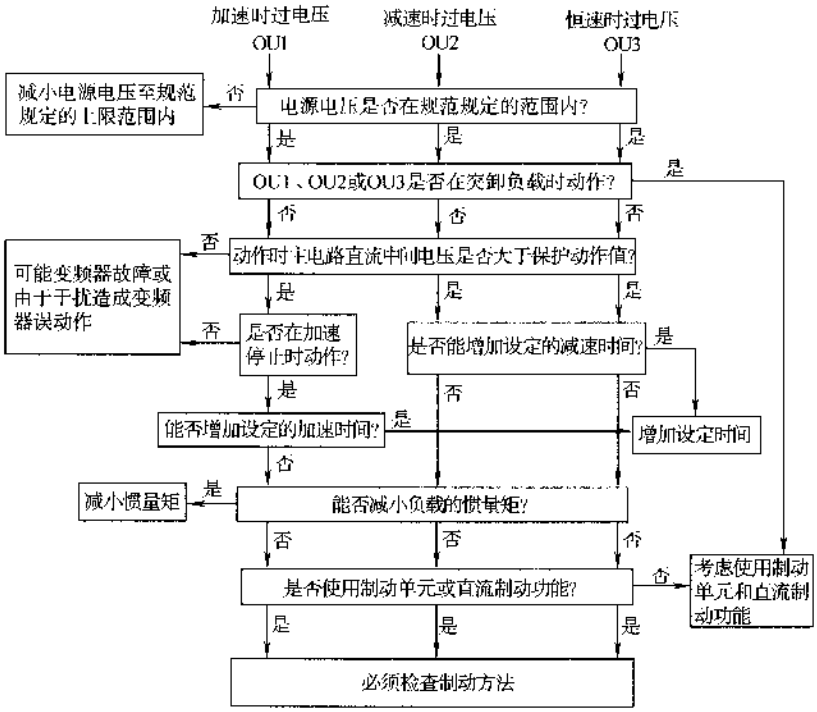
故障分析：电源开关（熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器、接触器等及其连线）回路是否有异常、接线端子处是否有松动、电源线路的线径太小，此外就是在变频器本身。

（3）过电压

显示字符：OU1（加速时过电压）、OU2（减速时过电压）、OU3（恒速时过电压）。

跳闸原因：直流母线过电压引起跳闸。

故障判断：一般是由于电源电压过高、制动力矩不足、中间回路直流电压过高、加/减速时间设定的太短、电动机突然甩负载、负载惯性大、载波频率设定不合适等原因所致。故障判断程序分析如下：



故障分析：过电压保护动作的原因是由于制动力矩小，电动机回馈能量太大，致使中间回路直流电压升高造成的。经常发生过电压保护动作，如没有加装外部制动电阻或制动单元，应加装；有外部制动电阻或制动单元，一般是容量偏小，应更换大一点的。应当判断是否由于设定的减速时间短造成的，否则应将

减速时间设长一点试验。在加速过程中出现的，就将加速时间设的长一些。偶然发生的过电压保护动作，一般是由电动机堵转、电动机突然甩负载、外部控制信号线断线或传感器故障造成的，使控制信号丢失、变频器功率模块故障、载波频率设定值不合适等。

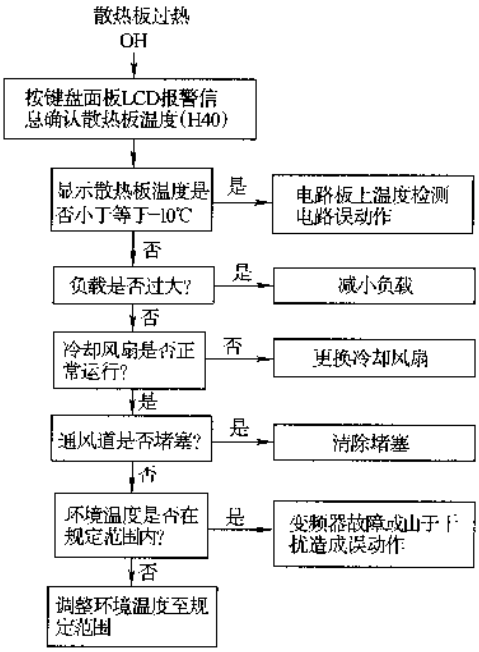
如果变频器一起动就将起动电路中的起动电阻烧坏，同时变频器显示过电压保护动作，原因一般是变频器内部的起动电阻两端的继电器触点接触不良或晶闸管导通不良所引起的。

（4）变频器过热引起跳闸

显示字符：OH1。

跳闸原因：散热器过热。

故障判断：一般是由负载过大、环境温度高、散热片吸附灰尘太多、冷却风扇工作不正常或散热片堵塞、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如下：



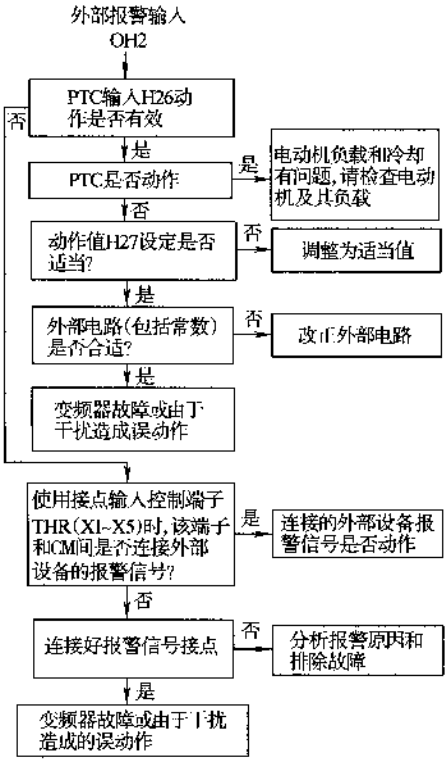
故障分析：冷却风扇是不是工作正常或散热通道不畅通、偶然发生的故障应检查工艺过程，是否有卡住、有堵、有无负载增大等，找到引起过载的原因，并采取相应措施，避免其再次发生。经常发生的情况，一般是变频器容量偏小或电源电压偏低的原因，另外可能是变频器本身故障如载波频率调整不当，谐波大所引起。

（5）外部报警输出引起跳闸

显示字符：OH2。

跳闸原因：外部电路异常。

故障判断：一般由外部电路连接不正确、变频器故障等原因所致。故障判断程序如下：



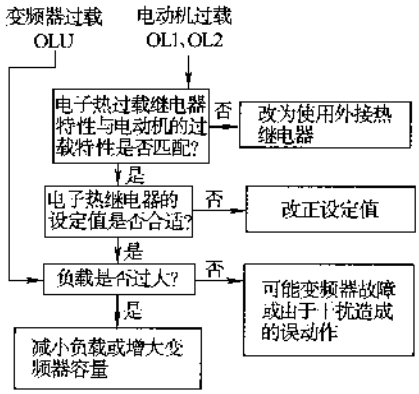
故障分析：一般发生在与通用变频器连接的外电路上，将电路普遍检查一遍，如果不能辨别故障点，就将这些连接回路全部从变频器上拆下，拆卸时必须记录原接线位置，不得混接然后起动变频器，变频器正常，再将这些连接回路一个一个地连回到变频器上，一般就会很快发现故障点。变频器故障同前。

（6）变频器过载、电动机过载引起跳闸

显示字符：OLU、OL1（电动机1过载）、OL2（电动机2过载）。

跳闸原因：负载过大、保护设定值不正确。

故障判断：一般由负载过大或变频器容量过小、电子热继电器保护设定值太小、变频器内部故障等原因所致。故障判断程序如下：

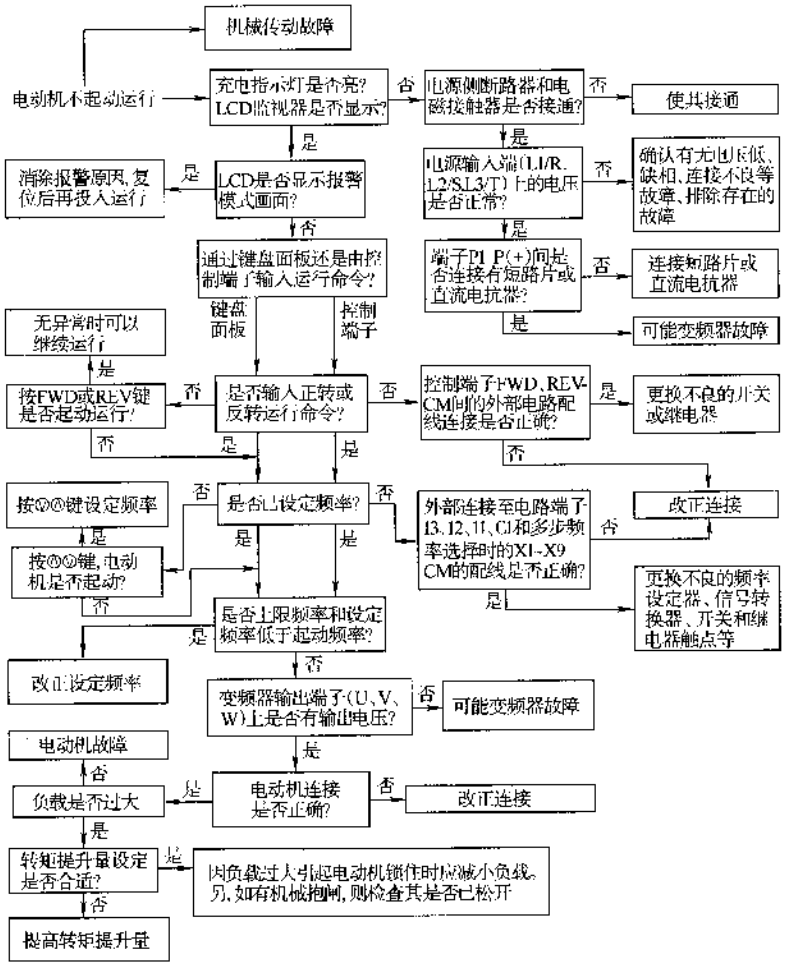


故障分析：电子热继电器保护的设定值是否已达到最大值，否则应将定值增大，并起动后观察电动机电流是否超过变频器的额定值。新装机，一般是因为 U/f 曲线设定不当或对于矢量控制型通用变频器的电动机参数输入错误，或者载波频率设定不当也会导致变频器过载、电动机过载故障。电动机运行频率太低，导致电动机过热而过载，另外，一般变频器容量偏小也易发生跳闸故障。

（7）电动机运行不正常

分析：是否是新装机或维护后发生，是由负载原因还是由变频器的原因引起的这是判断故障的基本思路。对于维护后出现电动机运行不正常的故障，应重复维护时的检查路径，检查连接线是否有松动或遗忘的连接线等。如果是新装机首先应检查是否有参数设定错误的地方，恢复出厂值，在手动方式下起动，这样可以排除是变频器的故障，还是电动机的问题，以及参数设定错误。通常做法一般是，外观看不出明显的故障痕迹的，手动方式起动变频器控制系统，如果调速正常，则可判定为参数设定错误所致。如果调速不正常，先将变频器连接到电动机的电缆拆下，分别试验变频器和电动机，以区分故障是发生在变频器还是电动机。先手动方式试验变频器，若正常，说明变频器没有问题，但要进一步检查设定值是否有变化，并重新设定一遍。电动机运行不正常并有振动和噪声。电动机噪声，不同的安装场所应采取不同的处理措施，在变频器调试过程中，在保证控制准确度的前提下，应减小脉冲转矩成分，并注意确认机械共振点，利用变频器的频率屏蔽功能，使这些共振点排除在运行范围之外。电动机故障可结合本章前述内容进行判断。

1）电动机不能起动。电动机不能起动故障判断程序如下：



① 检查电源电压，充电指示灯是否亮，LCD 是否显示报警画面，电动机和变频器的连接是否正确。

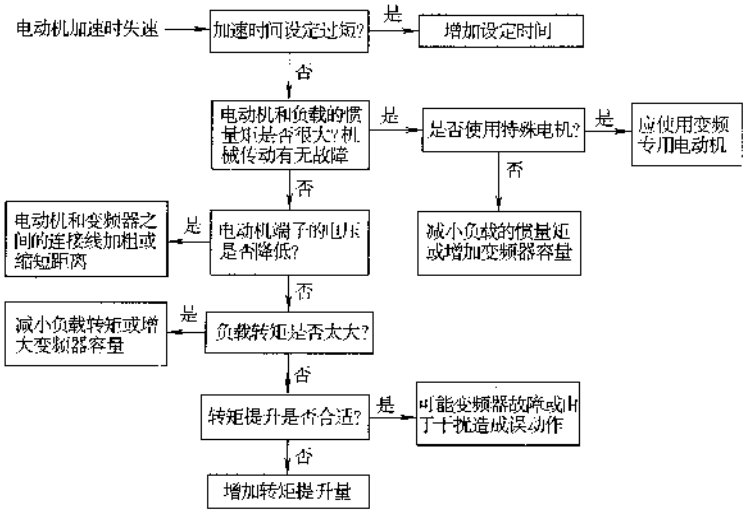
② 检查是否输入起动信号和 FWD、REV 信号，是否已设定频率或上限频率过低。

③ 检查各种功能代码设置是否正确。

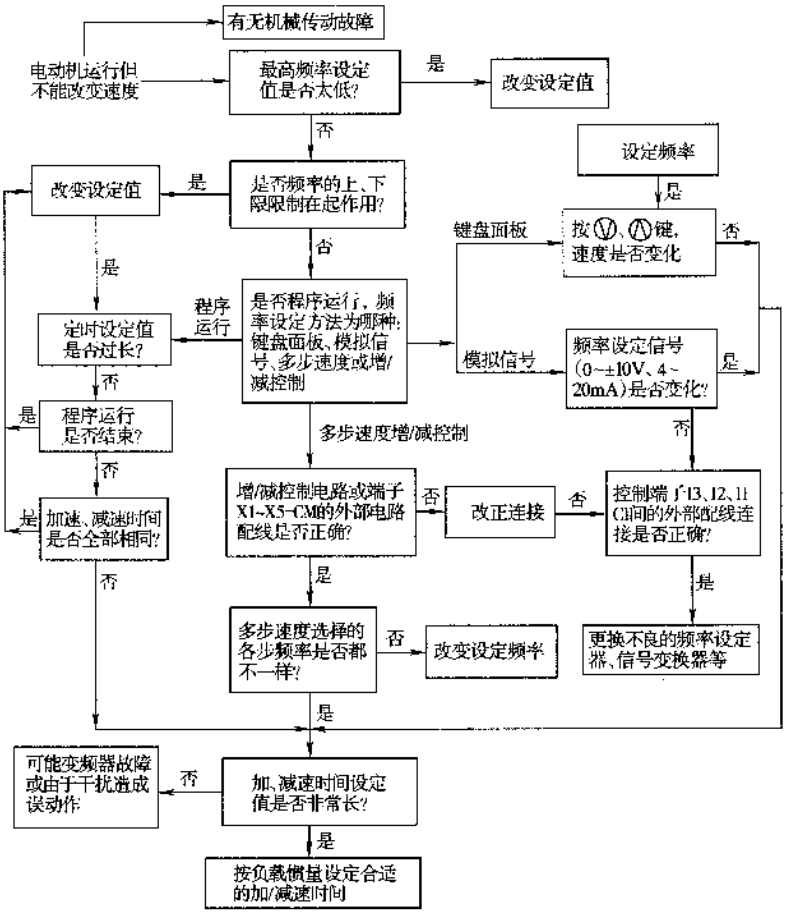
④ 检查负载是否太大或者机械系统有堵转现象。

⑤ 变频器和电动机之间装有热继电器，热继电器动作后未能复位。

2）电动机加速过程中失速：可能是由于加速设定时间过短或负载过大，转矩提升量不够而引起。故障判断程序如下：



3）电动机不能调速：原因可能是由于频率上、下限设定值不正确，或程序运行设定值不正确，当最高频率设定过低时，也会产生不能调速故障。故障判断程序如下：



4）电动机异常发热：一般是负载是否过大，连续低速运行，设定的转矩提升是否合适、谐波分量过大等原因。如检查后确不属这些原因就有可能是变频器输出电压三相不平衡。引起电动机过热的原因不外乎以下几点：

① 电动机过载运行，如定、转子之间摩擦（俗称扫膛）、装配不合格、被驱动的机械部分有摩擦或卡住等。

② 电动机断相运行、三相电压及三相电流的不平衡程度超出规定的允许范围。

③ 电源电压过高或过低，超出电动机额定电压的允许变动范围。

④ 电动机绕组接线错误，如定子绕组某相端接头接反等。

⑤ 电动机绕组存在故障，如绕组匝间或层间短路、绕组接地。

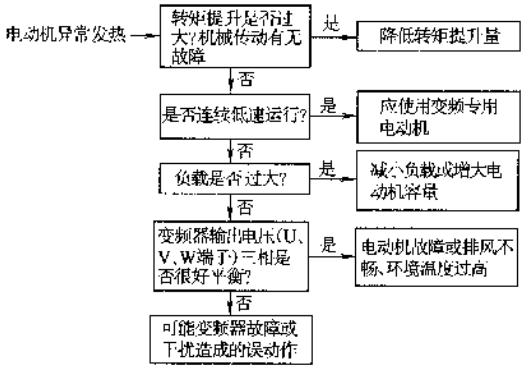
⑥ 定子铁心硅钢片之间绝缘损坏，以致定子铁心短路，引起定子铁心涡流增大，造成电动机过热。

⑦ 起动频繁、电动机风道阻塞，通风不良或风叶破损风力不够。

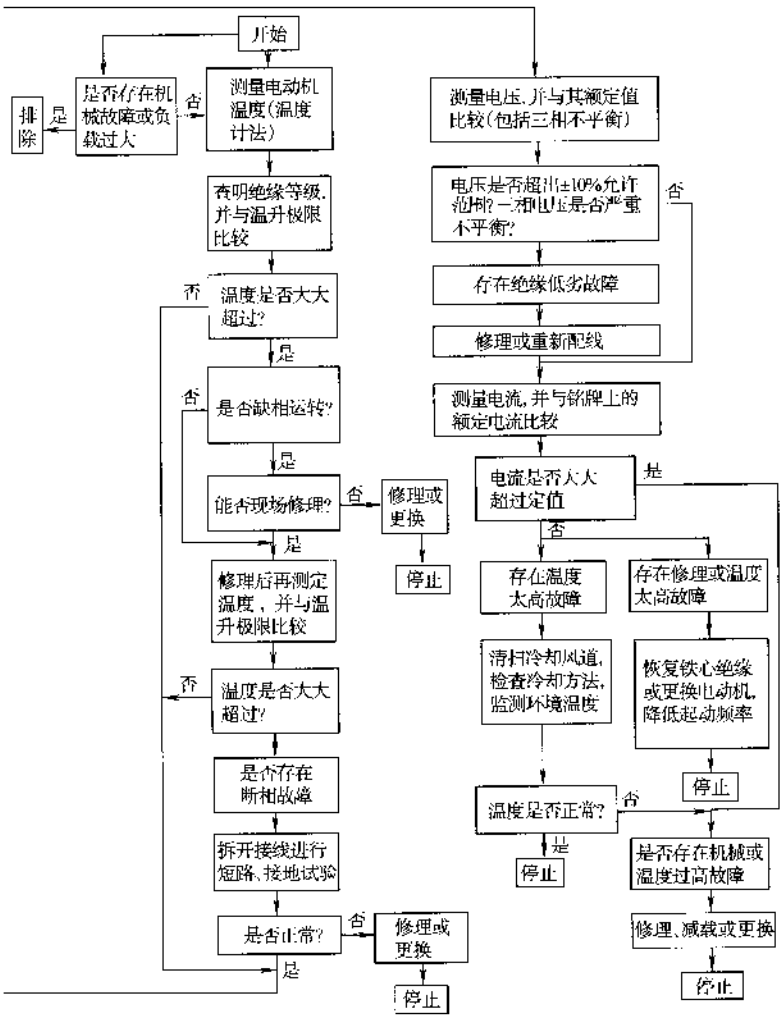
⑧ 电动机周围环境温度过高，散热不良、冷却效果差。

⑨ 超载运行时间过长。

电动机异常发热故障判断程序如下：

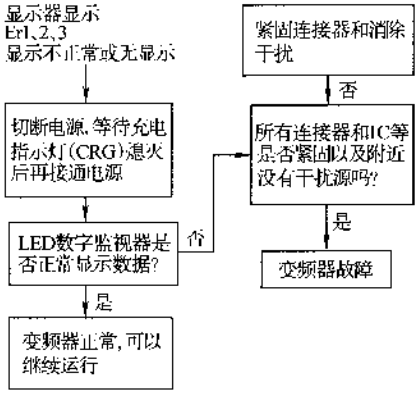


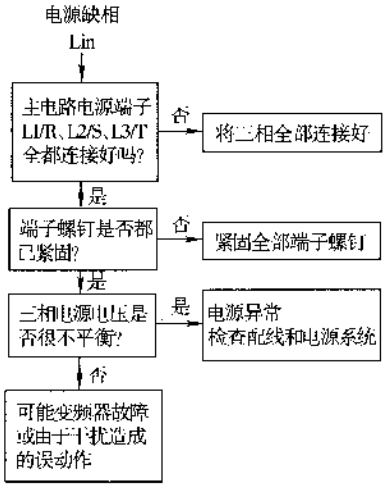
电动机过热原因判断程序如下：



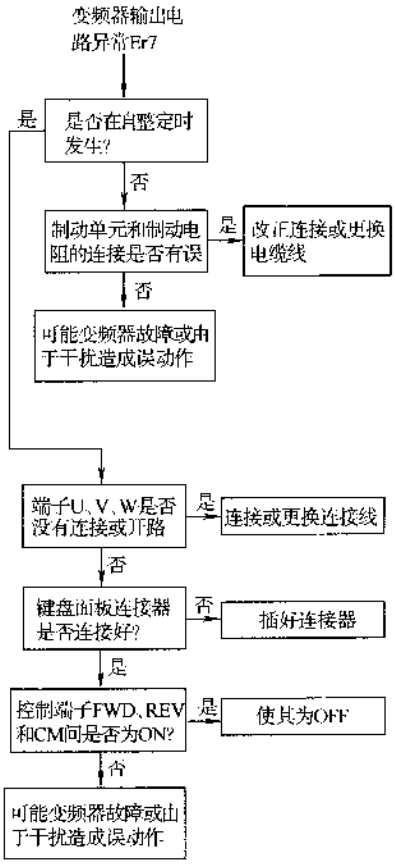
（8）不明原因故障

不明原因故障很多，也很难预测，这里举几个常见例子，供参考。





1）键盘面板通信异常、CPU 异常故障、内部存储器异常、输出电路异常、电源断相等，故障判断程序如下：



2）变频器周围有干扰源，将通过辐射或传导侵入通用变频器的内部，引起异常故障，使控制回路误动作，造成工作不正常或停机，严重时甚至损坏变频器。

3）变频器周围有振动源，会使变频器内部的元器件造成机械损伤、使接插件松动引起发热等，引起变频器异常故障。

4）变频器周围有潮湿、腐蚀性气体及尘埃等将造成电子器件生锈、接触不良、绝缘降低等，引起变频器时隐时现的异常故障，严重时导致永久性故障。

5）变频器周围环境温度过高或过低，也会影响元器件寿命及可靠性，特别是半导体器件，当结温临近或超过规定值将引发异常故障，严重时造成器件损坏。特殊的高寒场所，微处理器会因温度过低而不能正常工作，引起变频器异常故障。

6）变频器的电源异常，如断相、低电压、停电等，将直接导致变频器工作异常或故障。其主要原因是输电线路因风、雪、雷击或维护保养不到位，多年积聚缺陷而造成的，供电系统内出现对地短路及相间短路、雷击或感应雷击形成的冲击电压有时也能造成变频器的损坏。变频器附近有直接起动的大型电动机和电磁炉等设备，造成的电压降低。

7）变频器，虽然在断相状态也能继续工作，但整流器中的器件会因电流过大及电容器的脉冲电流过大，引起故障发生。

8）供电变压器一次侧真空断路器断开时，通过耦合会在二次侧形成很高的电压冲击尖峰，也将造成变频器运行发生异常故障。

9）矢量控制型变频器“全频域自动转矩补偿功能”是利用变频器内部微处理器的高速运算能力，计算出当前时刻所需要的转矩，迅速对输出电压进行修正和补偿，抵消因外部条件变化而造成的变频器输

出转矩变化。

一般是在变频器的内部设置各种故障防止措施，并使故障排除后仍能保持继续运行，内部故障自动复位并保持连续运行、负载转矩过大时能自动调整运行曲线、能够对机械系统的异常转矩进行检测等措施。这个系统出现隐患时，也会引起变频器不明原因故障。

2. 变频器控制系统中常见故障处理及注意事项

（1）变频器时三相输入电流不平衡　一般是由于变频器内部整流模块的三相参数不一致所致，电源回路（熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器、接触器等及其连线）接触电阻大或线径不一致，引起如接触器触点氧化严重，会造成触点间的接触电阻增大，很容易出现三相输入电流不平衡，造成的不平衡度有时会大于25%（一般情况下，电流不平衡度不应大于10%）。

（2）变频器工作时，电动机外壳会出现静电压　变频器输出电压为PWM高频脉冲序列波形，其频谱包络线为准正弦波，其中包含谐波分量，其瞬态电压幅值和频率很高，致使电动机绕组与外壳之间在强电场下产生电容效应、感应出较高电压（变频器外壳也有一定幅值的静电压）。同时，在工业现场，通常是无单独接地线，而采用零线替代，许多设备外壳与变频器共用同一个系统地线，这样会使整个系统产生电压很高的静电，干扰变频器的正常工作。因此，变频器的使用必须确保其外壳可靠接地。接地系统不得混用，保证变频器单独接地，故障就能排除。

（3）变频器不能与电动机串联接地　变频器接地系统不得混用，必须保证与电动机分别独立接地。在谐波分量的影响下，电动机外壳有较高的感应电压，如果直接将变频器外壳与它连接，会将这些谐波引入变频器内，从而产生干扰，影响通用变频器正常工作。

（4）变频器的“地”不能接零线　TT系统（三相四线制）中的零线接入的回路多，含有较多的谐波和各种杂波，当三相负载不平衡时有时还会有几十伏甚至上百伏的电压，一旦将变频器的“地”接入零线，就可能将这些谐波和各种杂波等引入到变频器内部形成干扰，影响变频器正常工作。因此，变频器必须单独接地。

（5）变频器对通风条件要求很高　变频器工作过程中，功率模块会产生热量，对电子元器件运行不利，如果不能及时散热，功率模块的温升会持续升高，从而使工作参数偏离正常值并降低工作能力，扰乱其工作程序，严重时功率模块会烧坏，导致变频器故障。

（6）变频器出现过电流保护频繁动作　电流保护包括过电流、短路、欠电压、接地等，显示的故障代码是一个，如“OC”。首先要检查通用变频器输出线、电动机输入端子等有无短路和接地现象；断开电动机测量变频器输出电压是否平衡、幅值是否正常。除了变频器本身故障外，电动机接线不可靠，会造成电动机输入断相、电动机绕组匝间短路、电动机绕组绝缘击穿、电动机输入端子间的绝缘降低；变频器通风冷却条件变差、温升加大等原因均会使保护动作。

（7）交流工频电源电动机能正常工作，使用变频器时电动机却发生过电流保护频繁动作　一般是电动机已受潮、绝缘强度很低或绕组匝间短路等，都会发生这些现象。在电网工频电源下有时可以运行，但铁损和铜损加大，负载能力会降低，电动机温升持续升高，输出力矩减小等现象，但不能被及时发现和注意。变频器输出电压中包含谐波分量，其瞬态电压幅值和频率很高，会加剧电动机绝缘老化和匝间短路，使瞬态电流幅值超过过电流允许值，因而过电流保护频繁动作。

（8）变频器运行中不得直接断开负载　变频器正常运行过程中突然断开负载，会造成变频器直流中间回路瞬间出现高压，引起过电压保护动作，严重时可能损坏滤波电容，或损坏逆变器。因此，当停机时或需要工频切换时，必须先使变频器降低运行频率或停机，然后才允许进行相应操作。

（9）多台变频器共用一个电源时的接线要求　多台变频器共用一个电源时，应使每台变频器的电源单独安装熔断器式刀开关、熔断器、低压断路器或接触器，否则，当其中一台变频器出现故障，可能影响其他变频器的正常工作，并且容易发生相互干扰，导致掉闸。同时要求电源的容量必须满足多台变频器的需要。

（10）变频器的两线控制、三线控制及PLC控制的区别　两线控制接线方式为电平控制方式，即在电动机运行时RUN和STOP端必须一直有直流24V电压，否则电动机停止运行；三线控制接线方式为脉冲控制方式，即要想使电动机运转，STOP端需一直有电，RUN端只要给一个脉冲即可，如按钮控制；PIC控制一般分开关量输出控制接线方式和PLC通信控制接线方式，开关量输出控制接线方式实际也是对变频器的端子进行控制，与两线控制接线方式或三线控制接线方式一样。而PLC通信控制接线方式是通过PLC发布控制命令对变频器进行控制，并不是通过PLC控制变频器的端子，这时要求STOP端必须一直

有电。

（11）变频器增大制动力的方法　电动机在制动过程中的再生能量将被聚积储在变频器中间直流回路的滤波电容器中，由于滤波电容器的电容量和耐压有限，因此，通用变频器的再生制动力矩一般约为额定转矩的10%～20%。如采用外置选用合适制动电阻、制动单元或能量回馈单元可以达到40%～100%的制动力矩。

（12）变频器控制端子接线时的注意事项　变频器控制系统中，在采用端子控制时，需要从控制端子外接入电位器或导线进行电位器或多段速调速控制。这些引线很容易遭受电磁干扰，而影响变频器的正常工作，多线并行时还容易引起共模干扰，致使控制信号失真，产生误动作。因此，一般条件下对模拟信号线应采用屏蔽导线，对其他控制线应使用屏蔽双绞线。

（13）采用变频器调速时，电动机长期低速运行保持低温的方法　功率较小的异步电动机工作在30Hz以上时，靠自身的扇叶完全可以满足冷却降温的要求。当电动机功率较大，并且需要经常工作在30Hz以下时，就需要额外考虑电动机的散热问题。一般是在其外部另外加一个冷却风扇强迫风冷，并单独设置控制电源使其恒速运转，这样无论变频器调速时电动机速度高低都进行强迫风冷，电动机运行时的温升可均被控制在允许范围内。

（14）变频器接入三相四线制漏电断路器频繁跳闸的原因　变频器运行时输出入电压中包含谐波分量，从而使电动机绕组与外壳之间以及导线对地之间产生寄生电容，这些寄生电容通过导线与地、机壳与地构成漏电流通路，当这个漏电流大于漏电断路器的整定电流值时，漏电断路器就会动作于跳闸。更换原有的漏电断路器、或采取降低变频器载波频率的方法，减小寄生电容造成的对地漏电流的影响。一般是在变频器输入侧加装隔离变压器的方法隔离漏电流。

（15）变频器电源控制回路的设置　变频器电源进线端必须装设电源控制回路，电源控制回路一般由熔断器式刀开关、低压断路器和接触器组成。其中，熔断器式刀开关的作用是使熔断器式刀开关有明显的断点，并集电源隔离开关和短路保护于一体；低压断路器的作用是作为电源开关，并具有过电流、过载保护和欠电压保护作用等。通常应选用具有复式脱扣器的低压断路器；接触器的作用是远距离控制变频器的电源，并有故障联锁控制，也起到欠电压保护作用但必须应将控制电源接于接触器前、低压断路器后，这样可在变频器主电路断电后，故障显示和集中报警输出信号将得以保持，便于实现故障检索及故障诊断。接触器作为通用变频器的起停控制信号，可直接起动变频器来实现电动机的控制，但绝对不能用于频繁起动的设备，否则极易损坏变频器。

（16）变频器输出侧装设热继电器式电动机过载保护的条件　变频器内部的电子热继电器可在50%～105%额定电流范围内选择设定。在下列情况时，外加热继电器代替电子热继电器：

1）一台变频器控制多台电动机；

2）需要频繁起动电动机；

3）变频器不具有电动机参数自适应功能，且电动机不是四极电动机或非标准通用电动机。

选用外部热继电器进行电动机过载保护时，热继电器应装设于靠近变频器输出侧，特别是当变频器与电动机之间的电缆较长时。

3. 变频器常见故障维修

（1）故障现象　变频器柜短路跳闸，故障显示欠电压

1）处理方法：检查变频器柜外围部分输入、输出电缆及电动机是否正常，变频器所配快速熔断器是否断，拆下变频器，检查交流输入端整流模块上3个铜母排之间有无明显的短路放电痕迹，整流管阻容保护电阻的线头是否被打断，其他部分外观有无异常。检查输入端4只整流管是否完好，将阻容保护电阻端控制线重新焊好。用万用表检查变频器主回路输入、输出端是否正常；主控制板是否正常；检查内部控制线连接是否良好，变频器内有无异物。将变频器分别接电压表和频率表，调节电位器，输出电压三相平衡，频率可调，说明调频功能正常。试验正常后接原电动机，变频柜盘面电压表指示输入交流电压为380V。按起动按钮，调节电位器，电动机运转。若当频率调至11Hz时，变频器跳闸，故障指示为“LU”，即直流回路欠电压保护。可将电动机拆除，空载试验变频器，调节电位器频率可以调至设定值50Hz。重新连接电动机起动后，在调节频率的同时测量直流输出电压，若发现在频率上升时，直流电压由513V降至440V左右，应使欠电压保护动作。若在送电后，发现变频器内部冷却风扇工作异常，接触器K73触点未闭合（正常情况下，K73应闭合，以保证对充电电容足够的充电电流）。应检查控制回路有无故障。再用万用表测量配电室熔断器式刀开熔丝有无熔断，处理后重新送电，变频器、电动机等即可正常。

2）事故分析

①　变频器柜短路保护装置跳闸原因。经检查变

频器内快速熔断器完好，说明其逆变器回路无短路故障，故障原因可能发生在整流桥附近，根据有电击的印迹可判断变频器内有无进入异物，如小动物、昆虫、螺钉、金属丝等，而在运行中滑至 L1 整流桥母排间造成短路，同时将阻容保护电阻连接线打断，变频器跳闸，短路电流将异物烧熔。

② 送电时欠电压跳闸原因。L1 输入侧短路时，将配电室对应 L1 相的熔断器烧断，但因红色指示器未弹出来，有时未及时发现；变频器柜上电压表指示恰好引自 L2、L3 两相，指示为 380V，误为输入电压正常；变频器内部控制回路电压由控制变压器二次侧提供，其一次电压取自 L1、L3 两相，L1 断相后，造成接在二次侧的接触器和冷却风扇失去电源，引起整流桥输出电压降低，当频率调升至一定程度时，随着负载的增大，滤波电容器两端电压下降较快，形成欠电压保护跳闸。处理时应仔细查看相关电源的接线，判断接线相序，对处理故障有很大帮助。

（2）故障现象　调试时电动机从较高转速减速至零速时失速。

处理方法：检查制动电流极限值设定值，中间直流回路电压极限值设定值，在减速过程中，中间直流回路电压是否已升至极限值，则中间直流回路电容器两端的电阻功率有限，致使中间直流回路电压迅速升至极限值，制动转矩太小而造成失速。可将制动电流极限值设定为 67% 变频器减速功能即可恢复正常。

（3）故障现象　接通电源后通用变频器无显示。

处理方法：测量电源板进线电压是否正常，否则说明电源板有故障。查看说明书和原理图仔细查看电源部分接线情况，一般电源板由 PWM 控制器 SG3526N 产生控制信号驱动主电路的两只开关管轮流工作，经开关变压器及各整流电路得到变频器内部工作所需要的各种电源。若检查发现四路差分电压比较器 LP339 的一路输出端为高电平，则与 SG3526N 的电源端 17 脚相连的一个场效应晶体管截止，SG3526N 不能产生控制信号。若在检查 LP339 的外围电路无故障，则应更换该 LP339，变频器即可恢复正常。

（4）故障现象　运行中显示“过电流”故障，跳闸后故障不能复位。

处理方法：变频器在过电流跳闸后，则应停电检查变频器逆变器侧各元件、电缆及电动机是否正常。若经检查发现，变频器中间直流回路上的继电器不能工作，则说明故障在检测电路或其后续电路，当测量电流反馈信号测试端，其中 V 相电压值为 7.68V，远大于变频器允许通过最大电流对应的 2.5V，而另外两相的电流反馈电压值为 0V，则更换 V 相电流互感器后，变频器即可正常。

（5）故障现象　故障显示电动机过热。

处理方法：先检查电动机是否正常、负载也是否增大。这台被控电动机上没有 PTC 元件，相应接线端已被短接，则说明故障在变频器控制主板上。经检查发现温度检测电路中的一个 100Ω 的贴片电阻，若开路，则造成检测电路的分压比变化，使 PTC 保护电路误动作。更换该电阻后，变频器恢复正常。如果将控电动机绕组内预埋的测温元件 PTC 与通用变频器控制主板上的相应接线端相连接，即可对电动机的温度进行监控。

（十）软起动器

软起动器与变频起动器基本相同，但功能较变频器少，其安装、调试、运行及维修与变频器有很多相同的地方，这里将施耐德 ATS46 软起动器部分参数列出，供参考，见表 7-54 ~ 表 7-56，常用软起动器接线图见图 7-163。

表 7-54　软起动器参数表（一）

电机				起动器			
电机功率/额定电压				出厂设置电流	额定电流（起动器电流极限）	起动器型号①	重量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
4	7.5	7.5	9	15.2	17	ATS-46D17N	4.100
5.5	11	11	11	21	22	ATS-46D22N	4.100
7.5	15	15	18.5	28	32	ATS-46D32N	4.400
9	18.5	18.5	22	34	38	ATS-46D38N	4.400
11	22	22	30	42	47	ATS-46D47N	6.900
15	30	30	37	54	62	ATS-46D62N	6.900
18.5	37	37	45	68	75	ATS-46D75N	10.700
22	45	45	55	80	88	ATS-46D88N	10.700
30	55	55	75	98	110	ATS-46C11N	11.900
37	75	75	90	128	140	ATS-46C14N	16.000
45	90	90	110	160	170	ATS-46C17N	44.000
55	110	110	132	190	210	ATS-46C21N	44.000
75	132	132	160	236	250	ATS-46C25N	44.000
90	160	160	220	290	320	ATS-46C32N	45.000
110	220	220	250	367	410	ATS-46C41N	56.000

（续）

电机				起动器			
电机功率/额定电压				出厂设置电流	额定电流（起动器电流极限）	起动器型号①	重量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
132	250	250	315	430	480	ATS-46C48N	62.000
160	315	355	400	547	590	ATS-46C59N	62.000
—	355	400	—	610	660	ATS-46C66N	62.000
220	400	500	500	725	790	ATS-46C79N	112.000
250	500	630	630	880	1000	ATS-46M10N	124.000
355	630	710	800	1050	1200	ATS-46M12N	124.000

① 不带对话选件的装置型号。可选件可以单独订购，请参见产品目录。

表 7-55 软起动器参数表（二）

电机				起动器			
电机功率/额定电压				出厂设置电流	额定电流（起动器电流极限）	起动器型号	重量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
3	5.5	5.5	7.5	11	12	ATS-46D17N	4.100
4	7.5	7.5	9	15.2	17	ATS-46D22N	4.100
5.5	11	11	11	21	22	ATS-46D32N	4.400
7.5	15	15	18.5	28	32	ATS-46D38N	4.400
9	18.5	18.5	22	34	38	ATS-46D47N	6.900
11	22	22	30	42	47	ATS-46D62N	6.900
15	30	30	37	54	62	ATS-46D75N	10.700
18.5	37	37	45	68	75	ATS-46D88N	10.700
22	45	45	55	80	88	ATS-46C11N	11.900
30	55	55	75	98	110	ATS-46C14N	16.000
37	75	75	90	128	140	ATS-46C17N	44.000
45	90	90	110	160	170	ATS-46C21N	44.000
55	110	110	132	190	210	ATS-46C25N	44.000
75	132	132	160	236	250	ATS-46C32N	45.000
90	160	160	220	290	320	ATS-46C41N	56.000
110	220	220	250	367	410	ATS-46C48N	62.000
132	250	250	315	430	480	ATS-46C59N	62.000
160	315	355	400	547	590	ATS-46C66N	62.000
—	355	400	—	610	660	ATS-46C79N	112.000

（续）

电机				起动器			
电机功率/额定电压				出厂设置电流	额定电流（起动器电流极限）	起动器型号	重量
230V	400V	440V	500V				
kW	kW	kW	kW	A	A		kg
220	400	500	500	725	790	ATS-46M10N	124.000
250	500	630	630	880	1000	ATS-46M12N	124.000

表 7-56 软起动器参数表（三）

1.1～11kW 软起动器

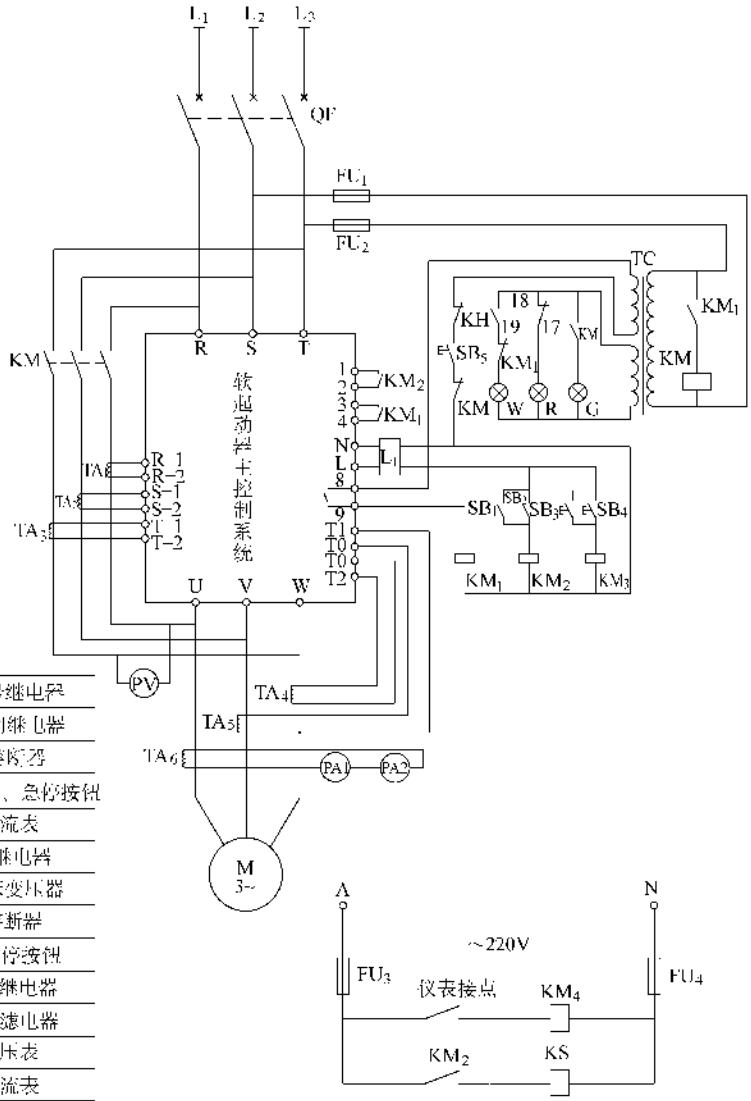
50Hz 电机的标准功率						额定工作电流	基本型号加电压代码组成完整型号	重量
三相					单相			
230V	230V	400V	400V	460V	230V			
kW	HP	kW	HP	HP	kW	A		kg
1.1	1.5	3	3	4	0.75	6	LH4-N106..7	0.300
2.2	3	5.5	5	7.5	1.5	12	LH4-N112..7	0.300
5.5	7.5	11	10	15	3	22	LH4-N125..7	0.500

1.1～11kW 软起动-软停止装置

50Hz 电机的标准功率					额定工作电流	基本型号加电压代码组成完整型号	重量
三相							
230V	230V	400V	400V	460V			
kW	HP	kW	HP	HP	A		kg
1.1	1.5	3	3	4	6	LH4-N206..7	0.400
2.2	3	5.5	5	7.5	12	LH4-N212..7	0.400
5.5	7.5	11	10	15	22	LH4-N225..7	0.600

15～75kW 软起动-软停止装置

50Hz 电机的标准功率							额定工作电流	型号	重量
三相									
230V	400V			460V	575V	690V			
kW	HP	kW	HP	HP	HP	kW	A		kg
		15	15				32	LH4-N230Q7	2.400
7.5	70	15	15	20	30	30	32	LH4-N230LY7	2.400
		22	25				44	LH4-N244Q7	2.400
11	15	22	25	30	40	37	44	LH4-N244LY7	2.400
		37	40				72	LH4-N272Q7	3.800
15	25	37	40	50	S0	55	72	LH4-N272LY7	3.800
		45	50				85	LH4-N285Q7	3.800
22	30	45	50	60	75	75	85	LH4-N285LY7	3.800



KS	信号继电器
KM_4	中间继电器
FU_3、FU_4	熔断器
SB_2、SB_4、SB_5	起、停、急停按钮
PA_2	电流表
KH	热继电器
TC	机床变压器
FU_1、FU_2	熔断器
SB_1、SB_3	起、停按钮
KM_1～KM_3	中间继电器
L_1	电流滤电器
PV	电压表
PA_1	电流表
TA_1～TA_6	电流互感器
KM	交流接触器
QF	塑壳式断路器

图 7-163　常用软起动器接线图

这里将施耐德 ATS48 软起动器部分参数列出，　供读者参考，见表 7-57～表 7-61。

表 7-57　ATS48 软起动器额定电流

	软起动器额定电流/A	出厂设置电动机额定电流/A	型　　号
SizeA	17	14.8	ATS48D17
	22	21	ATS48D22
	32	28.5	ATS48D32
	38	35	ATS48D38
	47	42	ATS48D47

（续）

	软起动器额定电流/A	出厂设置电动机额定电流/A	型　　号
SizeB	62	57	ATS48D62
	75	69	ATS48D75
	88	81	ATS48D88
	110	100	ATS48C11
SizeC	140	131	ATS48C14
	170	162	ATS48C17
SizeD	210	195	ATS48C21
	250	233	ATS48C25
	320	285	ATS48C32
SizeE	410	388	ATS48C41
	480	437	ATS48C48
	590	560	ATS48C59
	660	605	ATS48C66
SizeF	790	675	ATS48C79
	1000	855	ATS48M10
	1200	1045	ATS48M12

表 7-58　ATS48 软起动器技术参数

使用类别	AC-53a
电源电压/V	Q 系列：230（1－15%）～415（1＋10%）
	Y 系列：208（1－15%）～690（1＋10%）
频率/Hz	50/60
起动器额定电流/A	17～1200
电动机功率/kW	Q 系列：4～630
	Y 系列：5.5～900
控制电路电压/V	Q 系列：220（1－15%）～415（1＋10%）
	Y 系列：110（1－15%）～230（1＋10%）
控制电路能耗（含风扇）/W	ATS48D17Q/Y～C17Q/Y：30
	ATS48C21Q/Y～C32Q/Y：50
	ATS48C14Q/Y～M12Q/Y：80
内部电源	一个＋24V 输出，最大电流 200mA
最大 I/O 连接力	AWG12

表 7-59　ATS48 软起动器监测参数

代　　码	参　　数	单　　位
cos	$\cos\varphi$	0.01
EHr	电动机热状态：从 0 变化到 125%，100% 对应于电流 I_n 设定的额定热状态	%

（续）

代　码	参　数	单　位
LCr	电动机电流：以 A 为单位，最高 999A（例：01.5 = 1.5A；15.0 = 15A；150 = 150A） 从 1000A 开始以 kA 为单位（例：1.50 = 1500；1.15 = 1150A）	A 或 kA
m	运行时间：自上次复位起，以 h 为单位，最大 999h（例：001 = 1h，111 = 111h）从 1000 ~ 65535 以 kh 为单位（例：1.11 = 1110h，11.1 = 11100h）超过 65535h（65.5）显示将被复位为 0 当电动机不停机，即晶闸管被触发（加热、加速、稳定状态、减速、制动）及连续旁路运行时对运行时间进行计数 可以在线控模式中使用控制字或在电动机停机时通过操作盘对小时计数器进行清零 当控制部分断电时小时计数器的值被存入 E^2PROM 中	h 或 kh
LPr	有功功率：从 0 ~ 255% 变化，100% 对应于在额定电流和满电压时的功率	%
L　r	电动机转矩：从 0 ~ 255% 变化，100% 对应于在额定转矩	%
LRP	有功功率：单位为 kW 此参数要求在 drC 菜单中配置线电压 U_{tn} 的准确值	kW
E　R	当前状态显示： • nLP：起动器无运行命令且未通电 • rdY：起动器无运行命令且已通电 • tbS：未经历起动延时 • ACC：正在加速 • dEC：正在减速 • rUn：稳定状态运行 • brL：正在制动 • CLI：起动器处于电流限制模式 • nSt：由串口强制为自由停车模式	
LF	前次检测到的故障：如果没有保存任何故障，则显示 nOF	
PHE	相位旋转方向：从起动器方向看 • 123：正转（L1-L2-L3） • 321：反转（L3-L2-L1）	

表 7-60　ATS48 软起动器熔断器规格

起动器型号	熔断器额定值/A		起动器型号	熔断器额定值/A	
	1 型协调	2 型协调		1 型协调	2 型协调
ATS48D17Q/Y	16	50	ATS48C21Q/Y	200	700
ATS48D22Q/Y	25	80	ATS48C25Q/Y	250	700
ATS48D32Q/Y	32	80	ATS48C32Q/Y	315	700
ATS48D38Q/Y	40	100	ATS48C41Q/Y	400	800
ATS48D47Q/Y	50	100	ATS48C48Q/Y	500	1000
ATS48D62Q/Y	80	125	ATS48C59Q/Y	630	1000
ATS48D75Q/Y	80	125	ATS48C66Q/Y	630	1400
ATS48D88Q/Y	100	160	ATS48C79Q/Y	800	1600
ATS48C11Q/Y	125	160	ATS48M10Q/Y	1000	2200
ATS48C14Q/Y	160	400	ATS48M12Q/Y	1250	2200
ATS48C17Q/Y	200	400	—	—	—

表 7-61 ATS48 软起动器端子含义及说明

端　子	功　能	特　性
CL1 CL2	Altistart 控制电源	ATS48…Q：220～415（$1^{+10\%}_{-15\%}$），50/60Hz ATS48…Y：110～230（$1^{+10\%}_{-15\%}$），50/60Hz
R1A R1C	可编程继电器 r1 的常开（N/O）触头	最小开关能力：直流 6V 时为 10mA 对感性负载的最大开关能力（$\cos\varphi=0.5$，$L/R=20$ms）：对交流 230V 和直流 30V 为 1.8A 最大电压：400V
R2A R2C	起动结束继电器 r2 的常开（N/O）触头	
R3A R3C	可编程继电器 r3 的常开（N/O）触头	
STOP RUN LI3 LI4	起动器停机（状态 0 为停机） 起动器运行（如果 STOP 为 1，则状态 1 为运行） 可编程输入 可编程输入	4×24V 逻辑输入，阻抗为 4.3kΩ $U_{max}=30$V，$I_{max}=8$mA 状态 1：$U>11$V，$I>5$mA 状态 0：$U<5$，$I<2$mA
24V	电源逻辑输入	+24(1±25%) V 隔离并保护以防短路和过载 最大电流：200mA
LO+	电源逻辑输出	连接至 24V 或外部电源
LO1 LO2	可编程逻辑输出	2 个集电极开路输出端，与 1 级 PLC 兼容，符合 IEC65A-68 标准 • 电源 +24（最低 12V，最高 30V） • 带有外接电源的每个输出端最大电流 200mA
AO1	可编程模拟输出	输出可配置为 0～20mA 或 4～20mA • 准确度为最大值的 ±5%，最大阻抗 500Ω
COM	I/O 公共端	0V
PTC1 PTC2	PTC 传感器输入	25℃时传感器回路的总电阻为 750Ω （例如：3×250Ω 传感器串联）
(RJ 45)	接头用于 • 远程操作盘 • PowerSuite • 通信总线	RS 485Modbus

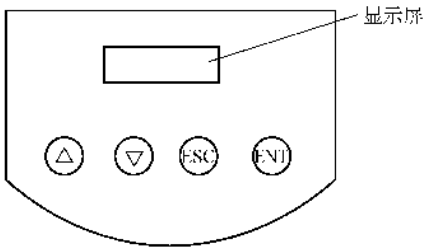
软起动器与传统起动器一样，可供电动机起动、停止，并具有相应的保护功能和测量功能及编制功能。其中，测量参数功能见表 7-59。编程键盘见图 7-164。故障处理见表 7-62。

表 7-62　软起动器故障原因及处理方法

1. 起动器不起动工作，无故障显示		
检查控制电源 CL1/CL2 上是否有电，检查电源是否有电及电压值		
检查显示的代码是否与起动器正常状态对应，正常显示应为 nLP、rdY		
检查是否有 RUN/STOP 的指令		
2. 起动器不起动工作，有故障显示		
故障显示	可能原因	处理方法
InF	内部故障	断开控制电源后再重新连上。如果故障仍然存在，应联系施耐德电气产品支持部门
OCF	过电流	关闭起动器电源
	起动器输出短路	检查连接电缆和电动机隔离
	内部短路	检查晶闸管
	旁路接触器粘连	检查旁路接触器触头
	超过起动器额定值	检查菜单 drC 中参数 bSt 的值
PIF	相序颠倒	倒换两条相线或设置 PHr = no
EEF	内部存储故障	断开控制电源后再重新连上。如果故障仍然存在，应联系施耐德电气产品支持部门
CFF	通电时无效配置	在 drC 中返回出厂设定值
		重新配置起动器
CFI	无效配置 通过串口载入起动器的配置与之不兼容	检查前一次载入的配置
		载入兼容的配置
PHF	电源断相	检查电源、起动器连接以及所有处于电源和起动器之间的隔离设备（接触器、熔断器、断路器等）
	电动机断相	• 检查电动机连接以及所有处于起动器和电动机之间的隔离设备（接触器、熔断器、断路器等） • 检查电动机状态
FrF	电源频率超过允许范围 此故障状态可在 drC 菜单中的 FrC 参数进行配置	• 检查电源
		• 检查 FrC 参数的配置是否与所使用的电源匹配（例如发电机组）
USF	有运行命令时动力电源故障	检查动力电源电路和电压
CLF	控制线路故障	CL1/CL2 缺失超过 200ms
SLF	串口故障	检查 RS485 接线
EtF	外部故障	检查逻辑输入端 LI3、LI4 所定义的允许起动器检测的外部故障
StF	起动时间过长	• 检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等） • 检查 PrO 菜单中的 tLs 参数设定值
OLC	电流过载	• 检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等） • 检查 PrO 菜单中的 LOC 和 tOL 参数设定值

（续）

故障显示	可能原因	处理方法
OLF	电动机热故障	• 检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等） • 检查与机械要求相关的起动器—电动机选型 • 检查 PrO 菜单中的 *t*HP 参数和 Set 菜单中的 I_n 参数设定值 • 检查电动机的电气隔离 • 等待电动机冷却下来后再重新起动
OHF	起动器热故障	• 检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等） • 检查与电动机和机械要求相关的起动器—电动机选型 • 检查风扇（如果所用的 ATS48 有的话）的运行情况，保证空气通路且散热器清洁（确保遵守安装建议） • 等待起动器冷却下来后再重新起动
OtF	由 PTC 传感器检测到的电动机热故障	• 检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等） • 检查与机械要求相关的起动器—电动机选型 • 检查 PrO 菜单中的 PTC 参数设定值 • 等待电动机冷却下来后再重新起动
ULF	电动机欠载	• 检查液压回路 • 检查 PrO 菜单中的 LUL 和 tUL 参数设定值
LrF	稳定状态下转子锁定	检查机械（磨损情况、机械间隙、润滑、阻塞等）



快速减速。此类停车用于能够减少停车时间而适用于高惯性的应用场合。

3. 保护

（1）起动器热保护　通过安装在散热器上的PTC传感器和计算晶闸管的温升提供热保护。

（2）电动机热保护　起动器会根据受控制的额定电流 I_n 和实际吸收的电流持续地计算电动机的温升。如果I/O端子PTC1和PTC2端已接电动机温度传感器模拟输入，则软起动器可根据检测到的电动机温度实施热保护。这两种方式（计算和模拟输入）可以同时使用。

（3）电动机欠载保护　如果电动机的转矩在一个可调整的时间内（1～60s）低于一个可调整的阈值（20%～100%额定转矩），视为电动机欠载。起动器可执行的动作为报警、锁定或无保护（默认）。

（4）超长起动时间保护　起动时间超过一个可调整的时间（10～999s），视为起动时间超长，起动器可以锁定电动机或无保护（默认）。

（5）电动机过载保护　在稳定状态下，电动机电流超过一个可调整的阈值（50%～300%电动机额定电流）且持续一个可调整的时间（0.1～60s），可认为电动机过载。起动器可执行的动作为报警、锁定或无保护（默认）。

（6）线路相序颠倒保护　如果相线顺序与所配置不同，起动器将锁定并显示故障PIF，默认相线顺序为不检测（可配置为123，321）。

（7）断相保护　如果电动机某一相的电流降到可调整的阈值（5%～10%起动器额定电流）以下并持续0.5s或全部三相电流全部降至此阈值以下持续0.2s，起动器锁定并显示故障。

（8）起动前延时保护　为了避免电动机过热的快速连续起动，起动器可设置起动前时间（0～999s）。电动机转为自由停机模式后时间继电器起动，延时开始。延时过程中接受到运行命令电动机不能起动，显示“tbS”表示延时正在进行。

4. 编程功能

要改变参数值，软起动器必须处于停机状态，并且施加控制电压。可以通过向上、向下键和ENT进入键找到需要修改的参数，再利用向上、向下键调整至需要的参数值，最后用ENT进入键确认修改即可，修改成功的参数值会闪烁一下。但是，有些参数比较重要，为使修改生效，需要按住ENT键2～10s不等，参数闪烁以示确认。

四、其他电气动力装置

其他电气动力装置指上述未曾提到的设备或特殊电器或新型产品，其他电气动力装置也应按上述要求进行检查和调整。

1）外观检查应无破损、裂纹或残缺，并应与使用说明书相符。内部接线正确无松动，模块插件紧固正确。

2）测试绝缘电阻、额定电流、线圈吸合电压、导电回路接触电阻，并作机械传动程序试验，应无明显缺陷。绝缘电阻的测试必须将电子电路部分与电路摘开。

3）按上述方法调整各类继电器、传感器、调节器、变速器，使其能按设定的参数动作，并符合说明书的要求。

4）按照使用说明书要求及程序解体动力装置，进一步发现缺陷，有烘干要求的要进行烘干，特别是绝缘电阻较低的设备。

5）通电空载试验，有频率、转速要求的要测量频率和转速。通电试验必须在绝缘电阻合格的情况下进行，接通电源后应先观察设备各部件、仪表、指示器的情况，并观察有无声响或其他异常。一切正常后才可以进行下一步试验，并观察仪表、指示器，如有异常应立即断开电源。按上述方法进行直到试验调整完毕。如设备有异常应与供应商联系，未得到供应商允许前不得再次通电。

6）需要用计算机输入程序或操作的设备，必须用厂商指定的软件系统，并按使用说明书进行。该计算机一经用入系统，不得再移为他用，以防病毒。

7）有备用模块的设备应将备用模块插上替代设备原装模块，然后进行相同试验和调整，设备应与原装模块功能相同。

8）模块的测试和试验应用专用设备进行，其输入、输出信号应正确无误。

9）测试、试验、调整的接线必须正确无误，应详细阅读说明并按说明书要求进行，并由非接线人员核对接线。电源电压必须正确，接线的确认必须由二个以上人员确认，任何人不得擅作主张。

10）工程中遇到的特殊设备必须按上述程序一一解决，不要急于求成，更不要擅自乱动，要阅读分析安装使用说明书，即使有的说明书含糊其辞，只要仔细去分析，一般均会满意解决。

第六节　电气接线

低压动力电路的电气接线包括两种类型，一种是开关柜（箱）、控制柜（箱）内一次主回路和二次控制回路的接线，这一点已在第三章预制加工中作了详

细的讲述，并且配套的柜或箱其内部接线已由生产厂家接好；另一种类型则是柜或箱的电源进线、所控负载或回路的出线及这些出线与电动机或动力负载的接线，本节则是要讲述这些内容的。

一、电气接线通则

1）复核送出回路，并测试其绝缘电阻　电缆沟、桥架送出许多回路，有的已穿管送到设备旁，虽然在放线敷设时已做了编号，但因为回路较多，有的因为放线和接线时间间隔较长，都容易发生混乱和错误。因此，接线前必须复核回路的编号、规格、根数是否正确，同时应复测其绝缘电阻。

复核回路的方法很多，最简单的方法是将被复核回路的一端的几根线芯用裸导线封在一起，然后另一端用万用表或绝缘电阻表测试，所有线芯应根根相通，否则有错误。复核后将封在一起的一端拆开，再测量绝缘电阻，应符合要求。复核时应有无线步话机或用导线与地线构成的回路作为有线电话的通路进行前后联系，进而确定编号的正确性。

2）经复核确认正确的回路应即与设备连接，复核一个回路，便连接一个回路，不会发生错误。复核回路可按编号顺序进行，也可分组进行。经复核确认正确无误的回路，应正式挂牌编号，并和图样相符。设计变更的回路，必须在图样上正确标注。

3）所有回路与设备的连接，必须采用正确方法，连接要紧密可靠，严禁非正确连接。

$10mm^2$ 及以下的单股导线，可直接与设备的接线端子连接，但线端的弯曲方向必须与螺母拧紧的方向一致，其中铜导线应在弯圈后镀锡处理。见图7-36。

$4mm^2$ 及以下的多股铜线，应先拧紧并在线端上镀锡、然后像单股导线那样与设备连接，注意要把毛刺除掉。

$10mm^2$ 以上的多股导线，必须压接同种金属的接线端子（线鼻子）再与设备连接。

$50mm^2$ 及以下的多股导线，如实在一时购不到线鼻子可用下述方法先做成手工线鼻子，再与设备连接。

①　先将导线的外绝缘层去掉，去掉长度一般不超过 200mm；

②　把导线撒开，并用钳子叼住撑直；铜导线撑直后应用砂纸打磨出金属光泽；

③　用其中一根导线，在剥切绝缘的根部将撑直的导线紧紧缠在一起，缠绕长度一般不大于 10mm；

④　将撑直的导线均匀地分成两部分，并从缠绕的根部分开；

⑤　用一条同设备端子上紧固螺栓同径或稍大一规格的螺栓，放在从缠绕根部的导线上，并按其径将导线从根部煨成两个半圆，然后使其两个半圆的开口接触闭合；

⑥　用其中一根导线将闭合口处紧紧缠绕，缠绕长度一般不大于 10mm；

⑦　把和缠绕圈相邻的导线束外圈导线沿缠绕圈一一回折，并和缠绕圈相接，然后将其多余部分剪掉，同时将导线束中间部分没有回折的也剪掉；

⑧　将圆孔内的螺栓取掉，在台钳上将其夹紧，夹紧时应在孔内放一节和原螺栓同径、长度为小于原导线直径 1/5 的铁棍，以免夹紧时破坏孔径。或者不取掉原螺栓，用手锤修整也可。这时铜质导线应镀锡处理。这样一个手工线鼻子就做好了，见图 10-15。

4）与设备的连接，必须有平光垫和弹簧垫或锁母装置，所有的紧固件及附件均应镀锌或镀铜。

5）紧固时必须用套管扳手或梅花扳手，沉头螺钉可用相应的旋具（改锥）。紧固的力要适中，必要时应用力矩扳子。

6）连接时导线或电缆的余量要适中，一般不宜超过 1m。

7）导线应用黄绿红塑料带包扎或塑料管套入，长度应送入管内、槽内或沟内。零线应用黑色塑料带或管。

8）接线必须正确无误，要注意相序及电动机三相线圈的头尾，并经非接线人员对照图样核对。

9）接好线后，导线或电缆的端部及其他弯曲部位须采用活弯，且三相弯曲一致，同时应将导线或电缆与柜体用卡子固定。

10）经测试对导线的绝缘电阻有怀疑的，必须将导线抽出，经检查及处理后重新穿入；穿入后的导线必须重新摇测绝缘。

二、开关柜进出回路的接线

开关柜的接线比较简单，成列的柜已将闸刀开关的上闸口与母线连接好；单独设置的开关柜应根据电源线的来向确定上闸口的接线形式。如果电源线由下（电缆沟）引来，则将其与柜体的竖直构架固定并沿柜体后半侧爬上，然后将其与柜的总开关（断路器或闸刀开关）的上闸口连接，见图 7-165a；如果电源线由上（电缆桥架）引来，则将其与柜体顶部水平构架固定并沿其爬至总开关接至上闸口，见图 7-165a。

送出回路的接线一般是先将导线穿入电流互感器，然后将其接在负荷开关（断路器、接触器、速断刀熔开关、转换开关等）的下闸口，见图 7-168b。

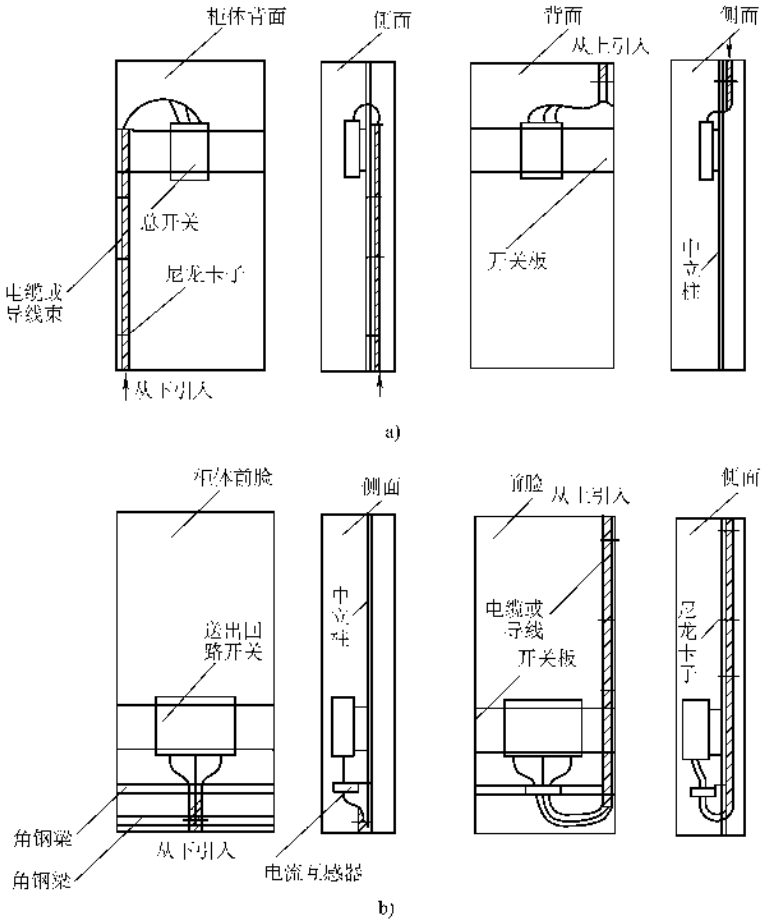


图 7-165　单台开关柜进、出线安装示意图

a）单台开关柜进线安装示意图　b）单台开关柜出线安装示意图

开关柜的接线应注意以下几点：

1）开关柜的接线一般不分相序，但是对于功率因数自动补偿柜，其电源的进线必须按 A、B、C 相序连接，否则将动作有误。对于其他有相序要求的柜也应按相序接线。成列柜则应按母线相序一一规则接入。

2）电流互感器一般都采用穿芯互感器，但穿芯的匝数在接线时要注意，有的互感器在铭牌上标出了穿线的匝数，有的则没有标出，更要引起注意。首先看电流表的量程、变化（由表盘上可查得）是否和电流互感器的铭牌标注一致，如一致则按标注的匝数将导线穿入。1 匝时，导线穿过即可；2 匝时导线穿过后经转圈再穿过一次即为 2 匝，依次类推，导线在芯中的根数即为穿过的匝数。如果不一致，则应调整，如 500∶5 的互感器，配 0～250 的电流表，则应穿 2 匝；配 0～100 的电流表，则应穿 5 匝；如300∶5 的互感器，配 0～100 的电流表，则应穿 3 匝。配 0～150 的电流表，则应穿 2 匝。

3）电流互感器穿线时应重新检查一下二次是否已可靠正确接地。

三、异步电动机控制柜进出回路及被控电动机的接线

控制柜的类别由于起动方式和控制方式的不同而名目繁多，电动机的类别则由于用途的不同而型式多种多样，因此控制柜及电动机的接线较开关柜的接线要复杂得多。

1）控制柜电源进线的接线同开关柜电源进线的接线。

2）直接起动控制柜及星形联结电动机的接线和直接起动控制柜三角形联结法电动机的接线，见图 2-86。

直接起动控制柜的控制出线应接在起动负荷开关（断路器、接触器、刀熔开关、转换开关等）的下闸口，如在其下闸口接有热继电器（有两相的，有三相的），出线则应接在热继电器的出线端；如在其下闸口装有电流互感器，出线则应先穿过电流互感器，再

接在负荷开关的下闸口。接线时应将电动机接地螺栓用 10～16mm² 软铜线与管上接地螺钉连接或与保护线直接连接。

3）可逆直接起动器的接线，见图 2-87a，其控制出线可接在正转接触器或反转接触器下闸口上，其他同 2）。

有的可逆控制则应用可逆转换开关（俗称倒顺开关）来完成，但只适用于容量 4.5kW 及以下的小型电动机，其不具有保护功能，使用时必须和熔断器配合使用。接线时应将电源的进线接在中间立柱的端子上，控制出线其中两根接在一侧的 M_1 和 M_2 上，另一根则接在另一侧的 M_3 上，其内部连接线已由厂家接好，见图 2-87b。电动机的接线同 2）。

4）星-角起动控制器及电动机的接线。

① 手动控制：星-角起动手动控制是用一只双投闸刀开关（俗称跟头闸）或者用手动星-角起动器完成的，这两种开关使用时均需和熔断器配合使用，并且只适用于 13kW 以内的小型电动机。

a. 双投闸刀开关的接线见图 2-89a。先把电源总开关或熔断器的下闸口对应于开关上闸口的左、中、右极接好，再把由电动机 1、2、3 引来的线 1 与 2 对倒（或 2、3 对倒）后接在开关的上闸口左、中、右上，电动机 6、5、4 对应于中间投刀左、中、右接好，最后把开关下闸口用短线封死。双投闸刀开关的操作应先合上电源总开关，然后把手柄打在 侧，起动后再打在△侧。

b. 手动凸轮式星-角起动器实际是一只转换开关，通过手柄的转动，切换接点，把电动机先接成星形，然后再切换成三角形联结，开关内部的连线已由制造厂家连好，接线时按图 2-89b 的黑粗线连接即可。

② 自动控制：是用接触器来完成星-角切换的，接线时先将主接触器的下端与电动机的 U_1、V_1、W_1 对应接好，再把星形联结接触器的一端（没有用短线封死的）与电动机的 U_2、V_2、W_2 对应接好即可，其他的接线已由厂家接好，见图 2-88，控制电路见图 2-95。

接线时要准确识别三只接触器的功能，主接触器一般容量较大，因而体积也较大，主要特性是上闸口与柜体总开关或熔断器连接；星形联结接触器的主要特性是上闸口（或下闸口）用短线封死；至于三角形联结接触器的主要特性是其上下闸口分别与主接触器和星形联结接触器的下闸口接好。

识别的另一个办法是作控制回路空投试验，与主接触器同时吸合的是星形联结接触器，延时吸合的是三角形联结接触器。这里要注意，星-角起动柜或转换开只适用于三角形联结的且为轻载起动的电动机。

5）自耦变压减压起动器及电动机的接线。

① 手动自耦减压起动器是指用手柄操作的起动器，接线方法简单。将起动器的盖拆下，即可看见一组接线板，上面有接线柱及标注文字，把电源进线接在三只电源接线柱上（L_1、L_2、L_3），把控制出线接在三只电动机接线柱上（U_1、V_1、W_1）上即可。接法见 2）。

② 自动自耦减压起动器是用按钮操作、时间继电器、自动延时切换的，它的型号规格很多，有的采用三只接触器、有的采用两只接触器（用主接触器的辅助常闭接点封自耦变压器的星点），有用接触器封点的，有用接触器隔离自耦变压器的（采用六极接触器），但接线方法基本相同。

电源的进线应接在总开关的上闸口，如无总开关则应接在主接触器的上闸口，出线应接在主接触器的下端，如有电流互感器则应穿过互感器，如配有热继电器则应接在热继电器的出线端，接法同 2），见图 2-90。有关柜内的其他接线已由厂家接好，常用控制电路见图 2-94。

主接触器的确认通常采用控制回路空投试验的方法，通电后操作起动按钮先吸合的是切换自耦变压器的接触器，不吸合的则是主接触器。主接触的另一特征是上闸口直接与电源总开关连接，下闸口直接与电流继电器或热继电器连接。

③ 双向晶闸管无触点减压起动器及电动机的接线，见图 7-166。晶闸管减压起动器是利用晶闸管改变导通角而改电压的原理进行减压起动的，其电源进线应接在电源总开关的上端，控制出线应接在晶闸管件的出线端，同时应先穿过电流互感器；电动机的接线见图 2-86。控制原理图见图 7-167，其中框图是为了便于看懂原理图而设置的。

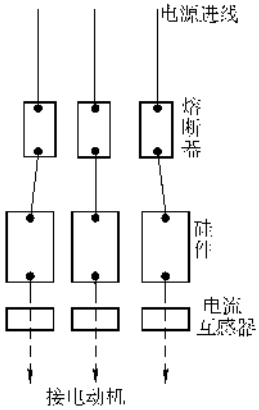


图 7-166 晶闸管减压起动器的主接线

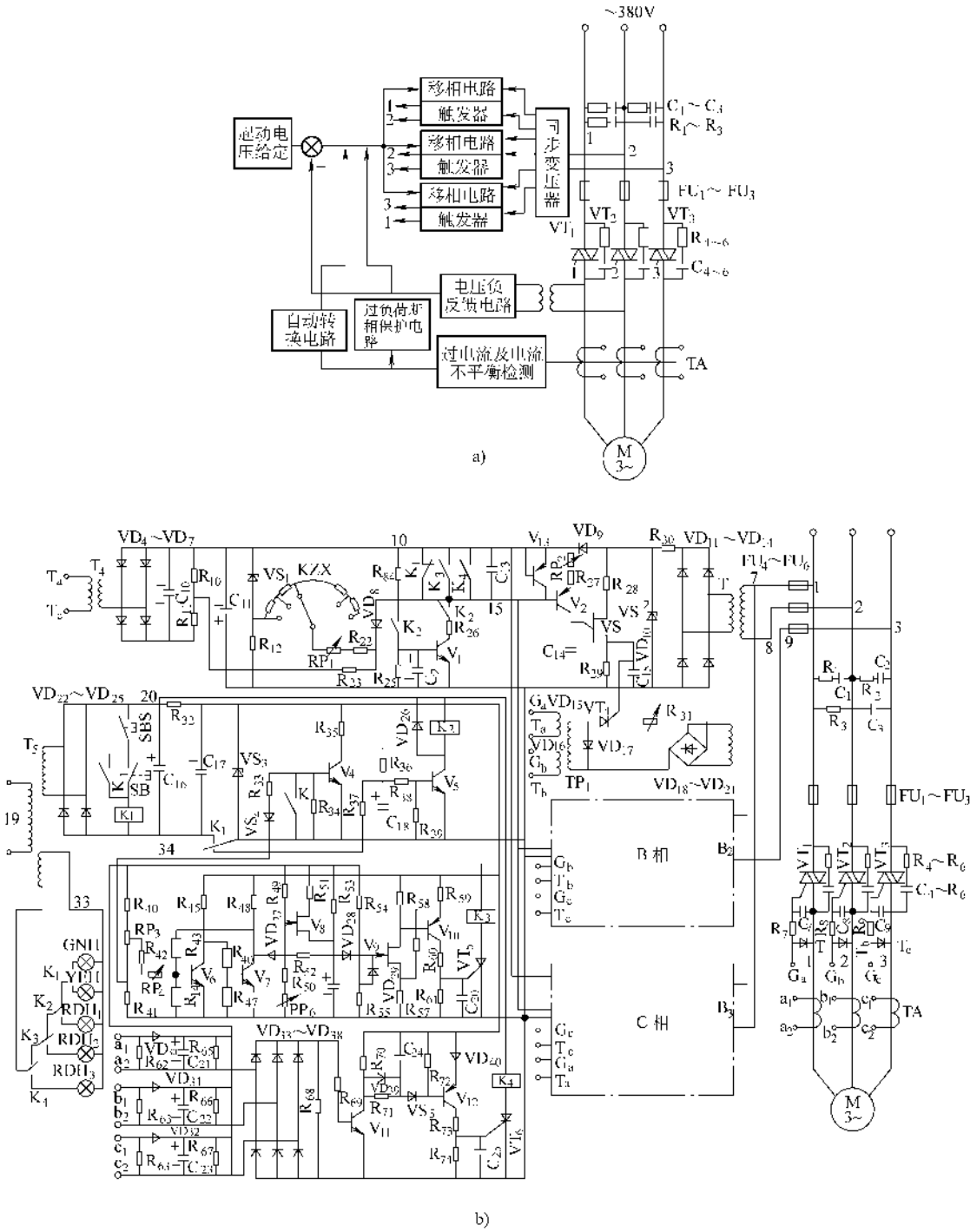


图 7-167　晶闸管减压起动器控制原理图

a）框图　b）原理图

6）串联电阻（或电抗）减压起动控制器及电动机的接线　这种起动器一般分两部分，一部分是控制器，一部分是电阻箱或电抗器，是分别单独装设的，因此在接线也有控制器的接线和电阻箱或电抗器的接线。

先将电源进线接在总开关的上闸口，然后从电阻箱或电抗器的进线端引线并将其对应接在短接接触器上闸口，从电阻箱或电抗器的出线端引线并将其对应接在短接接触器的下闸口，再从短接接触器的下闸口

引线接至电动机，电动机的接线同 2）。见图 2-91，原理图见图 2-96。同样用空投试验识别接触器，主接触器是先吸合的。

7）延边△起动器及电动机的接法，该柜只适用于线圈结构上具备延边△形的电动机，是通过接触器的切换完成的。

先将电源进线接在柜内总开关或主接触器的上闸口，然后将电动机三相线圈的首端 U_1、V_1、W_1 对应接在主接触器的下闸口，把三相线圈的末端 W_2、U_2、V_2 对应接在△接触器的下闸口，或 接触器的上闸口，这里要注意△接的头尾连接，然后把三相线圈的抽头端 U_3、V_3、W_3 对应接在 点接触器的下闸口。接线图见 7-168，控制原理图见图 7-116。

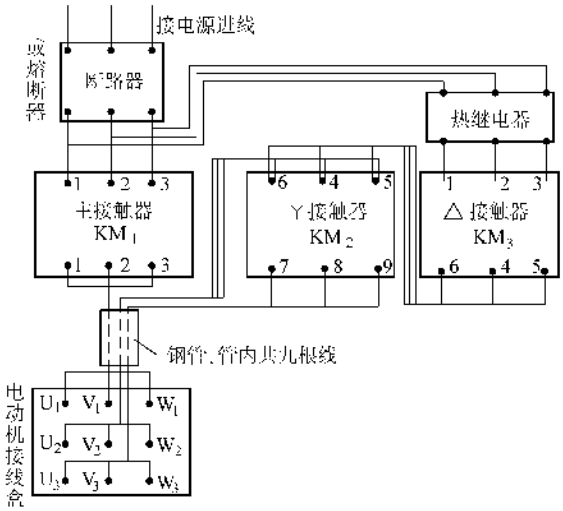


图 7-168 延边△起动器的主接线

接触器的试验先空投试验，不吸合的是△接触器，先吸合的接触器中与总电源开关直接连接的便是主接触器，另一只是 接触器。

8）频敏变阻起动柜及绕线转子电动机的接线。该柜是和绕线转子电动机配套使用的，只适用于绕线转子电动机。

先将电源进线接在柜内总开关或主接触器的上闸口，然后将电动机定子绕组的出线端经电流互感器接在主接触器或过流继电器的下闸口或出线端。把转子绕组的出线端接在短接接触器没有封星点的闸口侧，频敏变组器的出线端接在短接接触器没有封星点的闸口侧和封星点的短接线及其他主结线已由厂家接好，见图 3-48 和图 3-54，控制电路见图 3-29。电动机本身定子绕组的接法同 2）。

主接触器的确认，一是主接触和电源连接，再是容量或体积较大，第三是上下闸口都没有短接封死。这部分内容在第三章控制柜的制作中已做了详尽的讲述，请读者参阅前述，这对本部分内容的理解有极大的好处。

9）电阻起动或调速起动柜和绕线转子电动机的接法 该柜同样是和绕线转子电动机配套使用的，适用于绕线转子电动机的起动和调速。

主接触器和电动机定子的接线同 8）。转子绕组是根据调速电阻的级数连接的，且短接接触器常用其两副主触点。先把转子绕组的三根出线和第一级三只电阻的进线端接好，同时将第一级电阻的出线端和第二级电阻的进线端、第二级电阻的出线端和第三级的进线端，直至最后一级串接起来，并把最后一级的出线端封成星点。然后把第一只短接接触器的下闸口短接起来，并将其引至第一级电阻中相的进线端接好，同时将上闸口分别引至第一级电阻两边相的进线端接好。用同样的方法将另两只短接接触器接好，见图 2-92a，控制电路见图 2-97。

主接触器的识别主要特征是容量大或体积大，上闸口并和主电源连接。

10）电磁调速电动机控制器及其电动机的接线：电磁调速电动机控制器是电磁调速电动机配套的专用控制器，仅适用电磁调速电动机，它的接线分四部分内容，见图 7-169，原理图 7-117。

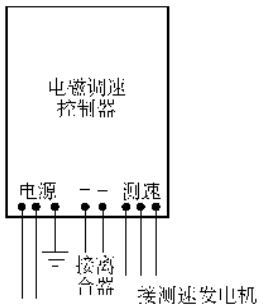


图 7-169 电磁调速控制器的接线

① 主机的接线根据容量大小和负载实际情况，一般为直接起动，接线同前。

② 将控制器的电源按额定电压接在主回路电源总开关的下闸口。

③ 将控制器晶闸管直流输出端接在离合器的励磁线圈上。

④ 将电动机轴上的测速发电机的出线接在控制器反馈回路的整流桥上。

11）双速电动机及控制器的接线。

多速电动机是用接触器连接的切换改变电动机绕组的接法，进而改变磁极对数而有级改变速度的，图 7-113 的主接线见图 7-170。

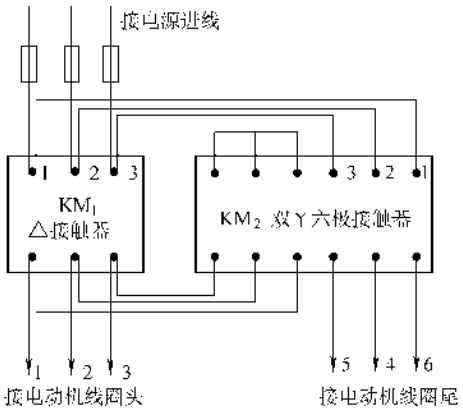


图 7-170　双速电动机控制器主接线示意图

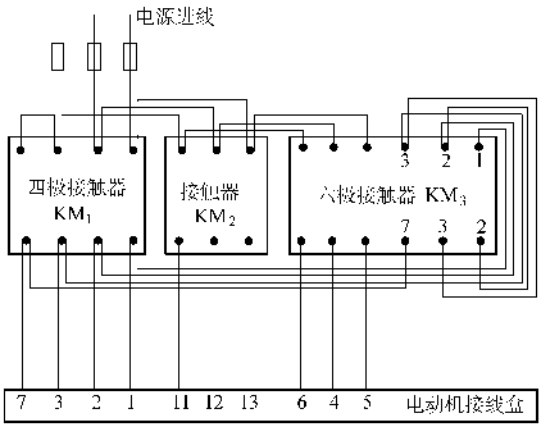


图 7-171　三速电动机控制器的主接线

主接触器 KM_1 的主要特性是上闸口和主电源开关的下闸口连接，而下闸口则是和另一只六极接触器 KM_2 上端闸口封成星点下闸口换相连接并与电动机线圈的头连接；电动机绕组的尾端应和 KM_2 的下闸口连接，其上闸口 1、2、3 则与电源 1、2、3 连接。

12）三速电动机及控制器的接线。图 7-114 的主接线见图 7-171。

主接触器的主要特征是采用了四极接触器且上闸口与主电源连接，下闸口与另两只接触器上下闸口连接，线接触器不得互换，其中 KM_3 采用六极接触器或两只接触器组合同时动作。图 7-170 采用了一只六极接触器，相当于两只三极接触器同步动作。

13）四速电动机及控制器的接线。

图 7-115 的主接线见图 7-172。

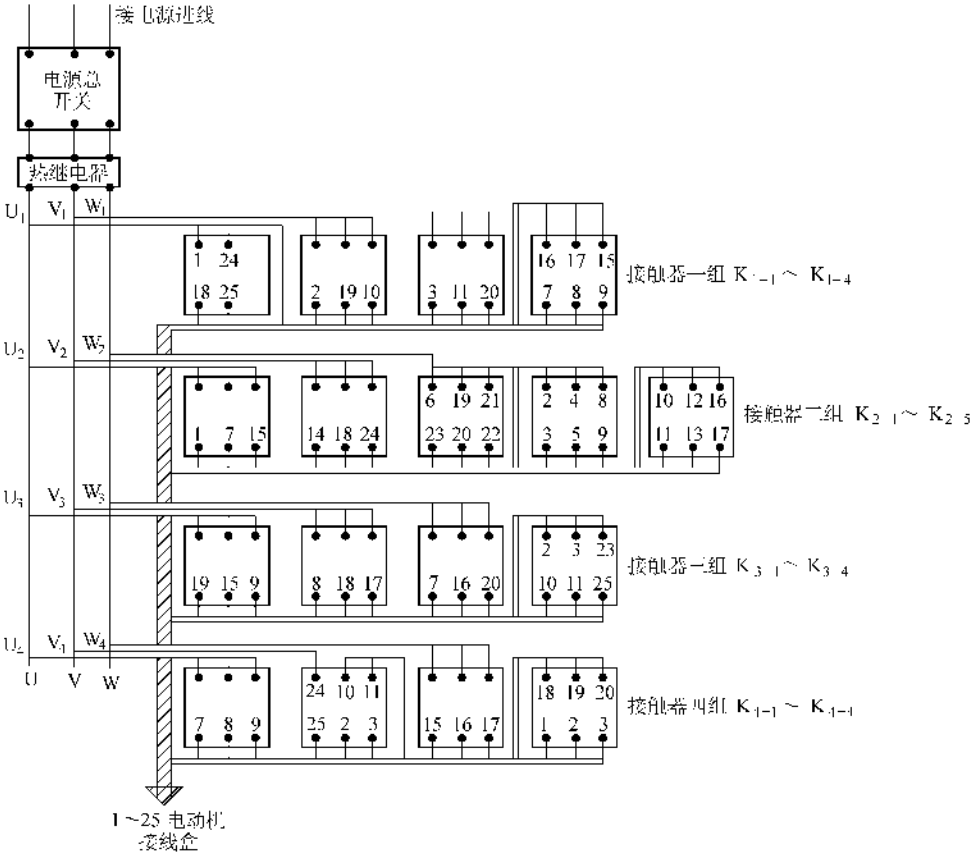


图 7-172　四速电动机控制器主接线示意图

接触器以组排列，同组接触器同时吸合或释放，接线必须注意编号及相序。接线前必须摇测每个接触器上下闸口的绝缘电阻。

四、同步电动机控制柜（包括励磁系统）进出回路及同步电动机的接线

（一）同步电动机的基本接线方法

1）同步电动机定子绕组的接线基本与异步电动机的接线相同，见异步电动机直接起动、串联电阻（电抗）起动、自耦减压起动的接线。

2）自励式励磁机与转子的励磁绕组一般已由厂家接好；如没有接好，应将励磁机的输出线按编号接在集电环的电刷上即可。

（二）他励同步电动机的接线方法

1）定子接线同上。

2）晶闸管整流装置的三相输入电源线应接在电源开关的上闸口，且须与同步电动机定子电源系同一母线，接线时要相序相同；电源中性线应接在中性线的端子上。

3）晶闸管整流装置的直流输出励磁线一端应按编号接在转子励磁绕组的电刷上，另一端接在晶闸管的输出端。

4）一般电压互感器的接线已由厂家接好；如没有或另设电压互感器，接线时要注意相序。

这里要注意，同步电动机及励磁装置的接线要以厂家提供的图样、说明书等技术文件为准。

五、直流电动机控制柜及电动机的接线

（1）直流电动机的基本接线方法　直流电动机绕组的端头都从电动机内引至到接线板上，并用字母作了标记，见表 7-63。同时，起动控制器也做了标记，接线时应按符号标记一一对应连接即可，详见图 7-123 ~ 图 7-125。

表 7-63　直流电动机出线端的标志

绕组名称	出线端标志	
	正　端	负　端
电枢绕组	S_1	S_2
补偿绕组	B_{c1}（或 B_1）	B_{c2}（或 B_2）
换向绕组	H_1	H_2
串励绕组	C_1	C_2
并励绕组	B_1（F_1）	B_2（F_2）
起动绕组	Q_1（K_1）	Q_2（K_2）
平衡导线及平衡绕组	P_1	P_2
他励绕组	T_1（W_1）	T_2（W_2）
去磁绕组	QC_1（Q_1）	QC_2（Q_2）

（2）直流电动机接触器串联电阻自动起动柜接线之一　原理图 7-126 的接线方法见图 7-173。

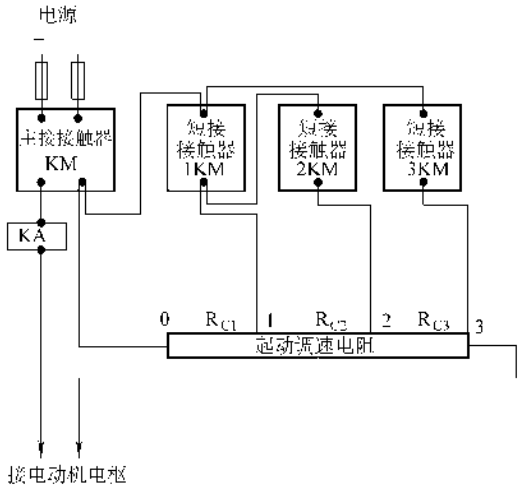


图 7-173　直流电动机控制柜主接线图

接线时先将电源的 +、- 接在直流接触器的上闸口，电动机电枢一端接在过电流继电器的出线端，另一端接在直流接触器 3KM 的下闸口；变阻器的 3、2、1、0 端分别接在直流接触器 3KM、2KM、1KM 和 KM 的下闸口。其他的接线已由厂家接好。

控制电路的空操作，先吸合的就是 KM，延时动作的依次是 1KM、2KM、3KM。

（3）直流电动机接触器串联电阻自动起动柜接线之二　原理图 7-127 的接线方法见图 7-174。

（4）晶闸管整流装置及其供电的直流电动机的接线要以厂家提供的图样、说明书等技术文件为准，要注意标号及电动机的励磁方式，主要接线有以下几点：

1）交流电源的进线要接在整流变压器的电源总开关的上闸口，这里要注意两点，一是有的小容量整流装置没有整流变压器，二是有的总开关采用接触器。

2）同步变压器和电源检测变压器都由厂家接好，如需在现场接线必须注意相序，且同步变压器的电源必须和整流变压器同一电源。

3）主机电枢绕组应按标号接在整流桥的输出端。

4）励磁绕组应按标号接在励磁整流桥的输出端。

5）测速发电机的出线应按标号接在速度反馈桥上或反馈电位器上，同时要注意测速发电机励磁回路的连接，必须正确。

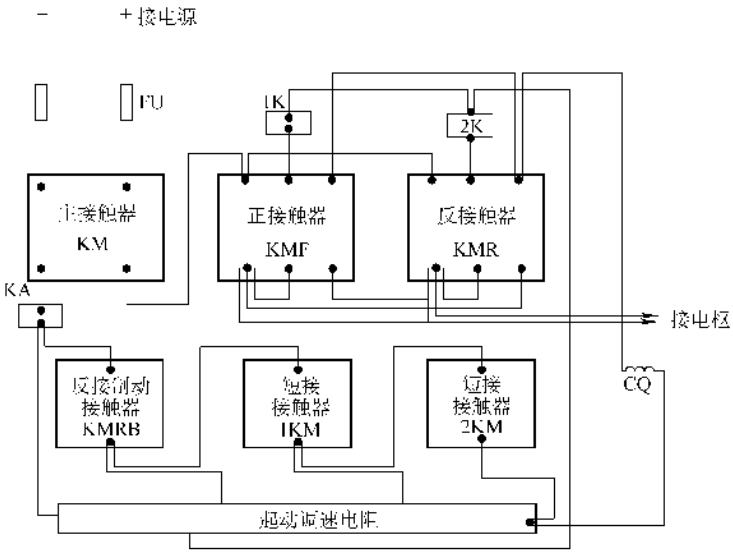


图 7-174　直流电动机反接制动控制主接线

六、变频起动器、软起动器进出回路的接线

相比其他方式的起动柜变频起动器或软起动柜的接线较为简单。按其有无进线控制接触器、驱动有无潜在危险设备、是否频繁操作及其附属电路则有很多接法，这里列出 AItivar 和 ATS 系列部分图样，详见图 7-175 ~ 图 7-192。

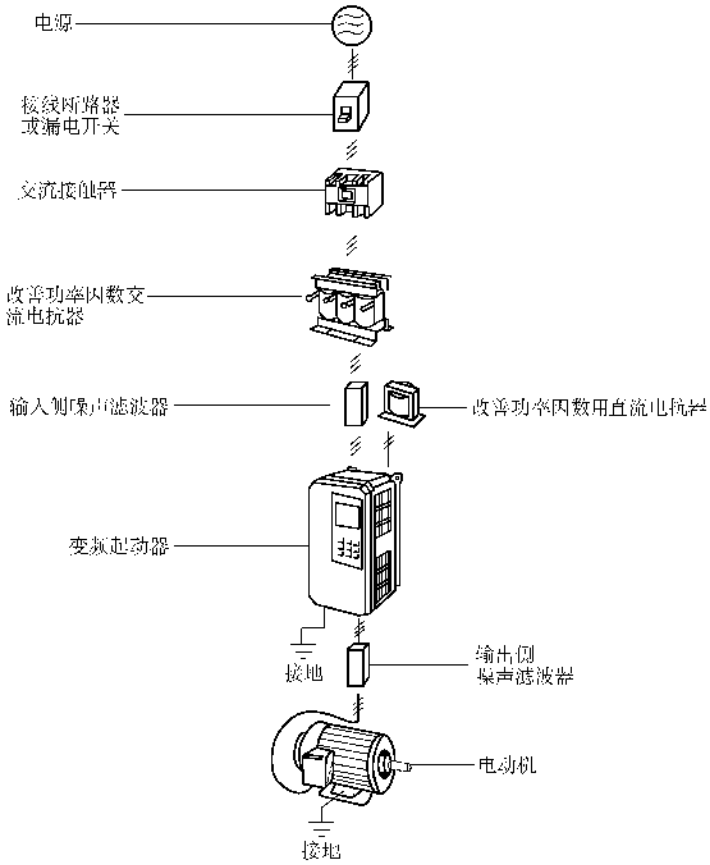


图 7-175　变频器与设备连接基本示意图

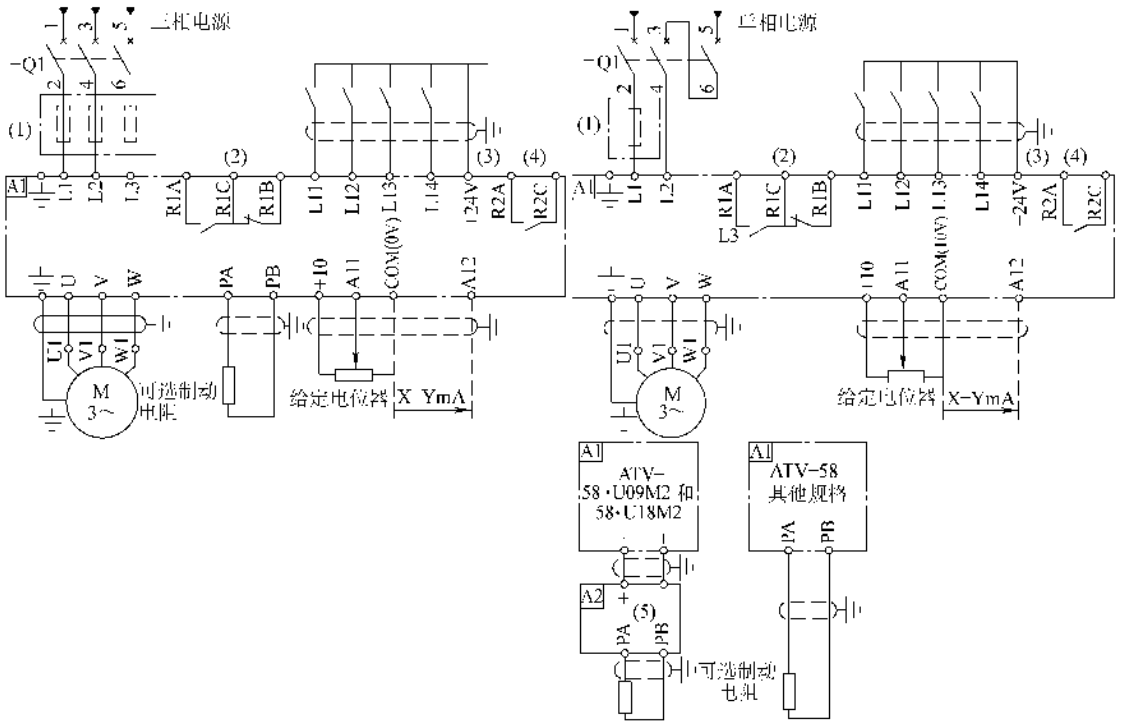


图 7-176 无控制接触器适用于驱动无潜在危险设备的变频器接线图

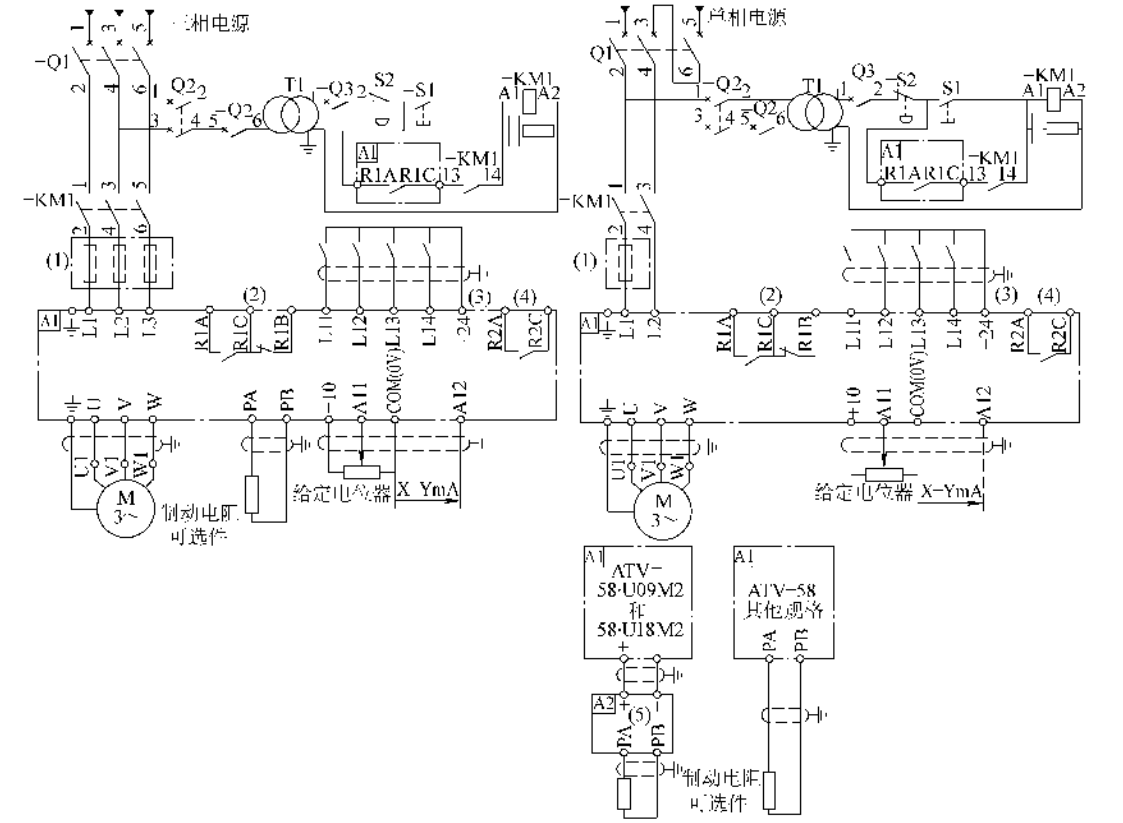


图 7-177 有进线控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图

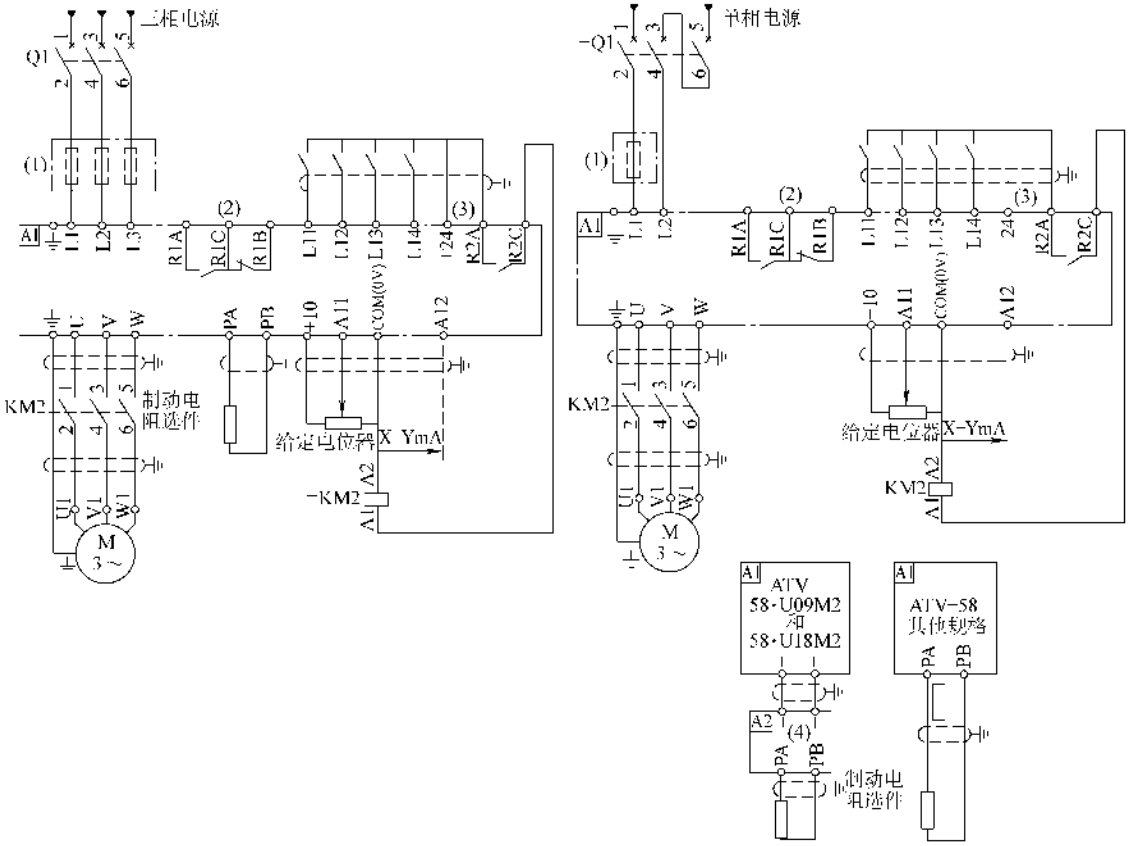


图 7-178　有出口控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图

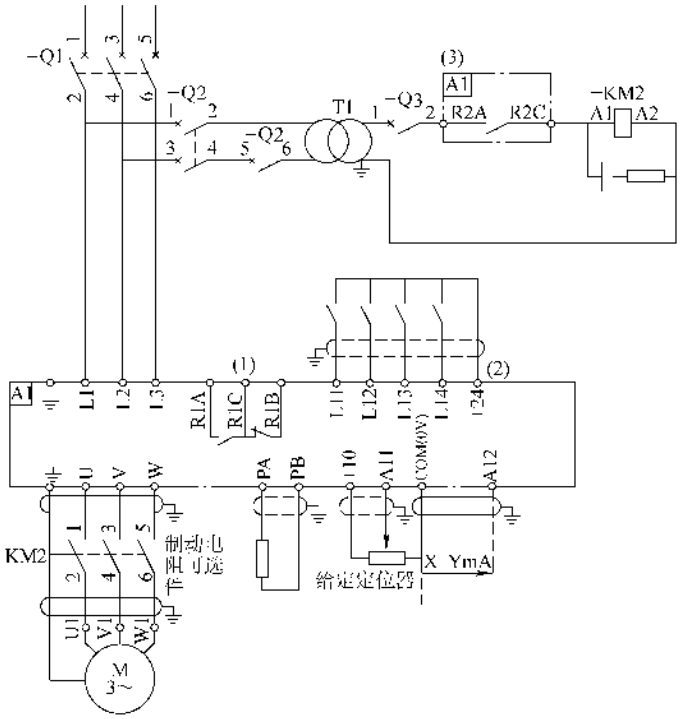


图 7-179　有出口接触器适用驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图（仅用于三相）

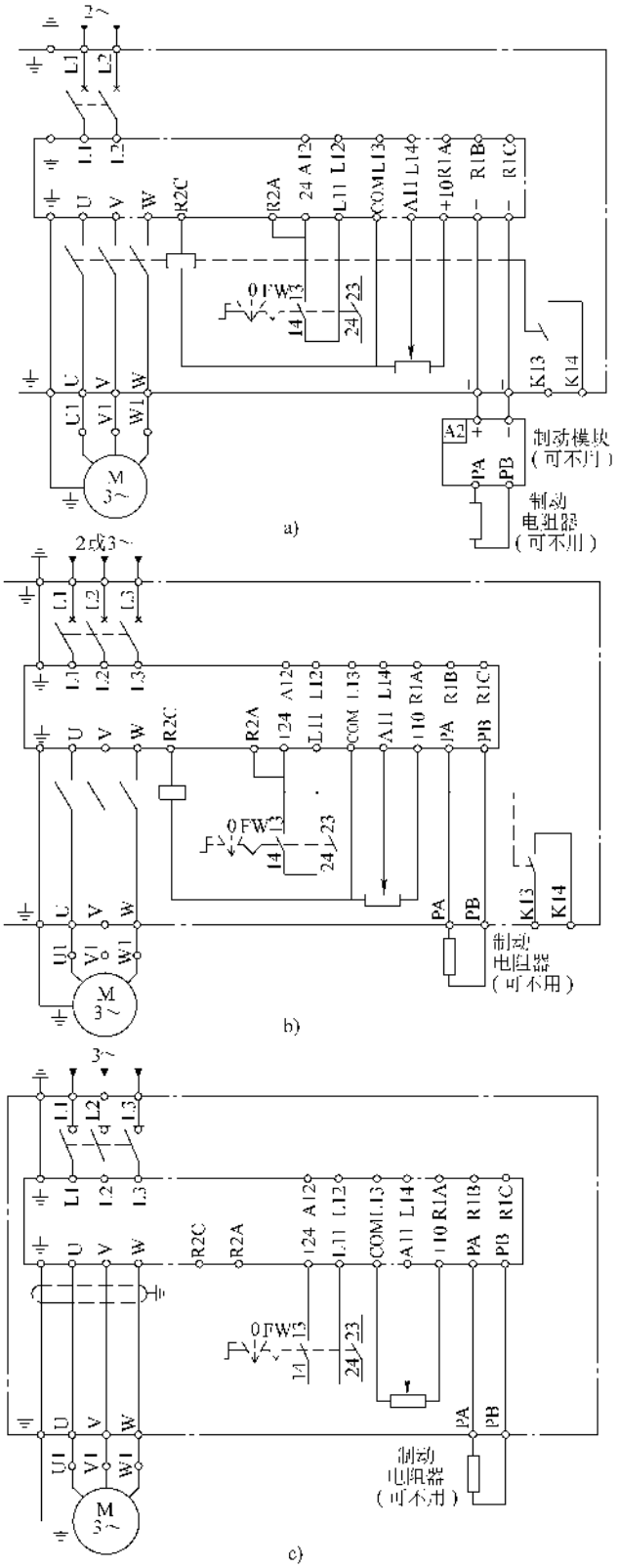


图 7-180 成套变频器接线图

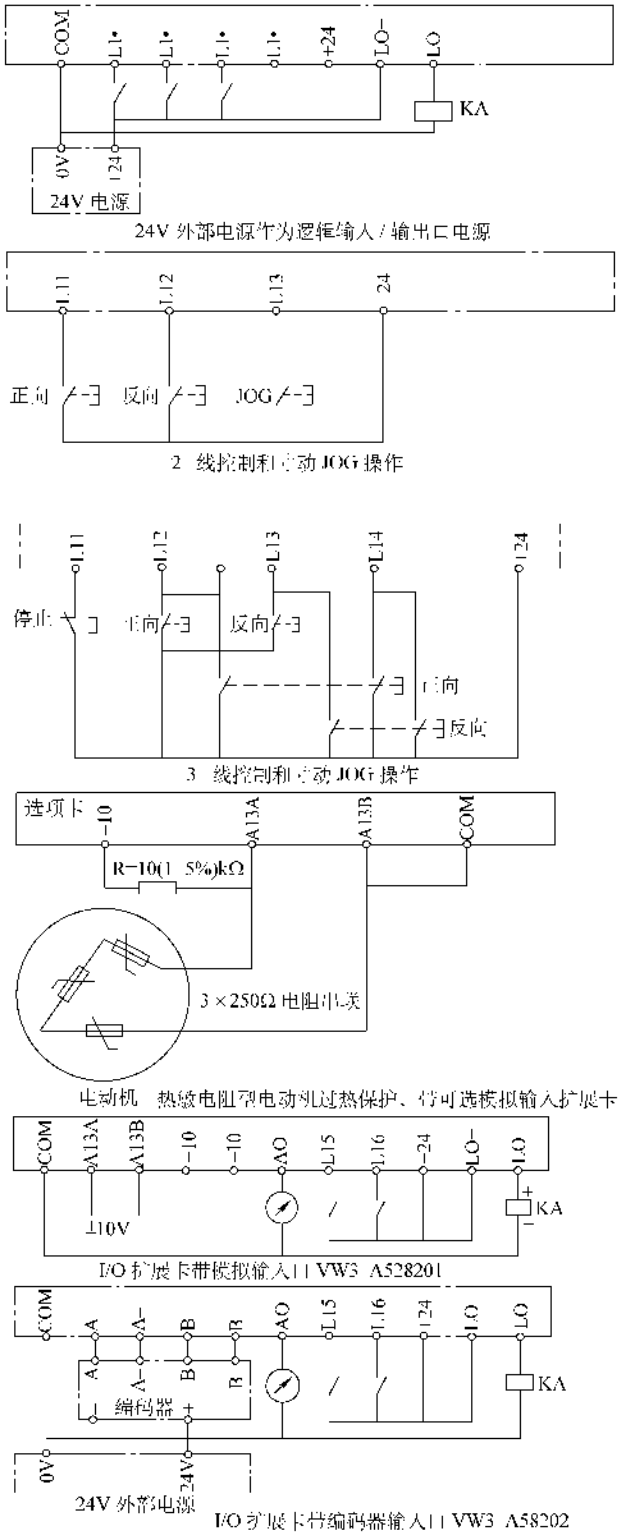


图 7-181　变频器附属电路的连接

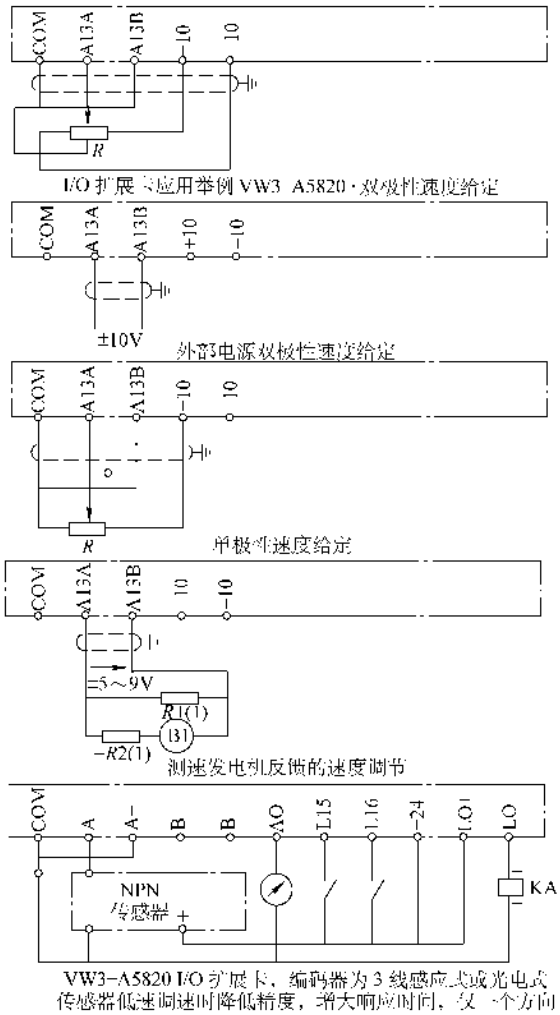


图 7-181 （续）

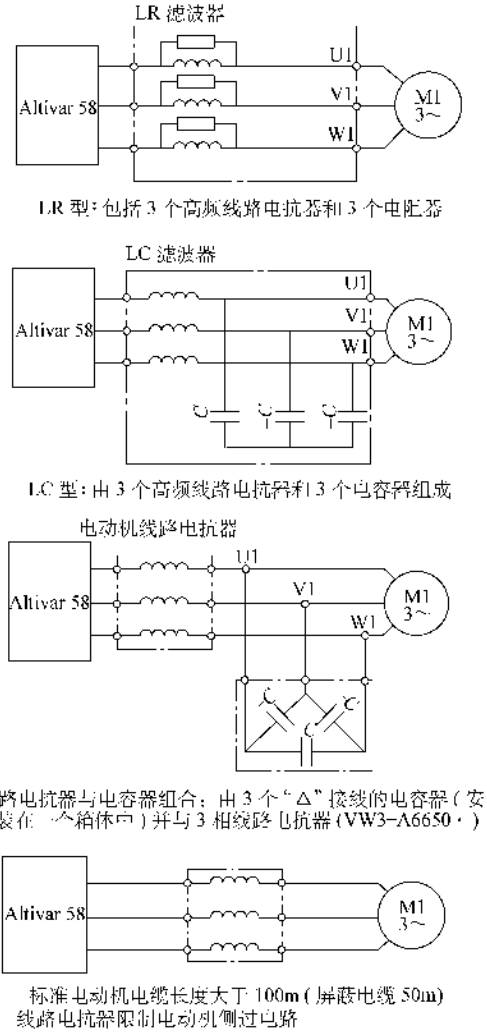


图 7-182 与滤波器、电抗器的连接

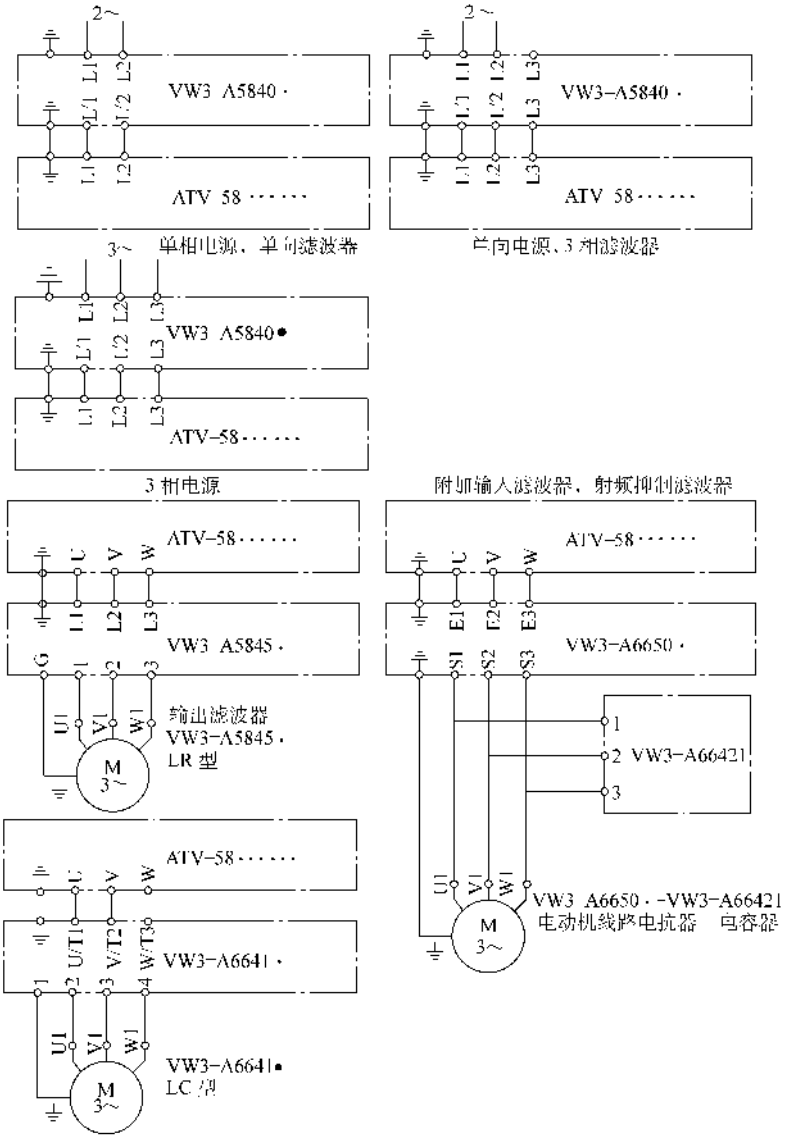


图 7-183　与滤波器、电抗器的连接

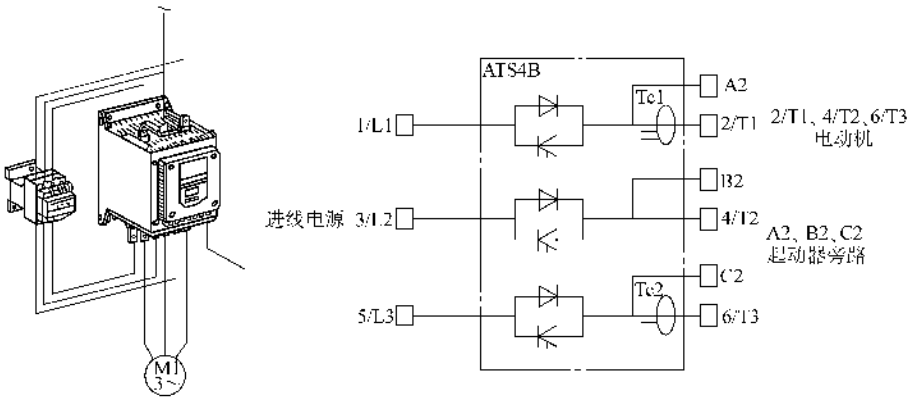
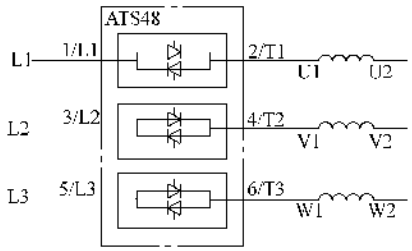


图 7-184　ATS48 软起动器端子



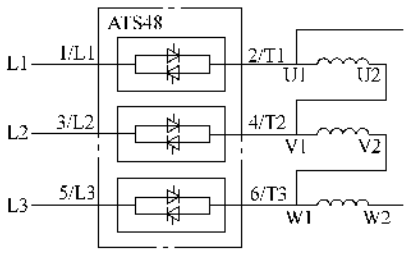


图 7-185 ATS48 软起动器电源及与电动机接线示意图（一）

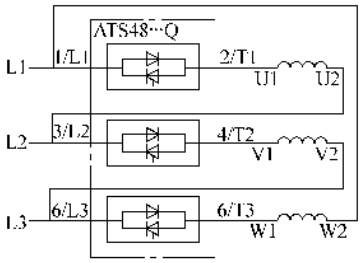


图 7-186 ATS48 软起动器电源及与电动机接线示意图（二）

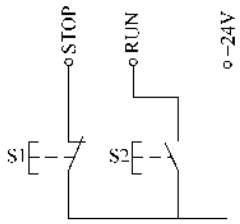


图 7-187 三线控制

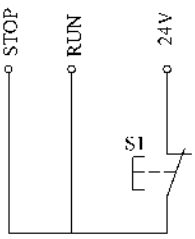


图 7-188 两线控制

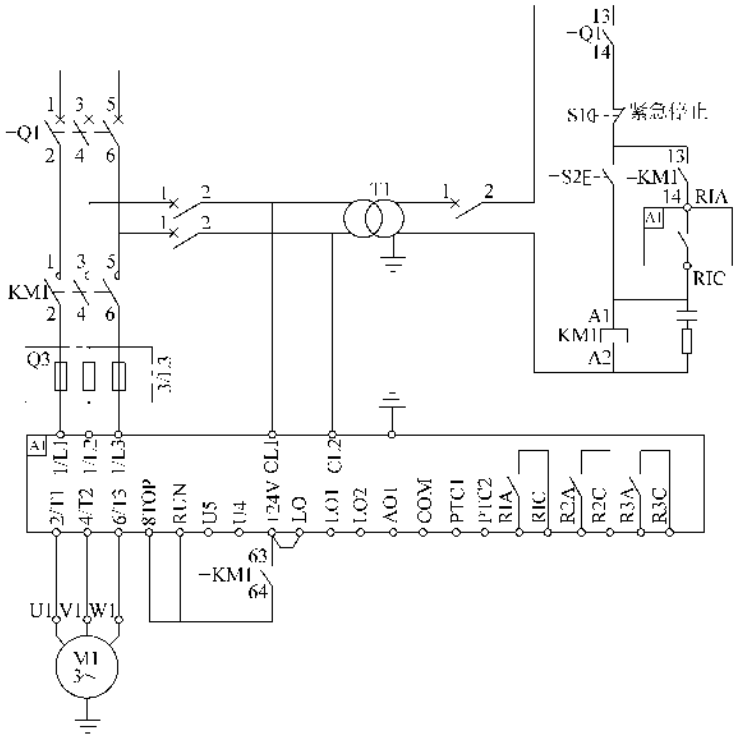


图 7-189 ATS48 软起动器标准接线图（一）

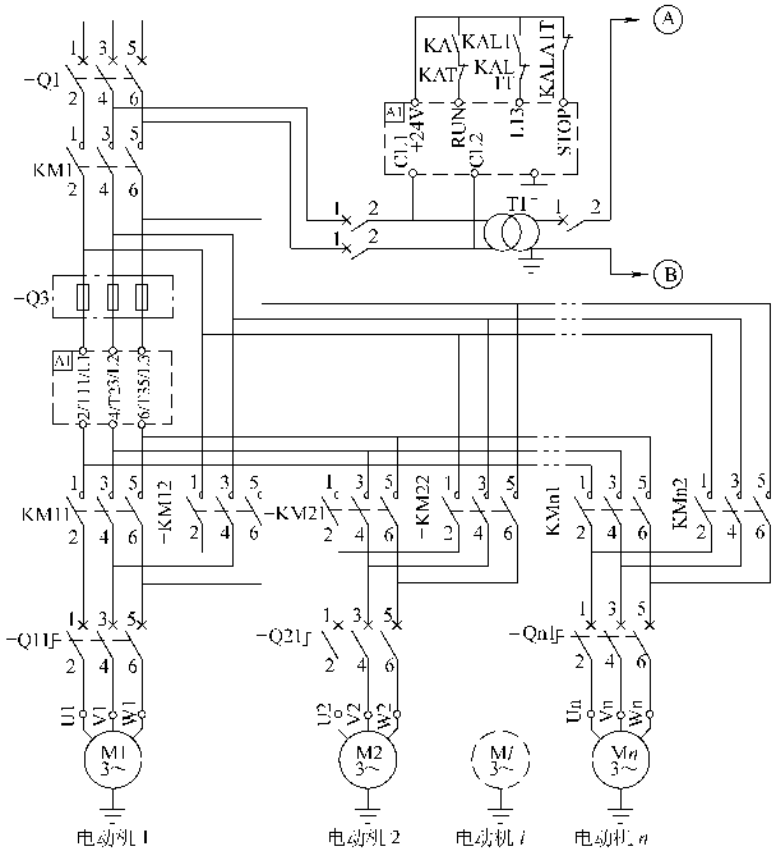


图 7-190　ATS48 软起动器标准接线图（二）

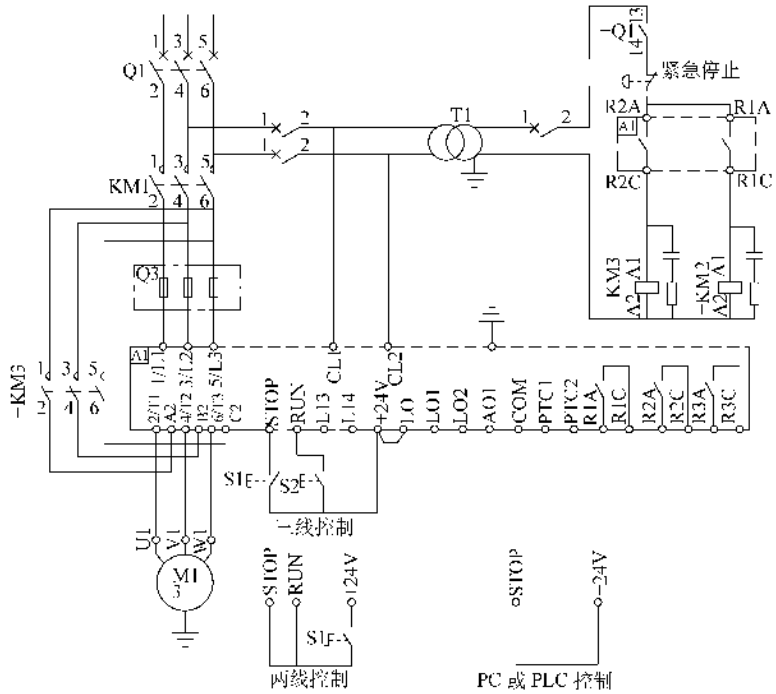


图 7-191　ATS48 软起动器标准接线图（三）

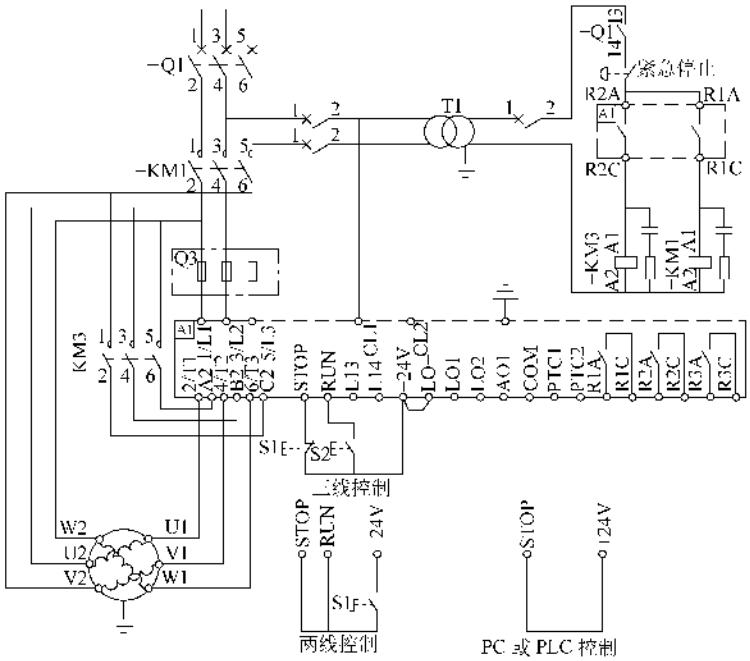


图 7-192 ATS48 软起动器标准接线图（四）

七、特殊起动控制装置的接线

特殊起动控制装置是指上述未曾提到的设备或新型产品，其接线应按上述程序进行，并准确判断起动控制装置的功能和作用，才能做到正确无误。

1）通过试验、调整掌握该柜的功能和作用，掌握控制方式和起动程序、操作要点和注意事项。

2）阅读说明书，并按说明书提供的图样进行接线。必要时应要生产商代表在场。

3）有检测信号、外输入信号的要保证接线正确和信号的正确，线缆必须使用其配套产品。

4）接线后应由非接线人员核查，不得有误。

八、其他三相负载的接线

其他三相负载在控制柜内的接线基本同上。对于负载则应根据负载的额定电压和三相负载是否平衡来接线，如果是感性负载应注意负载的头尾或极性来接线。

1）平衡负载的联结应按其额定电压接成 形或△形，额定电压是 220V 的则接成 ，380V 的则接成△，见图 7-193。

2）不平衡负载的连接，额定电压是 220V 的要接成星形，并将其星点接至零线上，380V 的要接成单相 380V，并尽量调节使每相的负载平衡趋于见图 7-194。

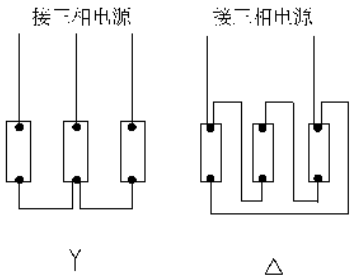


图 7-193 平衡负载的连接

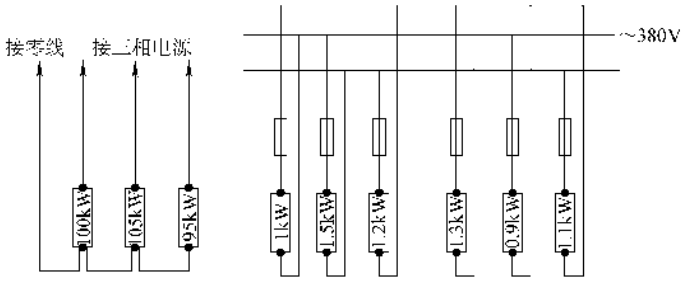


图 7-194 不平衡负载的连接

第七节　送电试车及试运行

低压动力电路经过上述一系列的安装、导线敷设、测试和接线后，已经基本完毕，并且具备了试车条件。试车有三个内容，一是要送电，二是试车，三是试运行，其中试车又包括单机空载、单机负载试车、联动空载及负载试车。试车是安装工程中一项重要的工作，稍微疏忽将会酿成大错，前功尽弃，使前段安装毁于一旦。因此，必须做好准备工作和组织工作，使试车有条不紊的进行，力求一次合闸试车成功。

一、送电试车及试运行的条件

1）所有电气设备、元件、材料已经检查、试验、测试、调整，符合规范和设计要求，且资料齐全，记录完整。合格证、使用说明书及型式试验报告真实可靠。

2）所有电气设备、元件、材料已安装完毕，经质检人员检查符合施工验收规范的要求，且资料齐全、记录完整。不合格项已经修复验收合格。

3）送电试车及试运行的准备工作已完毕，已编制送电试车及试运行方案，并经审批可行，已发至相关人员。

4）人员已到位，各种测试用的仪表及设备已到位且在检定周期以内。

5）送电试车及试运行已通知建设单位，建设单位相关人员已到位，监理工程师已批准。

二、准备工作及要求

1）组织学习图样、资料、说明书等技术文件；对照系统图核对主要设备的规格、型号、回路个数、负荷性质及类别、起动方式、容量等；补设各种标志、标牌、信号指示等，清除电动机外壳上及其他电器上的杂物灰迹。

2）测量和检查所有回路和电气设备的绝缘电阻，并清除临时送电及调试时带电部分的短接线及各种对送电及试车有影响或危害的障碍物、杂物等。测量系统的接地电阻应符合要求。

①　配电装置及馈电线路的绝缘电阻应大于0.5MΩ。

②　当回路绝缘电阻大于10MΩ时，可用2500V兆欧表测试，持续时间1min，无击穿。

3）巡回检查所有的电气线路，包括架空、地下、沟内、管路、柜内外、电气设备接线端及其接线，应正确无误，并与图样相符；恢复所有在测试调整时临时拆开的接线或线头，使之处于正常状态，并检查所有触点、触头、端子有无松动、脱离现象并处理之。有否漏油现象。

4）再次对系统控制、保护与信号回路进行空投操作试验，动作及显示应正确；所有设备、元件的可动部分应动作灵活可靠，触头分合明确，接触紧密，压力适中，分断时隔离电阻无穷大，闭合时接触电阻近似为零。

5）检查备用电源及其自动切换装置，应处于良好正常状态。润滑系统、通风系统应正常，要检查油压保护装置是否灵活可靠，能否在不正常情况下，切换主机电源。

6）在电动机起动前应手动盘车，转动应灵活无卡，并仔细检查内部有无杂物或障碍存在，若有应清除干净。同时应检查皮带的松紧、联轴器安装是否正确，电动机底座或设备地脚是否松动。

7）对系统中某一设备单独试车时而临时解除与其他设备的机械或电气联锁时，应事先通知有关人员，事后应恢复原状，并由他人进行检查。

8）确定不可逆传动装置电动机的运转方向；并根据设备要求确定电动机的转动方向，以便在试车时调整电动机的接线相序。

9）检查电动机励磁回路励磁绕组的直流电阻及有无断线或接触不良情况，检查电刷是否接触良好。

10）直流电动机绕组的极性及自消磁回路的极性经检查应正确无误。

11）如利用电动机空转干燥电动机本身，系统应具备正式试车的条件，并按要求进行。

12）试车前须经设备安装人员检查试运行设备的各个部分，并取得设备安装人员同意或签字才允许开车。

13）大型电动机起动对电网有较大影响的应在起动前应通知供电部门或厂变电所。

14）送电试车时，要在厂变电所、主控室、电磁站、操作台等地装设电话或无线步话机，并应通信无阻正常，必要时应装设录音电话。

15）所有测试调整记录应完整、清晰、签字手续要健全，并准备送电、试车记录及指令传票等，要求同上。

16）准备各种仪器仪表且应为检定或试验合格；准备安全用具及防护用品消防用具用品并检查无误；准备医疗救护用品、车辆、并通知医务人员准时到场。

17）检查系统电源总开关和各分路总开关（如断路器、熔断器）应正常；并准备各种规格型号的熔丝或熔片。

18）检查系统其他不妥之处并修复、如垃圾、道路安装用临时送电线路等有碍于送电试车工作进行的不利因素。

19）编制送电方案及试车方案，包括送电程序、

试车程序、安全措施、人员分工分配及职责范围、技术措施及指标、注意事项及上述有关条款等内容，并组织所有参加送电或试车的人员学习讨论，大型或重要的设施要进行预演，以防万一。

20）送电和试车通常应召集有关单位的技术人员和负责人参加，一般有建设单位、设计单位、安装单位的上级主管部门及安装调试人员；重要的大型或关键设备的送电试车还应有制造厂家、供电部门、监理部门消防部门等人员参加，并审核送电或试车方案，达成一致性的意见，签字盖章会签等。

三、注意事项

1）所有开关和控制器的操作手柄或转换开关应放在得电前的准备位置或适当的正常位置。

2）接触器、开关上的灭弧罩应完好，不能取掉；熔断器的熔丝应正确选择，不准用其他金属材料代替。

3）送电时应先送主电源，后送分路电源，再送操作电源；合闸顺序先合隔离开关，后合负荷开关；切断时与上述顺序相反。

4）电气传动装置的试车程序必须先手动盘车，然后空投控制回路，动作程序正确后才能使电动机空转，认为正常后才能拖动机械运转，最后再带动负载。在每次起动瞬间，应注意电动机起动状况是否正常，如起动困难应即停车检查，必要时分析起动方法是否正确。

5）串激直流电动机不准许空载起动运转。

6）电动机在拖动风机、泵类负载时应关闭闸门起动。

7）直流电动机起动时，励磁调节电阻器的阻值应放在最小位置，对直流发电机，则应放在最大位置。无论是直流发电机还是电动机，初次运行发电或拖动时，其电压应逐步升高，同时观察电刷及电枢的火花是否正常。

8）带动机械起动时应先点动方式起动，以观察转动方向及机械啮合情况是否正常，如有误应检查。带动机械起动运转时须由机装人员配合指挥。

9）对于双电枢电动机、多速电动机以及由几台电动机驱动同一机械装置，初次起动时应分别单机（单转速）起动，仔细观察起动情况是否和设计相符。

10）凡带有终端限位或极限开关的控制系统，应先用手动检查行程开关的动作是否灵活正确可靠；然后手动盘车撞击开关观察动作是否正确；再以电动机点动方式拖动机械撞击开关并仔细观察实际停车、变速、换向等效果，功能完全实现时再由低速到高速进行正式试验，如有惯性越位时，应重新调整。

11）运转时应注意仪表指示、电动机转速、声音、温升、振动、润滑和整流，电刷等情况以及继电器、接触器和其他电磁线圈的声音温升是否正常。

12）电动机起动后，操作人员要坚守控制岗位，随时准备紧急停车。

13）对间歇工作的传动装置均应按规定的负载持续率进行试车，更变工作制时应先停车，再变动选择开关的位置。

14）试车送电时，应注意设备附近的水源、油源，不允许外部的油、水等流体溅入电动机内部。

15）电动机在运行中跳闸、失磁，或发现其他故障时，应迅速切断主电源的回路，并将起动装置恢复到起动位置的零位，然后查明原因。如是继电器动作，更应进一步查明原因，不得任意增大整定值强行送电起车。发生事故后，必须先切断有关电源，然后盘车，再空投控制回路，检查电动机及机械部分正常后，才能重新起动。如起动时立即跳闸，应检查系统的保护装置是否动作，再者要检查电动机有无故障或盘车困难。

16）备用电源的相序必须和常电的相序一致；更换电源后，应注意复查电动机的转向；任何人都不准将总开关的电源倒相。

17）有电磁抱闸的机械，在电动机带动机械运转前应调整好抱闸、并经实际制动试验合格可靠；同样有反接制动、能耗制动的也应在带动机械运转前调整合格。

18）合闸或开车时发现回路的电流很大而又不能当即下降时应立即切断电源检查原因，查明原因前不得继续送电开车。

19）开关柜送电时，应将所控回路的负载断开，避免直接起动。

20）从送电试车日开始应安排值班人员，昼夜值守；无人值班的场所必须锁门。要做好防盗、防误操作、防人为事故发生。

21）试车时要随时注意电动机及设备基础及地脚螺栓的振动、位移情况，如有意外应及时报告及处理。

22）送电及试车过程中、要经常检查以下项目：互感器二次端接地情况、电动机外壳有无异常、开关触点温度是否太高、线路或电器有无冒烟糊味、调速装置工作是否正常、夜间巡视时有无打火放电或发红现象、电源电压是否平衡正常、回路中三相电流是否平衡稳定、各种信号指标是否正常、各种报警装置是否动作、运行中的电气设备有无不正常的声响、自动装置的动作或程序是否符合设计要求、电能表是否转

动走字、冷却水的水温是否正常、电动机的转速是否正常、调速装置能调速且是否正常、测听电动机轴承的声响是否正常、大型电动机的润滑系统工作是否正常、同步电动机能否正常牵入同步运行以及不频繁起动的起动电阻或电抗、频敏变变阻器和自耦减压起动器在电机进入正常运转时温度是否在降低，最后能否达到常温等。

四、安全要求

1）测试、送电和试车的操作至少须有两人进行，并且至少有一人作为监护，严禁误操作。人员应分工明确，没有操作指令，严禁擅自操作。通电前应对设备与线路进行必要的检查。

2）送电操作时应戴绝缘手套、穿绝缘鞋、戴防护镜，必要时要有绝缘垫。

3）验电器、验电笔在使用前应检查是否合格，使用时必须在制造厂规定的电压范围内使用。

4）送电试车过程中，对已送电的盘、柜、箱或开关手柄上须挂有“有电危险”的标牌，在停电的设备或线路上工作时，须在该路断开的电源开关手柄或按钮上挂有“严禁合闸、有人工作”的标牌，同时应在操作点将三相电源短接后用接地线与地线可靠连接。

5）在已部分投产的车间或运行的配电室进行送电或试车操作时，应事先与有关部门或人员取得联系，必要时要设立围栏，不得随意串岗或拉闸合闸；在防爆区域或危险场所进行工作时，应事先征得有关主管单位的同意并检查试验无产生危险或爆炸因素时，才能进行工作。

6）凡在架空线路或已送电的变配电室内引出的电缆、线路上工作时应先在线路上挂接接地线，且与地极可靠连接，同时在周围应有人监护，必要时设置围栏。

7）对设备进行调整或试验时、在被认为可能有电的线路和设备上进行作业时，应事先验电。必要时应将线路短路后接地。

8）使用的仪器仪表应选择正确合适的档位，使用安全操作用具应按电压等级正确选取；在刚停电的设备上作业时，应先放电；绝缘电阻表的使用应针对设备或线路的电压等级正确选取。

9）测量电动机温升时，一般应使用酒精温度计，测量触头或其他易发热部位的温升应使用点式温度计或测温蜡片。

10）送电前必须复查送出回路和受电单位是否相符，且受电端应有人联络。

11）送电试车区域应有警告牌、并派专人维护，严禁非工作人员人内；对配电室、设备间、操作室要派专人看管，任何人不得擅离职守。

12）无防护的刀开关投人时，脸部应躲开开关的正面；电动机起动时，电动机、设备、传动装置附近不得有闲人，并且操作人员和设备运行人员要先呼应后操作，只有得到设备运行人员允许起动的指令，方可起动。

13）滑接线送电后，两端的灯光标志应正确显示，起动吊车前应发出开车的音响信号，吊车在运行时除紧急特殊情况外，严禁突然反向运转，人员禁止在道轨、行架上停留或走动，吊钩下不得站人。操作天车者必须是持证司机。

14）调配电解液时，必须将硫酸倒入蒸馏水中，不得将蒸馏水倒入硫酸中，禁止在蓄电池室内吸烟。

15）所有参与送电和试车的人员，在工作前不准饮酒。

16）如发生人身触电事故应先断开电源，然后再急救，要进行人工呼吸直至送到附近医院。断开电源时，如不能拉闸断电，必须用绝缘物切断线路，避免再度触电。

17）如发生设备着火爆炸事故应先断开电源，然后再急救，使用的灭火剂必须是有利于消防电气火灾的灭火剂，如 CO_2、四氯化碳、1211、干粉灭火剂，其中 CO_2、1211 宜用于电器着火。

18）雷雨季节要注意防雷，进户点的避雷器必须经校验合格，接地电阻必须经测试合格，所有的接地点必须正确可靠。一般情况下要注意防止静电并加以消除。

19）倒闸操作即由运行状态转换到备用、停电、检修或试验状态，或由上述状态转换到运行状态所进行的一系列拉闸合闸操作，必须根据总指挥或送电试车负责人的命令，并经受令人复诵无误后，由监护人监视执行，同时应填写操作指令传票，并会签验证无误。

20）安全要求要写进送电试车方案中去，有关安全措施及要求，请参照第五章电气工程施工组织设计。

五、低压动力电路的送电

1）将低压配电室或控制室中成列开关柜总开关及分路开关的隔离开关和负荷开关全部断开，检查无误后即可通知变电所请求将该配电室馈电回路的开关合上。

2）变电所接到请求送电的电话，经总指挥批准后即可回电请求单位，表示同意送电；双方联系无误后，即可将该回路的馈电开关合上，这时受电单位的

电压表指示灯应有显示，正常情况下三相电压应平衡，电压值应正常。受电单位即可把得电情况报告变电所及总指挥。

3）低压配电室将隔离刀闸总开关和总负荷开关先后合上后，低压母线上即有电，测试母线最末一端的电压应正常，且任何部位不应有漏电或放电现象，然后把总负荷开关拉掉，连续三次冲击合闸分闸，开关和母线应正常，电压正常。分合闸间隔一般为1min。

4）将每个回路的刀闸开关合上，电压表或指示灯应有指示且正常，并连续三次冲击合闸分闸，开关和电压应正常。

5）按低压配电室的供电范围用电话按回路编号进行联系，可否送电；受电单位检查无误即可同意送电并做好准备，双方联系无误后，即可将第一回路的负荷开关合上。这时受电单位的电压表指灯应有显示且电压正常，同样把得电情况通知配电室。配电室应连续三次将断路器合闸分闸，应正常。

用同样方法将所有回路按编号送电，应正常。然后将所有回路的刀闸和断路器合上，空载运行8h，应正常且无漏电现象及其他不妥，系统应电压稳定，三相平衡，电流表无指示，电能表只有潜动，信号系统正常等，同时应加班巡视和值班，发现问题或故障即时处理并通知总指挥。

6）空载运行正常后，即可进行单机试车。单机试车通常应按回路一一进行，如时间要求紧迫可多路进行或全路进行，但要将人员安排好，这样系统便进入了单机空载试运行阶段。

六、单机空载试车

单机试车应使用正式电源，但在没有正式送电以前，由于工期或工程的需要，也可使用临时电源进行。单机空载试车应分别将每台电动机解除负载空载起动并试运行，大中型电动机一般运行8个小时，小型电动机运行2个小时。同时设值班人员并将运行情况填入记录，有问题应及时处理或停机检查，正常后方可单机负载运行。单机空载试车时，一般先试小型电动机，再试中型大型电动机，一台电动机试车成功后，可投入试运行，然后再试下一台电动机。有联锁控制的先将联锁解除，再单机试车。

单机试车的步骤方法如下：

1）起动前先检测电动机绝缘电阻合格，手动盘车灵活无卡，控制回路空投试验正常，有润滑系统的要先将油泵起动、并使之正常，然后征得机装人员许可便可起动，必要时可将皮带拆下，联轴器拆开，单试电动机。

2）合上起动柜的总开关，先点动起车一次，观察起动电流的瞬间值、转向、声音、振动是否正常，有无阻卡，是否表现起动困难等，然后再正式空载起动。这里要注意，有些负载不能空载运行，如水泵；而又有些负载起动时，空载或负载的区别只在于调节装置的开与闭，如风机等，这些都必须与机装人员取得一致性的意见，才能空载试车。

3）空载起车后，应观测电流、声音、振动及其他有无异常。大中型电动机间接起动时，还应粗试一下起动时间和起动电流。空载运行时除上述观测项目外，还要观察电动机的温升及轴承的温度。

4）起动时间和起动电流的测定是同时进行的。电动机起动前，先把钳形表卡在电动机接线盒外的任一相导线上，量程应按电动机额定电流的10～15倍选取，同时准备好秒表，操作起动按钮的同时即开始计时，这时要观测电流表的变化情况，电流表的指针迅速升到某一很大位置并维持几秒不动，这个数值即为空载起动电流，然后下降到一定值不再下降，这段时间即为空载起动时间。而电动机的转速则是由慢而越来越快，当电流下降到一定值时，转速也增加到了额定转速的85%左右，电动机切换为全压运转的时刻也是这个时刻。

这里需要说明一点，不允许重载起动只能空载起动的系统，上述测定的起动时间即为时间继电器整定的时间，一般将时间继电器的动作时间初步整定为测定时间的1.10～1.15倍。允许重载或中轻载起动的系统，起动时间还要在加负载后精测。

时间继电器的整定，一般采用控制电路空投时来整定，空投后开始计时，如在测定时间的1.15倍时还不动作，则应将调节螺钉或电位器其往小的方向调节；如在测定时间的1.15倍以前动作，则应将其往大的方向调节，直至使时间继电器的动作时间与测定时间相等。有也可单独测试时间继电器，气囊式时间继电器要用手按动或支起衔铁，并用万用表和秒表按上述方法测定时间；其他需通电的晶体管式或电动式的继电器时则应通以额定电压或电流，再用上述方法测定。

七、单机负载试车

单机负载试车的步骤、方法及要求与单机空载试车基本相同，但必须在单机空载试车合格且在规定的空载运行时间后无任何不妥才允许单机负载试车。

负载试车就是在电动机驱动的机械里加上机械带动的物质，如空气、水、煤、原料、金属物质等，因此负载试车必须有建设单位的工艺运行人员参加。负载试车又根据工艺要求分重载、中载和轻载三种，因

此要按工艺要求和负载情况重新测定起动时间和起动电流，并按其整定时间继电器、整定断路器、热继电器和电流继电器的动作电流。

单机负载试车时主要是监测三相电流是否平衡（一般不应大于 2/3 额定电流）、声音、转速、轴承及机壳温升是否正常，并随时用铁棍测听轴承、定子与转子的声音有无异常，用手感轴承及机壳温度。当发现温度过高时，保护装置应动作、否则应停车检查，查明原因才能重新起动，必要时要重新试验继电器是否可靠或调整动作电流或时限。有重大异常现象应紧急停车并报告总指挥或负责人。这里要提醒大家两点，凡是用皮带传动的设备，皮带不能装得太紧，否则容易发热；负载试车，工艺人员必须进入现场和安装人员共同值班。

单机负载试车一般不超过 24h、试车的台数一般不超过设备总台数的 1/3，要注意人员的安排，夜班应安排经验丰富、技术较高的人员值班，以便处理复杂的故障。

通过单机负载试车，可以找出系统中起动电流最大、起动时间最长的几台电动机，这样即可把回路总开关或分路总开关的过载跳闸及时限按“控制柜的调试”中的方法整定好。通过单机负载试车，可以发现设备制造、工程设计和安装调试中的一些缺陷和故障，都应及时处理。元件和设备制造上的缺陷应认真对待，否则应更换，杜绝凑合思想和做法。设计和工艺要求相差较大时，应修改设计；安装上的缺陷有碍于工艺运行的要返工，不得马虎。通过负载试车，安装人员要把操作程序、注意事项、维修要点、调试方法、试验项目、监测项目、运行指标等教给建设单位的工艺运行人员。在后述的联动试车内容中，使这些内容更趋于完善。

八、联动试车

联动试车就是按照工艺生产的程序及条件，使系统运行起来，并生产出成品或半成品，实际上就是试生产或试运行。

1. 联动试车的条件

1）单机负载试车完毕，且将发现的缺陷和故障全部处理，必要时应在处理后再次进行单机负载试车，直至无任何故障；

2）和系统配套的其他安装工程、如静止设备、管道、水处理、给排水、通风、空调、采暖、化验等均应完毕且合格；

3）生产原料已运到现场且合格；包装或成品堆放已具备生产条件；中间环节或半成品的转移已具备生产条件；

4）生产工艺人员及技术管理人员已培训合格，已建岗建制，并进入现场，生产管理体系已运行；

5）和系统配套的其他电气工程，如通信、自动化仪表、监控、照明、天车、微机系统等均已单机试车合格，且具备运行条件；润滑系统试车合格，且油料充足。

6）单机试车时，解除的联锁已全部复位，且经试验合格无任何故障及障碍；重新测量系统的绝缘电阻和接地电阻，均应合格；

7）经建设单位、安装单位、设计单位及其主管部门的技术人员联合对试运行的现场、条件进行验收检查，不妥之处即时修复，并验收合格。同时应在联动试车的文件上签字。相关部门已具备生产能力和运输能力。

8）供电部门或厂变电站，整流所允许在请求的时间内试车，并做好充分准备，随时保持电话联系。

2. 联动试车的程序及方法

1）总指挥发布试车准备的命令，工艺生产人员上岗，启动润滑系统，手动盘车，启动供料系统及准备包装系统，检查设备正常；电气值班人员上岗，检查电气系统，随时准备合闸起动。

2）总指挥询问各工段准备情况，一切正常后，发出开车的命令。这时应按系统起车的程序或联锁情况一一分别将电动机带动负荷起动或空载起动，并满足最大的开车率，记录电气参数及空载运行情况。

3）系统空载正常后，向总指挥报告，并经总指挥发布投料命令，然后即可按工序及工艺纪律投料，系统进入生产状态。这时应满足最大的开车率，并按工艺要求正常起停设备，记录电气参数及系统运行情况。作为电气人员来讲主要是观测各级的电流情况及电动机、电器的温升，如有异常即可先停车后请示汇报。

4）生产运行正常后，如征得建设单位同意即可进行 72h 试运行，并由双方派专人参与试运行，负责处理各种事宜。

5）72h 试运行正常后，即可转入常规工业生产。这时实质上工程已交验完毕，安装人员除协助建设单位参加运行的人员外，即可撤离现场。

九、联动试车中电气事故的处理

试车中经常发生电气事故，这些事故的造成有的是安装原因，有的是设计原因，有的则是由于选择元件材料不当造成，有的是元件材料质量问题以致由于生产工艺不当或设备选型等等。遇着问题要仔细分析，冷静思考，万万不可鲁莽从事，最忌讳的就是乱拆乱卸和强行起车，导致故障的扩大。

（1）电动机不能起动　电动机不能起动有多方面的原因，负载太重，负载转矩超过电动机的最大转矩；控制电路故障；电动机内部故障；电源电压或频率故障等。

处理方法通常是先将电动机与设备的连接装置（皮带、联轴器）取掉，使电动机脱离负载；关掉主电源开关，合上控制电路开关，空投控制电路看其是否动作正确，找出错误原因或元件，本身能否按起动方式将三相电源送至电动机；测量控制柜三相电源的电压值应在规定范围以内，且趋于平衡，否则应找出原因；检查过载元件是否调节的值太小，动作是否正确，必要时要重新整定；检查频率表是否准确，必要时要测电源的频率。

然后测量电动机的绝缘电阻、直流电阻以及绕组的极性和接线是否正确。绕线转子电动机应检查转子是否被短接或是起动电阻或频敏变阻器能否正确接入转子回路。用手转动电动机轴是否有极大困难，有无阻卡或扫膛等异常声响，轴承是否良好等，必要时要重新抽芯检查。

然后将主开关合上，空试电动机、测量电气参数，看其是否正常。如果电动机、控制电路、电源都正常、其原因可能在设备上。通常应检查设备，手动盘车是否灵活无卡，起动方法或盘车的灵活度是否相符，机械的轴承是否良好，风门、载门能调节负载的装置是否未按规定调节，投料是否过多等。这里要提醒大家一点，任何负载都应能盘车，有些大重型设备、起动转矩很大，盘车时要用几根木棒且由十几人盘车，但结果应盘动；因此盘车要根据负载的实际情况进行，凡盘不动车的负载或盘车灵活程度与设备本身不相符的负载，是绝对不能用电动机起动的。

（2）电动机突然停车而又不能重新起动　这种故障是由于负载增长（速度）过大，或机械堵转或过载，以致使机械损坏将设备卡死，电流增大，保护装置动作，使之跳闸。再是控制电路故障，或停车按钮、触点由于振动而误动作。三是电源突然失压或欠压。四是由于电动机制造原因，过载能力小，致使绕组或局部烧坏或烧断，包括引线接头由于处理不良而造成。

处理方法基本同前，但在没有弄清原因时，不得随意增大继电器或过载保护的整定值，只有所有检查项目都合格后，须经技术人员同意后才可重新整定。此外，要注意延时复位的继电器的接点是否复位，如热继电器，否则不能重新起车。

（3）断路器跳闸　起动时跳闸是由于瞬时动作电流值整定的较小，不能满足或躲过电动机起动电流或者因为电动机或线路有短路现象；运行时跳闸是由于过载延时动作，这里有两种原因，一是电动机过载而动作，保护了电动机；另一种是因为整定值较小，电动机过载程度不够而动作。后一种原因则应重新整定，而前一种则应检查机械故障或检查原料进给或调节负载装置是否速度或开度较大而造成。验证方法是合闸后，重新起动，并按原进料速度给定，再仔细观察是否跳闸。否则应重新整定。当然运行中跳闸也有短路造成的可能性。

起动时跳闸主要是由于负载太重或保护装置动作，则应重新测定起动电流的峰值，按规定系数或适当放大（最大不得超过 1.25 倍）重新整定，或摇测电动机绝缘，电动机与负载不匹配，也就是小马拉大车时也会引起起动跳闸。

空开跳闸，有时是因为分励线圈的铁芯吸合不好，受到稍微的振动或电压的波动及其他原因也会跳闸。应仔细观察其吸合情况和声音是否正常，铁芯截面上有否脏污等。断路器跳闸的另一个原因是产品质量不好而引起的，因此必须把好元件的进货关，杜绝伪劣产品混入。

上述方法仍不能解决，则应更变空开的型号规格，重新计算和整定。若是电动机绝缘损坏则应更换电动机。

（4）开关触头、导线接点或导线温度过高、烫手、发红、烧焦、有味等事故　大多是接触不良引起，再者是负载大而元件规格小、导线截面小而造成。

先检查并紧固所有连接部位的螺栓，这里要注意，所有紧固螺栓应与接点、导线截面配套，螺栓偏细也能引起过热现象。如仍过热，应重新计算负载的电流，核算导线截面，必要时则应更换导线或开关设备。更换导线或开关设备须经设计和技术负责人同意。此外，过热现象的原因，还要考虑负载过大，环境温度、通风条件等因素。

（5）三相电流严重不平衡　一般是由于某分支回路或单机回路单相运行引起，应从单机回路逐个测量三相电流，再测分支回路三相电流、即可找出单相运行回路。检查时要特别注意有熔断器保护的回路，其熔丝是否熔断。单相造成的另一原因是电动机某相烧断、断线、开关有一相触接触不良或闭合性能不好引起，再者是漏电引起或单相接地引起，应停电后检查各个回路的绝缘电阻。三相电流在总开关上不平衡有时是由于单相负载较多且三相分配不均匀而引起，应重新分配负荷，这里还要注意单相负载的使用率等一系列问题。

（6）熔断器熔丝熔断　熔丝熔断与断路器跳闸分析基本相同，所不同的是，熔断器是用熔丝一个元件保护，而空开是用两元件分别保护瞬时和延时。如果熔丝熔断特别严重，在熔室内只能看飞溅细小的熔珠及乌黑一片熔丝荡然无存，大多原因是因为短路造成；如果在熔室里能看到熔丝是从中间熔断，两端依然有存，且熔珠较大，一般是由于过载引起。更换同径或大一规格的熔丝后，合闸瞬间即立刻烧断，那么一定是短路造成，且短路还存在。应查出原因并修复；更换熔丝后，在运行中仍熔断，应更换大一级的熔丝试验，否则应检查负荷是否堵转或过重！以至电动机是否匹配，不得随意增大熔丝规格。

（7）保护继电器动作　在起动时动作，是因为起动时间的延时较长，而保护过载时间的延时较短，躲不开起动电流而造成，应适当增加允许过载的延时；或许是起动转矩太大造成。在运行中动作，一般是因为过载动作，再者是因为受到外界影响而误动作，应增加元件的抗干扰能力，或选择性能优越的元件、延时可靠的元件。无论何时动作，都有可能是因为短路引起或电动机内部故障引起，要核校系统的绝缘电阻或检查电动机。

（8）其他事故及处理见表 2-84 及相关内容　无论哪种事故的处理，一定要掌握“机—电分开”的原则，这样能分清责任，避免事故扩大，当然一些易见而又易处理的故障则不必教条，应即时处理。

十、送电试车方案的编制

电气工程在送电试车运行前要编制送电试车方案，如果有高压部分，低压动力电路的方案常和高压电路及变电所的送电试车方案一并编写，同时联动试车也是一并进行的。这部分内容请读者参阅本书第十二章变配电装置的安装。

第八节　低压动力电路及配电室安装调试质量标准及检验方法

安装工程的质量是安装企业的生命线，是保证电气装置及线路安全运行的重要手段，这里将低压动力电路及配电室安装调试质量标准及检验方法列出，供读者在工程中参照执行。

电气工程中，发电机、电动机的安装质量检验标准及方法见表 7-64 ~ 表 7-69。

表 7-64　发电机本体检查

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
定子铁心检查	铁心外观			清洁，无锈蚀，无损伤	触摸及观察检查
	铁心叠片间			无松动及金属性短路	观察检查
	槽楔	楔块检查	主要	无断裂，松动	扳动检查
		端部槽楔检查		牢固	
		每根槽楔的空响长度	主要	≤1/3 槽楔长	用仪器测量检查
		波纹板		按制造厂规定	用专用工具或仪器检查
	通风道通畅检查		主要	无杂物堵塞	观察及通气检查
定子绕组检查	绝缘层外观		主要	清洁，无伤痕，起泡，龟裂	观察检查
	紧固件及绑扎件			完整	
	端部绕组绑扎			紧固	扳动检查
	防松措施			齐全，可靠	
绝缘水管检查	绝缘水管与端盖间			无碰触	观察检查
	各绝缘水管间				
	绝缘水管外形			无凹瘪	
	管道畅通检查		主要	通畅	通气检查
	本体管道对外部管道绝缘电阻		主要	≥1MΩ	用 1000V 绝缘电阻表检查

（续）

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
转子检查	铁心	通风孔检查	主要	通畅	通气检查
		表面漆层		无脱落、锈蚀	观察检查
	绕组引线与集电环连接		主要	牢固，且接触良好	扳动检查，并检查试验报告
	平衡物检查		主要	无变动	观察检查
	集电环	外表面检查		光滑，无锈斑、伤痕	观察检查
		通风孔检查	主要	通畅	

表 7-65　发电机附件安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
刷架及刷握安装	绝缘衬管、绝缘垫检查		无损伤、污垢	观察检查
	对地绝缘电阻	主要	≥1MΩ	用 2500V 绝缘电阻表检查
	刷握与集电环间隙	主要	2～4mm	用尺检查
	紧固螺栓及防松措施		齐全，紧固	扳动检查
电刷安装	电刷型号及厂家	主要	同一型号、同一厂家	观察并检查厂家合格证件
	电刷引线连接		牢固	扳动检查
	引线与转动部分间		无碰触	观察检查
	电刷与刷握间隙	主要	0.1～0.2mm 且能上下移动	用塞尺并扳动检查
	电刷绝缘垫检查	主要	完好	观察检查
	电刷端面与集电环接触面积	主要	≥75% 单个电刷截面积	观察断面研磨痕迹
	弹簧压力		按制造厂规定	对照厂家规定检查
套管安装	套管电气试验	主要	合格	检查试验报告
	套管外观检查		无掉瓷、裂纹	观察检查
	水冷通道密封试验	主要	按制造厂规定	对照厂家规定检查
	套管与出线箱法兰连接	主要	螺栓紧固，密封良好	观察并用力矩扳手检查
电动机引出线与套管连接	接触面检查		清洁，镀银层完好	观察检查
	螺栓连接	主要	紧固，无闭合磁路	观察并用力矩扳手检查
	防松螺母		齐全，紧固	观察检查
	绝缘水管连接		牢固，密封良好	
	绝缘包扎处理	主要	按制造厂规定	对照厂家规定检查
接地	接地线连接	主要	牢固，接触良好	扳动并导通检查
	条形底座接地		接地明显，且有两点及以上接地	观察检查

表 7-66　具有换向器、集电环类电动机检查

工序	检验项目		性质	质量标准	检查方法及器具
外观检查	铭牌及接线图标志			完整、清晰	观察检查
	回转方向标志			清晰	
转子装配	轴承转动音响		主要	正常	盘动转子听察
	转动惯性			均匀无阻滞	观察检查
接线盒检查	引线端子连接			完好、牢固	扳动检查
	出线标号及绕组接线		主要	清楚、正确	对照接线图检查
	直流电机并励绕组检查		主要	牢固、无开路	用万用表及扳手检查
换向器集电环检查	换向器表面不平度			<0.2mm	必要时用千分表盘车检查
	与绕组引线连接		主要	牢固、接触良好	观察及检查直流电阻
	整流片与片间绝缘顶面高差			0.5～1.5mm	观察或用钢尺检查
刷架、刷握检查及调整	螺栓防松件			齐全、可靠	观察检查
	对地绝缘电阻		主要	≥1MΩ	用 2500V 绝缘电阻表检查
	刷握对集电环或换向器表面间距			2～4mm	用尺检查
	同组各刷握中心线相对偏移		主要	≤0.5mm	
电刷安装	电刷中心线与换向器电气中心线相对位置		主要	重合	检查试验报告
	各电刷牌号及引线连接			一致、牢固	检查出厂证件及扳动检查
	电刷与刷握间隙		主要	0.1～0.2mm 且上下移动无卡阻	用塞尺及扳动检查
	电刷端面与集电环或换向器接触面积			>75%	检查研磨面
	电刷的倾斜锐角尖朝向			与转动方向相反	观察检查
	电刷弹簧压力			按制造厂规定	对照厂家规定检查
绕线式电动机电刷提升装置	起动过程中转子回路		主要	无瞬间开路	操动检查
	状态标志			清晰、正确	观察检查
润滑脂	外观		主要	清洁，无硬化变色	观察及触摸检查
	油脂特性		主要	按制造厂规定	对照厂家规定检查
	填充量			填至 2/3 内腔高	观察检查
绝缘检查	直流电动机励磁绕组及电枢绝缘电阻		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	交流电机额定电压 1kV 以下绕组				用绝缘电阻表检查
	交流电机额定电压 1kV 及以上	定子绕组	主要	≥1MΩ/kV	检查试验报告
		转子绕组	主要	≥0.5MΩ/kV	
	交流电机 1kV 及以上电动机吸收比		主要	$\geq 1.2R_{60}/R_{15}$	
	轴承座绝缘电阻		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查

（续）

工序	检验项目		性质	质量标准	检查方法及器具
抽心检查	铁心检查	漆层		无脱皮、锈蚀	观察检查
		风道畅通检查	主要	无阻塞	通风检查
		转子平衡块	主要	紧固可靠	扳动检查
		槽楔装配		紧密无凸出	扳动及木锤敲击检查
		空响长度		≤1/3 槽楔长	用木锤敲击检查
	磁极检查	固定螺栓连接		紧固	扳手检查
		磁极中心线与几何中心线相对位置		重合无偏移	用尺检查
	绕组检查	绝缘表面检查	主要	清洁，无破损	观察检查
		绑线扎锁	主要	紧固	扳动检查
		引线连接		牢固	
风扇	外观			无裂纹、变形	观察检查
	安装方向		主要	正确	
接地	接地连接			牢固，导通良好	扳动及导通检查

表 7-67　笼型电动机检查

工序	检验项目		性质	质量标准	检查方法及器具
外观	铭牌及接线图标志			齐全、清晰	观察检查
转子装配检查	轴承（柱）转子音响		主要	正常	盘动转子听察
	转动惯性			均匀无阻滞	
接线盒检查	接线端子绝缘外观			无损伤、受潮	观察检查
	出线标号及引线连接			正确、牢固	观察及用扳手检查
	绕组接线		主要	正确	对照接线图检查
滚动轴承检查	外圈与机座配合			紧固	扳动检查
	内圈与轴配合				
	转动试验		主要	灵活无卡阻	
	动体与内外圈间隙			按制造厂规定	对照厂家规定检查
润滑油	外观		主要	清洁，无硬化变色	观察及触摸检查
	油脂特性		主要	按制造厂规定	对照厂家规定检查
	填充量			填至 2/3 内腔高	观察检查
绝缘检查	绝缘绕组	1kV 以下	主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
		1kV 及以上	主要	≥1MΩ/kV	查试验报告
	1kV 及以上绕组吸收比		主要	$\geq 1.2R_{60}/R_{15}$	查试验报告
	轴承座绝缘电阻			≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查

（续）

工序	检验项目		性质	质量标准	检查方法及器具
抽心检查	铁心	漆层	主要	无脱皮锈蚀	观察检查
		风道通畅检查	主要	无阻塞	通风观察
		转子平衡块	主要	紧固可靠	扳动观察
		槽楔装配		紧固	木锤敲击检查
		每根槽楔的空响长度		≤1/3 槽楔长（或按制造厂规定）	
	笼型	端环与铜（铝）条连接		良好、无断裂	观察检查
		端环外观		无裂纹	
		绝缘层外观	主要	清洁，无破损	观察检查
	绕组	绑线扎锁	主要	紧固	扳动检查
		引线连接	主要	牢固	
风扇	外观			无断裂、变形	观察检查
	安装方向		主要	正确	
接地	接地连接			牢固，导通良好	扳动及导通检查

注：电动机、发电机按其容量不同检查内容也不同，具体区分见《电气装置安装工程施工及验收规范》。

表 7-68　发电机检查（隐蔽）签证

型　　号		额定容量 MW		接线方式	
额定电流 A		转速 r/min		冷却方式	
额定电压 kV		频率 Hz		功率因数	
励磁电压 V		励磁电流 A		励磁方式	
制造厂家		出厂编号			

检　查　内　容	检　查　结　果
定子铁心、绕组及机座内部清洁；各部分螺栓紧固无松动	
定子铁心外观无锈蚀、损伤及金属性短接	
定子槽楔无裂纹、凸出及松动；通风道、通风孔无杂物堵塞	
定子绕组绝缘层表面无伤痕、破损；端部紧固件和绑扎牢靠	
冷却水管外形无凹瘪、损伤，管道内畅通无阻塞	
冷却水管间及与端盖无碰撞可能；定子汇流管绝缘良好	
转子铁心防锈漆层外观无脱皮、锈蚀	
通风孔内“堵塞物”已全部拆除，各通风孔畅通	
转子上的平衡物及紧固件固定牢固，无脱落可能	
集电环表面光洁、无锈斑	
定子绕组冷却水管风压试验、转子通风试验合格	
各项电气及热控试验项目试验结果符合标准要求	

检查结论：

（经检查，本发电机上列各检查项目符合规范要求，可以进行下道工序安装）

质检机构	验　收　意　见	签　　名
班　　组		年　　月　　日
工　　地		年　　月　　日
质检部		年　　月　　日
监　　理		年　　月　　日
建设单位		年　　月　　日

表 7-69 （主设备名称编号）电动机带电试运签证

型　　号		额定容量 /kW		接线方式	
额定电压 /kV		额定电流 /A		转速 /（r/min）	
制造厂家		出厂编号		出厂日期	
检查项目		检查结果	检查项目		检查结果
盘柜内部清洁			盘内孔洞封堵		
电缆挂牌			二次回路接线标志		
测量仪表校验有效期			开关推拉及机械闭锁		
开关分、合闸指示			操作及传动试验		
一次回路绝缘值 /MΩ			二次回路绝缘值 /MΩ		
室内消防设施			用手盘动电动机转子		
该电动机于　　年　月　日　时　分～　时　分，空负荷试转　h					环境温度　　℃
电动机起动电流 /A			电动机空载电流 /A		
对轮侧轴承温度 /℃			风扇侧轴承温度 /℃		
对轮侧垂直振动 /mm			对轮侧水平振动 /mm		
风扇侧垂直振动 /mm			风扇侧水平振动 /mm		

试运结论：

（电机经　h　min 空载试转，电流、轴承温升、电动机振动正常，控制、保护及信号正常）

质检机构	验收意见	签　　名
班　　组		年　　月　　日
工　　地		年　　月　　日
质检部		年　　月　　日
监　　理		年　　月　　日
建设单位		年　　月　　日

电气工程中，额定电压 500V 以下低压断路器、低压接触器及电动机起动器、隔离开关、刀开关变阻器、电磁铁、按钮等的安装质量检查标准及方法见表 7-70～表 7-77。

表 7-70　低压断路器、低压接触器及电动机起动器的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
外观检查	铭牌标志			清晰	观察检查
	型号及规格			按设计规定	对照图样检查
电器安装	水平及垂直度偏差		主要	≤2mm	用尺检查
	固定连接			牢固	扳动检查
	抽屉式断路器空载时抽、拉试验			无卡阻、机械联锁可靠	操动检查
	直流快速断路器极间中心距离与相邻设备或建筑物的距离			≥500mm	用尺检查
	直流快速断路器接线时母线支点与断路器之间的距离			≥1000mm	
	导体	漏电距离	主要	≥20mm	用尺检查
		电气间隙	主要	≥12mm	
导电部分检查	触头外观		主要	光洁、无毛刺	触摸及观察
	端子上连接的不同相母线距离		主要	≥10mm	用尺检查
	合闸时动静触头接触		主要	紧密	观察检查
	触头动作检查			对栅片无碰触	扳动检查
	同相两侧、相间及对地绝缘		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
灭弧装置	灭弧罩完好度			无裂纹、损伤	观察检查
	灭弧室检查		主要	完整、清洁、畅通	
线圈检查	直流有极性快速开关触头线圈极性检查			和主回路极性一致	观察检查
	线圈对地绝缘值		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	引线连接			牢固	用扳手或旋具检查
辅助触点检查	固定连接			牢固	用旋具检查
	动作及接触可靠性		主要	正确、良好	导通检查
电磁铁检查	铁心结合面外观		主要	平整、无尘垢	观察检查
	合闸时铁心吻合		主要	吻合紧密，无噪声	
传动机构检查	轴销连接			可靠	观察检查
	可动部分配合			灵活、无卡阻	操动检查
	半轴与再扣板接触宽度		主要	1～1.3mm	用尺检查
	脱扣电磁铁与脱扣指间距		主要	2～3mm（或按制造厂规定）	
	分合闸可靠性		主要	无拒动	操动试验
	可逆磁力起动器联锁装置动作			正确，可靠	
	电动机构	合闸过程		开关无跳跃	操动试验
		线圈或电动机通电时间		按制造厂规定	
		联锁装置动作		可靠	
保护装置	热元件	规格		按设计规定	对照图样检查
		整定值	主要		
	过电流保护动作			准确、可靠	检查试验报告
接地	接地连接			牢固、可靠	扳动及导通检查

表 7-71 低压隔离开关、刀开关、负荷开关（铁壳开关）的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
外观检查	铭牌标志			清晰	观察检查
	型号及规格			按设计规定	对照图样检查
	安装面垂直度			无明显倾斜	观察检查
	安装孔眼横向中心线水平度			平直	
	固定连接		主要	牢固	扳动检查
开关检查	刀片绞接点弹簧压力		主要	充足	操动检查
	固定触头钳口压力		主要		
	刀口与触头钳口中心线相对位置		主要	重合	观察检查
	带弹簧的消弧触头动作试验		主要	三相一致，且动作迅速	操作观察
	带铁壳的负荷开关绝缘内衬外观			完好、无脱损	观察检查
	双投刀开关分闸时刀片位置固定			固定可靠	
	导体	漏电距离	主要	≥20mm	用尺检查
		电气间隙		≥12mm	
	底板及刀片连杆绝缘/MΩ		主要	按设计规定	用绝缘电阻表检查
	端子上连接的不同相母线间距离			≥10mm	用尺检查
	用连杆操纵的刀开关操动试验			灵活，无卡阻	操动检查
	同列布置的操作手柄分合闸位置			整齐、一致	观察检查

表 7-72 变阻器及电阻器安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
外观检查	型号及规格		按设计规定	对照图样检查
	装置外观		无损伤	观察检查
变阻器检查安装	电阻与固定触点连接		牢固	导通检查
	动静触头接触紧力		压力充足，接触良好	
	动静触头滑动过程接触检查		无瞬间开路或卡阻	操动检查
	对地绝缘		按制造厂规定	用绝缘电阻表检查
	分断及操作方向标志		齐全、清晰	观察及操作检查
	传动试验	主要	平滑、无卡阻	操动检查
	频敏变阻器抽头及气隙检查		按制造厂规定	对照厂家说明书检查
	电传动时终端开关及信号指示动作		正确、可靠	观察检查
	两侧齿轮位置		平行，在同一垂直面内	齿链传动时吊线检查
电阻器检查安装	片间接触面连接	主要	紧固、可靠	用试灯导通检查
	片间绝缘检查	主要	良好、无损伤	观察检查
	电阻器紧固连接		牢固	用扳手检查
	电阻片间距		中间无碰触	观察检查
	电阻值检查	主要	按铭牌标志	电桥测量
	有振动场所的防振措施		良好	观察检查
接地	接地连接	主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查

表 7-73　电磁铁安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
外观检查	线圈及铁心外观			完好、无损伤	观察检查
	型号及规格			按设计规定	对照图样检查
	缓冲器气孔通畅检查			无堵塞	观察检查
电磁铁安装	固定连接			牢固	用扳手检查
	线圈绝缘			按制造厂规定	用绝缘电阻表检查
	直流线圈并联放电回路连接			完整、无开路	用万用表检查
	电刷对集电环接触紧力			合适	用扳手检查
	衔铁及传动机构动作试验			灵活、无卡阻	观察检查
电磁铁调整	缓冲器通电吸合冲击试验		主要	无剧裂冲击	观察检查
	铁心	音响	主要	正常	听察
		动静铁心贴合	主要	紧密、平整	观察检查
		直流电磁铁释放速度	主要	正常、无剩磁阻滞	
		动作行程		按制造厂规定	对照厂家说明书检查
		吸合时间	主要	≤0.5s	观察或秒表检查
接地	接地连接		主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查

表 7-74　按钮及限位开关的安装

工序	检验指标	性质	质量标准	检验方法及器具
按钮及开关检查	触点通断可靠性	主要	良好	操作检查
	机械性能		灵活、无卡阻	
按钮安装	固定连接		牢固	触动观察
	壁柱上安装的就地操作按钮高度		1.3～1.5m	用尺检查
	同一场所按钮高度	主要	相互一致	用尺测量、观察
	用途标志	主要	清晰	观察检查
限位开关安装	固定连接		牢固	触动观察
	开关安装部位		按机械装置要求	观察检查
	撞杆配合定位要求	主要	开关能可靠动作	观察、试动
	撞杆固定连接		牢固	触动观察
接地	接地连接	主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查

表 7-75 动力中心（PC）盘安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
盘体就位找正	间隔布置		主要	按设计规定	对照设计图检查
	垂直度		主要	<1.5mm/m	用铅坠检查
	水平误差	相邻两盘顶部		<2mm	拉线检查
		成列盘顶部		<5mm	
	盘面误差	相邻两盘边		<1mm	
		成列盘面		<5mm	
	盘间接缝		主要	<2mm	用尺检查
盘体固定	盘体固定		主要	牢固	扳动检查
	紧固件检查			完好、齐全、紧固	观察检查
	紧固件表面处理			镀锌	
	振动场所的防振措施			按设计规定	对照设计图检查
盘体接地	盘体与基础连接		主要	牢固，导通良好	观察及导通检查
	有防振垫盘的接地			每段盘有两点以上明显接地	
	装有电器可开启屏门的接地			用软铜导线可靠接地	
柜上电气部件检查	设备及表计型号规格		主要	按设计规定	对照设计图检查
	设备外观检查			完好、齐全	观察检查
	熔断器熔丝配置			按设计规定	对照设计图检查
	载流体相间及对地距离/mm		主要	按 GB 7251—2006 的规定	用尺检查
	表面漏电距离/mm		主要	按 GB 7251—2006 的规定	
	二次回路带电体对地距离/mm			按 GB 50171—2012 规定	对照规范检查
	二次回路带电体表面漏电距离/mm				
其他	盘面检查			平整、齐全	观察检查
	盘前后标识			齐全、清晰	观察检查

表 7-76 电动机控制中心（MCC）盘安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
盘体就位找正	间隔布置		主要	按设计规定	对照设计图检查
	垂直度		主要	<1.5mm/m	用铅坠检查
	水平误差	相邻两盘顶部		<2mm	拉线检查
		成列盘顶部		<5mm	
	盘面误差	相邻两盘边		<1mm	
		成列盘面		<5mm	
	盘间接缝			<2mm	用尺检查

（续）

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
盘体固定	盘体固定	主要	牢固	扳动检查
	紧固件检查		完好、齐全、紧固	观察检查
	紧固件表面处理		镀锌	
	振动场所的防振措施		按设计规定	对照设计图检查
接地	盘体与基础连接	主要	牢固，导通良好	观察并导通检查
	有防振垫的盘的接地		每段盘有两点以上明显接地	
	抽屉与盘体间接地		接地可靠	
	装有电器可开启屏门的接地		用软铜导线可靠接地	
盘上设备检查	盘上设备型号规格	主要	按设计规定	对照设计图检查
	设备外观		完好、无损伤	观察检查
	盘面检查		平整、齐全	
	抽屉推拉试验	主要	无卡阻碰撞	操作试验
	动、静触头中心线检查		一致	观察检查
	动、静触头接触	主要	紧密、可靠	
	机械与电气联锁装置		可靠	操动试验
	抽屉隔离触头		通断顺序正确	
	二次回路连接插件	主要	接触良好	导通检查
	熔断器熔丝配置		按设计规定	对照设计图检查
	回路名称标志		齐全、清晰	观察检查

表 7-77　就地动力控制设备箱体的安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
箱体安装	安装位置		按设计规定	对照设计图检查
	落地箱底座高出地面尺寸		按设计规定 （无设计规定时宜为 10mm）	用尺检查
	悬挂箱中心至地面高度		按设计规定， 一般为 1.2～1.5m	
	安装垂直度误差 /（mm/m）		<1.5	用铅坠检查
	户外箱体的密封	主要	良好、防水、防潮、防尘	观察检查
	紧固件表面处理		镀锌	
	紧固件检查	主要	齐全、完好、紧固	用扳手检查
	箱架接地连接	主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查
	振动场所的防振措施		按设计规定	对照设计图检查
	装有电气可开启屏门的接地		用软铜导线可靠接地	观察并导通检查
	箱面标志		齐全	观察检查
	电器元件安装		按设计规定	对照设计图检查
	熔断器、熔丝配置			

电气工程中整流逆变类盘柜、蓄电池柜、稳压器柜、隔离变压器等的安装质量检查标准及方法见表 7-78～表 7-87。

表 7-78 盘柜基础安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
基础安装	基础型钢安装误差	不直度		<1mm/m（或<5mm/全长）	拉线检查
		水平度			用水平尺检查
	基础中心线误差		主要	±5mm	用尺检查
	盘基础与地面标高差	固定式		≤10mm	用水准仪或连通管检查
		移动式		与地面标高一致	
	基础布置			按设计规定	对照图样检查
	基础型钢接地点数			>2 点	观察检查
	接地线连接方式			焊接	
	接地连接			牢固，导通良好	扳动并导通检查

表 7-79 整流逆变类盘柜的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
柜体安装	垂直度		主要	<1.5mm/m	用铅坠检查
	柜面不平度	相邻两柜边		<1mm	拉线检查
		成列柜面		<5mm	
	柜间缝隙			<2mm	目测
	水平误差			<5mm	水平尺检查
	固定方式	固定式		螺接	观察并扳动检查
		移动式		卡子或支撑	
	固定			牢固	扳动检查
	紧固件检查			镀锌层完好，螺栓齐全、紧固	观察检查
	螺栓露扣长度			2～5 扣	
	振动场所的防振措施			可靠	
柜体接地	有防振垫的柜体接地			每列盘有两点以上明显接地	观察并导通检查
	装有电器的可开启屏门接地			用可挠导线可靠接地	观察检查
	底架与基础接触		主要	导通良好	导通检查
柜上设备检查	元件规格及数量		主要	按设计规定，且附件备件齐全	对照图样检查
	插件板、端子板检查			无断裂、变形	观察检查
	插接式扁平电缆			电缆理顺整齐无死弯	
	接触簧片弹性		主要	充足	手轻扳试验
	插件镀银层检查			完好，清洁	观察检查
	螺接导线检查			无松动	扳手检查
	焊接导线检查		主要	无脱焊、碰壳、短路	观察检查
	印制线路板检查			洁净，无腐蚀	
	整流元件固定		主要	固定牢固，在散热器接触面上涂硅脂	观察及扳动检查
	盘内导线检查			无脱焊、短路、松动	

（续）

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
柜上设备检查	回路检查与接线			按 GB 50171—2012 规定	对照规范检查
	整流元件紧固力矩/（N·m）	制造厂有规定		按制造厂规定	对照制造厂或规范规定值用力矩扳手检查
		制造厂无规定		按 GB 50149—2010 规定	
	回路接线	硬母线		按 GB 50149—2010 规定	对照规范检查
		电缆接线		按 GB 50171—2012 规定	
水冷系统安装检查	阻容保护及均压回路检查			无开路	用万用表检查
	进出水管与冷却系统连接			用绝缘管连接	观察检查
	绝缘管长度（1kV 以下）			≥1.5m	用尺检查
	普通钢冷却管内部壁处理			防腐层完整，牢固	观察检查
	冷却系统清洁度			冲洗干净	
	管道内部检查			无阻塞	通气检查
	在额定压力下的流量			按产品规定值	观察检查
	冷却软管检查			无扭折，连接正确	
	系统水压试验		主要	无渗漏	2 倍额定工作压力试验 30min
风冷系统安装检查	叶片外观			完好无裂纹变形	观察检查
	转子装配检查			转子平滑无卡阻	手拨转子观察
	绝缘电阻值		主要	≥0.5MΩ	用 500V 绝缘电阻表检查
	风机旋转方向			正确	目测检查
带电部分对地距离	一次回路		主要	按 GB 50171—2012 中规定	对照规范检查
	二次回路		主要	按 GB 50149—2010 中规定	

表 7-80　蓄电池柜安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
蓄电池柜安装检查	外观检查			设备完好，清洁，无异常	观察检查
	电池本体			完好无破损，编号齐全	
	盘内熔断器规格			按设计规定	对照图样检查
	温度监测装置			设备及引线安装牢固	观察检查
	接线			正确，牢固	对照图样检查
	绝缘电阻		主要	≥1MΩ	用绝缘电阻表测量
	电池端电压测量（输入、输出断开时）/V		主要	量值及极性按制造厂规定	用万能表测量
	输入电流测量（输出断开，首次送电）/A				用盘表或盘上显示器及万用表测量
	输出电流测量（首次使用时）/A				
	输出电压测量（首次使用时）/V	空载时	主要		
		负载时			

表 7-81 稳压器柜的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
电压调整器柜安装检查	外观检查			设备完好，清洁，无异常	观察检查
	调压器本体固定			牢固，无松动	
	控制元件检查			固定牢固，接线正确可靠	
	绝缘电阻		主要	≥1MΩ	用绝缘电阻表测量
	柜体接地检查			牢固，导通良好	扳动并导通检查
	调压器滑动触头检查			接触良好，滑动灵活，电动调整均匀无卡阻	观察检查
	调压器电动调整	手动	主要	动作正确可靠，盘表指示正确	手动操作
		自动	主要		模拟自动操作

表 7-82 隔离变压器及输出变压器的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
隔离变压器及输出变压器安装检查	外观检查			设备良好，清洁，无异常	观察检查
	变压器本体安装			固定牢固	
	变压器接地		主要	牢固，导通良好	扳动并导通检查
	电气连接		主要	正确，可靠	观察检查
	电气试验		主要	项目齐全，试验合格	检查试验记录
	投运检查	电压值/V	主要	按设计规定	用万用表检查
		相位	主要	正确	

表 7-83 整流装置检查及带负荷试运

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
检查	主回路检查			接线牢固，开关动作灵活，触点接触可靠	观察检查
	电源相序检查			正确	用相序表检查
	快速熔断器检查			熔断器指示正确	观察检查
	控制、保护回路的动作		主要	正确可靠	操作试验观察
	信号指示及音响装置动作		主要		
	电阻元件温升/℃			按设计或制造厂规定	手感或用温度计检查
	硅整流元件温升/℃				
	输入电压/V		主要		用电压表测量
试验投运	绝缘试验	主回路	主要	≥1MΩ/kV	用绝缘电阻表测量
		二次回路	主要	一般地区≥1MΩ 潮湿地区≥0.5MΩ	
	交流耐压试验		主要	出厂试验电压值的85%	用试验仪器检查
	轻载试验（用外加1%～2%的额定负荷）		主要	按制造厂规定	用示波器、万用表检查
	负载试验（用试运阶段实际可能发生的负荷）		主要		

表 7-84　不停电电源装置检查及带负荷试验

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
主体部分检查	快速熔断器检查			熔断指示器正常	观察检查
	主回路检查			接线牢固，开关动作灵活，触点接触可靠	
	电源相序检查		主要	正确	用万能表、相序表检查
	工作、备用、旁路电源相位检查		主要		
	控制、保护回路的动作		主要	正确可靠	模拟操动试验观察
	信号指示及音响装置动作		主要		
	盘内照明			灯具及门开关工作良好	观察检查
	通风及冷却系统			风机运转良好，风道清洁无堵塞	
	电阻元件温升/℃			按设计或制造厂规定	手感或用温度计检查
	硅整流元件温升/℃				
	接触器、继电器检查			吸合正常，无噪声	观察检查
试验投运	绝缘试验	主回路	主要	1MΩ/kV	用绝缘电阻表测量
	耐压试验	主回路	主要	厂家试验电压的 0.85 倍，持续 1min	用专用仪器设备检查
	交流输入试验		主要	改变输入交流电压值其输出应按设计或制造厂规定	用万用表、盘表及显示器检查
	切换试验	工作与备用	主要	按设计或制造厂规定	
		工作与旁路	主要		
		备用与旁路	主要		
	交流电源消失试验		主要		
	轻载试验		主要	表计、显示器指示正常，各控制特性按设计或制造厂规定	
	负载试验		主要	元件发热状况负荷急剧变化时的工况均应按设计或制造厂规定	

表 7-85 自动励磁调整装置的检查及调整试验

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
装置检查	主回路检查			接线牢固，开关动作灵活，触点接触可靠	观察检查
装置检查	快速熔断器检查			熔断指示器正常	
装置检查	电源相序检查			正确	用相序表检查
装置检查	盘内照明			灯具及门开关工作良好	观察检查
装置检查	通风及冷却系统			风机运转良好，风道清洁无堵塞	
装置检查	控制及起励用直流电源检查		主要	极性正确	用万用表检查
装置检查	控制、保护回路的动作		主要	正确可靠	操动试验观察
装置检查	信号指示及音响装置动作		主要		
装置检查	电阻元件温升/℃			按设计或制造厂规定	手感或用温度计检查
装置检查	硅整流元件温升/℃				
装置检查	绝缘检查	主回路		5MΩ（20℃±5℃，相对湿度10%~50%）	用绝缘电阻表检查
装置检查	绝缘检查	控制回路		2MΩ（20℃±5℃，相对湿度10%~50%）	
装置检查	交流耐压试验（耐压时必须将晶体元件电子回路元件短接）		主要	出厂试验电压值的85%	用试验仪器检查
装置检查	检查输入电流相位		主要	正确	用万用表、相序表检查
装置检查	检查输入电压相位		主要		
装置检查	静态试验（调节器各单元的输入输出特性，设定工作点，增益参数）及操作程序试验			根据发电机实际参数，按制造厂规定调试	按预设设定值核对
装置检查	总体调试（调节器带模拟负载作输入输出特性），检查整组特性，调整范围，各类保护的工况			输入信号输入电源间相位极性关系，晶闸管触发脉冲波形，各表计显示器信号按制造厂规定	由外接仪表、盘表、信号显示器判别
投运试验	运行试验	备用位置	手动升降压运行	主要	电压调整范围、升压、运行、切换稳定，各项运行特性按制造厂规定	按预设定值及产品使用说明书核对各项运行特性
投运试验	运行试验	工作位置	手动升降压运行	主要		
投运试验	运行试验	工作位置	手动自动切换	主要		
投运试验	运行试验	工作位置	自动运行	主要		
投运试验	灭磁试验					
投运试验	准同步并网试验					
投运试验	带几种不同无功负荷的运行			主要		

表 7-86　变频调速装置检查及调整试验

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
装置检查	变频器固定方式			用螺栓固定在坚固的金属支架上	观察检查
	变频器安装位置			按设计或制造厂规定	
	制动用放电电阻器安装			固定在金属板上，周围留足散热空间	
	变频器接地			经变频器接地端子可靠接地，接地电阻不大于 10Ω	导通检查并检查试验记录
	变频器接线			正确，牢固	按图样核对
	变频器与三相电动机连接			正确	按图样核对
	阻尼器和变频器间连接			正确；盘外连接时两根导线绞在一起，导线长度不大于 5m	
	控制回路布线	导线规格		用 0.75mm^2 屏蔽导线或绞在一起的乙烯线	观察检查
		屏蔽层接地		一端可靠接地	导通检查
	主回路检查			接线牢固，开关动作灵活，触点接触可靠	观察检查
	快速熔断器检查			熔断指示器正常	
	控制、保护回路的动作			正确可靠	操动试验观察
	信号指示及音响装置动作				
	盘内照明			灯具及门开关工作良好	观察检查
	电阻元件温升/℃			按设计或制造厂规定	手感或温度计
	变频器温升/℃				
	通风及冷却系统			风机运转良好，风道清洁无堵塞	观察检查
	电压检查	主回路		按设计或制造厂规定	用万用表检查
		控制回路			
	回路绝缘试验	主回路	主要	>5MΩ	用绝缘电阻表检查
		控制回路	主要	>1MΩ	
	变频器运行参数设置		主要	按设计规定	按预设值核对
	操动试验	就地	主要	动作可靠，信号指示正确	操动试验检查
		远方	主要		
运行试验	电动机运转		主要	正常	观察检查
	各部件检查			无异常音响、发热现象	
	转速调整			按设计规定	对照图样检查
	带负载工况				

表 7-87 （ 号机组）不停电电源带电试运签证

盘柜型式		额定容量/kW		输出电压/V	
制造厂家		出厂编号		出厂日期	

带电前设备及系统检查

检查项目	检查结果	检查项目	检查结果
盘前后标识		盘柜内清洁	
盘柜接地位置		盘内设备接地	
盘内电缆牌		二次回路接线标志	
二次回路绝缘值/MΩ		测量仪表使用有效期	
装置一次设备试验		装置保护试验	
电源相位		仪表校验	
盘内孔洞封堵		室内消防设施	

带电后运行状态检查

检查项目	检查结果	检查项目	检查结果
设备是否有异常音响		保护投入率	
表计及信号指示		保护动作情况	

带电试运结论：

（本不停电电源装置于 年 月 日 时受电并投入了运行，测量仪表指示正常，控制、保护、信号等系统工作正常。）

质检机构	验收意见	签名
工地		年 月 日
质检部		年 月 日
监理		年 月 日
建设单位		年 月 日

注：动力电路的配线质量标准及检验方法见表 6-50。

电气工程中，电动机、发电机签证检查记录见表 7-88～表 7-90。

表 7-88 （单位工程名称）100kW 以下低压电动机检查记录

序号	电动机名称	型号	额定容量/kW	额定电流/A	额定转速/(r/min)	制造厂家	出厂编号	有无抽心检查及原因	轴承牌号	轴承套内润滑脂量	润滑脂牌号	绝缘电阻/MΩ	检查日期
1													
2													
3													
4													

（续）

序号	电动机名称	型号	额定容量/kW	额定电流/A	额定转速/(r/min)	制造厂家	出厂编号	有无抽心检查及原因	轴承牌号	轴承套内润滑脂量	润滑脂牌号	绝缘电阻/MΩ	检查日期
5													
6													
7													
8													
9													
10													

检查结论：

（经检查，上列各台电动机符合规范要求，可以进行下阶段工作）

班　组	年　月　日	工　地	年　月　日
质检部	年　月　日	监　理	年　月　日

表 7-89　（单位工程名称）100kW 以下低压电动机带电试运签证

序号	电动机名称	型号	额定容量/kW	额定电流/A	额定转速/(r/min)	制造厂家	出厂编号	有无抽心检查	试转前绝缘电阻/MΩ	启动电流/A	空载电流/A	最大振动值/mm	试转起止时间
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

检查结论：

（上列各台电动机经空负荷试转 2h 及以上，电气及机械性能工作正常，可以进行下阶段工作）

班　组	年　月　日	工　地	年　月　日
质检部	年　月　日	监　理	年　月　日

表 7-90 号发电机引出线连接及手包绝缘的检查（隐蔽）签证

型　　号		额定容量/MW		接线方式	
额定电流/A		转速/（r/min）		冷却方式	
额定电压/kV		频率/Hz		功率因数	
励磁电压/V		励磁电流/A		励磁方式	
制造厂家		出厂编号		出厂日期	

检　查　内　容	检　查　结　果
发电机引线与出线接触面完好、清洁	
引线与出线连接螺栓规格、数量	
引线与出线连接螺栓紧固力矩值/（N·m）	
螺栓连接未构成闭合磁路	
绝缘包扎材料提供	
绝缘包扎工艺质量控制	
绝缘包扎质量	
引出线包扎后，耐压试验	

检查结论：

（经检查，本发电机引出线连接及绝缘包扎质量符合规范及制造厂规定，可以隐蔽）

质检机构	验收意见	签　　名
班　　组		年　月　日
工　　地		年　月　日
质检部		年　月　日
监　　理		年　月　日

第八章　低压发电设备的安装

一般大中型企业或高层建筑，为了保证供电的可靠性，除了公用的市电双回路电源外，还常备用中小型汽油或柴油发电机组，以便在公用电网停电时，保证负荷中不能停电的设备运行及必要的生活用电。另外安装工程中有时线路停电，也需要自备电源，这是第三电源。因此，对常用的柴油发电机组安装调试是电气安装人员必须掌握的。

有些公共事业或企业的重要负荷，如计算机中心、卫星通信系统、电视广播中心、空中交通管理中心、金融中心、机场、隧道、医院急救中心、数据传输、自动传动系统及工业自动化控制中心、工业生产调度中心等重要场所，常配有静态交流不停电电源装置（简称 UPS），以保证供电的可靠性及连续性，这是第四电源。

有些蒸汽锅炉容量较大的工业企业，常装有余热发电机组，供本企业部分负荷用电，当市电停电时又可供一些重要负荷用电。这样一方面节约了能源，而又保证了供电的可靠性，这是第五电源。

近几年来风力发电发展得很快，清洁自然能源受到全世界的关注，这是第六电源。

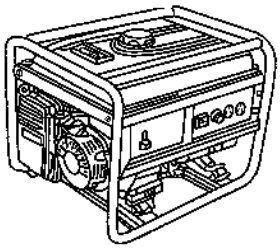
本章将详细讲述各种备用电源的安装及调试、供读者参考。其主要技术要求见表 8-1。

表 8-1　低压发电设备安装技术要求

序号	项目内容	技术要求
1	机组试验	见表 5-64
2	相序	机组相序必须与供电系统相序一致
3	机组接地	①　机组中性线（工作零线）与系统接地干线直接连接并有标识 ②　不间断电源的输出线中的中性线（N）必须与系统接地干线连接，并重复接地
4	机械设备安装	符合机械设备安装标准规范要求
5	噪声	应小于 45dB

第一节　汽油发电机组的安装

汽油发电机组一般容量较小（<12kW），通常用于应急照明、小型三相动力设备或小型电焊机供电。安装、使用、维护较为简单。汽油发电机品种繁多，一般的结构基本相同，见图 8-1。使用时平稳放置在地面上即可。但应将发电机接地端子接地，接地极应另设，不得和供电系统共用接地极。通常是做一个小型的开关箱，装有漏电型三相断路器和漏电型单相/三相（供小型三相负载使用）插座，将其三相（加工作零线）输入端直接接在发电机的三相（加工作零线）输出端，一般条件下，不将负载直接接在发电机的输出端上。小型开关箱可按负载大小制作，详见第三章。



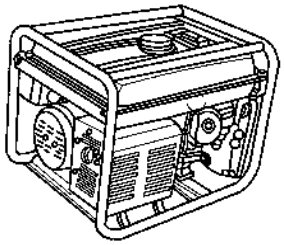


图 8-1　汽油发电机外形结构

一、汽油发电机组的起动

1. 起动前的检查

1）检查机油油位：将机油尺插入后应在不拧紧的情况下检查机油油位，如油位太低应按规定加机油到油位上限，但不得超过上限，然后把机油尺拧紧装好。

2）检查汽油油位：将汽油箱盖打开，如油位太低应加注汽油到滤清器肩部，但不得溢出，然后将油箱盖旋紧装好。

3）检查滤清器：将空气滤清器盖打开，检查滤芯应干净完好。否则应清洗。一般用规定的溶剂清

洗，清洗后将其挤压干净，然后加几滴规定的机油，之后再将其挤压干净，一般可用手拧紧挤压。最后将滤芯装入，装好盖拧紧。

4）检查蓄电池每个单元的电解液液位均应在液位的上、下限之间，不足时应补足规定的电解液，但不得超过上限，见图 8-2。

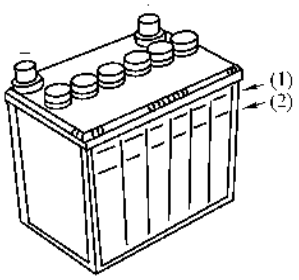


图 8-2　蓄电池的外形及液位标识

2. 发电机的起动

1）将开关箱上的总断路器断开，断开发动机上的断路器和插座。一定要记住：把一切负载断开，严禁带负载起动。

2）将燃油开关置于“ON”（开）位置，将阻风门杆置于“OFF”（关）的位置。

3）将发动机开关置于“ON”（开）位置，然后轻轻拉起起动拉手，一直到感到有阻力为止，然后用力拉起起动拉手，这时发动机开始转动，直到额定转速。

4）到达额定转速，发动机起动完毕，然后将阻风门杆置于“ON”（开）的位置。

这里要特别注意两点：

当发电机处于热机状态时起动，不得关闭风门；

起动后不得使起动拉手自行突然弹回，而是缓慢将其拉回。

5）合上总断路器即可发电使用。

3. 发电机的停止

1）断开断路器，将负载甩掉。

2）关闭发动机开关

3）关闭燃油阀。

如遇紧急情况需立即停止发电机，即可将发动机开关置于“OFF”（关）的位置。

4. 发电机使用注意事项

1）发电机必须可靠接地。

2）负载的总功率不得超过发电机额定功率。

3）发电机不得与电网供电系统连接，如必须与电网供电系统连接时，其总开关与电网供电系统总开关必须有互锁装置，见图 8-3。

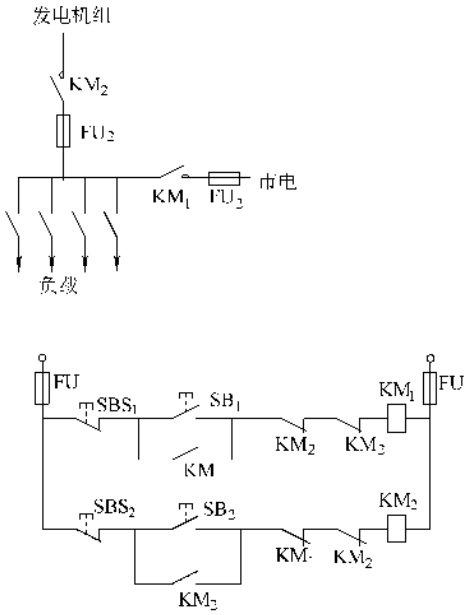


图 8-3　互锁装置电路图

4）发电机不得置于室内使用，不得在潮湿地面和环境中使用。

5）加油时必须停止发电机，加油时不得使油溢出，加油时不得吸烟，加油时周边不得有明火，并由专人看护。

6）发电机周围 3m 以内不得存放易燃、可燃、易爆、可爆的危险品。

7）发电机带有两个以上负载时，应先接通起动电流较大的负载，停止时应先关掉负载电流大的负载。

8）由于过载发电机断路器保护动作，应逐一去掉负载，停止 10min 后再重新起动发电机。

二、汽油发电机组的维护和保养

1）经常检查机油油位、空气滤清器和蓄电池电解液位置，并及时处理。

2）更换机油，一般是在新机使用的第一个月，或者使用后的第六个月，更换时必须使用规定的机油。

3）清洗空气滤清器，一般是在新机使用后的第三个月及以后每三个月清洗一次。

4）清洗燃油过滤杯，一般是在新机使用后的第六个月及以后每六个月清洗一次。

5）清洗火花塞，一般是在新机使用后的第六个月及以后每六个月清洗一次。

6）检查调整气门间隙，一般是每年一次。

7）清洗气缸盖，一般是每年一次。

8）清洗燃油箱，一般是每三年一次。

9）更换机油的方法及程序

①　拧开机油尺；

②　拧开泄油螺栓，排出机油，并清洗干净；

③　装上泄油螺栓拧紧，然后加规定的机油，不得过量。

④　将机油尺装好，并检查无误。

10）火花塞清除方法及程序。

①　拆下火花塞帽，拆火花塞；

②　清理积炭，一般用铜刷子或00#砂纸。

③　测量火花塞间隙，一般为0.6～0.8mm；

④　装入并拧紧火花塞和火花塞帽。

11）清洗燃油过滤杯的方法及程序。

①　先关闭燃油阀，并拆下沉淀杯和过滤网；

②　清洗沉淀杯和过滤网，可用00#砂纸在汽油中打磨；

③　将沉淀杯和过滤网装好。

6. 发电机的保管

发电机如近期不用（不大于一个月）时应按下列方法进行妥善保管：

1）将燃油箱中的燃油放净；

2）清洁燃油过滤网和沉淀杯，并将其装好；

3）放净化油器中的燃油；

4）拧开机油尺和泄油螺栓，放净机油后再将其拧紧装好，然后注入规定的新机油到机油位上限，不得溢出，最后装机油尺。

5）将起动拉手缓慢拉起直到手感有阻力为止，并固定牢固；

6）用原包装箱或拿塑料布将发电机装好置清洁干燥无火源的房间内，并由专人保养。

三、一般故障的排除

发电机特别是使用年限较长的发电机故障多种多样，也无固定模式，这里仅介绍常见故障。

（1）发动机不能起动

1）检查燃油油位及其质量，是否为规定油料；

2）检查机油油位及其质量，是否为规定的油料；

3）检查火花塞是否积炭，间隙是否正常，否则应修复及调整；

4）机身内有无漏油，导管是否漏油等；

5）起动时与正常时有无区别和不妥，应进行修复和调整；

6）发动机轴是否灵活，是否被卡等；

7）有无其他不妥。

（2）发电机无电压

1）断路器保护装置是否动作，元件或触头是否接触不良；

2）蓄电池是否正常，检查其电压及电流；

3）机身内连接导线有无松动或开脱并修复；

4）负载是否过大；

5）发动机转速是否正常，用转速表检查；

6）发电机是否正常，有无内部短路或开路；

7）励磁电压是否正常；

8）有无其他不妥。

（3）发电机电压不稳定、频率不稳定

1）检查蓄电池、发动机转速；

2）调整励磁电流；

3）调整发动机转速。

（4）机身发热

1）负载是否过大；

2）机轴是否灵活无卡；

3）检查发电机内部有无短路或开路，连接部位是否松脱或短路；

4）通风较差。

（5）机身振动

1）三相负载严重不平稳；

2）发动机、发电机轴承严重损坏；

3）联轴器中心不正；

4）发电机绕组故障。

第二节　柴油发电机组的安装

柴油发电机组容量较大，最大可达10MW，通常可用在工程规模较大的三相动力设备、现场电气加热及其他应急用电上。柴油发电机组安装、使用、维护、运行较为复杂，各方面条件要求较高。其品种很多，但结构上基本相同，大同小异，见图8-4。

柴油发电机组分移动式和固定式两种，一般条件下，移动式可在室外使用；而固定式则应安装在室内，室内安装要求的条件较高。发电机接地端子必须可靠接地，接地极必须另设，不得与电网供电系统共用接地极。

通常是根据容量的大小做一台或两台开关柜将三相（加工作零线）输入端直接接在发电机输出端（一般是发电机自带的控制箱上），不采取将负载直接接在发电机的输出端上。

一、柴油发电机组概述

1. 基本组成、主要用途

柴油发电机组由柴油机、发电机、起动及控制装置、日用油箱、底盘等组成。它作为应急、备用电源使用，也可作正常电源使用。

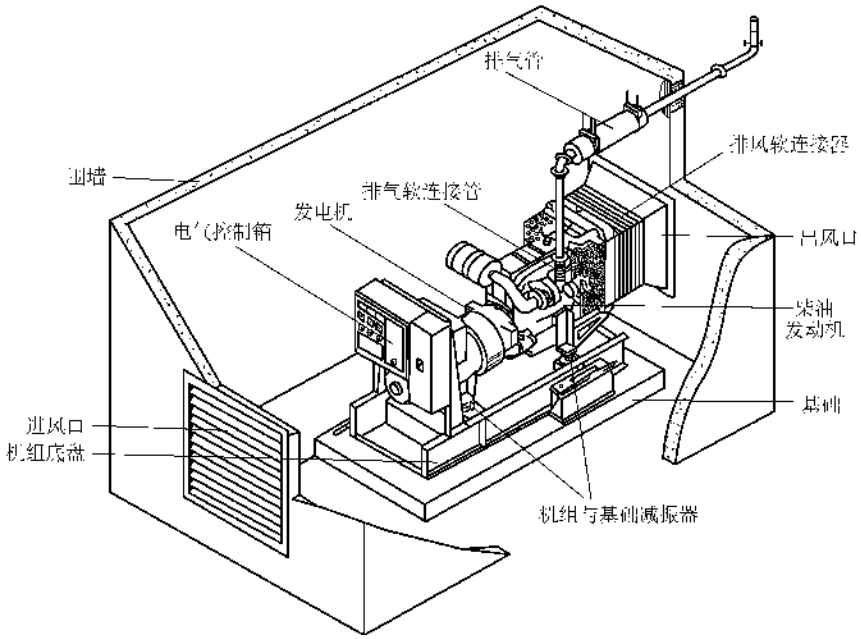


图 8-4 柴油发电机组外形外貌图

2. 分类与基本特点、功能、适用范围

应急或备用柴油发电机组以陆地固定式、闭式循环水冷机组为主，单台发电机容量不超过 1500kW 为宜。

1）柴油发电机组可分为普通型、普通保护型和自动化机组三种类型。

① 普通型机组：一般采用一体式结构，具备基本的起动、停止、手动操作和仪表显示功能。

② 普通保护型机组：在普通型机组的基础上，增加了自动保护、报警功能，一般具有水温高、油温高、油压低报警和停机功能。有的还带超速（过频）、充电系统故障报警功能。过负荷和短路保护，由低压断路器来实现。

③ 自动化机组应具有：

a. 自动维持准备运行状态：机组应急起动和快速加负荷时的机油压力、机油温度、冷却水温度应符合产品技术条件之规定。

b. 自起动和加负荷：接自控和遥控指令，或市电供电中断时，机组能自动起动并供电，机组允许三次自动起动，每次起动时间 8 ~ 12s，起动间隔 5 ~ 10s，第三次自起动失败时，应发出起动失败的声光报警信号。设有备用机组时，应能自动地将起动信号传递给备用机组，有的机组在起动前还有预润滑和预热等程序（在寒冷地区订货时应注明带预热装置）。

机组自动起动成功后，自动升速至额定转速，自动励磁之后，自动合闸并向负荷供电。首加负荷量，对于额定功率不大于 250kW 者，不小于 50% 的额定负荷；对于额定功率大于 250kW 者，按产品技术条件之规定。市电恢复向负荷供电时间一般为 8 ~ 20s。

机组自起动的成功率不低于 98%。

c. 自动停机：接自控或遥控指令后，或市电恢复供电后，应能自动切换负荷，主开关分闸，空载运行 1min 左右，自动停车并转入待机状态。

d. 自动并车与解列：接自控或遥控的并车或解列指令后，应能自动并车或解列。通常第一台机组运行功率持续达到产品技术条件规定时，应向第二台机组发出起动指令，使其自动并车运行。当两台并车机组的总功率持续减少到总额功率 40% 时，应向两台机组中的一台机组发出解列和停机指令。

两台机组并车运行时，应能自动分配输出的有功和无功功率，其分配差度不超过 ±10%。

e. 自动补给：机组的燃油、机油、冷却水应自动补充，机组起动用蓄电池自动充电。

f. 自动报警与保护：机组的水温高、油温高、油压低、水位低、超速（过频）、失速（低频）时，发出声光报警信号，主开关分闸、冷机运行后停机。

当机组发生短路故障，过负荷 1.2 倍（可延时 15 ~ 20s）、电压高于 480V 或低于 320V（可延时 3 ~ 6s）时，发出声光报警信号，主开关分闸、冷机运行后停机。

2）柴油发电机的功率可分为额定功率、持续功率和备用功率。

a. 额定功率：在标准环境条件下（大气压力≥100kPa、环境温度≤25℃、相对湿度≤30%），能连续运行12h。

b. 持续功率：在标准环境条件下，无时间限制，能连续不间断地运行的功率，一般为额定功率的90%。

c. 备用功率：在规定环境条件下，能短期运行的最大功率，一般为额定功率的110%。

d. 当环境条件超过上述标准环境条件时，按GB/T 6072.1—2008标准，应将功率调整到现场环境状况时的功率。

二、柴油发电机组安装的必备条件

1）机组的安装地点必须有足够的空间，并且通风良好。室内安装进出风口应经过计算，保证空气畅通的流入和流出且能在室内循环，既能保持室内气温均衡，又能保证没有滞留的废气而影响机组正常运行。移动式机组室外安装时，应有防雨防晒的棚子即可。

2）机组的安装必须有一个良好的排烟系统，将发动机产生的燃油废气迅速准确地排到户外且不影响其他设施的正常运行（如烟气火灾报警系统），因此，应经过计算，合理地选择排烟管的管径、长短、路径及排放位置，尽量减少路径上的弯曲。同时在排烟管上按使用环境（一般分三级）设置消音器；并在排烟管上设置保温材料，尽量减小热量的散发，保证机身温度，进而保证机组的正常运行。

3）机组的安装应最大限度地降低噪声，以满足环境的要求。一般采取机房及进出口处装设隔音板或吸音板，要求太高时可把机器安装在隔音屏蔽体中，排烟系统必须设置消音器。室外使用时可按环境条件及要求设置隔音或吸音装置，如用厚泡沫苯板搭设临时工棚等。

4）机组的安装必须有一个良好的冷却系统。柴油发电机组一般都装有散热器，借助机轴传动的风扇进行热交换。有的机组则装有热交换器，冷却液循环则由水来冷却。无论何种冷却方式都必须保障其冷却系统的畅通，不得有阻塞或回流现象。

5）机组的安装必须有一个可靠的供油系统。机组一般都装设供油系统，图8-5和图8-6所示为两种典型辅助燃油供油系统。另外，油箱的构造、容量、油品的质量同样是非常重要的。一定要记住，补油时必须注入规定的油品，严禁注入规定以外的油品。

6）机组必须有一个良好的润滑系统，机组是靠机油泵将润滑油（机油）用油管传送到各个活动部件的，起到润滑和冷却的作用。必须保证系统的畅通

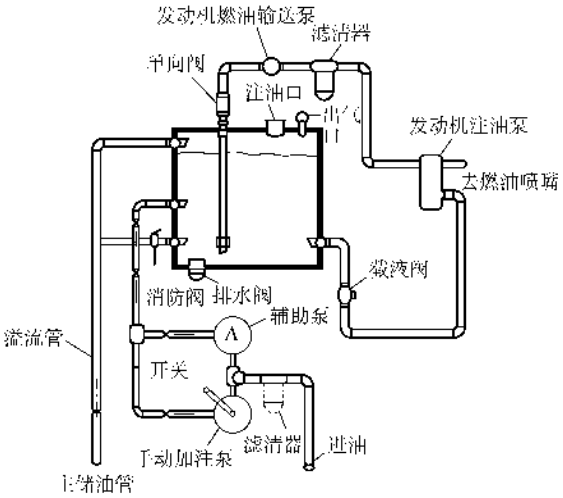


图8-5　典型辅助供油系统（一）

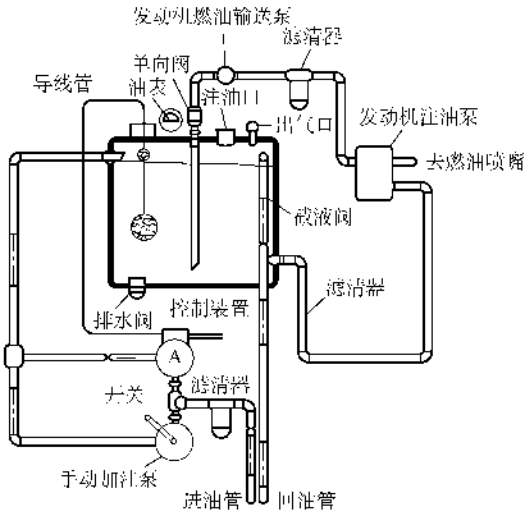


图8-6　典型辅助供油系统（二）

无阻，不得有渗漏滴油现象。

7）机组必须有一个很好的电气控制系统，这个系统与机组是配套生产的，目前技术先进的机组都把微机技术和传感器技术引入到控制系统，能达到自动控制的目的。包括励磁、转速、温度、油位、油压、电流、电压、频率、振动幅度、蓄电池状态、轴心偏差、机座水平度、油路状态、管路状态、噪声测量、烟气测量、功率测量等，均由微机显示及控制，这为机组正常运行提供了更便捷的保障和方法。

8）机组的安装必须由正规的合格的安装人员来进行，他们必须胜任和满足柴油发电机组安装条件的要求，保证安装顺利进行，最后投入运行和使用。同样必须有能够胜任维修保养的运行人员。只有上述条

件满足时，柴油发电机组才能正常的运行和使用。

三、柴油发电机组的安装

（一）安装总体要求

1）室内安装必须有一个坚实的混凝土基础，基础应按机身进行设计，基础至少是厚 250～300mm，面积应大于机座每边 100mm，基础内必须配钢筋 ϕ14mm 两层。基础下面的地面必须坚实、能支承基础和机组的重量且能长期在振动下不出现任何不妥。楼内安装必将基础筑于承重梁上，梁应进行设计，其截面积至少是 300mm×400mm，且配钢筋 ϕ16mm。

2）室外安装，固定式的机组基础应不小于室内基础及要求，移动式机组必须安装在坚实、干燥、地势偏高于周围，并经夯实整平处理的实地。

3）固定式机组安装时必须安装减振器，减振器安装位置主要是发电机与基座间、发动机与机座间、机座与基础间；还有机身其他可拆开的连接上，主要有排烟管、排风管、供油管、电线管的连接及其他连接的支承等。

4）安装机组周围的空气应干净、新鲜，以避灰尘、污物、可吸微粒进入机组，必需时应采取吸附净化措施。空气滤清器必须接在机组的进风口处，并对其过滤性能进行测试。

5）冷却、通风、排烟系统必须畅通良好，并有软连接的减振装置，系统不得有走风漏气缺陷，并设置防雨、防风、防雷、防尘装置。管路穿墙部位必须设有套管，直接伸出的管口应有向下弯曲的弯头，垂直向上伸出的必须有防雨帽。

6）供油系统及油料周围严禁烟火或其他明火，任何人不准在此吸烟。贮油缸四壁禁止受压受挤。系统不得使用镀锌钢管，避免与油品产生化学反应，损害机组，一般应使用黑铁管。输油管的设置，其管径不得小于机身上油管开口位置的直径，溢出管应大于开口直径一个规格或者两个规格，特别是环境温度较低时更应大一些，以保证其永远畅通。与机身连接时应使用软连接，防止振开或断裂。另外，第一级过滤器应装在输送泵与发动机过滤器之间，排水阀、沉淀物排放阀应装在输送泵的逆端。这里提供一先进供油系统，请读者参阅图 8-7。

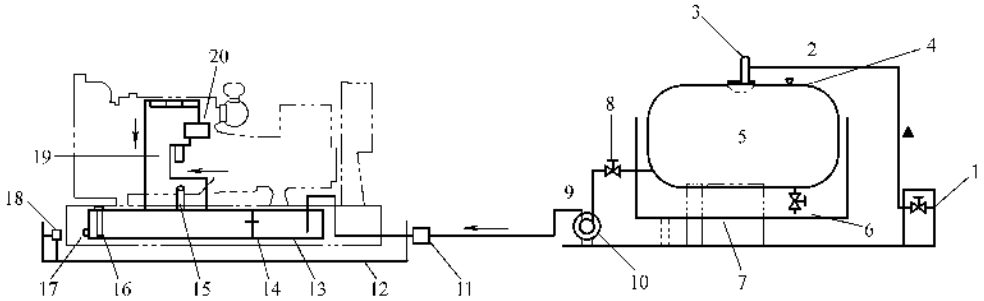


图 8-7 底盘内置油箱供油系统

7）噪声消除必须符合“二、”中的要求。

8）电气系统必须符合以下要求

① 与发电机连接的导线必须使用软导线 RX/RXS 或 RV/RVVB/软电缆（YZ 或 YZW），确保机身振动或移动而不损坏导线，否则应在机身以外合适部位设接线盒，该盒与机身接线端子采用软导线/软电缆连接。线缆的设置应于线槽或管路中，并符合标准要求。

② 线缆的规格应按使用环境设置，不得小于发电机输出电压、电流的要求，接点、接头必须牢固，相位必须与市电相同，否则会影响动力设备的运行。相位相同不等于与市电并网。

③ 接线中要确保三相负载的平衡，应用钳形电流表实测，特别要注意单相负载的合理分配。

④ 装有 cosφ 自动补偿装置的机组要确保机组运行时 cosφ 滞后，其值在 0.8～0.95 之间。

⑤ 机组本体及工作零线端子必须可靠接地，螺栓紧固、防松件齐全，并有标识；其接地极必须另设，接地电阻小于 4Ω，任何时候均不得与供电系统共用同一组接地极；接地线一般采用软铜线，其规格

不得小于 $16mm^2$。

⑥　机组输出电压必须与市电电相相同，否则应改变发电机绕组的接线。改变接线必须经相关技术人员确认。任何人不得私自改变发电机的接法。

⑦　发电机本身的绝缘电阻应大于 5MΩ，否则应进行干燥处理。发电机组至低压配电柜馈电线路的相间、相对地间的绝缘电阻应大于 0.5MΩ；塑料电缆直流耐压试验为 15min，电压 2.4kV，无击穿现象，泄漏电流稳定。

⑧　发电机须做试验，试验标准见表 5-64。

⑨　国家标准的要求。

a. 发电机的试验必须符合相关规范的规定。

b. 发电机组至低压配电柜馈电线路的相间、相对地间的绝缘电阻值应大于 0.5MΩ；塑料绝缘电缆馈电线路直流耐压试验为 2.4kV，时间 15min，泄漏电流稳定，无击穿现象。

c. 柴油发电机馈电线路连接后，两端的相序必须与原供电系统的相序一致。

d. 发电机中性线（工作零线）应与接地干线直接连接，螺栓防松零件齐全，且有标识。

e. 发电机组随带的控制柜接线应正确，紧固件紧固状态良好，无遗漏脱落。开关、保护装置的型号、规格正确，验证出厂试验的锁定标记应无位移，有位移应重新按制造厂要求试验标定。

f. 发电机本体和机械部分的可接近裸露导体应接地（PE）或接零（PEN）可靠，且有标识。

g. 受电侧低压配电柜的开关设备、自动或手动切换装置和保护装置等试验合格，应按设计的自备电源使用分配预案进行负荷试验，机组连续运行 12h 无故障。

（二）柴油发电机组的安装

1. 基本条件的复核检查

土建工程应具备条件并进行机组基础的验收。基础应符合设计强度的要求，表面平整无蜂窝，几何尺寸与图样相符，地脚螺栓孔位置正确，深度、孔截面积符合设计要求，且孔垂直。进风口、出风口、电缆沟的位置、标高、截面积及其他附属设备的基础应符合设计要求。

2. 设备开箱检查

由建设单位供货的设备应会同建设单位共同开箱检查，并签发检查记录，因附件较多，以免贻误。

1）开箱检查应按装箱单进行，没有装箱单，应派具有安装经验的人员检查，其中出厂合格证、试验记录、随机图样、说明书等技术文件应齐全。

2）铭牌、规格、型号应与设计相符，外观无损、无锈蚀、无机械损伤和变形，外观完整。

3）设备的部件，如消音器、油箱、排烟管、出风管、防振垫、充电器、电池及相应的管路、油路系统的油泵、管道、冷却水箱、冷却塔等应齐全、完整、无丢失、无破损。电控箱内主要元件的规格应适应主机要求，有无主电源切换装置，继电器、仪表、开关、指示灯及绝缘瓷件、灭弧罩、仪表玻璃等应完整无损，无锈蚀变形。

4）有无自动起车装置，其部件是否齐全，功能是否可靠。

5）油箱是否漏油，机组有否漏油部位或漏油痕迹。

6）安装尺寸（底盘尺寸）是否符合图样要求，其他附件、备件专用工具是否与装箱单一致。

3. 设备的测试与关键部位的检查

发电机的测试方法基本同电动机，但项目和指标则有所不同，因此只列出电动机测试中没有讲述过的内容。

（1）发电机绕组的测试

1）定子绕组绝缘电阻：规范中未作规定，但至少应大于 1MΩ/kV；各相的不平衡系数不应大于 2；沥青浸胶及烘卷云母绝缘的吸收比不应小于 1.3；环氧粉云母绝缘的吸比不应小于 1.6。

2）定子绕组直流电阻：应在冷态下测量，测量时绕组表面温度与周围空气温度之差不应大于 ±3℃。在校正了由于引线长度不同而引起的误差后，相互差别不应超过最小值的 2%；与出厂时测得的相应数值比较，其相对变化不应大于 2%。

3）定子绕组直流耐压试验和泄漏电流的测量基本同交流耐压试验，但使用直流耐压试验设备，接线方法见图 8-8。试验电压为发动机额定电压的 3 倍。试验时，先将被试物充分放电，按图接好线后要经专人检查，并按试验标准计算好低压侧的加压值，将其对应于试验电压的 25%、50%、75% 和 100% 分成四级。同时检查调压器及仪表是否在零位，短路开关是否合上等。

然后将被试物的接线暂时拆掉，合上电源开关只

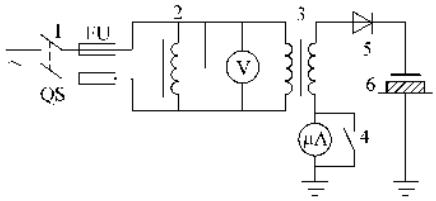


图 8-8　直流耐压、泄漏试验接线图

1—电源开关　2—调压器　3—升压变压器　4—微安表短路开关　5—高压硅堆　6—被试物

进行仪器本身的试验，按上述四个电压等级逐级升压，无误后，将调压器调至零位，切断电源，用接地棒充分放电。

将被试物按图 8-8 的接线连好，无误后合上电源开关，缓慢升压并按四个电压等级进行耐压试验。一般每级应停留 1min，这时将短路开关打开，待电流稳定后，记录泄漏电流值，然后将短路开关合上。

试验完毕后，先将调压器调至零位，切断电压开关，然后放电。放电后要将接地棒取下。

试验时要注意被试物的温度及气候情况，一般应选择干燥晴朗天气进行，其他注意事项可参照交流耐压试验的条款进行。

在规定的试验电压下，泄漏电流应符合下列规定：

① 各相泄漏电流的差别不应大于最小值的 50%；

当最大泄流在 20μA 以下者，各相间差值不做规定，但与出厂试验值不应有显著变化。

② 泄漏电流应稳定，不随时间延长而增大，如有应找出原因并使之消除。

③ 泄漏电流随电压不成比例的显著增长时，应注意分析。

④ 氢冷发电机必须在充氢前或排氢后且含氢量在 3% 以下时进行试验，严禁在置换氢的过程中进行试验。

⑤ 水内冷发电机试验时，应采用低压屏蔽法。

4）定子绕组交流耐压试验 试验标准见表 8-2。

表 8-2 定子绕组试验电压标准

容量/kW	额定电压/V	试验电压/V
10000 以下	36 以上	$0.75(2U_N+1000)$
10000 及以上	3150～6300	$0.75\times2.5U_N$
	6300 以上	$0.75(2U_N+3000)$

U_N—发电机额定电压/V。

5）转子绕组绝缘电阻的测量可在发电机额定转速超速试验前、后进行；当转子额定电压为 200V 以上时应用 2500V 绝缘电阻表，200V 以下时采用 1000V 绝缘电阻表；转子绕组绝缘电阻值不应低于 0.5MΩ，水内冷转子绕组使用 500V 及以下绝缘电阻表测量时不应小于 5000Ω；当定子绕组绝缘电阻已符合起动要求时，而转子绕组绝缘电阻值不小于 2000Ω 时，可允许投入运行。

6）转子绕组的直流电阻，一般应在冷态下进行，测量时线圈表面温度与周围空气温之差不应大于 ±3℃，数值与出厂试验数值差别不应超过 2%。显极式转子绕阻，应对各磁极绕组进行测量。当误差超过规定时，还应对各磁极绕组间的连接点电阻进行测量。

7）转子绕组交流耐压试验应符合以下规定：

① 整体到货的显极式转子，试验电压为额定电压的 7.5 倍，且不应低于 1200V。

② 现场组装的显极式转子，单个磁极绕组的耐压试验应按制造厂规定进行。组装后试验的规定：

额定励磁电压为 500V 及以下时，为额定励磁电压的 10 倍，且不应低于 1500V；

额定励磁电压为 500V 以上时，为额定励磁电压的 2 倍再加 4000V；

③ 隐式转子绕组一般不进行交流耐压试验，应用 2500V 绝缘电阻表测量绝缘电阻来代替。

8）测量发电机和励磁机的励磁回路连同所连接的所有设备的绝缘电阻，阻值应大于 0.5MΩ，否则应查明原因并消除。回路中如有电子元器件，试验时应将其插件拔出或将其短接。

9）发电机和励磁机的励磁回路连同所连接的所有设备的交流耐压试验的试验电压为 1000V。回路中如有电子元器件，试验时应将其插件拔出或将其短接。

10）测量灭磁电阻器、自同步电阻器的直流电阻阻值与铭牌数值比较，其差别不超过 10%。

11）定子铁心试验应符合下列规定：

① 采用 0.8～1.0T 的磁通密度进行试验。当各点温度按磁通密度 1.0T 折算时，铁心齿部的最高温升不应超过 45℃；各齿的最大温差不应超过 30℃。新机的铁心齿部温升不应超过 25℃，温差不应超过 15℃；试验持续时间为 90min。

② 当制造厂已进行过试验，且有出厂试验报告时，可不进行试验。

12）测量发电机、励磁机的绝缘轴承和转子进水支座的绝缘电阻，应符合下列规定：

① 应先装好油后测量，采用 1000V 绝缘电阻表测量，绝缘电阻不应小于 0.5MΩ。

② 氢冷发电机应测量内、外档油盖的绝缘电阻，其阻值符合制造厂的规定。

13）测量检温计的绝缘电阻并校验温度误差、并符合下列规定：

① 采用 250V 绝缘电阻表测量。

② 检温计指示值误差不应超过制造厂的规定。

14）测量轴电压，应符合以下规定：

① 分别在空载额定电压时及带负载后测量

（水轮发电机应测量轴对机座的电压）。

②　汽轮发电机的轴承油膜被短路时，轴子两端轴上电压宜等于轴承与机座间的电压。有关短路、空载特性试验将在后面介绍。

（2）集电环和电刷的检查及调整

1）集电环应与轴同心，摆度不大于0.05mm；集电环表面应光滑、无损伤、无油渍污物。

2）电刷架及其横杆应固定牢固，绝缘管、垫应无破损、油污，绝缘电阻良好。

3）刷握与集电环表面间隙应调整为2～4mm。

4）电刷的安装调整应符合以下规定：

①　同一发电机上必须使用同一规格型号、同一厂家的电刷；

②　电刷的金属编织带应连接牢固，接触良好，不得与转动部位或弹簧片相触及，具有绝缘垫的电刷，其垫应完整且绝缘良好。

③　电刷在刷握内应能上下自由移动，其间隙一般为0.1～0.2mm；

④　恒压弹簧应完整无损，型号及压力应符合要求；

⑤　电刷与集电环的接触面应按弧度吻合为准，接触面积不应小于单个电刷截面积的75%。研磨后的电刷应将炭粉末清除干净。工作时的电刷应在集电环的整个表面内工作，不得靠近集电环的边缘。

⑥　电刷的接触压力一般应调到不使电刷冒火的最小压力，且同组电刷的压力应力求均匀，一般为0.015～0.025MPa。

（3）抽心检查　抽心方法同电动机，主要目的是检查定子和转子的绕组及内部有无不妥，部分内容与电动机相同。但当生产厂商有确保质量合同的可不抽心检查。

1）定子的铁心、绕组、机座内部应清洁无尘、无油污、无杂物。

2）绕组的绝缘层表面应完整、无伤痕和起泡现象，端部与绑环应紧固垫实，紧固件完整，螺母锁紧。

3）铁心硅钢片应无锈蚀，无松动、损伤，通风孔及风道应清洁、无阻塞。

4）埋入式测温元件的引出线及端子板应清洁，且绝缘良好，安装应牢固。

5）定子槽楔无断裂，无凸出及松动现象，每根槽楔的空响长度不应超过1/3，端部槽楔必须牢固。

6）定子内严禁金属异物，进入定子内部的检查人员必须衣着洁净，严禁带有易落的金属物件，不得穿硬底鞋或直接踏在线圈端部。

7）转子上的平衡块应固定牢固，不得增减或位移，平衡螺钉应锁紧牢固。风扇叶片安装牢固，旋转方向正确且牢固，应无破损、无裂纹、无焊口开裂现象，螺栓应可靠锁死。

8）磁极绕组绝缘良好，磁极稳固，磁极间的连线应绑扎牢固、稳固不动。

9）发电机的空气间隙及磁场中心应符合产品要求。

10）安装端盖前，应再次检查内部，不得有任何遗留物，气封通道应畅通。安装后，端盖接合处应紧密。装好后应再次测量绝缘电阻，不得低于前面测定的数值。

11）引出线的接触面应平整、清洁、无油渍污物，镀银层不得锉磨。连接应紧固可靠，接触面良好，要注意铁质螺栓的位置，避免构成闭合磁路。

（4）空载开机试验

1）空载开机试验的条件

①　上述测试和检查全部合格，并无其他不妥；干燥处理完毕。

②　场地允许，且有排气、送油条件；

③　柴油发动机检查合格并能按要求起动，且柴油充足已运到现场。

④　机组运行人员能配合试验。

2）在机组人员、设备安装人员的协同下将机组组装好，并使其具备运转条件，检查无误后，即可起动机组进行试验。在实际工程中，空载开机试验是在机组全部安装好进行的，这样节省很大的人力物力，且缩短了工期。

3）空载开机试验的项目。

①　测量三相短路特性曲线，测得的数据与出厂试验相符，并在测量误差范围之内；对于发电机变压器组，如发电机有短路特性出厂试验报告时，只测取整机短路特性，其短路点应设在变压器高压侧。

②　测量空载特性曲线，测得的数据与出厂试验相符，并在测量误差范围之内。在额定转速下，试验电压的最高值为定子额定电压的130%；对发电机绕组应进行匝间绝缘耐压试验，在130%额定电压下持续5min应不击穿。对于发电机变压器组，如发电机有空载特性及匝间耐压出厂试验报告时，只作发电机变压器组的整组空载特性，电压加至定子额定电压值的105%。

③　测录发电机定子开路时的灭磁时间常数，时间常数一般不作规定。

④　励磁机特性试验。

⑤　测量发电机自动灭磁装置分闸后的定子残

压，残压值一般不作规定。

⑥ 相序、轴电压、转子绕组交流阻抗和功率损耗、超瞬态电抗和负序电抗等参数的测量。

（5）发电机的干燥处理

1）新安装或更换绕组后的以及长期停用的发电机，当绝缘电阻低于下列数值时，应进行干燥处理：

① 在温度为 15～30℃时所测得的吸收比 $R_{60}/R_{15}<1.3$ 时；

② 所测得的绝缘电阻，换算到 75℃时的绝缘电阻值低于定子绕组额定电压每千伏 1MΩ 时。

2）干燥方法：发电机的干燥方法很多且与电动机干燥相同，现介绍几种常用的方法。

① 自励短路干燥法。将定子绕组在电压出口处短路，把磁场变阻器调到阻值最大位置，然后起动原动机使发电机在额定转速下运转，然后调节磁场变阻器使定子短路电流维持在额定值的 50%、75%下各运行 4～5h，再调节磁场变阻器使定子电流维持额定值的 90%～100%连续运行，直到绝缘电阻上升后并保持 3～5h 不变为止。

此时方法适用于各种容量的发电机进行干燥。

② 电流干燥法。容量较小的发电机可用可变电阻器降压给发电机绕组通电干燥，有条件时还可利用交流电焊机降压以较大电流给绕组通电干燥，并根据容量的大小将定子绕组串联、并联或调节电焊机的电流，通电时励磁绕组应短路，见图 8-9。

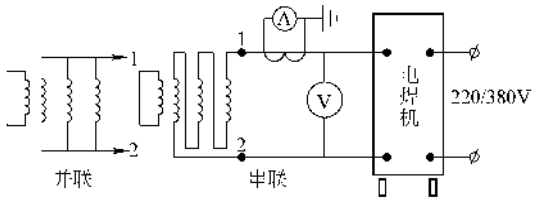


图 8-9 电焊机电流干燥法

这里要注意变阻器或电焊机的容量应根据发电机额定电流来选定，且在干燥过程中，输入电流不得超过发电机的额定电流，最大不得超过额定值的 1.10 倍；同时要监视发电机和电焊机的温升，以防过热。电焊机的二次输出电流应按下式进行计算：

$$I_2 = 0.8\beta I_e$$

式中 β——电焊机的暂载率（%）；

I_e——电焊机间歇工作条件下二次输出电流（A）。

（6）电控保护箱（柜）的测试 基本同控制柜的测试，但要注意与市电切换装置的调整，同时要注意电控保护柜是与机组配套使用的，有的控制箱不装设切换装置。现将常用电控保护柜的电路及数据列出，供读者参考，见图 8-10、图 8-11 及表 8-3 表 8-4。

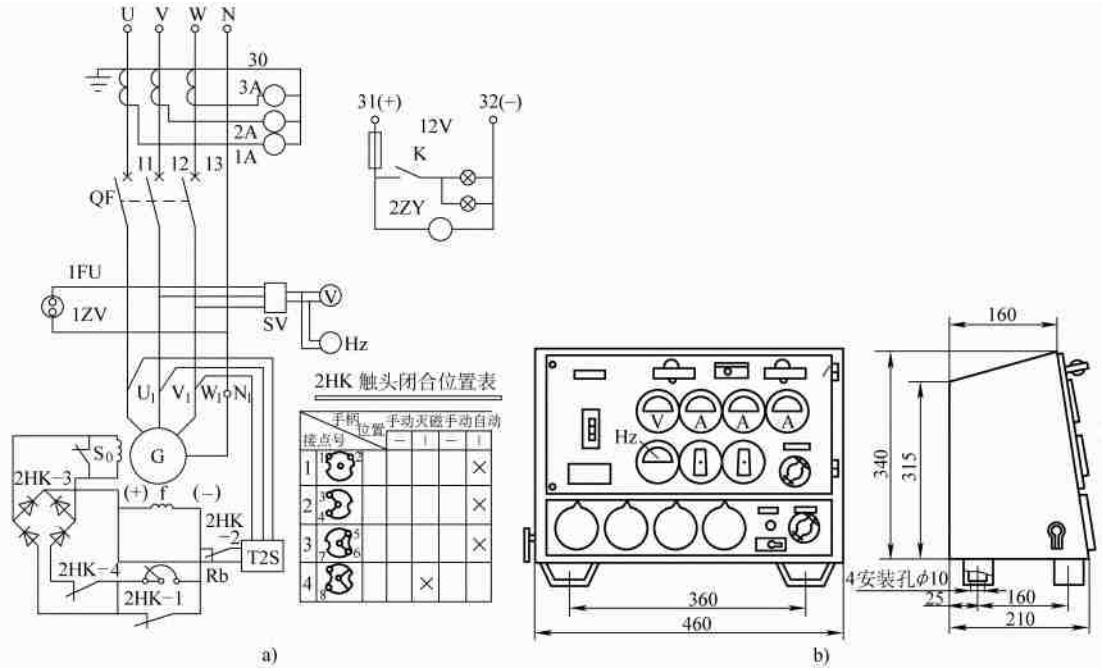


图 8-10 发电机控制箱

a）发电机主接线 b）控制箱外形

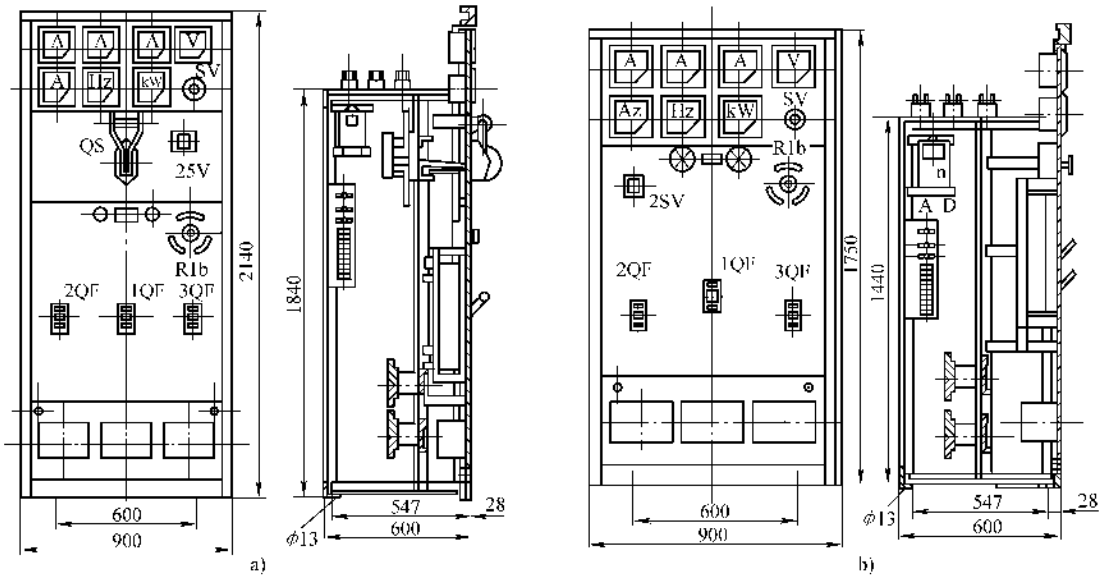


图 8-11　发电机控制柜

表 8-3　XYF 型发电机控制箱技术数据

型　　号	发　电　机		额定电压/V	额定电流/A	频率/Hz	调压方式	外形尺寸（宽×厚×高）/mm
	容量/kW	相数					
XYF-51-75	75	3	400/230	135.4	50	手动或自动	800×550×600
XYF-52-50	50			90.3			
XYF-53-12	12			21.7			888×200×400
XYF-57-12						自　动	460×210×340

表 8-4　控制屏规格

型　　号	额定电压/V	发电机功率/kW	控制屏额定电流/A	调压方式	并车装置	操作方式
HF_5S、HF_5T-□□1	400/230	48～300 以内	100～600	手动或自动	有或无	手动
HF_5S、HF_5T-□□2	400/230	60～300 以内	250～600	手动或自动	有或无	手动
HF_5S、HF_5T-□□3	400/230	310～500 以内	1000	手动或自动	有或无	手动

（7）柴油发动机的检查试验　柴油发动机的检查试验应在机械专业人员为主的情况下进行。

1）检查各部件装置的正确性，各部件连接螺栓的紧固程度；联轴器与发电机的连接情况，中心位置是否正确及其螺栓紧固程度，如果传动带传动则应检查传动带是否跑偏，接头是否可靠及传动带的松紧程度。

2）检查油泵至各喷油嘴管路连接是否松动，消除漏油、漏气、漏水，擦拭油污、水迹、尘土进而发现不妥之处。检查机油油位是否正常，油量不足时应按冬夏不同季节分别加不同季节的油。

3）检查蓄电池电压及电解液比重。当气温在15℃时，电解液的比重为 1.28～1.29，最低不小于 1.27，比重的测量应使用专用的电解液比重计。电解液面的高度一般应高出极板 10～20mm。

4）检查并调整风扇和充电发电机的传动带的松紧程度。

5）检查粗滤网、空气滤清器及机油，必要时要清洗滤网和滤清器并更换机油；检查柴油滤清器，清洗气缸体盖板上通气管的滤芯，浸上机油并重新装好。

6）检查喷油泵机油的油位，不足时应添注同号

机油，同时检查喷油泵、喷油嘴的喷油压力和雾化情况，必要时要进行清洗和调整。检查配气正时及喷油提前角的正确性，必要时要进行调整。其中配气正时是指活塞下降时，进气阀开启及活塞上升时进气阀关闭的程度，应调整合适，不得错前错后。

7）检查进气、排气门的密封情况，必要时要进行研磨；检查水泵溢水孔滴水情况，如滴水严重或成流时应更换水封；检查水泵的运行情况，应运行正常。

8）检查缸套下端气缸套水封有否漏水现象，检查并消除机油冷却器及散热器上漏油、漏水现象。

9）检查连杆螺栓、主轴承螺钉紧固及锁定情况，否则应重新紧固锁定，必要时要更换清洗油底壳和机油冷却器芯。

10）使用过的柴油机应检查冷却系统结垢情况，如结垢严重应除垢。可放尽冷却水，加入清洗剂（每千克水加0.15kg苛性钠配成），静置8～12h后、起动柴油机，当水温达到工作温度后即停车放出清洗剂，再用清水洗净，尔后用压缩空气吹干。这里要注意，铝合金的机体禁用此法。

11）检查缸盖螺钉有无不妥，并按规定顺序（对角线）重新拧紧螺母。风扇、充电发电机、油泵、水泵、蓄电池组及起动电动机等辅机应能正常工作。

12）按表8-5的规定加注润滑脂和机油。

表8-5 柴油机润滑表

润滑部位	点数	润滑油品种	加 油 说 明
发动机油底壳	1	冬季：HC-8 夏季：HC-14	检查油面、不足时加注 每工作百小时更换
起动电动机	2	钠基润滑脂	每工作千小时拆洗轴承后更换新油
喷油泵	1	机 油	每百小时检查，不足时加注，并放冲淡的机油
调速器	1	机 油	每百小时检查加注，加满塞口至漏油再拧紧口
空气滤清器	1	机 油	每百小时更换油盘、并加注至指示线，纸质滤芯禁止加油
充电发电机	2	钠基润滑脂	每工作千小时拆洗轴承后更换新油

注：各种机型应加规定的油。

13）盘车应灵活无卡，并监听有无杂音、撞击等不妥。

14）必要时要空载发动柴油机并进入空载转动，测试转速、有无振动、测听有无杂音、撞击等不正常现象。

4. 发电机组的安装

机组的安装是在安装钳工主持下，由起重工、管道工配合下进行的，要搞好工种间的配合及协作。

（1）主机的安装　柴油发动机和发电机是配套安装在钢制底座上的，这是由制造厂安装好的，一是便于运输，二是便于安装在基础上。底座在基础上的安装是通过地脚螺栓固定的，先将机组吊放在基础上或用绞磨（卷扬机）、滑轮组拖拉在基础上，同时应将地脚螺栓置于基础上的地脚螺栓孔并穿过底座的固定螺孔。然后用水平仪将机组基本找平找正，再把机组轻轻吊起，一般不超过500mm，并用枕木先将机组支起垫好。这个过程必须保持地脚螺栓的垂直和无位移、有时则采用较长的螺栓。这时即用混凝浇注地脚螺栓，通常应采用快干水泥。浇注好后应进行养护，然后将机组吊起轻轻放在底座上。

地脚螺栓必须用设计规定的圆钢作成，底部加工成L形或鱼尾形，螺纹应由车床车制，双母固定。

养护好后即用水准仪精测，将机组找平找正，并用双母将地脚螺栓与底座固定，必要时第二个螺母应为紧锁母。

在高层建筑中，均采用高速柴油发电机组，不用重型混凝土基础，因此在有框架梁的楼板或地板上预埋螺栓时，应按说明书给出的尺寸预埋，位置必须准确，以免给安装带来困难。

（2）热风管路及冷却系统的安装　热风管路安装要求平、直，偏差不大于1%；如需转弯，其弯曲半径要大且内部应平滑；与散热器连接处，要采用软接头。一般出风口的面积为散热器面积的1.5倍，出风口尽量靠近且正对散热器。出风口和进风口相距要尽量较远一些。热风排出口经常有自然顶风时，应设置挡风墙，机组整体安装示意见图8-12。

当机房在地下室或被其地房间围住而无法设置排热风出口时，应采用分体式散热机组，见图8-13。柴油机夹套的冷却水由水泵送到分体式水箱冷却，水箱高度不超过5m。由于机组所带水泵压力有限，当管道过长时，应加大管径或增加辅助泵。系统中应有膨胀缸，其容量为系统容量的15%。为了保证室温及

柴油机的燃料燃烧，应设置通风机并保证足够的通风口。如冷却水箱因环境限制要安装在较高的位置时，可采用热交换式冷却系统或带冷却塔的封闭式循环系统，见图 8-14。

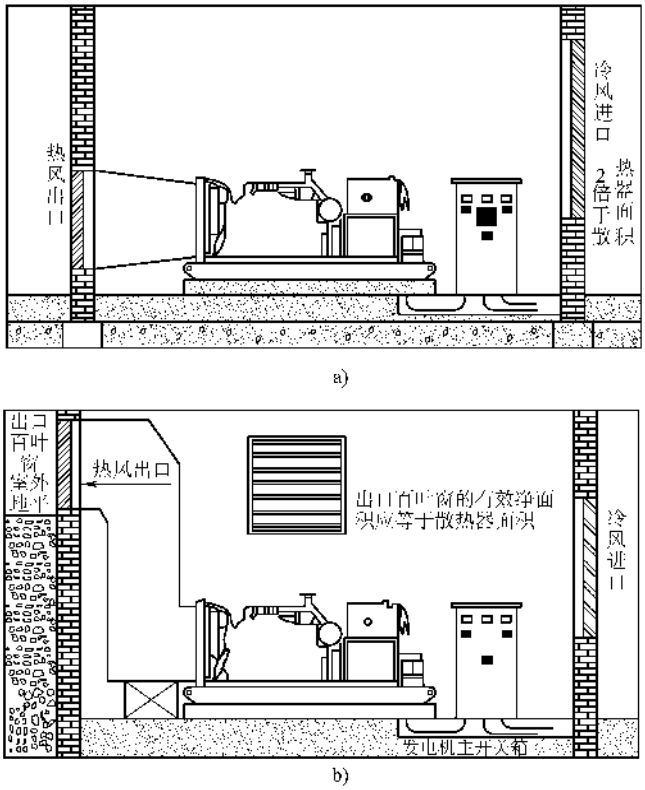


图 8-12　机组的整体安装示意图

a）机组放在首层或楼层　b）机组放在地下室

国产低速柴油机组，常采用将柴油机内夹套中的冷却水用泵直接打到冷却塔进行冷却的方式，见图 8-15。

（3）排烟管的安装　排烟管安装时应加装消音器，消音器通常用法兰盘连接，要加垫密封，将螺栓拧紧即可，见图 8-16。

（4）发电机组的中心找正　发电机的轴心和柴油机的轴心须同心且在同一水平线上是机组稳定安全运行的重要因素，因此机组中心找正是极为重要的。找正一般有两种方法，即用钢卷尺或百分表。

1）用钢卷尺中心找正：此法仅适用于容量较小、低速和对两轴同心要求不太高的机组。

①　以柴油机联轴器为基准，用钢板尺在圆周 0°、90°、180°、270°四点处测出发电机联轴器中心偏移，即正负高低偏差，见图 8-17，对高低偏差可用在发电机机座下加减垫片的方法进行调整，对左右偏差可移动发电机左右位置来调整。

②　用平面规或塞尺测量两联轴器端面间隙，以测量两端面的平行度，见图 8-18 中的 b_1、b_2、b_3、b_4 的尺寸。具体方法是先在圆周 0°、90°、180°、270° 四点处先测出 b_1'、b_2'、b_3'、b_4'，然后再将两联轴器同时转动 180°，再测出 b_1''、b_2''、b_3''、b_4''，即可用下式算出四点处的平均间隙：

$$b_1 = \frac{b_1' + b_1''}{2} \quad b_2 = \frac{b_2' + b_2''}{2}$$

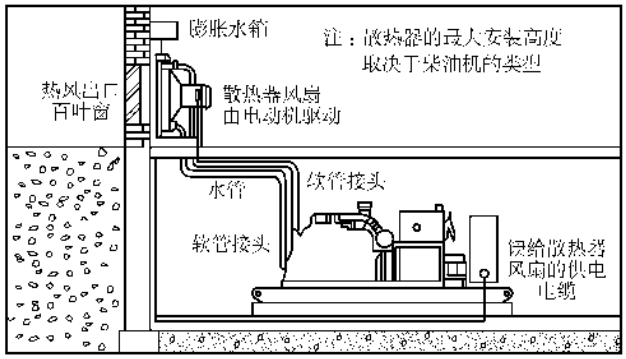
$$b_3 = \frac{b_3' + b_3''}{2} \quad b_4 = \frac{b_4' + b_4''}{2}$$

如果 $b_1 \neq b_3$ 或 $b_2 \neq b_4$，则两端面不行，将会出现端面上下或左右张口。如 $b_1 > b_3$ 时出现的张口见图 8-19。从图 8-20 可知，要消除张口，必须使发电机联轴器盘面扭转 b 的数值，从而应使发电机后地脚抬高 x 的数值，这是通过两个相似三角形（隐影部分）得出的，由下式可得：

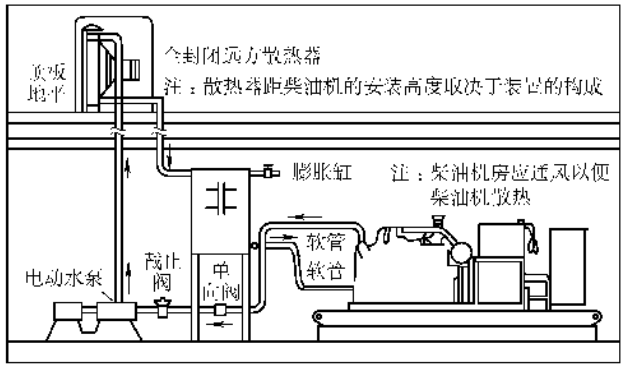
$$\frac{b}{D} = \frac{x}{L} \quad x = \frac{b}{D}L \tag{8-1}$$

式中　D——联轴器的直径（mm）；

L——发电机联轴器中心至加垫处的距离（mm）。



a)



b)

图 8-13　分体式散热机组安装示意图

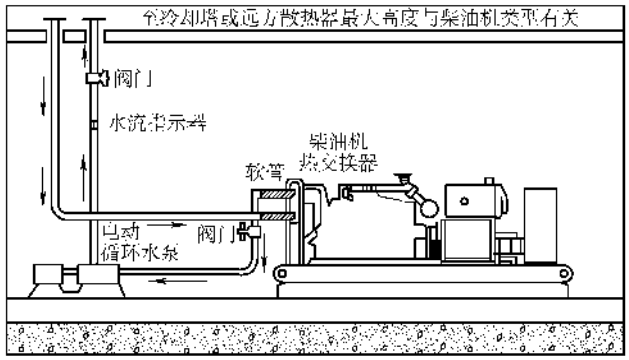


图 8-14　热交换器冷却方式示意图

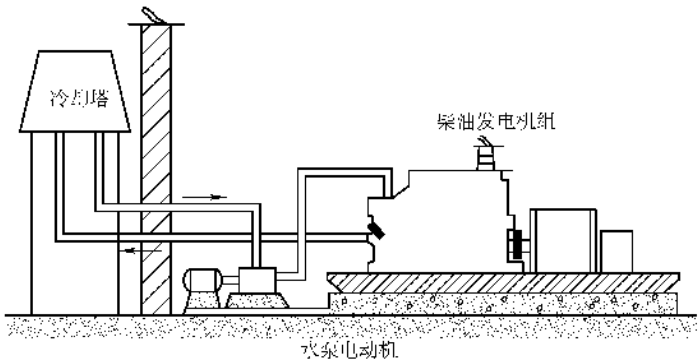


图 8-15　冷却塔冷却方式示意图

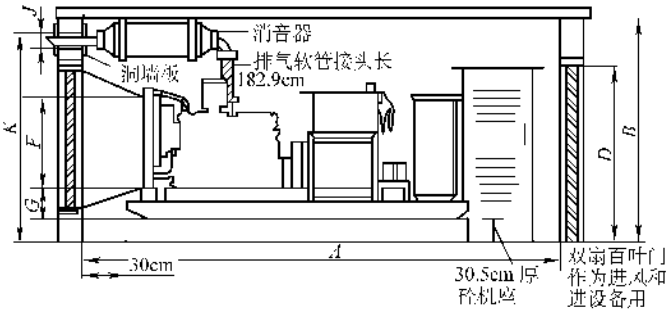


图 8-16　消音器安装示意图

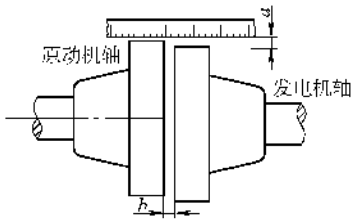


图 8-17　用钢板尺找中心

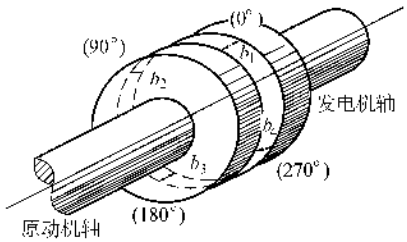


图 8-18　测量联轴器端面平行度

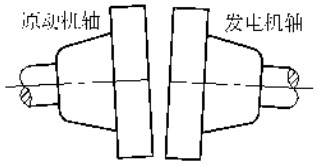


图 8-19　连轴器上张口示意图

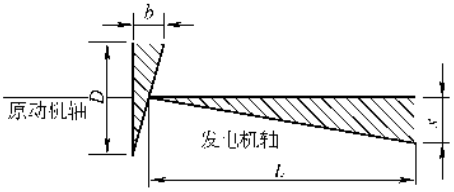


图 8-20　调整联轴器端面平行度

对于下张口或左右张口的可用同样方法计算并调整。调整后的联轴器，应用①、②的方法重新测量，使之符合表 8-6 的要求即可，否则应重新测量直至中心找正为止。

2）用百分表中心找正：此法适用于容量大、高速和对两轴同心要求精度高的机组。用两只百分表测量平行度，用另外一只测量中心偏差。三只百分表固定在柴油机联轴器的销孔上，见图 8-21，表的跳杆应缩进表内 1 ~ 3mm。测量时将原销孔内的销子先取掉，两联轴器只穿一根临时销子（直径较联轴器销孔小 0.10 ~ 0.20mm）使两轴同时转动。

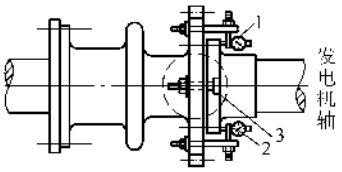


图 8-21　用百分表找发电机中心

1、2、3—百分表

①　将三只百分表对好零位，并在联轴器圆周 0°、90°、180°、270°四点处作等分记号，盘车使两轴同时旋转，每隔 90°同时记录表 1 和表 2 的读数，则 B_1' 和 B_1''、B_2' 和 B_2''、B_3' 和 B_3''、B_4' 和 B_4''，则有

$$B_1 = \frac{B_1' + B_1''}{2} \quad B_2 = \frac{B_2' + B_2''}{2}$$

$$B_3 = \frac{B_3' + B_3''}{2} \quad B_4 = \frac{B_4' + B_4''}{2}$$

上述结果如 $B_1 + B_3 = B_2 + B_4$，可按下式求出联轴器端面平行偏差的结果：

上下张口　$b = B_2 - B_4$

左右张口　$b' = B_1 - B_3$

为了计算方便可作图 8-22，并将测得的数据标图上。

②　在记录表 1 和表 2 的读数时，再记录表 3 的读数，此数如符合 $A_1 + A_3 = A_2 + A_4$，可按下式计算发电机中心偏差：

发电机高低中心偏差　$a = \dfrac{A_1 - A_3}{2}$

发电机左右中心偏差　$a' = \dfrac{A_2 - A_4}{2}$

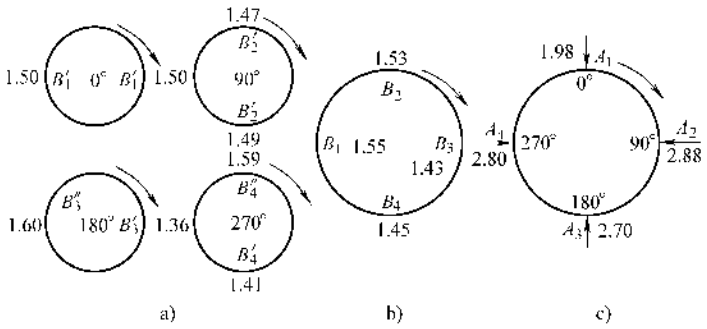


图 8-22 记录图

a）不平行度记录 b）不平行度平均数值 c）径向跳动记录

上述测量结果如不符合表 8-6 的要求时，应调整发电机的位置，重新测量，直至符合要求。

表 8-6 联轴器容许偏差

联轴器型式	容许偏差/mm	
	中心偏差	端面平行偏差
弹性式	0.08	0.06
半固定式	0.06	0.05
固定式	0.04	0.02
爪式或齿式	0.10	0.05

3）注意事项

① 百分表应经检定合格、指示准确、灵活，跳杆测点应选择联轴器光滑平整的部位，跳杆应与测点垂直，表架固定牢固。

② 盘车时应按顺发电机运转方向进行，并注意勿碰表架，以免影响测量精度。

③ 百分表是一种精密量具，上有两个刻度盘，其中外圈大盘刻度是 0～1mm，每格 0.01mm；内圈半圆小盘刻度是 0～3mm，每格 1mm，是记录外圈刻度指示圈数的。使用前应校正零位，把测杆稍顶一下，将大针对于零位，小针也应在零位；一般情况下大针和小针是同步的，如小针不在零位，可转动表外壳，则可对零。

5. 电控保护柜的安装

发电机组电控柜的测试、安装、调整同电动机控制柜。

6. 导线或电缆的敷设同前

7. 发电机组供电系统的接线

发电机组作为备用电源，只是在市电停电时，为负荷中不能停电的设备和必要的生活用电供电，它的系统图见图 8-23。其中，KM_1 和 KM_2 是两台电气和机械都互锁的交流接触器，有时为了工作可靠则采用由单独直流电源供电的直流接触器或由 UPS 供电的交流接触器。KM_1 和 KM_2 的切换有自动切换，也有手动切换的。有些容量小的发电机组则采用跟头闸作为手动切换装置。接线时必须使发电机输出电压的相序与市电的相序一致。

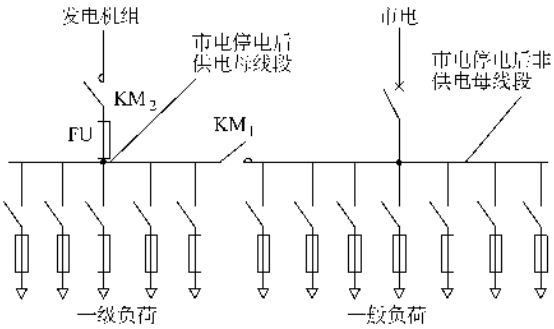


图 8-23 备用电源供电系统图

（1）手动切换电路的接线

1）双投刀开关切换：电路见图 8-24。

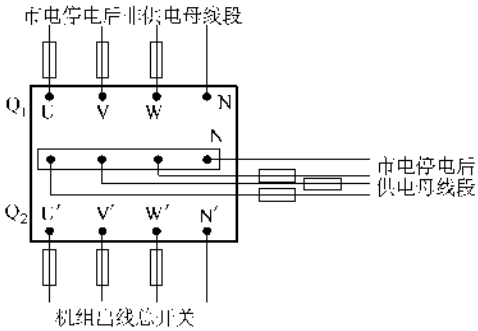


图 8-24 双投刀开关切换接线图

将市电停电后供电母线段接在双投刀开关的中间四个接线柱上，其中一个是中性线（零线）接线柱。然后将市电电源停电后非供电母线段与机组出线（发电机输出电压线、经控制柜内总开关）分别接在双投刀开关的上下闸口上，为了供电的可靠性，中性

线也接入切换，但不加熔断器。这样，就可在市电停电时，将双投刀开关扳向下闸口 Q_2 端，市电供电时扳向上闸口 Q_1 端。

这里要注意，市电和备用电源的相序要一致，接线前，应将相序找对。否则，电动机要反转。

2）接触器切换：电路见图 8-25。

将市电停电后非供电母线段接在 KM_1 的上闸口，将发电机电压输出线接在 KM_2 的上闸口，然后将 KM_1、KM_2 的下闸口同相连接后再接至市电停电后供母线段上，操作回路的电源应取自各自的接触器上闸口，当市电停电后 KM_1 自动掉闸；机组发电正常后可操作 SB_2 合闸。当市电恢复供电时，可操作 SB_1，使 KM_2 掉闸，并使 KM_1 合闸，然后再将机组关掉。

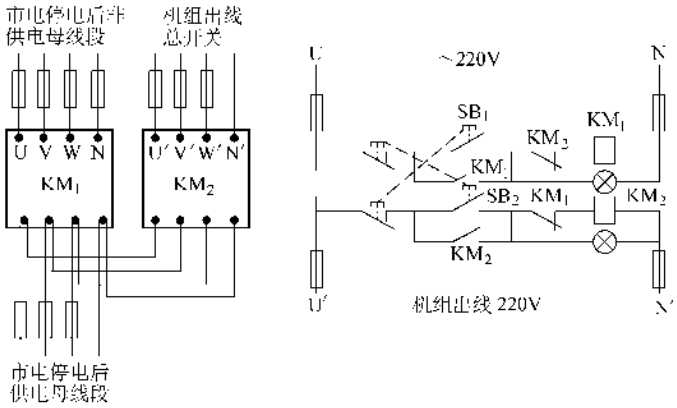


图 8-25　接触器切换接线图

（2）自动切换电路的接线　主接线基本同手动接触器的接线，但操作回路的接线却大不相同。

1）自力电源的控制回路见图 8-26。

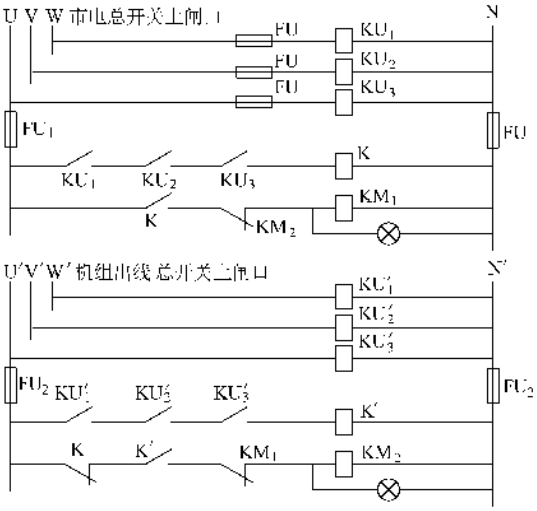


图 8-26　自力电源供电的自动切换电路

2）单独电源供电的控制回路见图 8-27。此电路应在市电停电后非供线母线段接一电压检测装置，作为自动切换的信号，如电铃或指示灯。

如果不使用 UPS，也可使用蓄电池组，蓄电池组应定时充电。

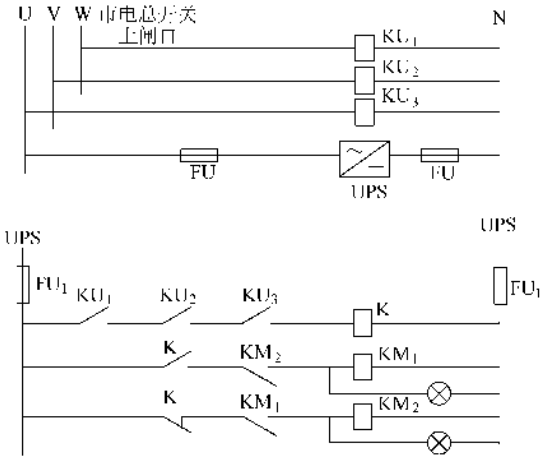


图 8-27　单独电源供电的自动切换电路

8. 试车准备

上述项目安装完毕且经专业人员检查合格后即可进行试车发电的准备工作。

1）测量线路、设备、元件的绝缘电阻应良好，并复查电气线路应接线正确紧固，接地电阻符合要求。

2）检查冷却系统应严密，无漏风现象，冷却效果及效率良好。轴承润滑良好，不漏油。

3）检查电刷完整、接触良好，接线及位置正确，刷握灵活，弹簧压力正常。

4）装有差动保护、过电流保护、接地保护及强行励磁、自动灭磁、灭火装置、油断路器或空气断路器等主要保护装置的动作、信号应可靠，元件完整无损，并经模拟试验调试合格。

5）温度表、电压表、电流表、转速表、频率表、功率表、功率因数表、同步表完好，准确。

6）检查励磁开关和负荷开关是否在断开位置，将励磁变阻器调到电阻最大值位置，晶闸管励磁装置应将电位器调到零位。

7）检查一、二次回路的熔断器是否完整，熔丝额定电流应符合回路的要求，保护回路连接板是否投入。

8）检查系统有无其他不妥。

9. 机组空载试验和测试

上述准备工作全部合格后，参照表 8-7 的注意事项，即可起动机组进行空载试验。

表 8-7 柴油机的起动、运行和停机的注意事项

项目	工作内容
起动前准备工作	（1）加入经沉淀、过滤的柴油 （2）检查机油油位是否在规定范围，冬季应预热机油 （3）检查蓄电池或压缩空气瓶是否正常 （4）检查机油压力表、充电电流表是否正常，指针应在零位 （5）加足冷却水，冬季应加热水 （6）检查传动装置，如离合器是否正常，传动带松紧是否适当 （7）清扫现场，擦拭机器
柴油机的起动	（1）打开燃料箱供油阀门 （2）盘车数圈，监听有无杂音，用压缩空气起动的机组，应盘车到起动位置 （3）用手摇油泵压油，润滑各运转部件 （4）将油门放在中速位置，按下起动开关或打开压缩空气阀门，使机组迅速起动 （5）检查机油压力表、充电电流表指示是否正常、监听运转声音是否正常，检查冷却水泵工作是否正常 （6）柴油机预热至 60℃以上，各部分工作正常时，方可带负荷
柴油机运行中的监视	（1）应注意机油压力、充电电流、水温等仪表指示是否正常 （2）监听机器运转声音是否正常 （3）冷却水的出口温度应保持在 70～80℃，机油出口温度不允许超过 85℃ （4）观察排气烟色，如有异常应查明原因 （5）与电气值班员密切配合，保证供电频率在 49.5～50Hz，电压误差在 ±5% 之间，负荷不超过柴油机额定功率 （6）应严格防止低温低转速、高温超转速或长期超负荷运行
柴油机停车	（1）逐步解除负荷 （2）检查蓄电池的电压或压缩空气瓶的气压是否充足，如电压不足或气压不够应充足 （3）逐步增加冷却水量使机器降温，当出口水温下降到 60℃以下时关油停机 （4）冬季停车要将冷却水放尽，并低速空载运转 3～5s

1）起动给油泵，并将高压油泵检视孔打开，以便空气排出，并检视油料是否进入高压油泵，否则油路不畅。

2）起动电动机，使柴油机起动，当转速升高后将电动机自动甩掉，这时用听针监听发动机和发电机内部有无摩擦和异常声响，否则应立即停车，查明原因并及时排除故障。

3）无异常声响转动正常（即在柴油机达到额定转速）后，闭合励磁开关，调节磁场变阻器的电阻缓慢升起电压，观察励磁电压表、电流表，同时观察系统定子电压表应有电压指示且随励磁增加而增加，否则应停车检查并排除故障。当定子电压表指针升至 1/2 额定电压时，暂停励磁电流的调节进而停止升压，检查三相电压是否平衡，发电机声响和电刷有无异常、有无放电、异味等异常现象。一切正常后则继续调节励磁，升压至额定值。这时应检查轴承温度、绕组温度、水温、油温（初始时水温应在 60℃左右，油温 40℃左右，正常后水温一般在 80℃左右，油温在 60℃左右，油温和水温应相差 10℃左右即为正常）、三相电压是否平衡，频率、转速、振动、声响及有否异常现象。空载运行一般不超过 2h，即可停车。

4）重新起动机组，进行空载开机试验。

① 发电机空载特性试验：是指定子绕组开路，

转子为额定转速时，定子电压 U 与励磁电流 i 的相互关系，即 $U=E_0=f(i)$ 曲线。试验接线见图 8-28。

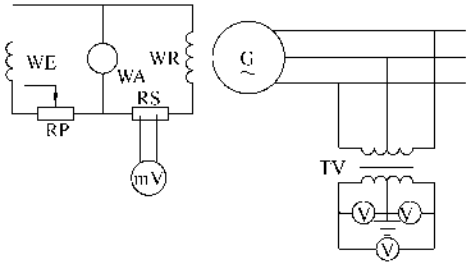


图 8-28　发电机空载特性试验接线

WR—发电机转子绕组　G—发电机定子
WE—励磁机励磁绕组　WA—励磁机
电枢　RS—分流器　RP—励磁变
阻器　TV—电压互感器

a. 按图接好线路，并将差动、过电流与接地等保护装置投入，励磁变阻器 RP 放在最大值位置，检查无误后起动机组升至额定转速且维持恒定。

b. 在空载状态下合上灭磁开关，调节磁场变阻器，逐渐升高转子电流和定子电压，至使定子电压升到额定电压的 1.3 倍，并保持 5min 进行匝间耐压试验。同时检查三相电压是否平衡，然后逐渐减小转子电流至零，同时切断灭磁开关。在电压增加或降低过程中，每增加或降低额定电压的 15% 时，应停顿片刻，等各仪表指示值稳定后，同时读数并记录。

c. 将发电机升至额定电压，测量相序，测量开口三角零序不平衡电压及中性点电压，同时检查电压型继电器动作和返回情况。对于发电机定子某相应作接地保护的模拟试验。

d. 切断灭磁开关后，发电机仍保持额定转速，在定子绕组出线端，测量定子残压值。测量应戴绝缘手套并穿绝缘靴，要有专人监视。

e. 在测取电压上升和下降曲线时，调节励磁只允许向同一个方向调节，不可中途反向调节，否则由于铁心磁滞作用会影响测试结果。在进行 5min 匝间耐压试验时，应巡视发电机、励磁机，以免出现异常。

f. 根据记录数据绘制上升和下降两条空载特性曲线（由于磁滞的影响其不会重合），并取其平均值作为所求空载特性曲线；然后与出厂数据比较，不应超出测量误差范围。如曲线降低很多，说明转子绕组有匝间短路，应查明原因并消除。残压值一般不作规定，一般在 100V 以内。

② 发电机短路特性试验：是指在定子绕组三相短路、转子为额定转速时，定子电流 I 与转子电流 i 相互关系的特性，即 $I=f(i)$ 曲线。短路试验，可作为检查发电机转子在高速运转中有无匝间严重短路的一种方法，以此检查发电机定子三相电流的对称性。同时对发电机电流回路完整性及相序、相位的正确性，对电流型保护装置动作的可靠性进行检查。试验接线见图 8-29。

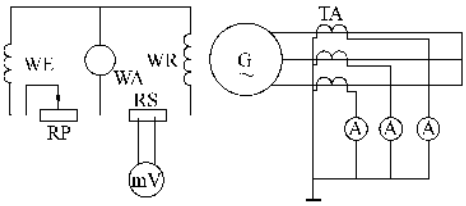


图 8-29　发电机短路特性试验接线

G—发电机定子　WR—发电机转子绕组　WA—励磁机
电枢　WE—励磁机励磁绕组　RP—励磁变阻器
RS—分流器　TA—电流互感器

a. 将发电机出线端处短路封死，其他二次保护回路全部接入信号工作位置，励磁变阻器 RP 放在最大值位置，检查无误后即可起动机组，升至额定转速且维持恒定。合上灭磁开关，调节磁场变阻器，缓慢升高转子电流与定子电流到额定值，每增加额定定子电流的 20%，则停顿片刻，等各仪表指示稳定后，读数并记录，同时检查定子三相电流的是否对称，必要时应用钳形表核对。增加电流时，应及时检查电流互感器、电流短接回路有无火花和放电现象并应及时处理。电流升到额定时，应检查保护装置动作情况。

b. 调节励磁变阻器，将定子电流降至零，断开灭磁开关，拆除短接线及临时串联的表计。下降时同样按上升时的 20% 计取读数。

c. 在定子电流上升与下降时，调节励磁只允许向一个方向调节，否则应从新开始重做试验。

d. 根据记录数据绘制上升和下降短路特性曲线，并取其平均值作为所求的短路特性曲线。然后与出厂数据比较，不应超出测量误差范围，否则说明转子绕组可能有匝间短路。判定前应检查试验用过的标准表、分流器是否准确，测量转子绕组的直流电阻看有无变化，回路的连接是否有误等。这些检查都正常后，则应按电动机转子绕组故障的检查方法进一步检查，直至找出原因并修复。

③ 励磁机空载特性试验：是指励磁机空载且在额定转速下，电枢电压 U_i 与励磁电流 i 之间的关系，即 $U_i=f(i)$，试验接线见图 8-30。其中直流电流表的量程应大于两倍额定转子电压除以主励磁绕组的直流电阻所得的电流值，准确度 0.5 级。直流电压表的量

程应大于两倍额定转子电压值，准确度 0.5 级。

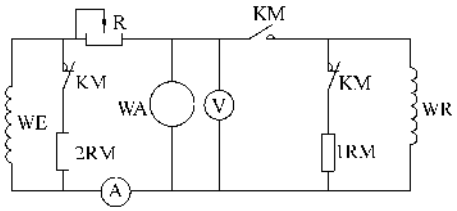


图 8-30 励磁机空载特性试验接线示意图

WE—励磁机励磁绕组 KM—灭磁开关 WA—励磁机电枢 2RM—励磁机灭磁电阻 1RM—发电机灭磁电阻 R—励磁变阻器 WR—发电机转子绕组 Ⓐ—励磁绕组电流表（临时串接）

a. 将灭磁开关断开，励磁变阻器调至最大值位置，起动机组使转速在额定值保持不变。

b. 断开励磁机的励磁回路、读取剩磁感应电压，其值一般为额定电压的 2% ~5%，如剩磁感应电压为零，可用 6V 蓄电池对激磁绕组进行充磁，以获得剩磁感应电压，充磁时必须注意极性。

c. 逐步增加励磁机的励磁电流，测取空载特性的上升曲线；然后逐步减少励磁电流，测取下降曲线，并取其平均值为空载特性曲线。

测取上升曲线时，电枢电压应达到 1.3 倍额定电压。若达不到上述数值，可手动操作强励接触器，使磁场变阻器全部短路；电枢电压迅速上升到最大值励磁电压，但励磁电流应不大于 1.5 ~2.5 倍额定值，否则励磁绕组会过度发热。试验时，励磁变阻器同样只允许向一个方向调节。

d. 测试结果与出厂记录比较，应在测量误差范围之内，否则可能是励磁机的间隙有变化，或励磁绕组中匝间短路，磁极线圈接错或电刷中性位置有变化等，应查明原因消除故障。

④ 励磁负载特性试验：是指励磁机在额定转速下，以发电机转子为固定负载时，电枢电压与激磁电流之间的关系。即 $u = f(i)$ 曲线。接线方法和试验方法同短路特性试验，也可结合发电机短路特性试验一起进行，同时测量发电机的定子电流和转子电流、励磁机的电枢电压及励磁电流，并绘制曲线。当然这样作会有误差。同样与出厂数据比较，应在允许范围之内。

⑤ 发电机灭磁时间常数的测定：灭磁时间常数是指发电机定子绕组开路，定子电压与转速均为额定值时，断开灭磁开关，发电机由额定电压下降到低电压继电整定值的时间。一般情况下，低电压继电时整定值为发电机额定电压的 0.368 倍。试测电路见图 8-31，其中电秒表为 401 型，低电压继电器为 DJ-122/160 型、交流电压表 0 ~150V0.5 级。

a. 将电压继电器的动作值整定在 0.368 倍的额定电压值上，检查接线无误，起动机组，使发电机为额定转速且维持恒定不变。

b. 合上灭磁开关，调节励磁电流，使发电机端电压升至额定电压，合上试验开关，电秒表开始转动并使灭磁开关跳闸、发电机端电压下降到定值时，电压继电器动作，使电秒表停转，电秒表此时的示值即为灭磁时间。通常应取三次的平均值为灭磁时间常数。

c. 试验时应在转子回路有灭磁电阻和灭磁电阻被短接的两种情况下分别进行，短接灭磁电阻的导线不宜太长且应有足够的截面积，试完后要立即拆除。

⑥ 发电机差动保护装置的试验：发电机差动保护装置（包括电流互感器回路、继电器的整定值、性能与接线是否正确）在未正式运行前必须进行实地试验。一般是将电流升至额定值，测量差动继电器的二次电流、中性线回路内的不平衡电流以及继电器的不平衡电压。试验接线见图 8-32。其中，K_1 为差动内部短路试验接线，虚线 K_2 为改接在差动外部短路试验接线。继电器、试验端子都为控制柜上原装件，三只电流表临时串联在端子上，断开连片，试验完后立即恢复。

a. 起动机组至额定转速，合上灭磁开关，调节励磁变阻器，逐渐升高电流至额定值，分别测量三相不平衡电流及三只差动继电器上的不平衡电压，这里可以看出差动内部短路试验可与②中短路特性试验同时进行，分别记录数据。

b. 将短路点改接在差动外部、进行 a 中同样试验。

c. 内部短路试验时，三相不平衡电流应为发电机的额定电流，三只差动继电器上测得的不平衡电压由继电器的安匝值决定，一般为 1V 左右；外部短路试验时三相不平衡电流应接近于零，不平衡电压约为 0.15V 左右。否则有接线错误，或元件参数不平衡，应查出修复。

⑦ 轴电压的测量见电动机的测试。

这里需要说明一点，对于容量较小的机组，可不作空载开机试验，但必须测试各部件的参数。

四、柴油发电机组的起动操作

由于柴油发电机组的控制系统不大相同，其操作起动方法也不尽相同，这里我们按安装好后首次起动和停机（起动试验）、正常起动和停机、钥匙打火起动和停机、自动起动和停机几种情况讲述柴油发电机

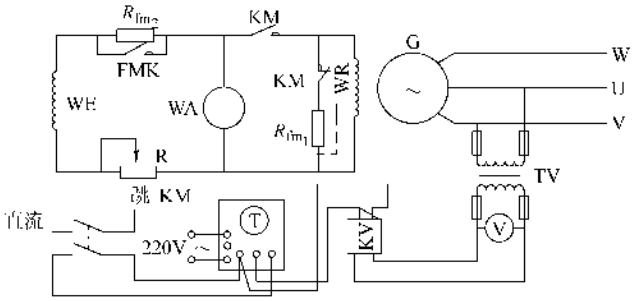


图 8-31　灭磁时间常数测量接线示意图

WE—励磁机励磁绕组　KM—灭磁开关　R_{fm_1}—发电机灭磁电阻　WR—发电机转子绕组　WA—励磁机电枢　R_{fm_2}—励磁机灭磁电阻　RP—励磁变阻器　T—401 型电秒表　KV—电压继电器　TV—电压互感器

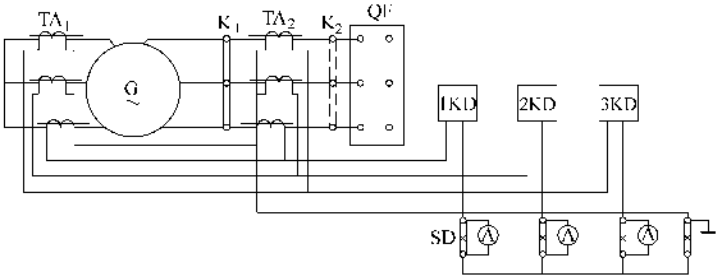


图 8-32　发电机差动保护内外短路试验的接线

G—发电机　QF—断路器　TA_1、TA_2—差动保护用电流互感器　K_1、K_2—短路铜排

SD—电流试验端子　1KD、2KD、3KD—差动继电器　Ⓐ—临时串接电流表

组的起动和操作。

1. 起动前的检查和操作程序

1）将机组控制屏上的总断路器断开。

2）检查柴油油位、机油油位、冷却液液位，不足时应及时补充至最高位置。

3）检查冷却风扇是否正常，传动带是否正常、松紧程度是否合适。

4）检查软管、软连接部位是否松脱磨损，否则应修复。

5）检查电池的电极有无腐蚀、溢液结晶，否则应清除。

6）检查蓄电池液位是在最高位，否则应补充规定的电解液。

7）检查控制屏、机身上是否有灰尘，否则应清除。

8）检查空气滤清器是否阻塞严重，也可按灰尘阻塞指示器的指示，必要时要清除或更换。

9）检查供油系统、冷却系统、润滑系统各个部位有无泄漏滴液现象，严重时应修复。

10）排放排水阀，放掉凝聚的水分。

11）清理机组现场，清除杂物、废物及可燃物、危险物，保证通风畅通。

2. 机组（自动起动控制式）初次起动/停机（起动试验）

1）将电池接至发电机，先接正极，再接负极。

2）将油门开关的电源断开或将油门锁住，再将钥匙转向起动位置，起动电动机转动机组，使机油油压上升至规定数值。如无油压指示应立即停止机组转动，应让机组静置，然后再使机组转动几次（一般不超过三次）。如仍在指示则应检查并排除故障，直到油压正常。

3）用手摇泵将柴油加满到规定油位，同时应放出滞留在过滤器中的空气。

4）将控制开关转到“RUN”运转位置。这时机身及其周围温度很低，可在转到 RUN 位置前开动预热器预热半分钟，再将其转到 RUN 位置且继续预热直到发动机起动，再停止预热。

5）发动机将自动起动数次（一般不超过三次）直到着车起动运转为止，否则将在显示器上显示“起动失败”或故障显示灯点亮，这时则应按后续故障排除的内容排除故障再重新起动。多次起动失败后，即可把排烟管接头拆下，使未燃油气完全放掉，再装好排气管经检查无误后，才能起动。

6）起动着车后应检查或观察机身的噪声、振动、

供油系统、排烟系统、通风系统、控制屏显示、电压、频率等情况，如有不妥应及时处理否则应停车检查。发电机建立电压后应测试其三相的相位，应与市电系统相位相同，否则应调整其中的两相接线位置，直到相位相同。电压的调整可用控制屏上的电压调整电位器、发电机终端盒内自动电压调整器上的电位器来进行。电压较大的调整则要改变发电机线圈的接法，可在终端盒内进行。

7）起动试验运行的时间一般不超过1h，系统正常后即可停车。按下急停按钮或将控制开关转到“STOP”停止位置即可停车。

8）如有遥控起动装置，可把急停按钮和遥控停车按钮松开，然后把遥控开关打到“AUTO”自动位置。无误后输入遥控起动信号，发动机会按起动程序自动起车。停车时，消除遥控起动信号或按下急停按钮或将控制开关置于“STOP”均可停车。

3. 机组（自动起动控制）正常起动和停机

与首次起动基本相同，应按以下操作程序：

1）检查急停按钮和遥控停车按钮的状态，使其必须处于“停”（断开）的状态。

然后按首次起动的4）～6）操作。

2）检查控制屏指示有无异常，温度是否过高，油压是否过低，如果其沿续时太长（不超过15s）则应进行停车检查。

3）起车后把输出断路器合上即可带动负载。一般条件下，机身温度<20℃时负载的接入不得大于额定输出的50%，机身温度>80℃时可接入80%～95%的额定输出容量。一般条件下不应超过100%运行。

4）停车操作应先拉掉负载，10s后即可按动紧急停车钮，停车钮或把控制开关转到“STOP”停车位置，即可停下。必要时要直接按动停车钮。

4. 机组（自动起动式）自动开机/停机

1）检查急停按钮和遥控停车按钮的状态，使其必须处于“停”（断开）的状态。并把发电机输出总开关置于“ON”（闭合）的位置。

2）按动遥控器“START”起车钮，输入起车信号，即可起动。

3）停车时取消“START”钮即可停车。

5. 机组（钥匙起动控制式）的首次起动

1）把钥匙开关转向“OFF”。

2）将油门开关的电源断开或将油门锁住，将钥匙开关转向起动位置，起动电动机转动机组，直到油压表显示正常油压位置。当油压表无显示时，其机组应即停止转动，静置30s，然后再起动几次（一般不得超过三次），直到油压正常，否则应停机检查油压直到正常。

3）用手摇泵将柴油加满到规定位置，同时放出滞留在过滤器中的空气。

4）将钥匙开关由“OFF”经“ON”位置到预热位置，一般不超过30s，然后将开关置于“START”起动位置。发动机起动后，立即松手将钥匙开关复位到“ON”的位置，发动机正常起动运转。

5）假使发动机不能起动，应立即停止起动，使钥匙完全复位到“OFF”位置。然后每隔10s起动一次，一般不超过三次，直到正常起动。否则应查找故障并修复，直到正常起动。

6）、7）见2. 机组（自动起动控制式）起动试验的6）和7）。

8）电压和频率的调整。

① 装有电压调整电位器时，可转动该旋钮调整电压到400/230V。

② 可用发电机终端盒内的自动稳压调整器的电位器进行调整。

③ 较大调整可在终端盒内改变发电机线圈的接线方式来进行调整。

6. 机组（钥匙起动控制式）正常开机/停机与首次起动基本相同，这里要注意两点：

1）钥匙打到“ON”位置后应检查电池电压是否正常。一般条件下，12V的电池充满电后为12～14V，24V的电池充满电后为24～28V，不足10V或22V时不得起动。另外还应测试其放电电池，用放电仪测试，应满足要求。

2）～4）见机组（自动起动控制式）正常起动和停机的2）～4）。

7. 机组起动注意事项

1）起动前必须把机组控制屏上的总开门断开。

2）当冷却液处于热态时，不要打开散热器的顶盖，同时不要加入冷却液于浑热的冷却系统，这样会造成机组严重的损坏。

3）当加注油料，整理电池或加注电解液时不得在其周围吸烟或动用明火。

4）机组不能正常起动时，应及时打开排气系统将其未燃油气放尽，以免出现意外。

5）负载的增加应逐渐进行，不得开机后立即接入大量负载，只有在热机后（大于80℃）时才能接入全部负载。

6）控制屏上只要有故障指示时，不得强行起车，应将控制开关掷于“STOP”停机位置，把控制系统复位。只有将故障排除后才能重新起车。

五、柴油发电机组的负载运行

1. 发电机组的负载试运行

上述试验全部合格后，且经空载试运行正常，机组可进入负载运行。负载运行通常分 1/4 负载、1/2 负载、全载三个阶段进行，每个阶段的运行时间不小于 2h。负载运行前必须测试相序。

1）将市电停电后供电母线段上市电电源开关断开，见图 8-23，并将该母线段上的所有负荷断开，然后将发电机组控制保护柜的总开关合上，将发电机的电送到该母线上，观察该母线段上的仪表应指示正常。

2）相序的核对。将停电后供电母线段上任意一台可逆的小型三相电动机的电源合上，并起动该电动机。如电动机的转速方向与原市电供电时相同，则相序相同；如转速方向与原市电供电时相反，则可将发电机到控制保护柜电源总开关的电源任意对调两相，即可取得相序一致。相序的测量也可用前面介绍的两种进行，但是这里必须注意，如果是高压系统测量相序，必须要经过电压互感器。

3）将市电停电后供电母线段的每个回路的负荷开关合上，然后按 1/4 负载、1/2 负载、进行负载试验，这时应注意观测发电机和柴油机的运行情况，并作运行记录。

对发电机应观察：

① 发电机电压值应在额定值左右，上限 110%，下限 90%，且三相电压应平衡（这里要注意负载的三相要平衡）；

② 发电机的频率为（50 ± 0.5）Hz；

③ 转子电流不允许超过额定值；

④ 三相不平衡电流之差一般不超过 10%；

⑤ 发电机的温升、振动、声音、轴承温度、保护装置应正常。

对柴油机应观察：油压、温度、声音、振动应正常，详见表 8-7。

4）上述运行正常后，即可投入全载运行，观察和记录项目同上，如有不妥或异常应减载，如仍存在异常则说明发电机带全负载运行出现故障；如不存在则说明电机带不动全载或负载与发电机不符，应停车检查发电机内部是否转子局部开路或定子绕组匝间短路等，否则应核对发电机的功率及负载的容量。如运行正常，即可进入 72h 试运行，并应加强巡视和值班人员的力量。

5）巡视检查项目。

① 发电机定子温度、励磁机或整流器件的温度是否正常；

② 发电机的冷却空气进口温度和出口温度是否正常，进口空气滤网是否畅流、完整；

③ 测听轴承声音是否和谐正常，定子声音正常时应为轻微、均匀的“嗡嗡”电磁声；

④ 轴承润滑和温度是否正常，冷却水流量及温度是否正常；

⑤ 发电机出线端子、励磁机出线端子是否过热，有无变色、有否滴漏现象；

⑥ 换向器和集电环电刷的火花情况，电刷磨损情况；

⑦ 机组振动情况；

⑧ 检查机组供电母线上所有设备与母线或电缆的连接点是否有接触不良、过热变色、放电或烧红现象；

⑨ 母线绝缘子是否正常；

⑩ 控制保护柜及控制系统是否正常；

⑪ 电流互感器，电压互感器有无漏油、放电或异常声音等。

⑫ 柴油机工作是否正常，机组是否过负荷运行。

2. 发电机非正常运行及事故处理

1）在事故情况下，机组允许短时间内过负荷运行，这时值班人员应密切监视定子绕组及转子绕组的温度，保证在允许范围之内运行，否则应减轻负荷，关掉部分负载。过负荷运行允许值见表 8-8。

表 8-8　发电机过负荷运行允许数值

过负荷电流/额定电流	1.1	1.12	1.15	1.25	1.5
持续时间/min	60	30	15	5	2

2）发电机的温升不得超过铭牌规定值，无铭牌规定时，应按表 7-33 的规定参考执行。

3）发电机出现不正常运行或事故时，应按仪表指示情况判断原因，采取措施，及时处理，详见表 8-9。

表 8-9　发电机不正常运行及处理措施

配电屏仪表指示现象	故障原因	处理措施
（1）定子电流表指针摆动剧烈 （2）发电机电压表摆动剧烈，端电压降低 （3）功率表的指针在全表盘上摆动 （4）转子电流表指针在正常值附近摆动 （5）发电机发生鸣音，其节奏与上列各表针摆动合拍	与系统并列的发电机发生振荡及失去同期	增强励磁电流，争取恢复同期。有自动调整励磁的发电机，应减少有功负荷。上述措施无效时，应将发电机解列

（续）

配电屏仪表指示现象	故障原因	处理措施
（1）有功功率表指示反向 （2）无功功率表通常指示升高 （3）定子电流表指示可能稍低 （4）定子电压表及转子电流表，励磁电压表指示正常	电力倒送，发电机变为电动机运行	提高原动机转速，增加有功负荷使发电机脱出电动机运行方式。如无效，应将发电机解列，查明原动机故障
（1）转子电流表指示等于或近于零 （2）功率表指示较正常数值低 （3）定子电流表指示升高 （4）功率因数表指向进相 （5）无功功率表倒转	与系统并列的发电机励磁中断	设法恢复励磁，如无效，应断开励磁开关和断路器。水轮发电机失去励磁时，应立即从电网断开
（1）转子电流表，励磁电压表指示反向到头 （2）定子电流表和定子电压表指示正常	励磁机的极性反向	如安全条件允许，不必停机处理，只需将励磁电压表接线在端子处互换，转子电流表则应设法将回路短接，将电流表接线在端子处互换，然后拆除短接线，对装有分流器的转子电流表，可直接在二次接线处互换
（1）定子电流表指示最大值，甚至撞击针档 （2）定子电压表指示明显降低 （3）转子电流表指示升高	外部短路而保护拒动或熔丝未能熔断	降低励磁电流，断开断路器，查明并处理短路部位

4）当发电机轴承由于润滑不足或轴承冷却中断，引起温度升高，应立即修复供油供水系统，短时无法修复应停车处理。

5）当发电机有严重焦味、冒烟、打火、振动、声音异常等危险紧急状况时应立即停车。

6）当发电机内部着火时，应立即断开励磁开关和主开关，并降低柴油机转速至10%左右额定转速运转，堵塞进风道，向机内喷洒四氯化碳、干粉灭火剂等灭火。这里要严禁使用泡沫灭火或砂子灭火。当确认火灾熄灭后，方可停机检修。

7）在运行中若某一仪表指示失灵，使某一参数不能反映发电机的实际情况，这时判断失误将会引至事故扩大。因此必须根据实际情况和其他仪表指示，进行认真仔细地分析，严禁胡乱操作，最忌讳的是乱指挥。例如：

① 定子电压表突然为零，而定子电流表、转子电流表和励磁电压表均正常，则说明电压表本身或电压表接线回路有故障。

② 定子电压表指示为零，频率表失去指示，而定子电流表和转子电流表指示正常，则说明仪用电压互感器故障或其二次回路内熔断器故障。

③ 定子电流表的一相指示为零，但定子电压三相平衡，转子电流表和励磁电压表指示正常，则可能是该相电流表、电流互感器或其二次回路断线故障。

④ 运行中发电机负载正常，定子电流表、电压表指示正常，但转子电流表、励磁电压表指示反向，则说明发电机逆励磁。

上述故障的出现，运行人员应尽量不减小发电机的出力，应采取相应措施，排除故障。

8）励磁机的换向器允许有轻微火花而长期运行，但火花达到2～3级时，则应找出原因，及时排除。

现将柴油发电机组正常运行时，辅助系统的有关数据列出，供参考，见表8-10～表8-12。

表 8-10

排气背压	≤6kPa
冷却水出口温度	一般为≤70℃
进水温度	5～20℃
排气温度	≤450℃
冷却水出口最佳温度	50～60℃
机油压力	0.2～0.3MPa

表 8-11 冷却水标准

游离物	pH 值	有机物	悬浮物	暂时硬度	含油量
0	6.5～9.5	≤25mg/L	≤25mg/L	≤3.5mg-eq/L	≤5mg/L

表 8-12 冷却水出口温度与水硬度的关系

水的暂时硬度/（mg-eq/L）	允许出口温度/℃
<1.4	<90
1.4～2.5	<70
>2.5	<60

六、柴油发电机组运行中故障处理方法

1）柴油机常见故障及排除方法：柴油机发生故障时，应仔细观察所发生的故障现象，如排气烟色，运转声响、各部温度、盘车阻力及压缩力大小等情况

进行分析，并注意同一原因引起的多种现象，详见表8-13。

2. 同步发电机的故障及处理见表8-14

表8-13　柴油机常见故障及其排除方法

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
柴油机打不着火	不来油	
	（1）油箱供油阀门未打开	（1）打开供油阀门
	（2）油箱通气孔堵塞	（2）疏通通气孔
	（3）油管被污物堵塞	（3）从油箱供油管开始，顺流向逐段检查疏通
	（4）燃油系不严密，漏进空气	（4）检查油管各接头处，滤清器及喷油泵的严密性并排除空气
	（5）油内有水分	（5）放掉油箱底部沉淀水分，用手动供油泵驱除供油系统内水分
	（6）调速器调速弹簧折断，齿条卡死	（6）更换弹簧，活动供油拉杆，恢复齿条位置
	燃油雾化不良	
	（1）喷油嘴配件磨损	（1）更换喷油嘴
	（2）喷油嘴针阀被卡死，喷油孔被积炭堵塞	（2）清洗喷油嘴
	（3）喷油嘴压力调节不当，压力太低	（3）拆下喷油嘴，接通高压油管并调整喷油嘴压力，直至雾化良好为止
	（4）喷油泵柱塞磨损，压力不足	（4）更换柱塞配件
	供油时间不对	
	（1）检修时正齿轮装错	（1）按记号重新装配
	（2）供油提前角错误	（2）调整供油提前角
起动困难	压缩力不足	
	（1）进气门及排气门不严密	（1）研磨进气门及排气门
	（2）活塞环及气缸套磨损	（2）更换活塞环，严重时应搪缸，并更换加大活塞及活塞环
	（3）气缸垫漏气或串缸	（3）更换气缸垫
	（4）喷油嘴或预热塞接合面漏气	（4）拧紧或更换铜垫圈
	（5）活塞环故障	（5）更换活塞环
	气门间隙不对	
	（1）气门间隙调整螺钉磨损或锁紧螺母松脱	（1）重新调整间隙
	（2）摇臂轴孔衬套磨损	（2）更换衬套
	（3）供油提前角太小	（3）调整供油提前角
	起动无力	
	（1）蓄电池电压不足，或压缩空气气压不足	（1）充电或充气
	（2）天气寒冷，机油变稠，机器转动阻矩增大	（2）加热机油，冷却系灌注热水
	（3）机组大修后，各轴承间隙过小，轴瓦过紧	（3）重新调整轴承间隙和紧力
柴油机输出功率下降	压缩力不足，燃烧温度不够	
	（1）气门与气门座锥面密封环带破坏，密封不严	（1）研磨气门，必要时先进行校修气门座
	（2）活塞环与气缸磨损严重	（2）更换活塞，磨损严重时应搪缸，并更换加大活塞及活塞环
	（3）气缸垫损坏，气体串缸	（3）更换气缸垫
	（4）活塞环故障	（4）更换活塞环
	（5）摇臂衬套缺油磨损，间隙过大，配气失调	（5）更换衬套，重调进排气门间隙
	供油提前角太小	松开喷油泵联轴器螺栓，调整供油角度
	进排气门间隙失调	用塞尺重调间隙
	燃油雾化不良，燃烧不完全	
	（1）各缸供油量大小不一，喷油雾化不良	（1）重新调整，必要时在油泵试验台上进行
	（2）燃油不清洁，喷油泵柱塞过早磨损，造成供油压力不足	（2）更换油泵柱塞偶件，加强燃油澄清过滤
	空气滤清器堵塞	用毛刷清洗或更换滤芯
	柴油粗滤或细滤堵塞，来油不足	用汽油清洗滤清器
	排气管积炭过多，排气不畅	清除管内积炭

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
柴油机运转不均匀	燃油系进入空气，来油时断时续	检查油路各结合面、燃油滤清器结合面及喷油泵各螺塞的严密性，并排净燃油系空气
	部分气缸工作不正常 （1）喷油泵柱塞新旧参杂，喷油压力不一致 （2）部分喷油嘴磨损过大或积炭堵塞油孔 （3）部分喷油喷雾化不良，着火时断时续	（1）更换磨损过大的柱塞，在油泵试验台调整 （2）清洗或更换喷油嘴 （3）调整喷油嘴压力，使柴油雾化良好
	调速器部件磨损或弹簧弹性减弱或变形	更换磨损部件和弹簧
	部分气缸高压油管接合面漏油，使高压油压力降低，着火时断时续	拧紧结合面螺钉或更换垫圈
	喷油泵调节齿轮和齿杆不灵活，发涩发卡	用汽油清洗
柴油机自行灭火	供油中断 （1）燃油系管路被污物堵塞 （2）燃油系从油箱出口至喷油泵之间漏进空气 （3）燃油内有水分沉淀 （4）油箱盖通气孔堵塞 （5）喷油泵凸轮轴折断	（1）从油箱开始，顺流向逐段松开接头检查来油，找出堵塞部位并清除 （2）检查各接头，特别是用橡胶管或塑料管的接合处 （3）排除水分，更换经沉淀过滤的燃油 （4）疏通气孔 （5）打开喷油泵盖板、盘车或用起动机起动，观察喷油泵是否动作。如不动作，应查明原因更换部件
	在高温高负荷下，冷却水中断，活塞局部熔化引起粘缸，或润滑油中断引起烧瓦抱轴	拆卸各气缸盖，检查粘缸部位，更换损坏部件，迅速拆卸机体两侧盖板，用手试触各轴瓦温度，温度最高的轴瓦可能是烧瓦部位，应更换

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
柴油机运转声音不正常	在低速至中速时有过重的敲缸声 （1）喷油提前角太小 （2）喷油嘴滴油，在燃烧室发生间断性燃烧 （3）个别缸的喷油压力小，除发生间断缺缸外，有时出现敲缸	（1）调整喷油提前角 （2）研磨喷油嘴针阀座面或更换喷油嘴 （3）调整喷油压力
	部分气缸不工作 （1）个别喷油嘴烧死在关闭位置或喷油孔被积碳堵塞 （2）高压油管结合面漏油，压力降低，喷油嘴不喷油 （3）有个别高压油泵柱塞弹簧折断，供油中断 （4）缸垫损坏，气门漏气严重	（1）~（4）可用断缸的方法判断，把油门调到柴油机声音最不正常的位置，依次断开各缸供油油路，从柴油机声音来判断。如断开某缸供油后声音未变，则说明该缸不工作。可检查该缸的喷油嘴或喷油泵柱塞弹簧予以整修或更换，或检查缸垫和该缸气门的严密性
	气门锁夹脱落或气门在杆端沟槽折断，导致气门掉进气缸，此时活塞顶部有不清脆的金属敲击声，柴油机功率下降，排气声及排气烟色显著异常	立即停车，打开全部气缸头罩，查明所在部位卸下气缸头，如活塞损伤变形严重，应更换
	曲轴瓦磨损严重，或轴承合金剥落、烧蚀；在曲轴附近听到金属敲击声。低速时声音清脆，高速时声音反而变小，功率及排气烟色正常	更换曲轴瓦片，重新研磨
	连杆螺钉松脱，金属敲击声剧烈，高速时尤甚	紧急停车，查明部位，更换连杆螺钉，必要时更换曲轴瓦片
	气门间隙过小或没有间隙，其特征是缸盖部分有不清脆的敲击声，随转速变化而变化	用听针查明声音来源，调整该部位的气门间隙，必要时拆卸气缸头，检查内部有无损伤如有损伤，应更换活塞
	气门间隙过大，在气缸盖部位可听到清脆的金属敲击声，随转速的快慢而高低变化	重新调整气门间隙

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
机油压力过低	使用机油牌号不符	更换机油
	机油使用过久变质，粘度降低	更换机油
	供油系漏油，燃油漏进机油箱（或油底壳），使机油稀释	检修供油系漏油部位，更换机油
	调压阀弹簧弹性减弱或折断	重新整定调压阀开启压力或更换弹簧
	调压阀整定压力过低	整定调压阀开启压力
	机油泵入口滤网堵塞，吸油阻力增加，来油减少	用汽油清洗滤网，必要时清洗油底壳，将机油重新过滤使用
	机油箱（或油底壳）油量不足	加足机油
	机油粗滤器堵塞严重，同时安全阀动作压力高，机油泵内漏增加，导致主油道压力流量均下降	清洗粗滤器，重新整定安全阀开启压力
	机油泵轴套端面磨损，间隙增大	更换轴套
	柴油机失修，各轴瓦间隙增大，漏油量大，压力降低	大修柴油机
	曲轴箱内部油管破裂，机油泄漏，压力降低	补焊或更换破裂部位油管
	机油泵限压阀开启压力过低，油泵大量回油使泵油量减少，油压降低	整定机油泵限压阀开启压力
	机油压力表指示不准，读数偏低	核对或更换机油压力表
机油无压力	机油压力表损坏或压力表油管与主轴管接头松脱	查明部位，排除故障
	机油泵不泵油	检查更换机油泵损坏的传动件，如键或销等
	机油泵来油滤网严重堵塞	清洗滤网、油箱（或油底壳），更换经过滤的机油
	油箱（或油底壳）无油或油位过低	加足机油

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
排气烟色异常	排气冒黑烟，并时有火苗窜出 （1）气门关闭不严 （2）气门弹簧折断，漏气严重 （3）严重超负荷	 （1）研磨气门 （2）更换弹簧 （3）减负荷
	排气冒浓重黑烟 （1）空气滤清器堵塞，进入气缸空气不足 （2）喷油雾化不好，油颗粒大，分布不匀 （3）喷油提前角太小 （4）负荷重，柴油机带不动	 （1）清洗空气滤清器或换滤芯 （2）调整喷油嘴压力，如无效，应检查喷油泵，或更换喷油嘴 （3）调整喷油角度 （4）减负荷
	排气冒蓝烟 （1）空气滤清器机油过多，随气流进入气缸燃烧 （2）油底壳机油过多，被曲轴溅到缸壁的机油增多 （3）活塞环磨损过大，活塞环对口，引起机油窜到燃烧室燃烧	 （1）放出多余机油 （2）放出多余机油 （3）更换活塞环
	排气冒白烟 （1）柴油机温度低 （2）柴油内有水分 （3）个别缸垫损坏，冷却水进入气缸 （4）进气门关闭不严，喷油嘴或电热塞与燃烧室结合面漏气	 （1）减少冷却水流量 （2）使用燃油应澄清过滤 （3）更换缸垫 （4）研磨气门
飞车	调速器失灵 （1）飞锤或飞锤弹簧断裂 （2）喷油泵调节齿杆与调速杠杆因故脱开、供油失去控制 （3）喷油泵调节齿杆卡死，突然卸去负荷 （4）调速器长期缺油，机件磨损，轴承烧坏，咬住，供油失去控制 （5）调速器机油油面过高	 （1）更换损坏的飞锤或飞锤弹簧 （2）大部分是由于销轴脱落引起、可重新装上销轴及销轴上的开口销 （3）对调速器进行补充保养 （4）修复磨损零件，更换轴承 （5）放出多余机油
	空气滤清器油盘机油平面过高	放出多余机油

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
发动机过热	冷却水泵故障 （1）水泵传动带太松，水泵转速下降 （2）水泵叶轮松脱 （3）如使用低位冷却水池时、由于水泵填料或水封环磨损，漏进空气，导致冷却水中断	（1）紧传动带，保持传动带足够张力 （2）检查叶轮是否磨损，必要时更换 （3）更换填料或密封环
	冷却水池水量少，冷却效果不好	加大冷却水池，改进或增加喷水头，提高冷却效果
	节温器失灵，不能进行大循环	更换节温器
	冷却系积垢过多	用15%苛性钠溶液处理
	柴油机长期过负荷	减负荷
	水温表不准引起误判断	校对水温表，必要时更换
机油温度过高	机油箱（或油底壳）油量不够	加足机油
	机油冷却器铜管部分堵塞或隔板脱焊	卸下冷油器端盖，疏通铜管，补焊隔板
	冷却水温太高	增加冷却水池喷头数量，有条件时，冷油器改为单独供水
	机油粗滤器滤芯堵塞，部分机油不经机油冷却器而从安全阀泄入主油道	清洗滤芯，调整安全阀动作压力
	机油泵油量不足，使冷油器热交换作用降低	检查机油泵进出口管路是否畅通，机油泵齿轮磨损是否严重，必要时更换
	压缩系漏气，高温气体串入曲轴箱引起油温升高	更换磨损部件
	机油牌号不对，粘度大，散热不良	更换机油
	柴油机长期过负荷	减负荷
	油温表不准，引起误判断	校对油温表及感温器，必要时成套更换

（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
机油压力过高	机油粘度过大	更换机油，冬季用HC-8，夏季用HC-14
	机油泵限压阀开启压力整定过高	重新调整限压阀，除专门规定者外一般调整为0.2～0.3MPa
	部分分支油路堵塞，使主油道压力升高	在停机后迅速触摸各润滑部件，温度异常升高的部位应检查其油路是否堵塞
	机油压力表指示不准确	核对或更换机油压力表
起动机不转	钥匙开关触点接触不良	拆下仪表板，检查钥匙开关触点及接线
	控制回路断线或接触不良	用校验灯或万用表查明断路或接触不良部位，重新接好
	蓄电池损坏。蓄电池与导线连接处酸腐蚀，引起主回路接触不良	检修或更换蓄电池。用砂布打磨导线与蓄电池接点
	电刷卡死，未与换向器接触	修磨或更换电刷，检查弹簧压力
	励磁绕组或电枢绕组断路	用校验灯或万用表查明断路处，重新接好
	起动机接线柱或绝缘刷握接地，或励磁绕组接地	用绝缘电阻表查明接地部位，排除故障
起机动器机转起动动无后力	蓄电池电压不足	蓄电池充电
	起动机电枢绕组或磁极绕组短路	排除或更换绕组
	起动机离合器打滑	检查起动机离合器
	气温低，机油粘度大，柴油机转动费力	起动前预热机油，柴油机冷却系加热水
蓄电池容量显著下降电压不足	极板硫化 （1）蓄电池长期搁置不充电 （2）使用中水分蒸发，极板长期露出液面 （3）水分蒸发后，添加了电解液、使电解液比重增加，极板产生硫酸铅晶体而硫化 （4）经常用大电流放电，蓄电池长期电压不足	去硫化处理 放电（10h放电率，下同）至每格1.7V→倒掉电解液，加入蒸馏水→连续充电（以1/20容量充电率，下同）至电解液比重升至1.15左右→放电至每格1.7V→充电直至电解液比重不再上升为止→调整电解液比重至1.28 经上述方法蓄电池容量达到80%时，恢复工作基本完成。达不到时，可多次重复充放电直至合格为止

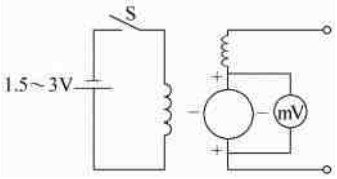
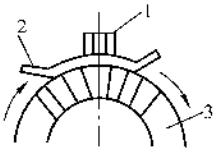
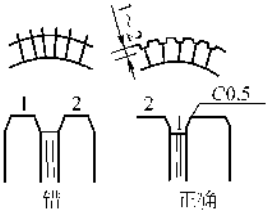
（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
蓄电池容量显著下降电压不足	单格蓄电池极板短路 （1）长期过度充电，温度过高，正极板活性物质脱落 （2）经常大电流放电及充电，导致极板弯曲变形 （3）电解液比重过高，木隔板腐蚀损坏 （4）硫酸不纯，电解液有杂质 （5）长期使用中，沉淀物积聚过多，使极板短路	取出极板浸入蒸馏水中，清洗单格电池中沉淀物，换上新隔板，加入比重 1.10～1.20 电解液，单独进行充电及放电，后调整电解液比重至 1.28，充电至电压与其余单格一致后焊上连接片
充电电流过大	蓄电池极板短路	更换蓄电池极板
	限压器触点烧结，不能分离	修磨或更换触点
	限压器或限流器弹簧调整过紧	放松弹簧压力
	限压器的触点臂与铁心气隙过大	调整间隙在触点闭合时为 1.4～1.5mm
	限流器的触点臂与铁心气隙过大	调整间隙在触点闭合时为 1.4～1.5mm
	充电发电机与调节器选配不当	重新选配
充电电流小	发电机传动带太松	紧传动带
	换向器脏污或云母高出换向片	清洗换向器或用锯条将云母刻低，应较换向片低 1～1.2mm
	磁极绕组局部短路	测量各绕组直流电阻，看其是否一致，直流电阻低的一只即为短路绕组
	限压器或限流器弹簧压力小或触点臂与铁心气隙过小	调整限压弹簧压力的闭合电压。当发电机为 12V 时为 13.8～14.8V，发电机为 24V 时为 27.6～29.6V，触点臂间隙应调到 1.4～1.5mm
	限压器和限流器触点的过桥电路脱焊	焊接

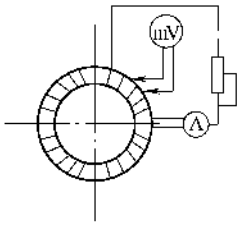
（续）

故障现象	产生故障的可能原因	处理方法
充电电流不稳	导线接触不良	接好导线
	换向器失圆或云母高出换向片	车圆换向器、刻低云母
	电刷磨损过多，或弹簧压力不足	更换电刷或弹簧
	电枢绕组短路或线头脱焊	更换绕组或重焊接头
	限压器弹簧压力小	调整限压器弹簧
	限流器弹簧压力小	调整限流器弹簧
不充电	充电发电机剩磁消失	卸下传动带，按下截流器触点，将充电发电机作电动机运行半分钟进行充磁
	电刷过短、卡死、或弹簧压力太小	更换电刷或调整电刷的弹簧压力
	充电发电机磁极绕组断线或短路	测量磁极绕组直流电阻及对地绝缘电阻，以判断是否短路或断路，排除故障
	电枢或磁极绕组接线螺钉接地	检查电枢及磁极绕组接线螺钉是否接地并排除故障
	绝缘刷握接地	测量绝缘刷握的对地绝缘电阻，以判明是否接地
	换向片间被炭末油污所短路	擦拭换向器，仔细清除换向片的片间油污
	电枢绕组短路	测量电枢绕组的绝缘电阻，并用短路侦察器检查电枢绕组是否短路，必要时重绕
	截流器线圈断路或短路	更换线圈或发电机调节器
	截流器与限流器电流线圈连接处脱焊	重新焊接
	截流器弹簧压力太大，闭合电压过高	调整截流器弹簧压力，使动作电压为 12.2～13.2V（24V 发电机应为 24.4～26.4V）
	截流器动作后，触点闭合不严或触点烧损	调整截流器触点间隙或修磨触点
	限压器或限流器弹簧压力小	调整弹簧压力
	限压器触点烧蚀	修磨触点，必要时更换触点
	30Ω 附加电阻断线	更换电阻
	发电机与调节器的电流或励磁回路断线	用校验灯或万用表查明断线部位，接通导线，必要时更换

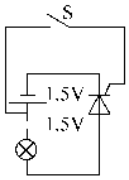
表 8-14 发电机常见故障及处理方法

故障现象	故障原因	检查方法	处理方法
发电机不发电	采用直流励磁机励磁的发电机反向旋转或励磁机并励绕组接反	发电机匀速运转,将直流励磁机并励绕组的一端从刷握拆下后,测量剩磁电压,将此线端在原处试触时,剩磁电压立即降低。此现象为发电机反转或并励绕组接反	改正发电机旋转方向或将并励绕组接线对调
	剩磁消失或剩磁微弱不足以激励	发电机全速运转,测量励磁机剩磁电压,仪表无读数或读数很小	用干电池或蓄电池给励磁机励磁绕组通电充磁,应注意正负极与励磁机正负极一致
	励磁回路断线或励磁绕组极间连接线脱焊	将励磁机并励绕组的一端拆下,用万用表欧姆档测量整个励磁回路是否通路	接通断线,重新焊好
	磁场变阻器断线或变阻器滑臂接触不良	拆下变阻器接线,用万用表测量其回路是否通路,并反复调节变阻器、观察电阻值的读数是否相应均匀地增大或减少	接通变阻器断线或增大变阻器滑臂压力
	并励绕组两点接地	将并励绕组两端接线拆下,用绝缘电阻表逐个测量励磁绕组对地绝缘电阻,一般情况接地点多在绕组内孔四角上	重新包扎绕组绝缘或重绕
	励磁机电刷中心位置不对	(1) 外观检查,电刷中心偏离主磁极中心位置 (2) 感应法检查,如图所示  感应法确定电刷中心线位置	按左图所示接线,当电刷中心位置不对时按下开关 S,毫伏计指示左右摆动;移动刷架座角度至正确中性线位置时,按下开关 S,毫伏计指示不再摆动或摆动微小
	电刷卡住或刷面与换向器接触不良	轻轻提起刷辫上下活动,观察是否有卡涩现象;再提出电刷,外观检查接合面磨合情况	用 00 号玻璃砂纸,将电刷四周均匀打磨,电刷与刷握的间隙最小为 0.1mm、最大为 0.2mm,并按图所示方法,用 00 号玻璃砂纸打磨刷面  磨电刷的方法 1—电刷 2—细玻璃砂纸 3—换向器
	换向器表面油污严重,换向片间被污物填塞而短路	外观检查换向器表面油污	小心剔除换向器片间脏污,擦拭表面油污,按图要求将云母削低  换向器云母挖削尺寸 1—云母 2—换向器
	转子内部磁极间绕组连接线断线或脱焊	(1) 仪表盘上转子电流表无指示,励磁电压表指示偏高 (2) 取出集电环电刷,用试灯或万用表检查两集电环间是否通路	抽出发电机转子,用试灯或万用表在各磁极绕组连接线依次测试,找出新路点并接通

（续）

故障现象	故障原因	检查方法	处理方法
发电机不发电	励磁机电枢绕组短路	按图示方法接线，用毫伏表逐片测试，当毫伏表指示低于其他绕组或无指示时，即表示该绕组短路，也可用转子短路侦察器测出  用电阻法测试电枢短路绕组	更换短路绕组
	三次谐波励磁绕组断线或硅整流管击穿	（1）在三次谐波绕组接线端子上测量是否有交流电压 （2）将三次谐波绕组在接线端子上拆下，用试灯或万用表检查是否通路，如绕组正常可将各半导体整流管接点拆开，逐个测量其正反向电阻；若反向电阻很小，表明半导体整流管被击穿	接通断线部位 更换同型号半导体二极管
	晶闸管励磁不起励	测量发电机是否有剩磁电压或调节移相电位器，测量移相触发器输出端是否有信号脉冲输出	用干电池或蓄电池向励磁机磁极绕组通电励磁，调整或更换移相触发器插件
发电机端电压低	发电机转速不够	观察频率表读数，或用转速表直接测量发电机转速	提高原动机转速或更换带轮
	检修后将励磁绕组接错	将并励绕组两端接 6～12V 直流电源，用指南针检查极性，各极应是 N—S—N—S 交替变换。如不符，说明励磁绕组头尾接错	校对极性，更正接线
	励磁机励磁绕组短路	（1）以 12～36V 交流电依次接入励磁绕组，测量各绕组的交流阻抗。如励磁绕组电流相差超过 5%，其中电流大的绕组可能存在短路故障 （2）用单臂电桥直接测量各绕组直流电阻	重绕励磁绕组
	励磁机磁极与电枢气隙太大	用塞尺测量各个磁极与电枢间隙是否符合要求	卸下磁极铁心，用铁皮在磁极背面作垫片以减小间隙
	电刷不在中心线位置上	用本表“感应法确定电刷中性线位置”，检查电刷中性线位置是否正确	松开刷架座紧定螺钉，移动刷架座角度，使电刷对准主磁极中心，按下开关 S，如毫伏表摆动，则重新调整刷架座角度，直至按下开关 S 时毫伏表不再摆动或摆动微小为止
	发电机转子绕组短路	用单臂电桥测试转子绕组直流电阻，如较前降低时，应抽出转子，以 6～36V 交流电源逐个对各磁极绕组通电并记录电流值，各绕组电流应基本一致，其中电流超过平均值 5% 以上的励磁绕组，应进一步判明是否短路	更换绕组

（续）

故障现象	故障原因	检查方法	处理方法
发电机端电压低	检修后定子绕组错误	卸下端盖，检查绕组接线，是否有绕组元件接错或极相组接错	改正错接绕组
	晶闸管自励方式的发电机移相触发器导通角太小	检查移相触发器的电容器是否完好，并旋转滑臂，测试电位器的电阻，从零位到最大值是否均匀变化	更换电阻电容元件，必要时更换移相触发器插件
	具有三相桥式整流自励方式发电机部分半导体二极管击穿	拆开各半导体二极管接线，逐个测量半导体二极管正反向电阻，查出被击穿的硅管	更换同型号的半导体二极管
	晶闸管自励方式发电机的个别晶闸管被击穿	拆下晶闸管，按图示接线，检查晶闸管，如按下开关晶闸管导通，灯泡发亮，证明晶闸管完好  用试灯检查晶闸管	更换参数相同的晶闸管
加负荷后电压显著下降 发电机空载电压正常	串励绕组接反使所产生的磁通与并励绕组产生的磁通相互抵消	观察仪表盘仪表指示，空载及低负荷时电压尚能保持，但随负荷增加，电压显著下降，负荷越大，电压越低	将串励绕组两端接线位置对调
	检修时将换向极绕组接反，引起电枢反应加剧	外观检查，励磁机电刷火花随负荷增加而加大，整个电刷下呈喷射形火花，端电压随负荷增加下降很多	用指南针检查并纠正换向极绕组接线，换向极的极性沿转子旋转方向的极性顺序应为n（换向极）—N（主极）—S（换向极）—S（主极）……
电刷下冒火花	同轴式励磁机大轴弯曲，引起换向器径向跳动	拆下励磁机电枢，用百分表测杆顶在轴颈外沿上，缓慢盘车，记录径向摆动值	将轴校直，用百分表复查
	换向器表面不圆不光洁	将百分表测杆顶在电刷顶部，调整好零位，用手转动转子，观测百分表径向跳动量	可用00号玻璃砂纸研磨，换向器表面不圆应车削。在车削前，应先校正中心，使转子两轴承颈对铁心外圆同心度偏差不超过0.02～0.04mm方可车削。车削时换向器线速度不应超过30m/min进刀量不超过0.05～0.10mm，走刀量不超过0.1mm
	电刷与刷握间隙过大，电刷压力不足	用塞尺测量电刷与刷握间隙是否在0.1～0.2mm之间，并用小弹簧称试测电刷压力	用00号玻璃砂纸研磨电刷，使间隙保持在0.1～0.2mm范围，并调整电刷压力，使刷压保持在200～300g/cm^{2}之间
	检修时将换向极绕组接反	用指南针检查换向极的极性，顺旋转方向，极性顺序应为n（换向极）—N（主磁极）—s（换向极）—S（主磁极）	纠正错误接线
	电刷位置不在中性线上	检查刷握是否与原记号对准	按原记号对准，如无原记号，可用感应法确定电刷中性线位置

（续）

故障现象	故障原因	检查方法	处理方法
电刷下冒火花	磁极与电枢空气隙不均匀	用塞尺测量各极间隙，作好记录	调整磁极与磁轭间的垫片，使各磁极与电枢间的气隙差别与平均值比较，不应超过0.4mm
	与换向器相接的电枢绕组元件短路或脱焊	(1)用短路侦察器查明短路部位，或用万用表查明脱焊部位 (2)用电阻法测出短路绕组	更换短路部位的绕组，重焊脱焊绕组
	励磁机励磁绕组短路引起磁场不对称	测量各绕组直流电阻或作交流阻抗试验，查出短路的绕组	重绕励磁绕组
	电刷接触面太小，或电刷牌号不符	抽出各电刷，检查弧形接合面磨合情况，查对电刷牌号	按生产厂要求牌号更换电刷，并研磨电刷
	换向片间短路	外观检查换向片间的凹槽内是否被炭粉、铜屑或焊锡等杂物填塞，片间云母是否被电弧烧灼炭化	仔细剔除片间污物，若炭化层很深，应彻底剔除炭化层，确实判别短路已排除后，在已剔除炭化层的凹槽内用绝缘漆调制云母粉填补
	电刷卡死	轻轻提起刷辨上下活动，检查是否灵活	观察电刷被卡处的摩擦痕迹，用00号玻璃砂纸研磨，保持电刷与刷握间隙在0.1～0.2mm
	发电机过负荷	检查发电机定子电流表及转子电流表读数是否超过铭牌规定数值	减负荷至额定值，若无功负荷过高，可安装移相电容器
发电机温升过高	空气滤网被堵塞，冷却空气不畅通	用硬质纸放在进风滤网上，试测吸力大小。若无吸力或吸力很小，说明滤网堵塞	将滤网拆下，逐层用汽油清洗
	定子绕组积尘太多，散热不良	打开窥视窗口，观察绕组端部积尘情况	抽出转子用压缩空气将定子铁心通风道内及绕组端部的积尘彻底吹净
	发电机长时间满负荷，低转速运行，使冷却风量不足	观察频率表读数或计算原动机与发电机带轮变速比是否适当或直接用转速表测量发电机转速	更换带轮，或提高原动机转速，保证发电机在额定转速下运行
	定子绕组短路	发电机空载时，三相电压不平衡，冷却空气出口处有焦臭味，停机后迅速用手摸定子绕组端部。发热异常、颜色异常和绝缘脆化的绕组即为短路绕组，或测量各相绕组交流阻抗，以判明短路部位	更换短路绕组
发电机振动	滚动轴承损坏或滑动轴承磨损严重，引起发电机转子下沉并与定子铁心摩擦	抽出转子，外观查看是否有明显的摩擦痕迹，定子槽楔和绝缘材料是否有烧焦痕迹，开启式或防滴式发电机在运行中，从端部可以看到摩擦产生的火花	更换滚动轴承或重新研刮轴瓦，绝缘介质严重烧焦的要重换绕组
	联轴器中心不正	用塞尺检查两联轴器端面互隔90°处的间隙是否一致，再用钢板尺靠在联轴器外沿，用塞尺检查中心偏移	重新找正联轴器中心

（续）

故障现象	故障原因	检查方法	处理方法
发电机振动	转子绕组短路或气隙不匀引起的磁场不对称	断开励磁电流时，振动消失，接通励磁电流时，振动重复出现	重绕转子绕组或调整气隙
	转动部分重换绕组后未经平衡校正，或带轮未经平衡校正	不平衡情况严重，而两端轴承又灵活时，用手盘动转子使之缓慢自由旋转，较重一端总是停在下边，不论断开或接通励磁电流振动无变化	将转子和带轮分别进行静平衡校正，容量较大的2极、4极发电机转子应进行动平衡校正
	负荷严重不平衡	观察各相电流表指示	调整负荷
轴承温度过高	滚动轴承缺油或损坏	用听针测听，有明显噪声	清洗轴承，加润滑脂或更换轴承
	滑动轴承两轴瓦安装不同心，接触面不好或轴承间隙不合格	用塞尺测量轴瓦间隙，必要时拆下轴瓦，观察磨损情况	根据磨损情况，调整两轴瓦中心或修刮轴瓦、保证轴承与轴颈的间隙
	联轴器中心不正	用钢板尺或百分表测量两联轴器中心偏移尺寸，测量端面间隙是否一致	重新校正联轴器中心
	滚动轴承润滑脂太多	用手触摸温度很高，用听针测听声音正常	清洗轴承，重加润滑脂，使其充填至轴承室的空间的1/2～2/3即可，不宜过多
发电机运行时有不正常的噪声	电刷牌号不符	检查电刷牌号是否符合生产厂要求	更换合格电刷
	滚动轴承损坏	用听针测听轴承音响，正常的声音应均匀和谐	更换轴承
	气隙不均匀，转子铁心与定子铁心摩擦	抽出转子，检查有无摩擦痕迹，并检查轴承是否损坏，是否因轴承内圆与轴颈配合太松将轴颈磨损引起转子下沉	更换轴承。如轴承磨损，应送机修厂补焊并车削
	定子铁心松动在交变磁场作用下引起振动	抽出转子、观察定子铁心两端齿部是否松动	在已张口的铁心齿部注入绝缘清漆后压紧，待绝缘清漆干燥后即可

七、柴油发电机组的并车运行

多台柴油发电机组同时作为一个系统的备用电源时，常遇到的问题就是几台发电机并列运行的问题，并列运行也叫并车。柴油发电机组一般不与市电并网运行，因此要区分并网和并车的概念。

1. 并车的条件与方式

并车条件是：待并发电机的频率、电压、相位、相序必须和系统一致，也就是并车的机组必须同时满足上述的四个条件，才能并列运行，向同一个系统供电。

并车的方式有两种：准同期并车和自同期并车。

准同期并车就是待并发电机投入励磁后，调整其转速电压，当其频率、电压、相位、相序和系统一致的条件下迅速合上并车开关，接入系统，叫做准同期并车。准同期并车并列瞬间冲击电流小，对系统电压无影响，但操作麻烦，不易达到同步，适用于大容量发电机并入系统，独立小电网多台小型发电机也可应用。

自同期并车就是在机组起动后不合励磁开关，将磁场可调变位器调到发电机对应的空载电压位置上。当发电机转速达到或接近同步转速时，合上发电机主开关，然后迅速合上励磁开关给发电机励磁，待并电机被系统拉入同步。自同期并车操作简便，并入系统快，但并入瞬间，从系统吸收无功，对系统电压有影响，只适用于小容量发电机并入系统。

2. 并车前的检查

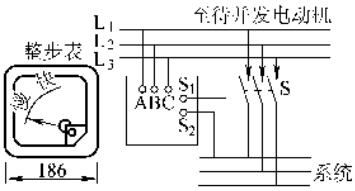
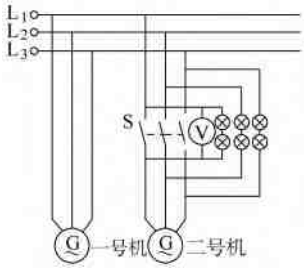
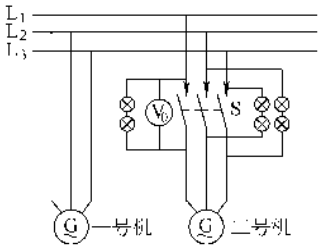
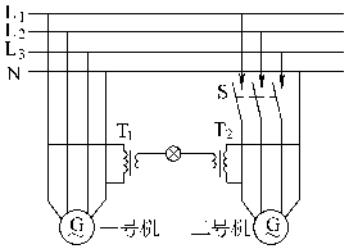
1）相序的检查：可用相序表、电容灯泡、示波器和小型电动机法任选一种。

2）检查柴油机组调速系统是否灵敏，否则不得并车。

3）一般准同步并列有整步表法、旋灯法、暗灯法几种，见表 8-15。接线要正确牢固，灯泡一般用两只功率、电压相同的灯泡串联。

柴油发电机组自动起车装置的安装应按说明书或随机资料安装。目前国产机组由机组起动到可向负荷供电已能在 4s 内完成，国外机组可达到 0.5s。全自动化机组能按预定的程序自动投入和退出运行，与柴油机配套的同步发电机在励磁结构上亦有较大改进，有相复励励磁、无刷励磁以及三次谐波励磁等，在性能上均具有一定的恒压特性和动态特性，当负载上发生突增、突减冲击性负载时，发电机的输出电压恢复时间较短，具有较好的强励、强减励磁效果。但是无论采用哪种自机装置或机型，自动的完成必须使机组具备起动条件，除了机组本身的性能外，主要条件是使机组经常处于“热态”，特别是冬季。这就要求发电机房有采暖装置或油系统预热装置，且能自动调节温度，也就是在起动前温度较高，使机组处于热态，起动后又能使室温降低而不至使机组发热；当市电恢复后，室温又自动升至热态，准备起动。另一个办法是采用脉冲发电，也就是在市电正常时，机组总是按发电—停运—发电—停运的程序交替进行，这样当市电突然停电后，机组可自动投入运行。此外，备用机组的维护必须按要求进行，否则将失去备用的目的。

表 8-15　准同期并列图解

同期方式	并　列　接　线　图	说　　明
整步表法		整步表法：就是在同期盘或控制盘上装一块同期指示表，当待并机电压和频率变动时，表的指针转动，即机组转速高时指向快的一边；机组转速低时指向慢的一边。待调整到待并发电机与系统频率一致时，指针指向中间的线（红或黑）即可并车
同期指示三灯接线法		三灯接线法：即当调整发电机的电压和转速使三个相灯全熄灭时就达到了同期条件，可合闸并车
同期指示灯旋灯接线法		旋灯接线法：即灯光旋转的快慢表示频率差的大小，当调整发电机的转速使 L_3 相跨过并列开关两端的相灯熄灭，另外两个相间之灯具有相同的亮度时，进行合闸并车
电铃变压器单灯接线法		电铃变压器 T_1 和 T_2 的电压比一般为 220/6。电铃变压器单灯并车法，对于发电机电压为 400V 并有中性点引出线时，用这种并列方式较为合适，即指示灯随着两台发电机的频率差而亮暗，灯最亮时表示相角差为零，可合闸并车。但要注意灯丝不能烧断，以免引起误操作

综上所述，柴油发电机组自动投入运行的完成，必须由设计、安装和使用单位共同完成而综合考虑，这也是在工程中经常忽略的问题，因此便导至了停电后不能自动投入且切换时间远远达不到机组的指标，而最后相互推托责任，导至经济损失或单位之间的纠纷。为了让柴油发电机组起到“养兵千日，用兵一时”的目的，设计、安装和使用单位都要引起重视，同心协力，搞好备用机组的正常发电。

蓄电池一般故障处理见表 8-16。

一些国外生产的柴油发电机组由于结构、控制系统与国产机组不大相同，这里将其故障处理列于表 8-17 和表 8-18 中，供读者参考。

表 8-16 固定型铅蓄电池一般故障和处理方法

现象	故障特征	发生原因	处理方法
容量降低	(1) 第十次循环达不到额定容量 (2) 容量逐渐降低 (3) 容量突然降低 (4) 电池终率很差 (5) 充电末期冒泡不剧烈	(1) 初充电不足或长期充电不足 (2) 电解液比重低、温度低 (3) 局部已经起作用或漏电 (4) 电解液使用过久,有杂质 (5) 极板硫酸化,隔板电阻大 (6) 内部或外部短路,或正极板已损坏,负极板已收缩 (7) 长期浮充未进行放电,活性物质凝结,性能衰退,极板钝化	(1) 均衡充电并改进运行方式 (2) 调整比重及室温 (3) 清洁电池加强绝缘措施 (4) 必要时更换 (5) 消除硫酸化,调换隔板 (6) 消除短路,或更换极板 (7) 进行几次充放电,必要时过充电一次,今后应定期进行充放电
电压异常	(1) 开路电压低或充放电时电压均低 (2) 少数电池比一般的低或高 (3) 充电时电压过高,放电时电压下降很快 (4) 母线电压大大下降 (5) 端电压在 3V 以上负隔极电压在 -0.6V 左右 (6) 有个别电池反极	(1) 内部或外部短路;落后电池未及时纠正造成反极 (2) 极板硫酸化或接头接触不良 (3) 过放电 (4) 极板大量脱粉或正极板已断裂 (5) 电压表未校正;长期浮充电,未进行放电,活性物质凝结,性能衰退 (6) 极板钝化	(1) 消除短路故障;均衡充电 (2) 消除硫酸化或检查接头 (3) 补充充电 (4) 更换或修补极板 (5) 校正电压表 (6) 进行几次充放电,必要时过充电一次。今后应定期进行充放电
极板发白	(1) 容量降低,比重下降,沉淀物呈白色 (2) 充电初期及末期电压高过 2.85V (3) 放电时电压下降快 (4) 充电不久即冒泡或不充电时也冒泡 (5) 电解液温升高,极板表面层硬而粗糙 (6) 极板背梁上有白色结晶或极板表面有白斑、白点甚至满板都白	(1) 电解液不纯或太浓,温度高 (2) 电解液液面低使极板外露 (3) 初充电或经常充电不足 (4) 未按时充电、经常过放电 (5) 内部短路或漏电未及时消除 (6) 长期处于半放电或放电的状态	(1) 进行过充电 (2) 反复充放电 (3) 更换电解液和极板
电解液不清	(1) 初充电时,电解液表面有泡沫 (2) 电解液呈现青绿色 (3) 电解液呈现微红色 (4) 电解液有气味 (5) 电解液混浊不清	(1) 木隔板处理不当 (2) 由于干燥极板直接炭火烤 (3) 电解液中可能含有锰或铁 (4) 电解液不纯 (5) 极板脱粉或盖板不严落入灰尘等杂质	(1) 检查或更换电解液 (2) 改进运行方式,盖好盖板 (3) 更换隔板

（续）

现象	故障特征	发生原因	处理方法
极板弯曲或开裂	（1）极板弯曲 （2）极板上有裂纹 （3）极板上活性物质部分脱落	（1）极板上涂膏不匀或管理及安装不当 （2）过量放电，内部硫酸铅膨胀 （3）大电流充放电各部作用不均匀	（1）改进运行方式 （2）弯曲者充电后取出，用木板压平或更换极板 （3）增加降温设施
膨胀脱粉	（1）容量降低 （2）极板在长度或宽度上伸长或弯曲 （3）负极板膨胀或呈瘤状 （4）沉淀物多，电解液混浊	（1）充放电电流大或过量充放电，长期过放电 （2）电解液不纯或温度高 （3）放电时外电路发生短路 （4）极板硫酸化或已腐蚀断裂	（1）改进运行方式 （2）检查电解液，消除温度高，采取降温措施 （3）清除沉淀物 （4）消除硫酸化，修补或更换极板
内部短路	（1）开路电压低 （2）容量下降 （3）充电时，电压上升慢甚至不变 （4）电解液硫浓度高于规定 （5）充电时比重增加慢甚至不变 （6）放电时电压急速下降 （7）不冒气或很晚冒气 （8）极板出现硫酸化现象	（1）导电物落在极耳或极板之间 （2）极板弯曲相碰，隔板损坏 （3）脱落粉多，沉淀物已碰极板 （4）铅弹簧位移碰到极板及铅衬 （5）电解液不纯 （6）极板上生毛使正、负极板相连 （7）电解液浓或温度高使隔板腐蚀 （8）环境问题	（1）清除导电物 （2）用木板压平极板或更换极板 （3）清除沉淀物 （4）纠正弹簧位置 （5）更换不合格的电解液 （6）清除极板上毛状物 （7）调整比重，降温或更换隔板 （8）消除硫酸化
沉淀物变硬	（1）沉淀物由粉状片状变成大块状 （2）沉淀物清除不掉 （3）极板与铅衬之间一极电压为零，一极电压几乎等于端电压 （4）铅衬呈褐色，铅弹簧呈浅灰色	（1）极板间有铅渣或其他导电物 （2）玻璃挂板太矮，极板与铅衬相碰 （3）个别极板弯曲伸长碰到沉淀物 （4）铅弹簧位移碰到极板及铅衬邻近两槽相碰	（1）取出极板清除沉淀物 （2）更换挂板或在挂板下垫铅皮，或垫耐酸塑料条 （3）消除极间导电物 （4）纠正铅弹簧的位置、隔开或除掉相碰物
局部作用	（1）电解液比重降低 （2）电解液温度升高 （3）端电压比正常的高 （4）负极板在不充电时冒泡 （5）电解液红色；负极耳上有铜色，铅衬上有黑色	（1）电解液不纯 （2）正极板上的锑跑到负极板上，形成小电池 （3）绝缘不良，出现漏电 （4）容器破损 （5）母线生锈，锈蚀物落入电解液中	（1）必要时更换电解液 （2）清除极板四周可见的毛状物 （3）清扫蓄电池，并加强绝缘措施 （4）更换容器
容器破裂	（1）容器附近有电解液渗出 （2）容器中电解液很快下降 （3）铅衬木槽底部开孔处有电解液漏出 （4）绝缘下降	（1）容量本身质量不良 （2）安装不平 （3）铅皮或焊缝上有砂眼 （4）铅皮底部四角悬空，槽形垫太长，头尾压在角上的悬空处，把铅衬压破裂	（1）更换容器 （2）垫平放稳容器 （3）排除短路 （4）补焊垫槽
接点损坏	（1）连接条或极柱烧熔 （2）连接条或极柱发生裂纹脱焊或腐蚀 （3）连接条或极柱发热 （4）电压低，电流小，甚至没有电流、电压	（1）充电或放电电流太大 （2）焊接不良 （3）短路、受电解液腐蚀 （4）制造质量不良	（1）改小电流 （2）焊接或更换连接条和极柱 （3）除掉腐蚀物，并涂凡士林油 （4）排除短路，定期清扫

表 8-17 进口柴油发电机组常见故障处理方法

故障	故障现象	处理方法
柴油机起动故障(适用钥匙起动控制屏)	当匙旋至START位时,柴油机不转动	(1)检查匙开关的运作 (2)检查故障指示灯亮。如需要在修理指示的故障后复位 (3)检查控制屏上的电池电压,如无电压读数,查熔丝 F4、F5 如电压表有读数,但电压低,对电池用另外用充电器试充电,再次和机连接(注意在拆除和连接电池接线时,确保匙制在"O"位置) (4)检查在起动电动机的磁吸直流电压钟连接此接头和电池的负极,用匙试行起动如果表有读数那么起动电动机或磁吸有故障,须换掉。如无电压读数,则检查从控制屏引出的接线是否松脱或短路
柴油机起动故障(适用于自动起动控制式系列)	当 START 信号输入但不能启动柴油机,无论用控制开关手动或用遥控信号自动均不着车	(1)检查所有急停按钮是否已放松(包括遥控按钮)如无遥控停车,检查是否已连接"遥控停车"终端 (2)检查控制开关是否"OFF" (3)检查故障指示灯亮。如需要,修理指示的故障后复位 (4)检查控制屏上的电池电压,如无电压,查熔丝 F5。如电压低,对电池另外用充电器试充电再次和机连接(注意在拆除和连接电池线时,控制开关应在 OFF 的位置) (5)检查在起动电动机上的磁吸用 DC 电压表连接此接头和电池负极,用手动把控制开关旋到 RUN 试起动,如有电压则起动电动机或磁吸有故障,须替换;如无电压,则检查控制屏的接线是否松脱或短路 (6)如线路无损则换印制电路板
柴油机起动故障	柴油机转动但不能着机或柴油机起动着机 20s 后停止(FAIL TO START 故障显示在 2000、4000 及 4000E 控制屏)	(1)检查燃料油位 (2)检查在外罩上的紧急停止按键是否已复位(1000 系列) (3)检查燃料控制磁吸(FCS)接线及在 FCS 上的电压 (4)检查在交流发电机一侧的熔丝 F1、F2、F3 (5)检查燃料管道及过滤器是否堵塞 (6)如果在排气系统有白烟说明燃油已进入发动机,但柴油机不着车。请查阅《柴油机手册》进一步检查 (7)如外界环境温度低,如有热启动,请用上 (8)检查从印制电路板到燃料控制磁吸的电压输出,如无电压出现,换印制电路板 (9)在 2000、4000 或 4000E 面板,一旦故障排除,将控制开关旋到 STOP 位置,使控制系统复位
柴油机因高温而停机	HIGH TEMP FAULT LAMP 故障灯亮 (高温故障指示灯)	(1)检查柴油机是否过载 (2)检查散热器有无堵塞 (3)检查风扇传动带松紧 (4)检查外界温度是否合乎发电机设计范围 (5)但柴油机冷却后,检查冷却水位,切勿在未冷却的柴油机加入大量冻水,这样会对柴油机构成严重破坏 (6)参阅《柴油机手册》 (7)一旦故障排除,把控制钮旋到"O"(OFF)位或把控制开关旋到 STOP 使故障警报复位 (8)在不加载的情况下开机 10min,电路开关切断负载(手柄朝下)

（续）

故障	故障现象	处　理　方　法
因低油压停车	LOW OIL PRESS-URE 故障灯亮	（1）检查机油油位 （2）查《柴油机手册》 （3）用测试表检查油压开关，如有问题，换掉 （4）一旦故障排除，把匙旋到“O”（OFF）位或把控制开关旋到 STOP 使故障警报复位
因超速而导至柴油机停车（用于自动起动控制式）	OVERSPEED 故障灯亮	注意：在紧急停机按钮下之后，OVERSPEED（超速）指示灯会亮，虽然实际并无超速发生。紧急停止和任何遥控器的 STOP（停止）按键均应在故障可以清除之前复位 （1）检查调速器速度有杆无移动，如有，重新校正 （2）如果装有电子调速器检查连杆活动无阻，如有必要调整 （3）查阅《柴油机手册》 （4）换印制电路板 （5）一旦故障排除，把控制开关旋到 STOP 使故障复位
因润滑油温度过高而停机（用于自动起动控制式）	HIGH LUBE OIL TEMP 故障灯亮	（1）参看《故障排除指引》在“因发生机温过高停车”检查是否冷却系统是否有问题 （2）在散热器冷却后，检查冷却液水位 （3）检查机油油位 （4）检查有无按正确的保养步骤进行保养 （5）查阅《柴油机手册》 （6）一旦故障排除，把控制开关旋到 STOP 把故障复位
因冷却液水位低而发动机停车（用于自动起动控制式）	LOW COOLANT LEVEL 故障灯亮	（1）让柴油机冷却 （2）检查冷却液水位，如需要注入冷却混合液。切勿在未冷却的柴油机加入大量冻水，这样对柴油机构成严重破坏 （3）检查散热器、柴油机及管子有无泄漏，需要时修理 （4）一旦故障排除，把控制开关旋到 STOP 把故障复位
发动机因燃料油位低而停机（用于自动起动控制式）	LOW FUEL LEVEL 故障灯亮	（1）检查油箱的燃料位，如需要请加油 （2）检查输油系统 （3）一旦故障排除，把控制开关旋到 STOP 把故障复位
因速度不够而停车（用于自动起动控制式）	UNDER SPEED 故障灯亮	（1）检查柴油机是否过载 （2）检查燃料供应是否足够 （3）检查调速器杆有无移位，如有，调好 （4）如果电子调速器有连杆，检查是否活动无阻，如有需要调整 （5）将控制开关旋至 STOP 清除故障及再次起动机组 （6）检查控制屏仪表看交流发电机是否在正确电压运转 （7）在柴油机运行时调准柴油机速度 （8）参阅《柴油机手册》

（续）

故障	故障现象	处 理 方 法
因电压过高停车	OVER VOLTAGE 故障灯亮	（1）将加在交流发电机上的负载断开，将电路开关拉下，把控制开关旋至 STOP 清除故障及再次起动机组 （2）检查控制屏上电压表，如电压正常，检查负载确保是非电容性的（功率因素改正设备有会不经意的做成一个电容性负载） （3）如果电压仍高，并不能调低到正常值用电压调整电位器来调整（有的话），然后查《交流发电机手册》
因电压过低而停车（用于自动起动控制式）	UNDER VOLTAGE 故障灯亮	（1）将加在交流发电机上的负载断开，将电路开关拉下，把控制开关旋到 STOP 清除故障及再次起动机组 （2）检查控制屏上电压表，如电压正常检查负载情况（确保不会超负载） （3）如电池电压低，并不能调高到正常值。用电压调整电位器来调整（有的话），然后用仪表检查交流电机终端输出，如电压正常则检查控制线 （4）检查自动稳压器 （5）参照交流发电机手册
因电压过高过低而停车（用于自动起动控制式）	OVER VOLTAGE/UNDERVOLTAGE 故障灯亮	（1）将加在交流发电机上的负载断开，将电路开关拉下，把控制开关旋到 STOP 清除故障及再次起动机组 （2）检查控制屏上电压表，如电压正常检查负载情况（不是电容性负载及不是超负载） （3）如电压仍高或低及不能调整到正常值。用电压调整电位器来调整（有的话），然后用仪表检查交流电机终端输出，如电压正常则检查控制线 （4）检查自动稳压器 （5）参照交流发电机手册
发动机停车因接地故障（用于自动起动控制式）	EARTH FAULT 灯亮	（1）检查所有电缆电线看看有无接地不良或接地短路 （2）检查交流发电机线圈，参考《交流发电机手册》 （3）一旦故障被排除，将控制开关旋到 STOP 清除故障
发动机因接地漏电故障停车（用于自动起动控制式）	EARTH LEAKAGE 故障灯亮	（1）检查外接电缆和电线 （2）在故障未排除之前切勿再起动 （3）一旦故障排除，将控制开关旋到 STOP 清除故障
电池电压低报警（用于自动起动控制式）	LOW BATTERY VOLTAGE 警报灯亮	（1）检查电池电压 12V 电池起码有 12V，24V 电池至少有 24V （2）如发电机静止时电池电压低则将电池拆离并用另外一个充电机充电或运行柴油机充电 （3）如电池电压低，但发电在运转，即说明柴油机驱动充电机不充电，停机检查风扇带 （4）如风扇带不松，则检查充电交流柴油驱动充电机，参照《柴油机手册》 （5）如电池不能储电，换电池 （6）一旦故障已排除，按 LAMP TEST 钮清除故障
不在自动模式的警报（用于自动起动控制式）	不在自动模式警报灯亮	（1）检查看控制开关在不在 AUTO （2）检查急停钮是否已松开复位 （3）检查电路开关是否已接通（手柄向上） （4）一旦警报原因查明，按 LAMP TEST 钮熄灭故障灯

（续）

故障	故障现象	处　理　方　法
接近柴油机高温警报（用于自动起动控制式）	APPROA CHING HIGH ENGINE TEMP 警报灯	（1）检查柴油机是否超载 （2）检查散热器及通风系统有无堵塞 （3）检查周围环境温度是否处于发电机合适的工作设计温度范围内 （4）如果上面都无问题，减载并尽快停机，检查风扇皮带松紧 （5）查阅《发动机手册》 （6）一旦原因查明，按 LAMP TEST 钮熄灭警报灯
接近油压低警报（用于自动起动控制式）	APPROA CHING LOW OIL PRESSURE 警报灯亮	（1）尽快停机，检查机油量 （2）查阅《柴油机手册》 （3）一旦原因查明，故障排除按 LAMP TEST 钮熄灭警报灯
电池充电器不充电报警（用于自动起动控制式）	BATTERY CHARGER FAILURE 报警灯亮	（1）检查充电器是否已开启和有无输出 （2）按电池电压低检查方法进行 （3）一旦原因找出被排除，除 LAMI TEST 钮熄灭故障指示灯复位
燃油油位低警报（用于自动起动控制式）	LOW FUEL LEVEL 警报灯亮	（1）检查日用油箱的燃油量，有需要时添加燃油 （2）如有燃料输送系统，进行检查 （3）一旦原因查明，按 LAMP TEST 钮熄灭警报
冷却液温度低警报（用于自动起动控制式）	LOW COOLANT TEMP 警报灯亮	（1）检查浸入式加热器是否已开启和运作 （2）一旦警报原因查明，按 LAMP TEST 钮熄灭警报
当发电机运转时无电压产生	交流 AC 电压表上无电压	（1）检查电压表选择开关是不是打在 OFF 位 （2）检查熔丝 F1、F2 和 F3，通常装在交流发电机终端盒 （3）用另外的电压表来测量交流电机的终端电压，如正常则检查发电机到控制线的接线。检查电压表，如必要换一个 （4）检查 AVR 和旋转二极管，查《交流发电机手册》取得更详细资料 （5）检查柴油机转速是正常
发电机不向负载供电	发电机在运转但负载上无供电	（1）检查电路开关是否在 ON（手柄朝上） （2）检查发电机是否产生交流电压，如无，按上表故障检查
发电机不能手动停机	在关机后发电机仍在运转	（1）检查匙开关和控制开关的位置是否合适 （2）检查燃料控制电磁阀（FCS）如有必要，换掉
在自动模式中发电机不能停机（用于自动起动控制式）	常遥控已取消 START 信号但发电机仍不停机	注意：在 4000 和 4000E 系列控制系统中，在遥控 START 信号取消后是否不立即停机的，它要转一段时间来冷却机器 （1）等 5min 过了冷却时间（4000 和 4000E 系列） （2）用按急钮或旋控制钮到 OFF 位置，看发电机是否停 （3）如按（2）所做仍不停，则检查燃料控制电磁阀（FCS），如必要，换掉

表 8-18 进户机组蓄电池故障处理方法

故障	故障现象	处理方法
无充电电流	错接或电池接口不好	检查接口,清洁终端接头
	旧或用低电池电压	换电池或用特殊设备来充电
	无市电电力	检查市电到充电器的线路
	烧电源熔丝	换熔丝
	整流二极管损坏	把输出从每个整流器的接头断开,用额定负载检测整流器
充电电流表设有显示	充电电流表故障	用标准电流计测量充电电流
充电率太低	市电电力低	检查市电供电情况
	不正确变压器抽头	检查市电电压与充电机变压器抽头是否相等
	大电流接头松	检查并上紧接头
充电夹子发热	电池连接不良	清洁接头须再接上
	夹子上螺钉松	清洁并上紧夹上的螺钉
市电电源上熔丝重复烧毁	熔丝功率不合	换上合适熔丝
	短路	检查、重新接所有的线
充电功率不递减	电池老化或损坏	充电器不是故障,电池电压不能上升至最高电压。检测电池,有需要是更换

八、柴油发电机组的维护保养

1）柴油发电机组维护保养的基本要求。

运行、维护、保养基本要求就“勤”、“严”、“管”三个字。

① 勤:就是对机组每一部位、每一参数、勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤修。勤的基本含义就是按周期,只是各部位、各参数、各种维护保养作业的周期不同而已。

除按周期进行的正常清扫、检查、测试、维护和修理外,必须利用机组间置时间彻底进行特殊的清扫、检查、测试、维护和修理。

② 严:就是在运行、维护。保养的各种作业活动中,严格执行操作规程、试验标准、作业标准,并有严格的管理制度和相互制约的实施办法。

③ 管:就是机组的管理机构及维护保养的组织措施。该机构应该具有权威性,并由电气专家和工程负责人组成,能解决处理有关设计、安装、调试、运行维护及安全使用的各种难题,同时从机组到用电单位和个人有一个强大的技术及安全协作网,构成机组安全保证系统。

2）柴油发电机组维护保养的周期及内容(见表8-19)。

3）柴油发电机组必须保持在一个清洁宽松的空间内,油路不得有跑、冒、滴、漏现象,机身上不得有油渍。清洗机身时应用工业用水溶剂,不得使用可燃性溶剂。

表 8-19 柴油发电机组维护保养周期及内容

维护保养项目	维护保养具体内容	周期	备注
开车前检查	详见本节四/1. 起动前检查和操作程序	每天	备用机为一周
起车操作检查	操作检查,起动机组运行 10min	两周	仅用于备用机
加 50% 负载起动运行试验	起动运行 2h	1 月	仅用于备用机
机身检查	模拟电气故障检查控制系统及保护装置;清洁电池盖上的排气孔;紧固排气管接口;紧固电气接头及端子;柴油机保养项目;起车观测控制盘仪表,并对其进行校验/验定;发电机保养项目	6 个月	机组低于正常负荷下运行
发电机	绝缘电阻测试、清洁空气过滤器	3 ~ 6 个月	
发电机发动机	清扫灰尘、油渍	1 个月	

（续）

维护保养项目	维护保养具体内容	周期	备注
控制系统控制装置	测试、试验、清洁	半年	
发电机解体	测试、检查、清洁调整	3 年	
柴油解体	调试、调整、研磨	3 年	
供油系统	检查、修复、清洁	半年	
排风系统	检查、清洁、补漏	3 个月	
噪声系统	检查、清洁、修复	3 个月	
减震装置	调整、修复、紧固	3 个月	
冷却系统	调整、修复、紧固	3 个月	

注：本表仅供参考，使用者应按实际使用频率增加/减小周期。

4）日常保养

① 每天检查机油油量、冷却水量、柴油量、空气清洁指示器。

② 机组每次运行停机后，等机组完全冷却后，检查机油量、冷却水量、柴油量。

③ 备用机组至少每半个月要运行试车 20～30min。

④ 经常检查机组上保护点触头的连接是否有松动。

⑤ 初次调试机组后的 50 个操作 h（常用机组）或 3 个月（备用机组），更换机油，同时更换机油滤芯。

⑥ 第一次换机油后，运行每 400h 或半年到一年，必须更换机油，同时更换机油滤芯，清洗油水分离器，检查传动带松紧度。

⑦ 必须采用规定认可的冷却水、防锈混合液、机油和柴油。

a. 机油：一般使用 15W/40 或品质相同的机油。

b. 柴油：冬季最低室温在 5°以上的地区，可以使用 0#轻柴油；冬季室温低于零度，根据实际情况，选择 -10#、-20#、-35#等的柴油。

第三节　交流不停电电源装置的安装

静态交流不停电电源装置（Uninterruptible Power Suppy，UPS）是一种高质量、高稳定性的独立电源装置。所谓不停电电源装置是指当市电突然停电时，该装置仍能保证交流电源不间断供电，切换时在 2～5ms 间。正常情况下，由市电经晶闸管整流器向蓄电池组浮充电，同时经晶闸管逆变器输出优良交流电对重要设备供电；当市电停电时，该装置能自动切换到蓄电池组，利用蓄电池组储存的电能放电，并经晶闸管逆变器对重要设备供电，中间的切换是连续不间断的。由于 UPS 与市电电网经过直流储能环节隔离，排除了市电瞬变干扰，并能连续不断地提供与市电频率、电压、波形、相序相同的交流电，保证了重要设备安全可靠连续正常无干扰运行，它不受市电电源干扰的影响。因此它比柴油发电机组、锅炉余热发电机组或其他旋转型不间断电源机组优点多，体积小、效率高、占地少、安装方便、无噪声、可靠性高，但是由于它的价格昂贵、技术要求高，晶闸管质量难以保证等原因又限制了它的应用。

一、UPS 的工作原理

各种型号的 UPS 工作原理基本相同，现以 BDY1-79 型为例简单说明原理。UPS 一般由晶闸管整流器、直流滤波器、晶闸管逆变器、交流滤波器、交流静态开关及蓄电池组等装置组成。

晶闸管整流器采用隔离变压器组成 12 相全桥晶闸管整流电路，将三相交流电变为直流，并滤去交流成分，将平稳的直流经晶闸管逆变器变换成 12 级阶梯波交流 50Hz 的输出电压，经滤波整形后输出交流 50Hz 的正弦波 380/220V 电压。

逆变器由四个逆变桥组成，其中两个为滞后逆变桥组，两个为超前逆变桥组，且两组均由 0°桥和 30°桥串联而成。0°桥和 30°桥是根据每组触发脉冲的不同而区分的，所谓超前与滞后是相对于某基准量而言，此基准量锁相于市电电网电压，因此逆变器输出电压也锁相于市电电压。因此改变逆变器超前与滞后合成矢量，就改变了逆变器的输出电压。当逆变器输出电压在额定值时，超前与滞后两个矢量设计为 ±45°于基础量，两个矢量在 0～45°变化。逆变器输出电压能控制最大值到零值间的变化，且精度可达 ±1%。

采用晶体振荡器，可控制逆变器输出频率精度达到 ±0.01%，逆变频率应调至同步于市电频率，当市电频率偏离允许误差范围时，逆变器的频率自动转为内部振荡器控制；当市电频率恢复正常时，逆变器频率又自动同步于市电频率，以保证逆变器输出频率在规定的允许范围内。

交流静态开关每一路均由两只反并联的快速晶闸管组成。本装置为静态开关旁路、蓄电池浮充接线方式单机不停电电源系统，可采用自动或手动切换旁路电源。原理主接线系统见图 8-33。

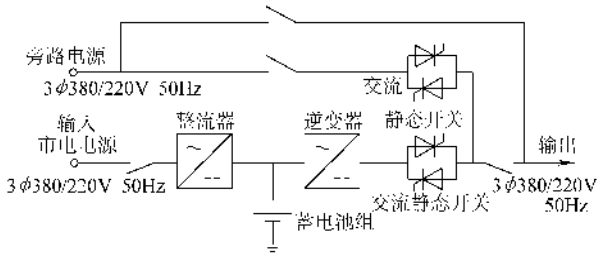


图 8-33 UPS 原理主接线系统图

二、UPS 的结构

UPS 是将整流器、逆变器、交流静态开关、蓄电池组、控制保护插件等组件分别装配在柜内，各组件之间采用电缆连接，全套装置由 2～10 台柜组成，柜体类似开关控制柜、四面均可开启。装置选用优质快速晶闸管和小型集成电路，并设有限电流、过载、欠电压、相位、熔丝熔断、过电压等保护及报警信号指示，晶闸管主回路一般采用快速熔断器保护。各种型号 UPS 装置的外形尺寸见表 8-20。

用于微机、信号系统等小容量单机的 UPS 多作成台式，重量不过 100kg，安装调试简便。

各种型号的 UPS 技术参数除容量外基本相同，现将 KGB_TA 型的参数列出，供读者参考，见表 8-21～表 8-23。

三、UPS 的供电类型

1. 单台 UPS 供电系统

即单台逆变器供电系统，是最基本的 UPS 供电系统，主要由整流器、逆变器、蓄电池组及旁路电源切换装置、交流静态开关组成组成。适用于中小容量供电系统，容量可为几千伏安到百千伏安，见图 8-34。

表 8-20 UPS 外形尺寸

型 号	机柜台数	外形尺寸（高/mm）×（厚/mm）×（宽/mm）	重量/kg
BDY1-79	3	2000×110×700	3600（套）
KGBTA	6	2000×1000×800 2000×1300×800	2500 最重/件 1000 最轻/件
$DXJF_1$	4	2000×1200×800	3000（套）
KGBTA	3	2000×650×750 2000×800×800	
KUF_{01}	2	2155×875×700	1500（套）
BDT-1	3	1500×500×650	300（套）
XH1	2	2370×905×604	1000（套）

表 8-21 整流器技术数据

序号	型号与规格	交流输入			直流输出						外形尺寸（宽/mm）×（深/mm）×（高/mm）	重量/kg
		相数	电压/V	频率/Hz	额定电流/A	额定电压/V	手动调压范围/V	额定容量/kW	浮充调压范围 电压/V	浮充调压范围 电流/A		
1	KGB_TA-30Z	三相四线	380 +5% −15%	50	152	310	155～310	47.1	196～252	31～156	800×1000×2000	1200
2	KGB_TA-50Z	三相四线	380 +5% −15%	50	260	310	155～310	80.6	196～252	52～260	800×1000×2000	1500
3	KGB_TA-100Z	三相四线	380 +5% −15%	50	522	310	155～310	161.8	196～252	105～525	800×1300×2000	2000

注：表中型号与规格栏内 Z 表示整流器。

表 8-22　交流静态开关技术数据

序号	型号与规格	交流输入								交流输出				外形尺寸（宽/mm）×（深/mm）×（高/mm）	重量/kg
		逆变器输入				市电输入									
		相数	电压/V	电流/A	频率/Hz	相数	电压/V	电流/A	频率/Hz	相数	电压（相）/V	电流（相）/A	频率/Hz		
1	KGB_TA-30K	三相四线	220	45.5	50	三相四线	220	45.5	50	三相四线	220	45.5	50	800×1000×2000	500
2	KGB_TA-50K	三相四线	220	76	50	三相四线	220	76	50	三相四线	220	76	50	800×1000×2000	700
3	KGB_TA-100K	三相四线	220	152	50	三相四线	220	152	50	三相四线	220	152	50	800×1300×2000	

注：表内型号与规格栏内 K 表示交流静态开关。

表 8-23　逆变器技术数据

序号	型号与规格	直流输入		交流输出				单柜外形尺寸（宽/mm）×（深/mm）×（高/mm）	重量/kg
		电压/V	电流/A	相数	电压/V	电流/A	频率/Hz		
1	KGB_TA-30N	196～252	149～191	三相四线	220	45.5	50	800×1000×2000	1000
2	KGB_TA-50N	196～252	248～320	三相四线	220	76	50	800×1000×2000	1200
3	KGB_TA-100N	196～252	496～640	三相四线	220	152	50	800×1300×2000	1800

注：表中型号与规格栏内 N 表示逆变器。

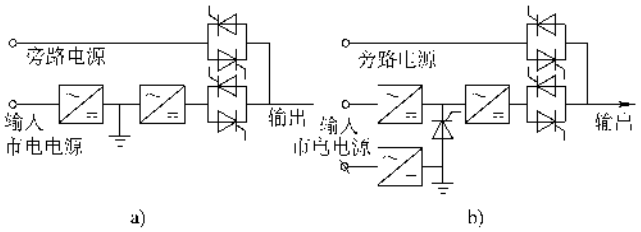


图 8-34　单台 UPS 供电系统

a）蓄电池浮充式　b）蓄电池分离式

2. 并联 UPS 供电系统

即一台或多台逆变器的 UPS 和其他 UPS 单元的并联运行。系统中两台或多台逆变器与市电、旁路电源保持同步运行，正常时逆变器同时向负载平均供电，当一台逆变器故障时，经静态开关自动切除故障逆变器，并将负载切换到其他逆变器上供电，不影响系统正常工作。当需要时，用电负荷可自动切换到市电，旁路电源供电，其系统主接线见图 8-35。

3. 多重化 UPS 供电系统

又分为备用多重化 UPS 系统和并联多重化 UPS 系统。

备用多重化 UPS 系统是指运行中的 UPS 单元发生故障时，系统立即切换到备用 UPS 单元向负荷供电，同时切除故障 UPS 单元。

并联多重化 UPS 系统是指若干台分担负荷电流的 UPS 单元，如有单台故障发生，由于并联多重化 UPS 系统总容量超负荷要求容量至少多一台 UPS 单元，因而可以切断故障单元或需检修单元来保证系统的供电。系统主接线见图 8-36。

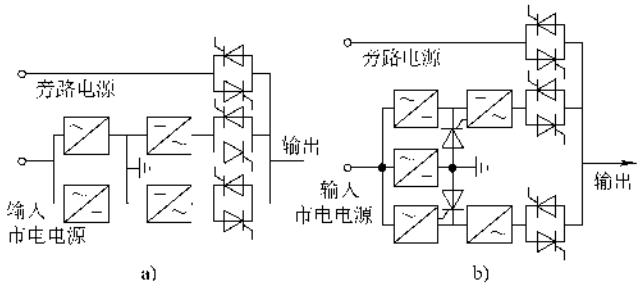


图 8-35 UPS 并联供电系统

a）蓄电池浮充式 b）蓄电池分离式

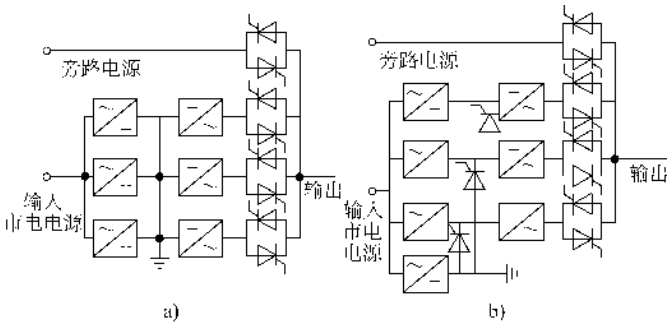


图 8-36 UPS 多重化供电系统

a）蓄电池浮充式 b）蓄电池分离式

并联 UPS 系统和多重化 UPS 系统适用于大容量供电系统，容量可达几千千伏·安。

四、UPS 的工作条件

UPS 装置适用于下列工作条件：

1）海拔 1000m 以下；

2）室内环境温度 0 ~ +40℃；

3）室内相对湿度不大于 85%；

4）无剧烈振动、冲击和垂直倾斜度不超过 5°的场所；

5）无易燃导电尘埃、无腐蚀性气体及无爆炸危险的场所。

UPS 装置的存放应避免与有害气体、剧烈振动、强磁场接触，存放仓库的环境温度为 -10 ~ +40℃、相对湿度小于 85% 且通风良好，不得与化学药品、酸碱物质一同存放。蓄电池组容量一般由具体设备对停电维持时间长短的要求选定。

五、UPS 的安装

1. 安装场所应具备的条件

UPS 一般安装在单独的并和低压配电室相邻的逆变间内，条件允许的时候也可以安装在低压配电室内；为单台设备供电的 UPS 应安装在该设备控制柜并列的位置。

无论哪种情况，UPS 的安装场所一般应具备下列条件：

1）温度为 20 ~ 27℃；

2）湿度为 20% ~ 80%；

3）尘埃等于或小于 0.1mg/m^3，尘埃粒度应小于或等于 0.5μm；

4）照明完善，防火设备齐全；

5）空调设备应投入正常运行；

6）室内水、风管路无渗漏现象。

2. 设备的检查及验收

1）规格、型号、台数应与设计相符，这里要注意，这类产品必须由厂商直接进货，并索取生产制造许可证。

2）外观完整、无任何损伤，内部元件齐全；产品说明书等技术文件齐全，附件备件符合装箱单要求，拆箱前包装必须完整无损。

3）电子元件的检查，见第七章第五节“电气设备的检查和调整”，此外应注意以下几点：

① 柜内熔断器、继电器、信号灯及报警器、绝缘子、变压器等元件的规格、型号、数量应与图样或技术文件相符，且完整无损，端子的标号齐全、字迹清晰。二次接线整齐、美观，导线绝缘良好，无损

伤。

②　柜内电子元件无损坏，插件、端子板等应无断裂变形，导线及元件的焊接固应可靠坚固，无碰壳、短路现象；印制板应清洁、无腐蚀、不变形，元器件出厂时调整的定位标志应无错位现象；晶闸管的冷却极板或散热器上的固定螺栓应无松动，接触簧片完整且弹性良好；接地正确可靠。这里要注意，在UPS装置通电试验前，任何人不准触动装置中的可调部位，严禁调节可调部位。

③　检查柜内母线及二次导线安装的是否符合标准，所有元件的固定是否牢固可靠，元件的接线不得有外应力作用。各导电部分的距离应符合制造厂规定，元件散热风道的方向应正确，元件与散热器连接螺栓的绝缘应良好。

④　构架、插件及抽屉导轨等所有螺栓、防松装置必须紧固，导轨畅通无卡。插件的插拔，抽屉的推拉应无阻无卡，同类型元器件能互换，插件的触头（包括大电流）接触紧密可靠，同一插件各插头的接触压力应均匀一致。元器件间、电子器件与发热元件间的距离应符合表8-24的规定。发热元件上的接线，应从侧面下方引出，接线端的绝缘层应剥去40mm，必要时应套耐热瓷管。

表8-24　电气元件间、电子器件与发热元件间的距离

（单位：mm）

名称＼位置	上方	侧面	下方
50W及以下的管形电阻	100	20	20
50W以上管形电阻及片型电阻	200	20	30

⑤　通电前，应将晶闸管的保护熔断器的熔芯取下核对规格，并校正装好后的松紧程度，熔芯和接线端的接触必须紧密可靠。柜内的通内装置应运行良好，风扇叶的安装方向应正确。

4）油冷却系统的贮油箱及管路应无漏油现象，其油面应与标定的刻度指示一致；若补充新油应与产品出厂时的油牌号、标号一致，更换油时，新油的性能不得低于产品的规定。密封用的垫应耐油。

5）水冷却系统中，整流柜和逆变柜进出口水管与冷却器之间，应有绝缘管连接；当电压在1000V以下时，绝缘管长度不宜少于1.5m；管道、阀门及管件，应吹洗干净（用高压空气、压力1MPa）；管道为无镀层的钢管时，其内壁应有防腐处理；对于水质要求，流水冷却时，电阻率不小于0.25kΩ·m，pH值为6～9，悬浮物不大于250mg/L，总硬度以碳酸钙计不大于250mg/L；强迫水冷却时，电阻率不小于2kΩ·m，pH值为6～8，无机械杂质。

6）液体冷却系统的管路应畅通，在额定压力下，其流量不低于产品规定值。柜内液体冷却系统的管路应进行水压试验，水压不低于额定值的2倍，时间30min，管路应无渗漏现象。

3. 设备的试验

应参照第七章第五节“成套硅整流装置的试验要点”进行。

4. 柜体的安装

UPS柜体的安装方法及要求基本同控制柜的安装，此外应注意以下几点：

1）柜体需要绝缘安装时，基础型钢和地脚螺栓等预埋件不得与厂房结构的接地钢筋连接，应用绝缘导线与专用接地极（明装于墙体标高0.2m处，见变配电装置的安装）连接，也可使用绝缘垫或绝缘套管使其绝缘；柜体的接地必须良好，接地电阻≤1Ω。

2）柜体内非带电的金属部分需与大地绝缘隔离时，应在柜体周围不小于1m范围内的地面进行绝缘处理，耐电压强度不低于3000V。柜体周围1.5m的范围内正常情况下能触及到的管道、电缆等均应采用绝缘层隔开。其绝缘设施应按设计规定施工。

3）柜体就位后，柜内外污垢应清除干净，临时固定器件的小绳或试验时临时线应拆除。

4）更换整流元器件时，应在散热器的接触平面上涂以硅油；螺纹直径为M20的螺栓形硅元器件，应用力矩扳手紧固，产品紧固力矩无规定时，应为4～5kg·m。

5）UPS柜体较重，一般逆变间内装有小型电葫芦（3～5t），因此UPS的安装应先将电葫芦装好，并调试运行后再安装。如果设计上无电葫芦，则应在起重工的配合下进行，通常使用手拉葫芦，用三木搭或梁上悬挂进行。无论哪种方法，吊点的选择应选在柜体的吊装环上，任何时候都不得撞击或损坏柜体或部件。

6）接线要求及方法同前，装置的“市电电源”和“旁路电源”应由专用的低压开关柜引来，“输出”端则应接在市电停后供电母线段上，专用低压柜应和UPS装置并列安装。装置的电源引入线及输出线应用软母线或软电缆，连接时不得使装置的元件受到应力的作用。通常是先将软母线或软电缆固定在柜内的母线绝缘夹上，然后再与装置的元件连接，从绝缘夹到元件的一段母线应留有裕度并做成活弯。软母线或软电缆截面的载流容量应大于UPS装置的最大电流容量，且应选择防腐材料的母线。

六、蓄电池组（柜）的安装

蓄电池组的安装在UPS装置中占有很重要的地位，它必须做到两点，一点是在市电正常情况下，能把交流电能经整流器变成的能量以化学能的形式可靠能暂时储存起来；另一点是在市电事故情况，能把化学能变成电能，经逆变器向负载提供充足的电流。这些功能的完成除了它本身的功能和电器的作用外，安装是决定的因素。蓄电池的安装应满足《GB 50172—2012 电气装置安装工程　蓄电池施工及验收规范》的要求。

1. 安装场所应具备的条件

蓄电池组通常安装在蓄电池柜内，也有的安装在单设的蓄电池室内的支架上。蓄电池组的安装场所应具备以下条件：

1）宜在5～40℃通气良好、干燥清洁的场所。

2）门窗齐全，受阳光照射的玻璃窗应安装毛玻璃或涂以白色油漆。室内干净整洁。

3）墙面、门窗、通风道的风外侧、金属构件应用耐酸油漆涂刷。

4）采暖、通风、照明设施功能齐全，运行良好。

5）酸性和碱性蓄电池不得同室安装。

2. 蓄电池的检查和验收

1）制造厂的技术文件齐全。

2）规格型号数量符合设计要求，附件齐全，元件外壳无损坏、无裂纹、无凹凸、无滴漏现象，极柱无腐蚀，表面清洁无污，电解液清晰透明。

3）抽查蓄电池的电压电流，抽查数量一般为10%～20%，合格率为100%。通常用高率放电试验器进行，其电压表读数与电池能量关系见表8-25。高率放电试验器实际是一块档位较大的电流表，可用其测量电池放电电流的大小。

表8-25　电压表读数与蓄电池能量关系

蓄电池情况		检查蓄电池时电压表读数	
		使用过的	新的
完全充电	能量100%	1.7	1.8
放电25%	能量75%	1.6	1.7
放电50%	能量50%	1.5	1.6
放电75%	能量25%	1.4	1.5
完全放电100%	能量0%	1.3	1.4

4）蓄电池柜中的电池应连接正确，电池排列整齐、分层放置、螺母紧固、无放电及滴漏兼痕迹，输出端电压正确。

5）蓄电池组的绝缘应良好。

3. 蓄电池组的充电和放电

对新蓄电池或大修后的蓄电池进行充电，叫做初充电；对使用过的或者出厂已充好电，但由于运输或保管不当而受潮漏电的蓄电池进行充电，叫做正常充电或复充电。而放电则是为了检验和提高蓄电池的工作能力，需要按照一定的规定将电池的电能放掉。

（1）初充电的方法步骤

1）将蓄电池擦拭干净，拧开加液孔（胶塞）。如果是密封的应启开，并穿通气孔。

2）按出厂规定注入一定比重的电解液，电解液液面必须高出顶隔板上缘10～20mm。常用一玻璃管由加液孔垂直放下，然后用母指压紧上端，取出后用尺子丈量，见图8-37。加好电解液后静置8～10h，一般最长不超过18h，以免时间过长损坏电池，然后测量电解液的温度。如果温度超过30～35℃时，应使其冷却，冷却后如液面降低，应用同样比重的电解液补足。自电解液注入后至充电开始之间的放置时间，一般不要超过12h。

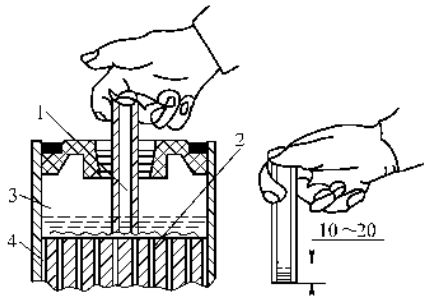


图8-37　用液面量管（吸液器）量电解液面的高度

1—玻璃量管（吸液器）　2—隔板顶端　3—液面　4—蓄电池壳

3）用直流电压表检查正负极，看其与外部标志是否相同。

如果表的正负极和电池的正、负极一致时，表针向左（+）的方向偏转，否则向左（-）的方向偏转。另外，一般蓄电池的正极直径略大于负极，也可测量其极柱的直径来判断。

4）将玻璃温度计插入蓄电池加液孔内，并在充电时间注意观测温度的变化。

5）正确连接蓄电池组。蓄电池的连接是根据充电机的额定电压、额定电流决定，常用的有串联、并联、混联三种方法。

①　串联：当充电机的额定电压高于蓄电池需要允许的充电电压很多、且充电机的额定电流又较小

时，可采用串联。串联时，第一节的正极接充电机正极，其负极与第二节的正极联接，依次类推，最后一节的负极接充电机的负极，见图 8-38。蓄电池串联的个数 n 可用下式计算：

$$n=\frac{\text{充电机的额定电压}}{\text{每节允许的充电电压}}$$

这里要注意一点，串联的电池其每节允许的最大电流应相同。

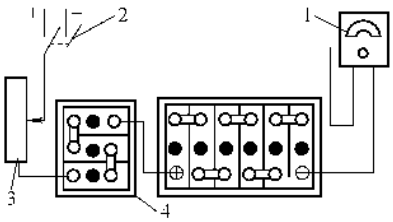


图 8-38　蓄电池的串联

1—电流表　2—开关

3—可变电阻　4—蓄电池

②　并联：当充电机的额定电压较小（但应略大于蓄电池的允许充电电压）且额定电流较大时，可采用并联。并联时，应将所有被充电的电池的正极与充电机正极连接，所有的负极与充电机负极连接，见图 8-39。蓄电池并联的个数 n 可用下式计算：

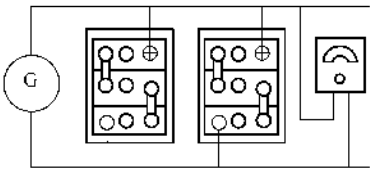


图 8-39　蓄电池的并联

$$n=\frac{\text{充电机的额定电流}}{\text{每节允许最大的充电电流}}$$

这里要注意，并联电池的最高允许充电电压应相同。

③　混联：充电机的额定电压，额定电流都超过蓄电池所需要的充电电压和充电电流时，便可采用几只串联后的蓄电池组再并联起来的混联方法，见图 8-40。

这里要注意，并联后的电池充电电压应等于充电机的额定电压，并联回路的电流和应小于充电机的额定电流。

无论哪种联接，蓄电池之间的连接必须用专用的连片连接，紧固螺母必须与电池配套，联接必须紧密可靠。

6）第一次充电。将连接好的蓄电池仔细检查无

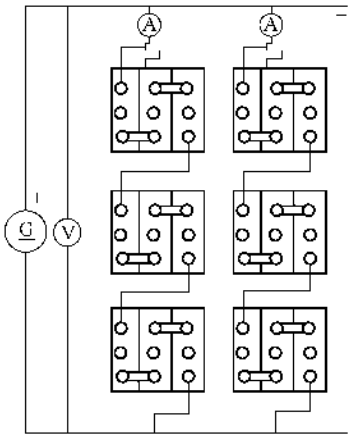


图 8-40　蓄电池的混联

误后便可进行第一次充电。充电电源在安装工程中常用设备自带的整流装置，对 UPS 来讲就是整流柜，因此充电应在柜体调试完进行。

先用第一阶段的充电电流进行充电，见表 8-26。由表可见，充电的电流及时间是与电池容量有关的。当电解液沸腾（冒气泡剧烈）和单节电压达到电池终止电压的 1.4 倍时，则转入按第二阶段充电，中间不停电，只是把充电电流减小到第一阶段的 0.5 倍，直至电解液符合标准，且节单电压达到电池终止电压的 1.51～1.58 倍时为止，测量时应在未切断电流时进行。

7）第一次放电。将第一次充好电的蓄电池进行放电，放电电流与放电时间应参照说明书或表 8-27 的数值进行。放电的方法一般常用灯泡进行，见图 8-41。

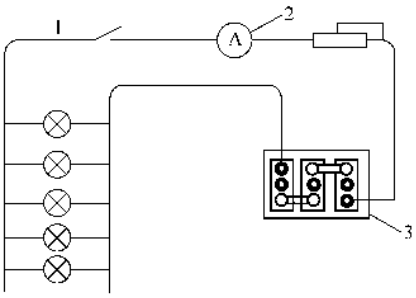


图 8-41　灯泡放电的接线图

放电时，电压很快降至额定电压，然后会保持较长的一段时间，这时应将电压表接好，当降至接近于终止电压时，将下降很快，这时可将电位器适当调大，放慢速度，当降至终止电压时应立即终止放电。否则，电压会迅速降至“0”，以致损坏极板或造成下次充电困难，这是不允许的。

表 8-26 酸性蓄电池充电电流与时间关系（仅供参考）

蓄电池容量/（A·h）	正常充电（复充电）				初充电			
	第一阶段		第二阶段		第一阶段		第二阶段	
	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h
100	10	5～7	5	4～6	7	30～40	3.5	20～30
200	20	5～7	10	4～6	14	30～40	7	20～30
300	30	5～7	15	4～6	20	30～40	10	20～30
400	40	5～7	20	4～6	28	30～40	14	20～30
500	50	5～7	25	4～6	35	30～40	18	20～30
600	60	5～7	30	4～6	42	30～40	21	20～30
700	70	5～7	35	4～6	50	30～40	25	20～30
800	80	5～7	40	4～6	55	30～40	27	20～30
1000	100	5～7	50	4～6	60	30～40	30	20～30

表 8-27 GGF 系列固定型防酸隔爆式铅蓄电池技术数据

型号	额定电压/V	额定容量（10h 放电率时）/Ah	放电电流及容量				10s 大电流放电率（终止电压 1.7V）/A	最大外形尺寸/mm			质量（不带电解液）/kg
			10h 放电率终止电压 1.8V		1h 放电率终止电压 1.75V			长	宽	高	
			电流/A	容量/A·h	电流/A	容量/A·h					
GGF-30	2	30	3	30	13.5	13.5	37.5	98	123	221	3.5
GGF-50	2	50	5	50	22.5	22.5	62.5	138	123	221	4.0
GGF-100	2	100	10	100	45	45	125	120	158	367	12.0
GGF-150	2	150	15	150	67.5	67.5	187.5	157	158	367	15.0
GGF-200	2	200	20	200	90	90	250	194	158	367	18.0
GGF-300	2	300	30	300	135	135	375	162	207	543	23.0
GGF-350	2	350	35	350	157.5	157.5	438	199	207	543	26.0
GGF-400	2	400	40	400	180	180	500	199	207	543	28.0
GGF-450	2	450	45	450	202.5	202.5	563	236	207	543	31.0
GGF-500	2	500	50	500	225	225	625	236	207	543	33.0
GGF-600	2	600	60	600	270	270	750	159	276	735	48.0
GGF-800	2	800	80	800	360	360	1000	196	276	735	60.0
GGF-1000	2	1000	100	1000	450	450	1250	233	276	735	77.0
GGF-1200	2	1200	120	1200	540	540	1500	322	277	735	92.0
GGF-1400	2	1400	140	1400	630	630	1750	322	277	735	103
GGF-1600	2	1600	160	1600	720	720	2000	448	286	740	—
GGF-1800	2	1800	180	1800	810	810	2250	448	286	740	—
GGF-2000	2	2000	200	2000	900	900	2500	448	286	740	—
GGF-2200	2	2200	220	2200	990	990	2750	434	276	725	—

注：1. 表中所列蓄电池容量、外形尺寸、质量、参考价格等各厂均有差别。

2. 相邻电池安装距离为 25mm。

3. 随蓄电池配套供应黄铜镀铅连接条及连接螺钉。电池组正负两端的母线由用户自备。

蓄电池的充电、放电曲线见图 8-42 和图 8-43。

8）为了提高蓄电池的容量，要求再进行充放电，一般要进行 2～3 次，方法同上。最后一次放电前要检查其容量是否符合规定，一般用高率放电试验器进

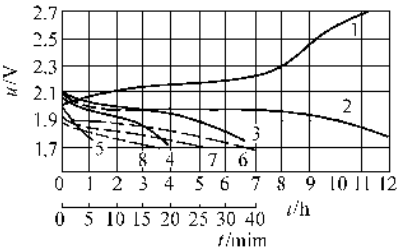


图 8-42　GGF-300 型防酸隔爆式蓄电池充放电曲线

1—正常充电曲线　2、3、4、5—分别为 30A、50A、70A、150A 放电曲线　6、7、8—分别为 180A、210A、240A 放电曲线　t、h—曲线 1～5 用　t/min—曲线 6～8 用

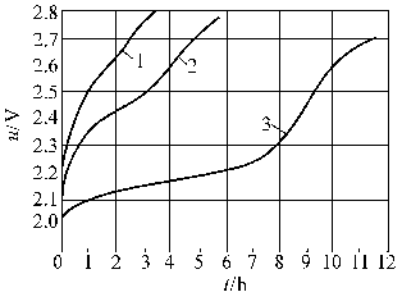


图 8-43　GGF 系列防酸隔爆式蓄电池充电曲线

1—3h 充电率充电曲线

2—5h 充电率充电曲线

3—10h 充电率充电曲线

行，通常不得低于额定容量的 90%，最小不得低于 75%。只有当容量符合规定后，再按正常充电方法进行充电，然后才能交付使用。

9）初充电作业过程中注意事项。

①　在充电过程中不能停电，特别是第一阶段，如遇突然停电，要进行补充电。

②　蓄电池电解液的温度不能超过规定的数值，一般为 45℃左右。超过后可用降温或适当减小充电电流来解决。

③　放电时一般应采用定流放电。充电时一般不采用大电流充电，因为大电流充电往往会产生活性物质使转换率降低，同时电解液温度升高、电极上剧烈地析出气泡，板极易受到损坏，除急需情况下通常不采用大电流充电。

④　充电时，不得进行明火作业，否则必须加强通风，并有防火措施。

10）初充电必须满足的条件：初充电必须满足下列条件，即可认为电已充电。

①　阴阳极板上已出现大量气泡，电解液呈乳白色，断电 2h 时后，重新合闸时电解液应很快沸腾。

②　每节电池的电压已上升到 2.5～2.75V（在 10h 放电率的充电电流下）或产品标准，且 3h 不变。

③　电解液的比重已达到 15℃标准比重，且 3h 不变。

④　停止充电后，电池的电压稳定在 2.05～2.10V。

⑤　充电容量已达到或接近产品的技术要求。

（2）正常充电（复充电）的方法步骤

1）清洁蓄电池、联好充电电路，补充电解液，同初充电。

2）按表 8-26 的规定进行第一阶段充电，到沸腾后，再转入第二阶段充电至 1.51～1.58 倍，并保持 2h 不变，待电解液冒出大量汽泡时为止。

3）检查电解液比重并调整适当，再继续充电 30min，同时检查液面高度，否则应补液。

4）用高率放电仪进行高率放电试验，合格后才能投入使用。

5）注意事项同上。

（3）碱性蓄电池的充放电　前面讲述的充放电方法是以酸性电池为例的，由于碱性电池和酸性电池构造的不同，在充放电上也有不同，在使用上要加以注意。禁止酸性物质加入碱性电池内，铅酸电池用过的容器、比重计、温度计等不能同碱性电池混用，应严格分开。碱性电池不能与酸性电池混合使用。碱电池外壳多为塑料制作，任何情况下不得接近明火，切忌在高温辐射环境中使用。

1）半烧结式镉镍蓄电池。

①　使用湿态出厂的新电池或长期自放电状态存放的电池，应先灌入电解液（比重为 1.25～1.28 氢氧化钾电解液），按表 8-28 中 4h 率电流充放电一个循环，然后再以 1h 率电流放电至 1.0V（终止电压），符合表 8-28 的规定后，即可投入使用，充放电曲线见图 8-44。

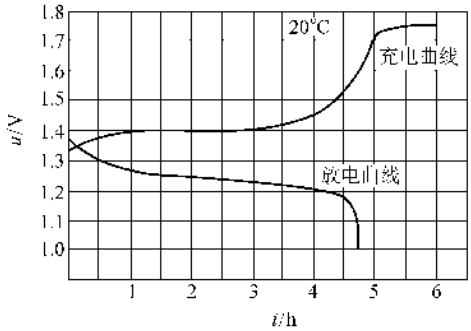


图 8-44　半烧结式镉镍蓄电池 4h 率充放电曲线

表 8-28 半烧结式镉镍蓄电池技术数据

型号	额定电压/V	额定容量/A·h	4h 充电率		4h 放电率		1 倍率放电时间/min	5 倍率放电时间/min	最大外形尺寸/mm			最大重量/kg	
			电流/A	时间/h	时间/h	终止电压/V			长	宽	高	无液时	有液时
GNG_5-Ⅱ	1.2	5	1.5	6	≥4.0	≥1.0	≥60	≥4.0	55.4	24	132	0.265	0.295
GNG_{10}-Ⅱ		10	3						80	24	152	0.53	0.6
GNG_{20}-Ⅱ		20	5						80	26.4	214	0.835	0.935
GNG_{35}		35	9						80	35	237	1.25	1.45

注：1 倍率及 5 倍率放电终止电压均为 1.0V。

② 充电状态的电池，搁置 15 天以上，应进行补充电。补充电的电流及时间见表 8-29，补充电后即可使用。

表 8-29 半烧结式镉镍蓄电池补充电电流及时间

型号	补充电电流/A	充电时间/h
GNG_5-Ⅱ	1.5	2
GNG_{10}-Ⅱ	3	2
GNG_{20}-Ⅱ	5	2
GNG_{35}	9	2

③ 如果急需使用电池，允许快速充电，但必须按照表 8-30 中要求进行，然后才能投入使用。

表 8-30 半烧结式镉镍蓄电池快速充电电流及时间

型号	第一阶段充电		第二阶段充电	
	电流/A	时间/h	电流/A	时间/h
GNG_5-Ⅱ	3	2	1.5	2
GNG_{10}-Ⅱ	6	2	3	2
GNG_{20}-Ⅱ	10	2	5	2
GNG_{35}	18	2	9	2

④ 蓄电池允许恒流充电，每只电池充电电压按 1.40～1.45V 计算。在充电过程中，开始电流较大，随着充电时间的延长，充电电流逐渐变小，最后接近于零，即可停止充电。这样达不到过充电，只能达到额定容量的 90% 左右，一般不使用这种方法。

⑤ 充电结束前 10min 检查电解液液面，调整液面至指示线以内，高出指示线应用吸管取出，低于的应补加蒸馏水。

⑥ 充电时，蓄电池组的中间电池温度不应超过 45℃，电解液温度最好不超过 35℃，否则应减小电流控制温度。

⑦ 半烧结电池允许与电源并联浮充，每只电池的充电电压控制压 1.37～1.40V 之间，由于电源电压与蓄电池电压较接近，充电电流为 1～2mA/Ah 时，无气体产生，因此可不打开气塞。

2）圆柱密封镉镍蓄电池。

① 电池以自放电状态出厂，使用前应充电，有关数据见表 8-31 和表 8-32 及图 8-45。

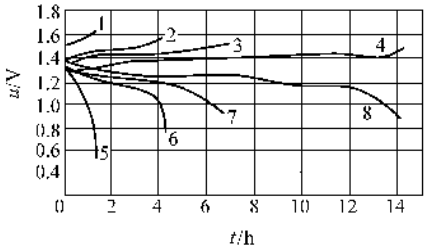


图 8-45 圆柱密封镉镍电池常温下的充放电曲线

1、2、3、4—分别为 1、3、5、10h 充电率充电曲线 5、6、7、8—分别为 1、3、5、10h 放电率放电曲线

② 对充电设备应采用稳压电源，稳压精度≤5%，交流成分不大于 5%；浮电电压控制在（1.38±0.02）V/只，浮充电流在 5～50mA 以内，主要是控制浮充电压，浮充电流为参考值。

（4）电解液的配制

1）酸性电解液的配制：配制酸性电解液时，必须使用玻璃、塑料、铅质、陶瓷质的器具。主要有玻璃管式比重计、玻璃管温度计、玻璃杯（有手柄）、耐酸漏斗（有手柄）、玻璃量筒、玻璃棒（搅拌用）、耐酸陶瓷缸、吸液器（直径 18mm、长 150～200mm 的玻璃管）等。

① 确定要配制电解液的比重，一般根据当地的气温条件参照表 8-33 或电池的说明书的数据配制。

② 根据用量大小，按照表 8-34 的混合比计算所需蒸馏水和硫酸的用量。

③ 戴上护目镜、耐酸橡皮手套、穿好耐酸胶靴，

扎好橡皮围裙，然后量取蒸馏水，倒入容器之中。

④　用量筒量取硫酸，将其缓慢注入盛有蒸馏水的容器之中，并不断地用耐酸棒搅拌熔液。绝对禁止将蒸馏水倒入硫酸之中，避免飞溅，烧伤人体。

表 8-31　圆柱密封镉镍蓄电池技术数据

型　号	额定电压/V	额定容量/A·h	充电		5h 放电率		外形尺寸/mm		最大质量/g
			电流/mA	时间/h	电流/mA	终止电压/V	外径	高	
$GNY_{0.15}$	1.25	0.15	15	14	30	1.0	$12^{0}_{-1.5}$	$30_{-2.0}$	11
$GNY_{0.25}$		0.25	25	14	50		$14^{0}_{-1.5}$	$30_{-2.0}$	16
$GNY_{0.45}$		0.45	90	7	90		$14.5^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	26
$GNY_{0.5}$		0.5	50	14	100		$14^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	30
$GNY_{0.5}$		0.5	100	7	100		$14.5^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	26
$GNY_{0.8}$		0.8	160	7	160		$20.5^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	47
$GNY_{0.9}$		0.9	90	14	180		$21^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	45
$GNY_{1.0}$		1.0	200	7	200		$20.5^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	47
$GNY_{1.0}$		1.0	200	7	200		$34^{0}_{-2.0}$	31 ± 0.5	65
$GNY_{1.5}$		1.5	300	7	300		$26^{0}_{-1.5}$	$50_{-2.0}$	75
$GNY_{1.6}$		1.6	150	14	300		$26^{0}_{-1.5}$	$51_{-2.0}$	75
$GNY_{3.0}$		3.0	600	7	600		$34^{0}_{-2.0}$	$61.5_{-2.0}$	160
$GNY_{3.5}$		3.5	350	14	700		$34^{0}_{-1.5}$	$61_{-2.0}$	160
$GNY_{5.0}$		5.0	1000	7	1000		$34^{0}_{-2.0}$	$91_{-3.0}$	230
$GNY_{6.0}$		6.0	600	14	1200		$34^{0}_{-1.5}$	$91_{-2.0}$	230

注：1. 表中充电时间用 10h 率电流充电为 14h；用 5h 率电流充电为 7h；电流充电电压不得超过 1.6V。

2. 电池以 5h 率电流放电，终止电压为 1.0V；以 20h 率电流放电，终止电压为 1.15V。

表 8-32　圆柱密封镉镍蓄电池组技术数据

型　号	额定电压/V	额定容量（5h 放电率时）/A·h	5h 充电率		5h 放电率		外形尺寸/mm			质量/kg
			电流/A	时间/h	电流/A	终止电压/V	长	宽	高	
4GNY0.8	5	0.8	0.16	7	0.16	4	125	43	26	0.2
12GNY0.8	15					12	138	40	63	0.61
10GNY3	12.5	3	0.6		0.6	10	180	73	70	1.8
12GNY3	15					12	210	73	72	2.0
20GNY3	25					20	240	98	70	3.2
20GNY3 并串	12.5	6	1.2		1.2	10	240	98	70	3.2
10GNY5	12.5	5	0.6		0.6	10	254	62	100	2.5
12GNY5	15		1.0		1.0	12	210	73	100	3.1
20GNY5	25		1.0		1.0	20	246	98	100	4.5
20GNY5 并串	12.5	10	1.2		1.2	10	246	98	100	4.5

注：1. 表中型号后面加“Ⅰ”为通用电池阻，“Ⅱ”为供电系统专用电池组，如 20GNY5-Ⅱ型、20GNY3-Ⅱ型等。

2. 蓄电池组引出导线截面“Ⅰ”型为 $0.35mm^2$（多股铜线），“Ⅱ”型为 $1.5mm^2$（多股铜线）。引出导线红色为负极，黑色为正极。

表 8-33 酸性蓄电池电解液比重标准

环境温度 / 比重 / 类别	-10	0	+5	+10	标准比重 +15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
DG 型	1.270	1.260	1.257	1.254	1.250	1.247	1.243	1.240	1.236	1.233	1.229
DT 型	1.290	1.278	1.272	1.269	1.265	1.262	1.258	1.254	1.251	1.247	1.243

表 8-34 蓄电池电解液硫酸与蒸馏水混合比

比 重	蒸馏水与硫酸混合比		硫酸占电解液的百分比
	体积比	重量比	
1.18	5.20:1	2.90:1	25.60
1.20	4.30:1	2.40:1	29.40
1.22	3.70:1	2.10:1	32.20
1.24	3.40:1	1.90:1	34.50
1.25	3.20:1	1.80:1	35.75
1.26	3.00:1	1.70:1	37.00
1.265	2.90:1	1.65:1	38.60
1.280	2.75:1	1.50:1	40.00

⑤ 用比重计测量电解液的比重，并用温度计测量其温度，如不符合标准，可用硫酸溶液或蒸馏水调整，温度过高要自然通风冷却。标准比重是指 15℃时的比重，若环境温度不符，应按表 8-35 通过加减硫酸溶液、蒸馏水进行修正。

表 8-35 不同温度下电解液比重修正值

电解液温度 /℃	比重计读数修正值	电解液温度 /℃	比重计读数修正值
+40	+0.0175	-5	-0.0140
+35	+0.0140	-10	-0.0175
+30	+0.0105	-15	-0.0210
+25	+0.0070	-20	-0.0245
+20	+0.0035	-25	-0.0280
+15	0	-30	-0.0315
+10	-0.0035	-35	-0.0350
+5	-0.0075	-40	-0.0385
0	-0.00105	-45	-0.0420

⑥ 为了保证电解液的质量和使用年限，要求配制时选用纯净的硫酸与蒸馏水，见表 8-36。

表 8-36 铅酸蓄电池用材质及电解液标准

指标名称	浓硫酸	使用中电解液	蒸馏水
硫酸（H_2SO_4）（含量）（%）	≥92	40～15	
灼烧残渣含量（%）	≤0.05	≤0.02	≤0.01
锰（Mn）含量（%）	≤0.0001	≤0.00004	≤0.00001
铁（Fe）含量（%）	≤0.012	≤0.004	≤0.0004
砷（As）含量（%）	≤0.0001	≤0.0003	
氯（Cl）含量（%）	≤0.001	≤0.0007	≤0.0005
氮氧化物（以 N 计）含量（%）	≤0.001		
还原高锰酸钾物质（O）含量（%）	≤0.002	≤0.0008	≤0.0002
色度测定 /mL	≤2.0		
透明度 /mm	≥50	透明无色	无色透明
电阻率（25℃）/（Ω·mm）			$\geq 10\times10^4$
硝酸及亚硝酸盐（以 N 计）（%）		≤0.0005	≤0.0003
铵（NH_4）含量（%）	≤0.005		≤0.0008
铜（Cu）含量（%）		≤0.002	
碱土金属氧化物（CaO 计）（%）			≤0.005
二氧化硫（SO_2）含量（%）	≤0.007		

2）碱性电解液的配制：参照表 8-37～表 8-39 和酸性电解液的配制方法进行。

（5）充电时应注意的事项

1）注意蓄电池表面的清洁。充电前应打开加液孔盖，以免气体蒸发过急而积聚成压引起爆瓶事故。

表 8-37　碱性蓄电池用电解液标准

项目	新电解液	使用极限值
外观	无色透明，无悬浮物	
密度	1.19～1.25（25℃）	1.19～1.21(25℃)
含量	KOH240～270g/L	KOH240～270g/L
Cl^-	<0.1g/l	<0.2g/l
$CO_2^=$	<8g/l	<50g/l
Ca. Mg	<0.1g/l	<0.3g/l
氨沉淀物 Al/KOH	<0.02%	<0.02%
Fe/KOH	<0.05%	<0.05%

表 8-38　氢氧化钾技术条件

指标名称		化学纯
氢氧化钾（KOH）	（%）	≥80
碳酸盐（以 K_2CO_3 计）	（%）	≤3
氯化物（Cl）	（%）	≤0.025
硫酸盐（SO_4）	（%）	≤0.01
氮化合物（N）	（%）	≤0.001
磷酸盐（PO_4）	（%）	≤0.01
硅酸盐（SiO_3）	（%）	≤0.1
钠（Na）	（%）	≤2
钙（Ca）	（%）	≤0.02
铁（Fe）	（%）	≤0.002
重金属（以 Ag 计）	（%）	≤0.003
澄清度试验		合格

2）防止铁屑及其他金属物落在蓄电池的表面上，并禁止在蓄电池盖上放置工具、零件等，以防短路。

3）室内应空气畅通。室内严禁吸烟和各种火花火源接近电池。

4）充电前应检查充电设备，禁止充电机过载；充电机的输出正负极与电机的正负极的联接要正确无误，接头牢固可靠。

5）蓄电池组在首次放电终了时，每个电池的终止电压及电解液比重，应符合产品的技术要求。不符合标准的电池的电压与整组蓄电池中单个电池的平均电压的差值不应超过 1%～1.5%，电压不合标准的电池数量，不应超过蓄电池组总数量的 5%。对于电压与比重低的个别蓄电池，应单独进行小电流补充充电。

6）首次放电放毕后应立即进行充电，间隔不宜大于 10h。充放电结束后，对透明槽的电池应观察极板情况，不得有弯曲、变形或活性物质严重剥落的现象。

4. 蓄电池组的安装

（1）蓄电池组在蓄电池室的安装　蓄电池组在室内一般安装在耐酸台架上，台架则由耐酸水泥砌成货架形，层层叠放或由木架制成。耐酸货架应砌筑整洁，走廊宽敞，高度一般不大于 2m，运行中不影响维修，便于接线；木台架应由干燥、平直、无大木节及无贯穿裂缝的多树脂木材制成，如红松。台架涂耐酸漆或沥青焦油，台架用绝缘垫与地面绝缘，台架安装平直、不得歪斜。碱性电池通常安装在柜内，见蓄电池柜的安装。

1）室内裸硬母线的安装同低压配电室内母线的安装，此外还应符合下列要求：

①　母线支持点的间距不大于 2m；

②　母线的连接用焊接，母线和电池正负的连接应平整紧密，母线端头镀锡，母线表面涂以中性凡士林；

③　母线采用裸导线时，与绝缘子的固定应用同质绑线，绑线的截面积一般为 2.5～4mm^2，绑扎前绑线应涂耐酸漆处理；裸导线母线与电池正负的连接必须用线夹，与母导线的触面应镀锡，导线涂以中性凡士林；

④　母线应排列整齐平直，弯曲度一致；母线间、母线与建筑物及其他接地部位之间的净距不应小于 50mm；

表 8-39　碱性电解液配制数据

序号	使用环境温度/℃	密度/（g/mL）	电解液的组成	配制重量比（碱:水）
1	+10～+45	1.18±0.02	氢氧化钠+20g/L 氢氧化锂（$LiOH \cdot H_2O$）	1:5
2	-10～+35	1.20±0.02	氢氧化钾+40g/L 氢氧化锂（$LiOH \cdot H_2O$）	1:3
3	-25～+10	1.25±0.01	氢氧化钾	1:2
4	-40～-15	1.28±0.01	氢氧化钾	1:2

注：1. 原材料要求为一般工业品，配制用水宜用蒸馏水，软化水，干净的雨水，禁用矿泉水及海水。

2. 配制第 1，2 号电解液时，先用少量纯电解液，将所需要的氢氧化锂全部溶解，再加入电解液中搅匀。

3. 配制第 3、4 号电解液时，氢氧化钾中的碳酸钾的含量不得高于 4%，并严禁混入氢氧化钠。

⑤ 母线应沿全长涂以耐酸相色油漆，正极为赫色，负极为蓝色；钢质母线还应在耐酸漆外再涂一层凡士林。

2）室内所有的金属支架、绝缘子铁脚、螺母及垫、母线线夹、线鼻子、保护管及所有金属品的内外均应涂以耐酸漆。

3）蓄电池引出线应采用塑料外护套电缆，并用塑料相色带包扎并表明正、负性。电缆穿出室内的孔洞及保护管的管口处，均应用耐酸材料密封堵死。

4）穿墙接线板的制作应采用耐酸、非可燃性及不吸潮的绝缘材料制成。与建筑物的框架、墙体固定时，应有耐酸密封垫。穿墙板上接线柱的孔径不宜过大，并用耐酸胶垫密封。接线柱的固定螺栓宜用铜质，螺杆上套有耐酸密封垫。接线板如水平安装、上部应有护板防止水或其他杂物坠落，以避短路或损坏。

5）同室安装的蓄电池应选用型号、规格相同的产品；在台架上安装应平稳、不应受到外应力的作用，排列整齐方向一致，分组设置；应将温度计，比重计的检测孔放在易检查的一侧且方向一致；每个蓄电池的外壳上应在耐酸材料板上注明编号；安装前应将其外壳清洗干净，接线后应在上面盖上玻璃盖板。

6）蓄电池的接线必须正确无误，连接紧密可靠；电池与电池之间的连接必须用专用的连片连接，紧固螺母必须与电池配套；连接应按图纸进行，连接后的输出电压应与系统要求相符。蓄电池的连接是分组进行的，每组应先串联，串联的个数和输出电压的结果与要求应相同；然后把各组再并联起来。串时或并时必须注意极性，不得接反，见图 8-46。每一组上的开关是为了检修而设置的，开关应选用化工类防腐开关。

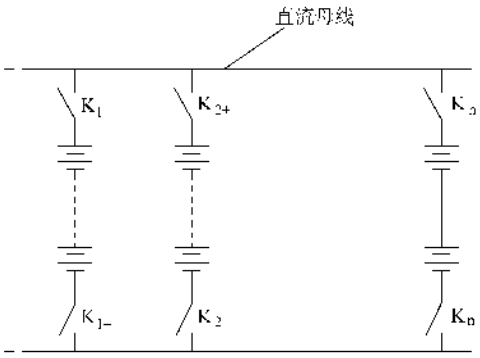


图 8-46 蓄电池组的接线方法

7）绝缘电阻的测试：蓄电池组绝缘电阻的测试方法与前述大不相同，它是利用直流电压表的测量经计算后得到的，见图 8-47。工程中是按上述的分组分别进行的，用同一电压表 V 的同一量程分别测得三个电压值：设整组电压为 U、正、负极对地电压分别为 U_1 和 U_2（蓄电池的绝缘性能越好，U_1、U_2 越小）则该组的绝缘电阻可用下式计算：

$$R_0 = \left(\frac{U - U_2}{U_1} - 1\right)r \qquad (8\text{-}2)$$

$$R_0 = \left(\frac{U - U_1}{U_2} - 1\right)r \qquad (8\text{-}3)$$

$$R = \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right)r \qquad (8\text{-}4)$$

式中 r——电压表的内阻（Ω）

R、R_0、R_0——分别为蓄电池组整体对地、正极对地、负极对地的绝缘电阻。

绝缘电阻应符合要求：

110V 蓄电池组应≥0.1MΩ；

220V 蓄电池组应≥0.2MΩ；

380V 蓄电池组应≥0.5MΩ。

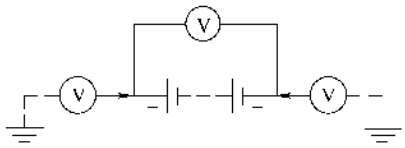


图 8-47 电压表法测量蓄电池组的绝缘电阻

8）输出电压、电流、极性的测量。输出电压应符合系统要求；输出电流可用“高率放电试验器”进行，应符合要求；极性应从每只蓄电池检查，应正确。

（2）蓄电池柜的安装 有些 UPS 装置将蓄电池组装入柜内，随主机配套供应，一般都采用碱性电池，给安装带来了极大的方便。

蓄电池柜的安装同开关控制柜，主要检查项目有蓄电池间连接极性是否正确可靠紧固；蓄电池组与母线连接极性是否正确、可靠紧固；绝缘电阻是否符合要求；输出电压、电流是否符合要求；方法同上。

蓄电池组在室内或柜内安装好后，必须将电池外壳、柜内柜外、室内室外清扫干净，如有不符合设计要求或其他不妥之处应及时修复，夜间应有保卫人员值班或上锁，以避免失盗。蓄电池组装好后应即投入试验及运行，以避自行放电。

七、UPS 装置的试验及试运行

UPS 装置的试验应参照第七章第五节中成套硅整

流装置的试验、交—直—交变频调速系统的调试和晶闸管整流装置的调试方法内容进行。

1. 试验步骤和测试项目

（1）准备工作

①　对照原理图检查所有的元件间的连线应正确无误，有极性要求的元件其标注应正确，无标注的应对照器件手册，核对极性是否正确。盘柜间连接线必须正确牢固。

②　元器件的单体模拟试验应合格。试验时不得调节可调部分的旋钮，拆线时应作好编号，试验完后应按原来接线接好。元器件的试验方法如前所述。

③　绝缘电阻和接地电阻（≤1Ω）的测试应合格。

④　发现不妥的环节应修复，并经检查后合格。

⑤　将电源的相序找出，并按装置要求的相序将电源线接好。

（2）整流柜的试验　检测项目有电压、波形、电压调节性能、空载试验、假负载通电试验、最大输出电流的试验应均无异常。

（3）整流柜的充电试验　将前述中蓄电池组的充电系统与整流柜输出接好，充电应正常。

（4）逆变器的试验

①　整流—逆变试验；

②　蓄电池组—逆变试验。

检测项目有电压值及三相是否平衡、是否能调节，波形及其积分调节器的调整，频率、相序的测量等。上述内容正常后可进行负载试验，包括空载、轻载、中载和重载试验。根据容量的情况可选用10kW、55kW、125kW的三相异步电动机进行起动、运行的试验，所有的试验应正常，整流前的相序与整流后的相序应取得一致。

（5）静态开关的试验　交流静态开关是由两只反并联的快速晶闸管组成，应测量其关断性及导通的时间、波形、三相参数一致为合格，见图8-48。

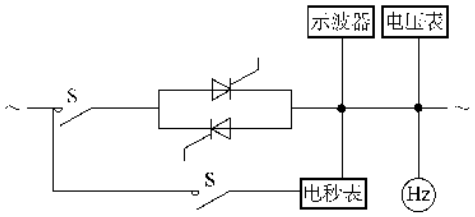


图8-48　静态开关的试验

（6）模拟切换试验　单体试验合格后，将系统的电路接好，由市电供电，这时整流柜、逆变柜、静态开关都工作，并向蓄电池组浮充电，这时应测量直流、交流的电压、波形、频率，见图8-49。

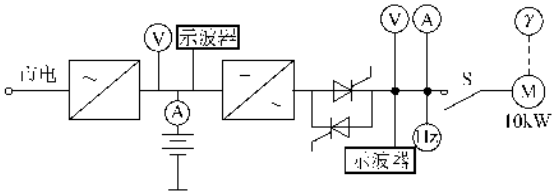


图8-49　模拟切换试验的测量

然后将市电电源开关拉掉，这里整流柜停止工作，蓄电池组、逆变柜、静态开关工作，除上述参数外这时要注意蓄电池组的电流方向已改变并注意切换时间，一般应在2～5ms以内。同时注意在切换时电压的波形有无畸变或突变。

测量参数正常后，这时可将接触器吸合使10kW电动机起动运行，这时除上述参数外，还应测量电动机的转速及交流侧的三相电流应与电动机铭牌相符，且三相电流平衡。

电动机运行正常后，可将市电电源开关合上，恢复市电，除上述参数外，这时应注意两点，一点是电动机的运转情况（包括转速、电流）是否有异常，接触器或电压线圈是否掉闸释放或过激声音以至振荡等；再一点是蓄电池组的电流方向是否改变。同时要注意观测切换时间及切换时波形有无变化。

所有的参数正常后，这时可将市电关掉，再进行切换试验，系统应正常工作。必要时可增加负载的投入以至满负运行试验。

上述试验正常后，应将UPS接入系统，配合低压动力电路的试运行进行试运行试验，方法及测量参数同上。

2. 试验及试运行中应注意的事项

1）试验前应仔细阅读UPS装置的说明书，同时应读懂电路图，并按说明书及电路图的要求逐步试验。

2）UPS装置出厂前已由厂商调好并将调节部分打封印，任何人不得随意乱动封印而调节，一旦出现非经调节而不能处理的事由时，应由技术负责人组织协商后再进行调节。轻易乱动导致处理不了或不能处理问题时找到厂商解决会降低自己的声誉，也不能提高自己的技术水平。

3）蓄电池组（柜）必须检查好，能充能放，容量适中，接线正确，不滴不漏，绝缘电阻良好。

4）相序必须找对，并按相序要求接线，试验过

程中如有电压突变现象，多由相序接反引起。

5）柜间的接线必须正确且绝缘电阻良好。

6）绝缘电阻的测试必须强、弱分开，按要求进行。

7）试验或试运行时要观察系统有无异常声响、温度是否过热以及波形、频率的变化，有无其他不妥，要加强巡视，特别是蓄电池组要有专人负责观察其运行情况。其他参照低压动力电路试运行的条款。

8）试验或试运行时要检查触发系统和辅助器件的功能（如水压、水温、冷却液流量、风机旋转方向等）运行应正常、并达到设计或产品要求。同时要测量冷却液是否有电，否则应找出原因，一般是设备接地不好。冷却液漏电电压一般不能超过6V。

3. 试验后的记录

试验和试运行合格的UPS装置应按设计要求和接线方式接入系统，并将旁路电源接好，同时整理安装、检查、测试、试验、试运行的记录、存入技术档案备查。

第四节　余热发电机组的安装

余热发电系统的安装包括锅炉本体（包括管道、水处理、给水、给风、电机拖动系统、热工仪表、出渣给煤附机系统等）、汽轮机本体（包括管道、油路、调节系统等）和发电机组（包括油路冷却系统、配电及自动化仪表系统、励磁机等）的安装，可见余热发电是一项系统工程。余热发电容量大，供电可靠，没有切换过程及时限，且节约能源、减少污染，因此常被大中型工业企业采用。本书只讲述发电机组的内容，其他内容已超出本书的范围，请参阅相关专著。

一、余热发电机组的安装

1）土建工程应具备的条件、设备的开箱检查、设备的测试与关键部位的检查见本节“柴油发电机组的安装，与其基本相同，此外要注意下面几点：

①　余热发电是一项综合性系统工程，涉及几个专业，必须编制综合性的施工组织设计，进而保证工程的质量、工期、安全及技术要求，这里只列出某厂余热发电机组工程的安装网络计划图，供读者参考，见图8-50。

②　在开工条件中，应先解决吊装设备。一般发电机房装有天车，因此应先将天车安装好，并使其具备运行和吊装的条件，完成工程的吊装工程量。天车电气设备的安装见第九章“起重机械电气设备的安装”。容量较小的机组，如无天车，应具有能活动的钢制吊装支架。

③　机组的电气控制部分要比柴油机组复杂的多，有保护屏、控制屏、仪表屏、蓄电池屏及整流屏等；常装在控制室内，安装调试同前。如为高压机组，还有变压器，高压柜等装置，检查和测试详见第十二章配电装置的安装。

④　空载开机试验的项目除柴油发电机组中已讲述的6项以外，还包括“发电机一次相位与二次同期电压回路核相”的内容。为了检验发电机三相出线相位与系统电源相位是否一致以及与发电机一次相位相对应二次同期电压回路是否正确，应对发电机进行一次及二次核相，核对正确后，方能允许发电机并入电网。但是具体实施上能否并网，还要由供电部门的认可，一般小型机组没有并网的必要，中型机组并网的手续要与供电部门协商解决。即便是经核相正确且具备并网条件，但无供电部门认可，任何人也无权决定并网，因为除核相外还有电压、相位、频率、电能计量表、继电保护、并网安全条例以及网内网外事故影响等问题，这和用电一样，没有供电部门的认可是不允许的。

一次核相的具体方法如下：

a. 按图8-51将一次相位核对试验接线接好。核相用的静电电压表或核相棒，应按带电作业工具的要求经试验合格后才能使用。

b. 将1011#隔离开关置于断开位置，并可靠锁住，以避误操作，见图8-51。

c. 驱动发电机至额定转速，调节励磁使发电机电压升至额定值，合上101#断路器，这样发电机的电压就送到了1011#隔离开关的下闸口。

d. 将供电系统的电源送至母线上（按顺序先合1021#，再合102#），且将母线上所有的负载拉掉。

e. 两侧电源均在额定电压下，这时用静电电压表或核相棒依次在U-U、V-V、W-W相上搭试，这里要注意，此时是在高压带电设备上操作，必须有人监护，并遵守安全操作规程和带电作业规程。

当两侧的一次相位相同时，控制室内同期表的指示与核相棒或静电电压表的指示一致；如不一致，则应将发电机电压降至零，断开灭磁开关，将母线两侧的开关都拉掉，然后放电后再将一次绕线进行倒相改接，相应二次电压线也应改接。改接后重复上述试验，直至相位正确。

发电机一次相位与二次同期电压回路核相的具体方法如下：

a. 按图8-52将一、二次相位核对试验接线接好。

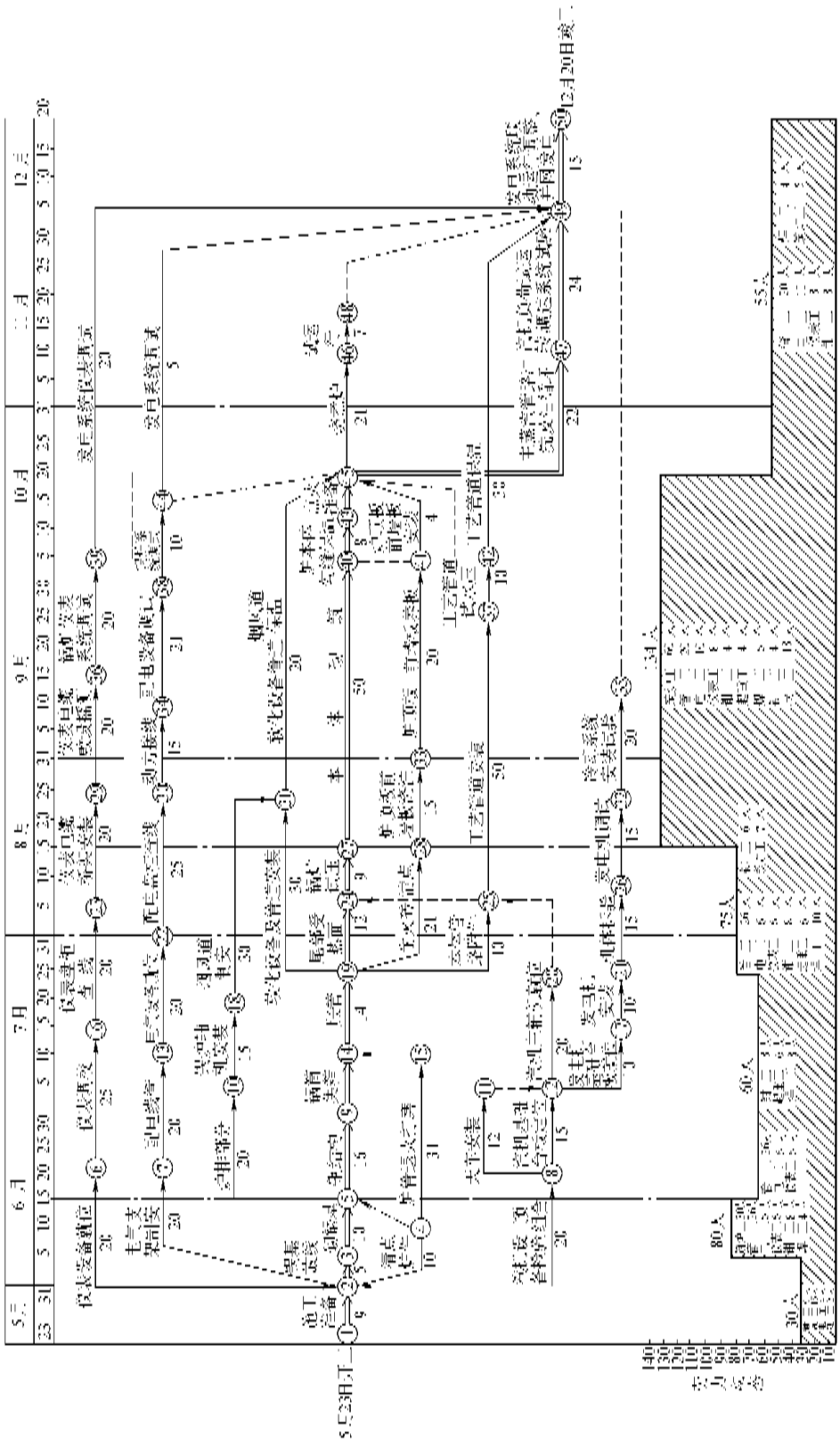


图 8-50　余热发电机组安装网络计划（仅供参考）

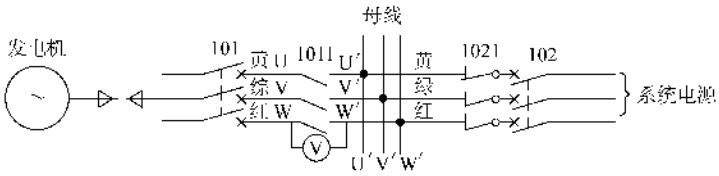


图 8-51 发电机一次相位核对试验接线图

101—发电机断路器 1011—发电机隔离刀闸

—静电电压表或核相棒 102—系统电源

断路器 1021—系统电源隔离开关

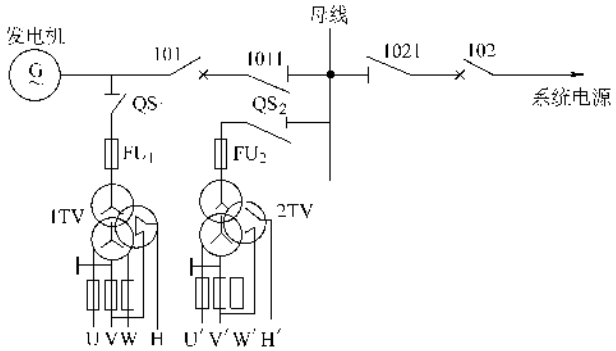


图 8-52 发电机一次相位与二次同期电压回路核相试验接线图

101—发电机断路器 1011—发电机隔离开关 1021—系统电源隔离开关

1TV—发电机电压互感器 2TV—母线电压互感器 102—系统

电源断路器 QS_1—发电机电压互感器刀闸 QS_2—母线电

压互感器刀闸 FU_1—发电机电压互感器一次熔断器

FU_2—母线电压互感器一次熔断器

b. 试验前，将 101#、102#、1021#开关置于断开位置并锁好。

c. 将两组电压互感器的隔离开关 QS_1 和 QS_2 合上，同时将 1011#开关合上。

d. 驱动发电机至额定转速，调节励磁升至额定电压，合上 101#断路器，使 1TV 与 2TV 两组电压互感器均带发电机的电压，按照同期回路接线图，分别至各屏后的二次同期电压线端子处用万用表测量并核对二次电压值，同时同相序表分别核对两组压变 U、V、W 及 U′、V′、W′的相序，电压值应三相平衡，相序均应是顺相序。在一次电压对称的情况下，分别测量互感器的开口三角电压，即 U_{HV}，测出的不平衡电压应接近零值。

e. 然后测量二次电压同名相的电压 $U_{UU'}$、$U_{VV'}$、$U_{WW'}$，其正确结果应为

$U_{UU'}=0V$；$U_{VU'}=100V$；$U_{WU'}=100V$；

$U_{UV'}=100V$；$U_{VV'}=0V$；$U_{WV'}=100V$；

$U_{UW'}=100V$；$U_{VW'}=100V$；$U_{WW'}=0V$。

同时，合上发电机的同期开关，同期表应指示在同期位置。

f. 同期二次回路电压核对后断开 101#和 1011#开关，合上 1021#和 102#开关，将系统电压送至母线，再对两电压互感器二次电压和相序重复前述的测量，结果应与前述相同。

g. 再将 1011#和 101#开关合上，使系统进入同期，即两个系统的电源同时加上母线上，这时两只电压互感器间若万用表的读数指示最大时，同期表的指示也最大，万用表的指示为零时，同期表的指示也为零，即表示发电机的一次相位相序与二次同期电压回路接线正确。

h. 分析判断上述试验的结果正确无误后，即表示一次相位与二次同期电压回路接线正确。在进行上述核相和同期试验时，应注意观察两个系统的频率，其误差在 ±0.5Hz 之内。

2）发电机组的安装（见第十二章中“大型高压电动机的安装”一节。高压发电机组变配电间的安装见第十二章变配电装置的安装，低压发电机组控制室的安装见本章有关节述。开机试验在冲动转子成功

后进行。

二、余热发电机组起动试发电的条件

锅炉、汽轮机、发电机及辅助设备安装调试合格后即可申请起动试发电，起动试发电须具备下列条件：

1）汽轮机组传动机械部分试运转正常，包括给水泵、凝结水泵、循环水泵、深井水泵或水源泵。

2）系统的蒸汽管路吹洗完毕且合格。

3）汽轮机组给水、凝结水等管路的冲洗完毕且合格。

4）汽轮机组真空系统严密性试验完毕且合格，主要包括凝汽器的蒸汽空间、后缸排汽部分及机组运行时处于真空状态下的设备与管道。

5）汽轮机组油循环系统试运行正常。

6）汽机保护装置试验全部合格，主要包括超速保护装置（危急遮断器脱扣和自动主汽门关闭时间试验）、轴向位移保护装置、磁力断路油门装置、油压保护装置、轴承温度保护装置及信号系统、功率极限保护装置、启动阀特性试验、背压保护装置及信号系统、油箱油位信号系统、低真空信号装置等。

7）系统中装设的仪表和测试使用的仪器仪表应检定校验合格，且接线正确、安装合格、模拟联动试验合格，具备投入运行的条件。

8）蒸汽压力和流量符合汽轮机的要求，且锅炉已运行正常，管道无漏泄。已通过劳动部门的验收合格。

9）汽轮机组安装经验收合格，且机组调速系统的调整和试验已进行完毕。且汽轮机组空载运行合格，转速符合发电机的要求。

10）现场已清理干净，安装时临时搭接的物件已拆除，无妨碍试验进行的障碍。

11）由技术检查人员（专业工程师）和安装人员组成的专业质量检查小组已分别对锅炉、汽轮机、发电机三个系统进行了全面细致的检查，三个系统均已达到设计和安装质量的要求，系统与系统之间衔接的技术要领和参数已符合设计要求。发现的不妥之处已修复，并经再验收合格。

12）发电机组安装完毕且机组测试合格，附机运转正常。盘动汽轮发电机组（越快越好），稍给励磁（调节励磁柜），测量三相输出电压是否平衡，是否随转速、励磁变化，否则不正常。

13）机组起动试发电方案或计划已编制并经主管部门审核，主持人（专业工程师担任）已确定，各专业人员已分工；联络信号、通信工具已解决，且试通话正常；图样资料、记录表格已准备齐全；测听棒（长为1000mm、直径6～8mm为宜）及其他用具已准备齐全；救护、防火措施已落实；主持人已向全体试行人员进行技术交底，并提出要求及注意事项，特别是不同专业人员的配合必须默契沟通。

14）控制室已安装完毕且试验测试合格，空投或模拟试验已进行且达到设计要求。

15）系统接线正确无误。

16）并网申请已得到供电部门批准，且将试投时间已通知供电部门并邀请有关人员参加。

17）建设单位，设计单位，供电部门和安装单位就起动试发电已达成协议，并提供必要的条件。

18）参阅第七章第七节送电试车及试运行有关条款。

三、余热发电机组的起动及试发电

由于汽轮机的型式、构造、容量及余热电站热力系统连接方式各不相同，因此在起动各种类型的机组时具体操作方法也略有不同，但基本原理及操作程序是相同，现以3000kW背压机起动为例，说明余热发电机组的起动及试发电过程。

1. 系统的检查及准备

1）汽水系统的检查

①　主蒸汽管路及背压排汽管路上电动主隔离阀进行手动和电动开关检查；关闭主蒸汽管路及背压排气管路上电动主隔离阀、主汽阀，开启直放疏水阀、向空排气阀、汽缸疏水阀和防腐阀。在起动时，汽、水可能进入汽缸的阀门都应关闭。

②　蒸汽、排汽管路应处于自由膨胀、不受任何阻碍的状态。在冷态下测量汽轮机本体、管道上支吊架位置、弹簧安装高度及膨胀间隙等数据，并详细记录。

③　关闭通往本体的汽封管路、汽封抽汽器或抽气器、辅助抽汽器及汽轮油泵的蒸汽阀门，开启疏水阀门；向调压器的脉冲管冷却器灌水；起动循环泵，进行发电机灭火装置、空气冷却器及冷油器的通水试验，并检查水流情况和及其严密性。

2）油系统的检查

①　油管路及油系统所有设备应处于完好、准备起动状态，不得有任何漏油现象；油箱油位应在较高位置，应准备系统用油（同一牌号）的备用油，并试验油泵能否将油补入油系统之内。油位计的浮标应上下灵活，油箱中的积水和沉渣应预先清除干净。油箱上的盖板、排油气罩等应紧固牢固，油箱表面应清理干净无油污。油箱及冷油器的放油阀关闭应严密，并加铅封。

②　开启电动油泵入口闸阀和冷油器进出油阀，关闭备用冷油器进出油阀；冷油器进水阀应先关闭，

出水阀一般处于开启状态。辅助油泵开启后，打开冷油器顶部闸阀，放掉油侧空气。为冲洗管路临时加装的滤网或堵板，在正式启动前必须拆除。

3）调节保安系统的检查

① 检查调速器和调速汽阀及连杆状况，螺钉、销子等装配齐全，部套内积存的空气应排出；在调速汽阀连杆上各传动部位加润滑油。

② 检查并校验同电气联络的信号盘和同步器的调速电机；超速指示器、主汽阀危急泄油闸阀及磁力断路油门均应在正常位置。磁力断路油门及其电磁阀的结构及保护原理见图 8-53。

③ 轴向位移油喷嘴调整螺母刻度应在规定数值上；有防火油门装置的机组，其控制器按钮应在脱开位置。

4）滑销系统的检查 汽轮机能正常自由膨胀、在冷态下检查各膨胀间隙，并做好记录。

5）仪表、保护和信号装置的检查 热工控制部分和电气部分的所有仪表、保护和信号装置应显示正常，通往仪表的脉冲管路上的小阀门应处于开启状态。

6）有电动盘车装置的机组，在启动前，要对盘车装置进行试转检查。

上述检查合格后报告主持人，即可通知锅炉房送汽进行暖管，并记录送汽的时间。

7）检查发电机周围及内部清洁情况，并用 0.2MPa 的干燥压缩空气吹除电机各部分的灰尘；发电机的集电环、电刷、励磁机的整流子及电刷应清洁完整，电刷在刷握内能自由上下，间隙正常，弹簧压力适中。

8）用盘车装置盘车检查转子转动是否灵活，检查与汽轮机的联轴器或齿轮箱的连接是否正常，旋转方向是否与规定方向相符；检查发电机定子引出线及励磁机的接线是否正确；若为高压电机还应检查变压器的接线及对变压器本体、高压侧断路器进行检查，接线应正确牢固，设备符合运行要求。

9）检查励磁机侧轴承座下绝缘垫片应光洁，并用 1000V 绝缘电阻表测量绝缘电阻，不应小于 0.5MΩ，装于转轴上的短路电刷应接触良好。

10）检查所有保护装置、信号系统、控制系统应动作正确；检查调速电动机的转向与调速开关的作用方向是否相符以及励磁变阻器指示是否在最大值位置。

11）检查发电机的冷却系统及水灭火装置是否正常；拆除临时接地线及其他临时设施并恢复正常位置。

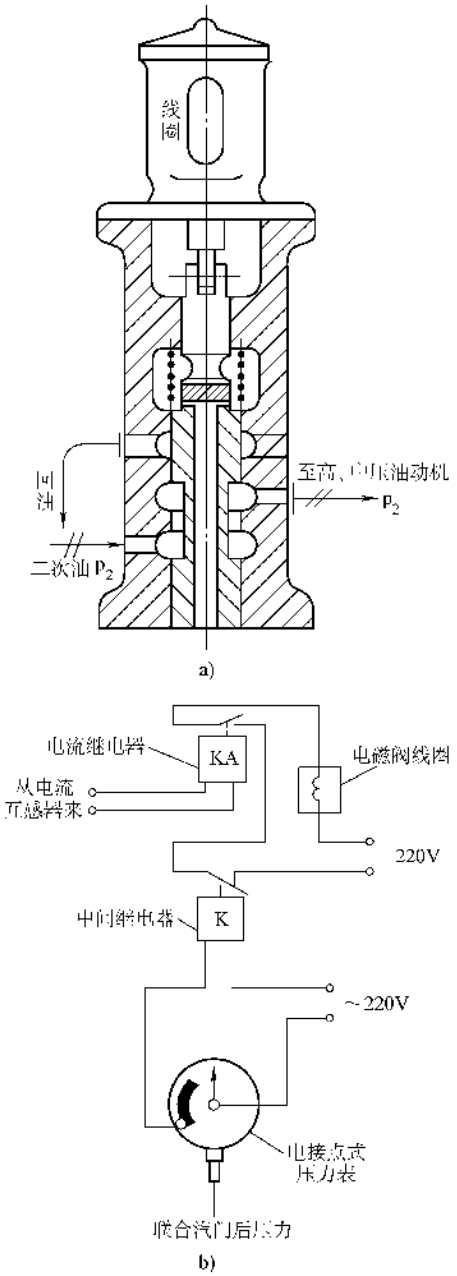


图 8-53 电磁阀及电超速保护

a）电磁阀 b）保护接线

上述检查全部合格后即向主持人报告，一切正常可以起动。

2. 第一阶段送汽暖管

将高压蒸汽送到隔离阀前，用蒸汽将主蒸汽管路和通往汽封、汽轮油泵和抽汽器等处的蒸汽支管预热暖管，预热时且逐渐提高管道压力到 0.2～0.3MPa，30min 以后，按 0.1～0.15MPa/min 速度升到额定压力。

在预热暖管过程中，应检查管道及闸阀是否冒汽，严禁暖管时蒸汽漏入汽缸。当汽温达到300℃时，适当关小主汽阀前直放疏水阀。在升压期间，应根据汽温上升情况，适当调整直放疏水阀，并检查管路膨胀和支吊架工作情况。管道压力升到额定汽压后，应再作一次检查，以防误贻。并与“1.”中暖管前的检查记录比较，应无差别。

3. 调节保安系统的检查

1）起动汽动油泵，调整进汽阀，使蒸汽进入小汽轮机，预热约3～5min，蒸汽压力在0.3MPa左右，同时疏水。然后逐渐开启汽动机泵进汽阀，低速暖机10min左右。

2）测听汽动油泵声音，当确认工作正常后，继续提升至额定转速，此时压力应为0.8～1.2MPa，转速为6000r/min，油泵出口油压稳定在0.5MPa左右，润滑油压应稳定在0.08～0.12MPa之间以满足开启主汽阀的需要。

3）检查油路系统，管道应无漏油现象。将电动油泵自动装置投入，并缓慢降低油压，试验自起动装置的动作性能。检查各轴承及润滑部位均应有足够的油流通过。

4）将主汽阀开启1/3，将危急遮断油门挂闸，分别使手动危急遮断器、轴向位移遮断器及磁力断路油门动作，并检查主汽阀、调速汽阀及抽汽阀是否关闭迅速、阀杆有无阻卡现象。

5）以上检查正常后，将各保护装置挂闸，并接通主汽阀高压油路；将主汽阀和调速汽阀关闭，并使同步器摇至低限位置；将调压器的开关打到“断开”位置；检查调速系统静止试验和保安系统试验报告，必要时重新进行试验；在转子冲动前要检查轴承温度，一般不低于25℃，否则启用油温加热器。

4. 第二阶段送汽温管

1）缓慢打开隔离阀的旁路阀，关闭防腐阀，然后按0.1～0.15MPa/min的速度将管道的压力升到额定压力。在升压过程中，要根据压力升高情况适当关小疏水阀，同时检查、记录管路膨胀和支吊架工作情况。管路压力升到额定压力后，要逐渐开大隔离阀，直至全开后再关回半圈，然后再关闭旁路阀。

2）主汽阀至调速汽阀之间的暖管工作一般和暖机同时进行，因此关闭蒸汽导管（指主汽阀至调速汽阀之间的管道）疏水管上的检查阀、疏水阀，开启调速汽阀蒸气室上的疏水阀。

5. 起动

（1）冲动汽轮机转子前的检查

1）进入汽轮机及发电机各个轴承及转动部位的油流应正常，冷油器出口油温不应超过40～45℃，且不得低于25℃，油压控制在0.4～0.45MPa左右，润滑油压为0.08～0.12MPa之间。

2）盘车装置运转正常，开启润滑油进油阀。

3）发电机应再次测量绝缘电阻应正常，并做好起动准备，如检查总开关及馈电开关应在断开位置，电气仪表指示在零位，磁场电阻器在最大位置，温度指示仪表正常，油泵起动正常且油压正常，冷却泵已起动且运行正常，水温正常等。

（2）冲动转子及升速　主持人得到各部位允许起动的报告后冲动转子前要再次询问各部位有无不妥，必要时所有的报告情况应使用录音电话。主持人得到各部位肯定的“一切正常、允许起动”的回答后，即可发出“各部注意、现在起动”的命令。

1）合上危急保安器、稍微开启主汽阀，冲动转子起动。转子一经冲动后应立即手拍危急保安器，关闭主汽阀，这时应在无进汽声及其他干扰下，用测听棒测听汽轮机内部及转动部分、发电机转子及定子间有无金属摩擦、撞击、扫膛等不正常声响，否则应立即停止起动进行检查。经几位有经验的人测听确定无异常声响后，应在转子停止转动以前，重新挂上危急保安器，缓慢开启主汽阀，将转速升至300～500r/min并维持5～10min，进行低速暖机预热。转子冲动时，应监视并记录汽轮机调节级后的蒸汽压力，如压力已达到冲动转子时所规定的额定数值（一般为正常蒸汽压力的10%～15%），而转子仍未转动，则必须停止汽轮机的冲动，排除故障后才能重新起动。冲动转子后注意检查盘车装置是否自动脱开。

此时应关闭主汽阀前后和汽水分离器下的疏水阀，并对机组的轴承、油流、发电机、励磁机等进行检查，如无异常即可升速到800r/min，暖机预热20～30min，此时应对机组进行全面详细的检查和测试，特别要注意轴承的温升、声响、振动及各部的膨胀情况。当轴承进口油温高于45℃时，应停止油温加热器的工作，使冷油器投入运行，并使冷油器出口油温保持在35～45℃之间。

2）机组一切正常，可缓慢加大主汽阀的开度，将转速升至1400r/min，维持20min，再次检查上述项目，如无异常，且轴承进口油温达到30℃以上，即可越过临界转速1885r/min（额定转速为3000r/min）。这时因蒸汽量增加较快，气缸及转子各部件温差较大，因此通过临界转速后应在一个较合适转速上维持一段时间，即高速暖机预热，减小温差和应力。一般在小于2000r/min时，维持10～20min，然后以300r/min的速度，将转速升到调速器动作数值，一般

为 2700 ~ 2800r/min 左右。

在上述升速时应注意以下几点：

① 当机组发生不正常的声响、振动或温度超过允许值时，应减速或停机进行检查，解除故障。

② 检查油系统的油温、油压、油流、油位等，均应正常。

③ 当机组膨胀有显著变化时，应立即停止升速，进行检查并消除。

④ 当转速升到汽轮机调速系统开始动作时，应维持主汽门原有开度，并注意调速器投入情况。此时，除第一只调速汽阀在略开的位置维持空转外，其余各阀均应在关闭位置。主油泵出口油压达到 0.55MPa 时，汽轮油泵应通过自动装置自动停止。

（3）全速运转 上述运行正常后，即可逐渐开大主汽阀，开足后将手轮关回半圈，这时调整同步器，使转速维持在额定转速 3000r/min 上，此时对机组进行全面的检查，检查汽轮机、发电机和励磁机的运行情况。这时机组主油泵进出口油压之差应为 0.6MPa 左右；脉冲油压与主油泵进口油压之差应为 0.3MPa 左右，润滑油压为 0.08 ~ 0.12MPa；轴承油温、油流正常；测量每个轴承三个方向上（垂直、水平、横向）的振动数值，均应小于 0.05mm。将检查、运行情况及达到全速时间记录在“运行试车记录”上。如果油压不正常，必须先调整油压，然后才能作其他调整工作。

1）校验排气管道的安全装置（脉冲阀与安全阀的组合）一般是将背压排气管道上向空排气阀逐渐关小，以排汽温度升高不超过 4℃/min 的速度，使背压逐渐升高，这时动作压力应为 1.44 ~ 1.46MPa，否则应及时调整。试验完后应将安全装置复位。

2）打开抽汽器冷却水阀门，使水侧充水，缓开进汽阀，使汽封冒汽管有小量蒸汽冒出。关闭蒸汽管路疏水阀、调节级后疏水阀和背压排汽管路上的疏水阀。

3）调速保安系统试验：

① 手拍危急遮断油门（二次），将主汽阀、抽汽阀及调速汽阀，迅速严密关闭。

② 试验轴向位移遮断器（二次），测取“位移—油压”曲线。

③ 试验磁力断路油门。

④ 在两个方向旋转同步器手轮，转速能平稳上升和下降。

⑤ 危急遮断器自动试验，动作转速一般为 3300 ~ 3600r/min，如拒绝动作，应立即手拍危急遮断器，停机调整，试验合格后应将紧固螺钉铆死。危急遮断器动作后，应将主汽阀手轮迅速旋转到底，当转速下降到 3000r/min 时，可将危急遮断器油门重新挂上，再开主汽门，恢复额定转速。

⑥ 汽轮机进行调速系统空负荷静态特试验。

4）发电机进行开机试验。如果条件允许，应将发电机与电网并列一下，目的是发现更多的问题（包括汽轮机），然后停机处理，并做好机组 72h 试运行的准备工作。

6. 试发电操作

汽轮机及发电机空转正常后，即可进行试发电。实际上汽轮机一经冲动运转，发电机即由剩磁建立了电压，因此在整个汽轮机起动的过程中，电气人员要密切注意发电机空转的情况，各部的声响、轴温、油温、振动、集电环电刷、各部温度及冷却器的水门是否正常。

当汽轮机达到额定转速且正常运转后，电气控制室接到汽轮机人员的“汽机正常、可以并列”的信号时，如已准备齐备，即可回复“准备完毕，立即投励”的讯号，这时电气人员应进行以下的开机操作：

1）合上发电机出线总开关合闸回路的小断路器或装好熔丝，合上发电机操作电源的小断路器或装好熔丝，并将馈电柜上所有分路的隔离开关、负荷开关拉掉。

2）合上发电机励磁开关，缓慢调节磁场变阻器，将电压升至额定值，并检查有无零序电压。

3）合上发电机的同期开关，并将同期表转换开关打在“粗调”位置，然后调整发电机的转速和电压使之与系统的频率、电压相等，再将同期表转换开关打在“细调”位置，经调节到同期时合上发电机出线总开关，将发电机输出电压送到母线上。这里要注意，无论并网或不并网都应按并网操作，以免发生误操作。

4）升压过程中应注意的事项

① 发电机三相电压应平衡相等，高压机组可在电压互感器开口三角形上接电压表测试；同时电压应相对稳定。

② 发电机三相电流应为零，如有电流，说明定子回路或二次回路接线有误，如电度表的电流、电压线圈反接等。

③ 核对发电机的空载特性，应与厂商提供的数据相符，否则转子绕组有层间短路或磁场中心偏移等。

④ 电压升至额定值后三相电压的频率是基本稳定的，一般应为（50 ± 0.1）Hz，否则说明汽轮机的转速不稳定或汽压不稳以至转子不均衡等。

⑤　汽轮机、发电机的振动应符合要求。

⑥　其他有关事项可参阅本章第二节柴油发电机组。

7. 发电机负荷运行及负荷调整

发电机空载运行正常后，并网或不并网即可按规定带负荷运行。有功负荷增加的速度应按发电机容量的大小，冷热状态的不同而定。我们规定发电机定子绕组或铁心的温度在其额定值的50%及以上时，发电机即处于热态（一般为60℃），低于额定值的50%时，发电机即处于冷态。

1）汽轮发电机在冷态并入电网或不并网时，即可带50%的额定负荷，从50%～100%额定负荷的速度应按运行情况增加，一般是使发电机进入热态以后即可一一增加。

2）在热态或事故（指其他机组或电网故障影响用电的事故）时，不受限制即可带至额定负荷运行。

发电机的负荷运行，通常按发电机的额定电流来衡量，因此负荷运行时要密切注意发电机的三相电流。这时即可将馈电屏的开关合上，把电流送到用电系统中去，通过负荷的增减控制发电机的电流。

3）发电机有功负荷的调整主要是调整汽轮机的进气量。发电机输出功率是在$\delta=90°$时最大，其中δ指发电机定子磁场与转子磁场中心线的夹角，因此进气门的开度不是随意的，而是应使转子加速在$\delta\leqslant 90°$的范围内；否则，$\delta>90°$的发电机将失步运行，发电机的功率会下降，并进入不稳定区运行。

发电机无功负荷的调整主要是调整发电机的励磁电流。励磁电流大，感性负载重，发电机端电压低；为了维持端电压为额定电压，就要增加励磁电流，这样无功功率增加，使定子与转子磁极间的磁拉力增大，发电机运行稳定。但是，当发电机端电压较高时，励磁电流的减小会影响发电的稳定运行，因此我们规定了发电机的功率因数不超过滞后0.95，也就是保证无功与有功的比值为1/3。当系统装有自动电压校正器时，必要时可在$\cos\phi=1$上运行，并允许短时间在超前0.95～1.0的范围内运行。

因此，试运行中监视功率因数表是很必要的，上述两点在机组试运行中要引起注意。

8. 发电机试运行中机电联系信号的使用

汽轮发电机组的车间内噪声较大，在试车运行中，应用电话或布话机联系并用规定机电联系的信号，通常由汽机值班员和电控值班员互相联系，值班员接到对方发来的信号后应先复诵一遍，然后无条件执行。任何操作的执行必须由两人进行，其中一人作为监护。

9. 机组的停机操作

电气方得到停机命令后应进行下列操作：

回复停机信号；

停用强励及自动电压校正器；

逐渐降低发电机有功、无功负荷至零；

拉开发电机总出线开关；

将磁场变阻器返回至最大值位置；

关断励磁开关；

关闭同期开关并将其调至粗调位置；

关闭操作电源小空开或取下熔丝；

关闭总开关合闸回路小空开或取下熔丝。

汽轮机方得到电气方回复的停机信号后，如正常停车，则应进行下列准备工作。

与锅炉车间联络、检查主汽阀阀杆、校验汽动油泵、检查盘车装置、逐渐减小负荷，用同步器将负荷降到零，减负荷速度如下：

100%负荷→25%负荷的速度为10%负荷/min；

25%负荷→0的速度为5%负荷/min；

共计10min。

然后进行下列操作：

手拍危急油门，将主汽阀关严，检查转速是否下降，开启汽缸、蒸汽和抽油管道上的疏水阀；

关闭背压管道电动主闸阀，打开对空排汽门，停汽封加热器；

关闭主蒸汽管路上电动主闸阀（隔离阀），开启防腐阀及有关疏水阀门。

在停机降速的过程中要注意以下事项：

①　严密注意汽轮机油泵是否自动投入运行，否则应手动开启，维持润滑系统油压不低于0.04MPa，当油压低于0.04～0.05MPa时，电动机泵应自动起动；

②　停机时，转子惯性转动时间约为15～18min，应注意测听汽轮机、发电机、励磁机内部及轴承部位的声响，注意轴承、机座的振动情况；

③　停机后，辅助油泵需继续运行2～3h，以冷却轴承；

④　当冷油器出口温度降至35℃以下时，可停用冷油器；

⑤　转子停止后，为了使下次起动顺利，应利用盘车装置盘车，每次起动盘车装置前必须注意先起动辅助油泵，盘车使用时间表见表8-40；

⑥　停机后应检查所有的电气开关、汽水阀门应恢复起动前的正常状态；

⑦　停机后应注意观察仪表盘上各部位温度情况；

⑧　总结前段试车情况。

表 8-40 盘车使用时间表

转子静止后时间	盘车时间间隔	盘车度数
2h 内	每 15min 盘车一次	180°
2～8h	每 30min 盘车一次	180°
8～12h	每 60min 盘车一次	180°

四、余热发电机组试运行的监护

1. 汽轮机的运行监护

1）主汽阀前蒸汽参数应保持在规定范围内，以保持汽轮机组在最佳经济状态下运行，见表 8-41。应及时调整各项运行指标，保持机组处于最佳状态。

2）汽轮机在运行中，各轴承进油温度应保持在 35～45℃之间，温升一般不超过 10～15℃。

3）经常监视各指示仪表，至少每 60min 抄表一次，示值应在正常范围之内。定期维护保养仪表，并进行校验或加表油。

4）定时对机组进行巡视检查，重点是转速、监视段压力、各轴承的油温、油流和振动情况以及汽、水、油系统的严密情况。

5）定时检查油箱油位及油路系统，保持滤网清洁畅通，注意及时调整轴封蒸汽压力。监视汽动油泵运行情况，以严防漏汽到油系统内使油质恶化。定期化验油质。

6）检查调速汽阀开关情况，防止阀杆卡涩，检查主汽阀等重要阀门的阀杆有无卡涩咬死现象，一般在小负荷时进行。

表 8-41

额定参数	变化范围
3.5MPa（绝）	3.45～3.55MPa（绝）
435℃	430～440℃
2.9MPa（绝）	2.85～2.95MPa（绝）
400℃	395～405℃

7）调节系统传动连杆活节处、滚轮处及传动部位应加润滑油。

8）汽轮油泵自起动装置应随时处于准备起动状态。

9）油系统的滤网、冷却水滤水器的滤网要经常保持清洁畅通，定期或不定期检查清理。

10）定时对汽轮机进行测听和检查，特别是负荷显著变化时、主蒸汽压力和温度有较大变化时、轴向位移增加时、有异常声响时，运行方式改变时更要注意。

11）保持设备清洁，通过巡检和擦试设备发现不正常现象。

2. 发电机组的运行监护

（1）定时巡视发电机、励磁机运行情况　测听各部声响，有无过热或火花，振动是否超标，注意仪表运行情况，至少每 60min 记录一次。

（2）温度的监测　主要有定子线圈温度和转子线圈温度，可参考电动机线圈温度见表 7-33；进出风温度，见表 8-42；轴承温度，一般在 60℃左右，进油温度一般在 35～45℃之间。

表 8-42 发电机进出风温度

（单位：℃）

额定温度	最低允许进风温度	最高允许进风温度	进出风温升最高允许值	两侧进风温差最高允许值
35～40	0～20 以不凝结（水珠为准）	50	25	3

（3）负荷（电流）的监测　在正常情况下，发电机不允许过负荷运行，当进风温度低于额定进风温度每 1℃时，允许定子电流升高 0.5% 额定电流，此时转子电流亦允许相应增加。一般机组把进口温度规定在 10℃之内。

在特殊情况下允许短时超过额定电流的 20%，时间 15min；或 15%，时间 60min。

当发电机进风温度高于额定值时，应按规定降低输出电流，其数值一般不超过表 8-43 的规定。

表 8-43 发电机进风温度与定子电流的关系

规定值	进风温度每高于额定值 1℃时所降电流率			
温度/℃	35～40	40～45	45～50	50℃以上
下降率（%）	1	1.5	2	3

在事故情况下允许短时过负荷运行，应加强进出风温度、力率、频率、电压的监视，允许过负荷的数值和时间应按表 8-44 的规定执行。

表 8-44 发电机过负荷倍数与时间的关系

定子电流对额定电流的比值	1.1	1.12	1.15	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	2
允许时间/（min）	60	30	15	6	5	4	3	2	1

（4）电压的监测　当电压在额定值的±5%范围内变化时是允许长期运行而不降低输出功率。电压变化而引起电流变化的关系见表8-45。电压、电流的监测除上述内容外，应根据负载的情况尽力保持三相的平衡。

表8-45　发电机定子电压与电流的关系

额定线电压（%）	110	109	108	107	106	105	100	95	90	85
额定电流（%）	84	86.5	88.5	91	93	95	100	105	105	105

（5）频率的监测　频率应在50Hz左右，一般不超过±0.2Hz，最大不超过±0.5Hz，否则应与电网解列。

（6）绝缘电阻的监测　定子回路和励磁回路的绝缘电阻应在安装前后、开机前、停机后测量。对运行中的励磁回路的绝缘电阻R应每8h测算一次，数值来自控制屏励磁电压表和电压切换开关读出对地的电压数值，按下式求出：

$$R = R_v\left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right) \times 10^{-6} \qquad (8\text{-}5)$$

式中　R——励磁回路的绝缘电阻（MΩ）；

U——励磁机端电压（V）；

U_1——正极对地电压（V）；

U_2——负极对地电压（V）；

R_v——电压表内阻（Ω）。

U_1和U_2均为零，说明绝缘良好无接地；当$U_1 + U_2 = U$时，说明励磁回路有一点接地，应投入转子两点保护接地，查明原因予以清除。

（7）功率因数的监测　发电机的功率因数一般为0.80，为保证运行的稳定性，最大不超过滞后0.95，在装有自动调整励磁装置时，可在1.0时运行，特殊情况允许短时在超前0.95～1.0运行，这时要特别注意防止振荡和失步。

发电机组运行中主要的监视项目与电动机、变压器基本相同，即温升和声响，此外还应注意振动情况，一般不超过0.07mm。

五、余热发电机组试运行中故障的处理

1. 汽轮机的故障处理

1）当有下列任一情况发生时，且无法改变和恢复汽轮机正常工作时，应发出故障报警信号并立即故障停机：

①　汽轮机转速上升到3360r/min且危机遮断器不动作时；

②　汽轮机轴承强烈振动，超过0.07mm时；

③　主油泵发生故障，备用泵又不能投入时；

④　调速系统作大幅度摆动且无法恢复；调速油压和润滑油压不能满足正常运行时；

⑤　转子轴向位移超过0.7mm，而轴向位移遮断器不动作时；

⑥　轴承油温超过70℃或轴承内冒烟；

⑦　油系统着火且不能很快扑灭时；

⑧　油箱油位突然下降至下限以下时；

⑨　发生水冲击时；

⑩　汽轮机内部有不正常声响或有燃烧焦糊味时；

⑪　主蒸汽管或背压排气管道破裂时；

⑫　背压升高到1.46～1.47MPa而安全阀不动作时；

⑬　机组功率超过额定值而采取措施无效时；

⑭　主汽阀或调节汽阀卡涩不能活动时；

⑮　其他意外事故危及主机正常运行时。

2）主汽阀前蒸汽参数变化时应作以下处理：

①　主汽阀蒸汽压力超过3.55MPa，应通知锅炉车间迅速降压；当超过3.70MPa时，应关小隔离阀节流降压以保持主汽阀进气压力正常，如节流无效应立即故障停机。

②　主汽阀前温度达445～450℃时，应通知锅炉车间降温，当运行30min后仍未能降温时，应故障停机，并记录实际运行时间。

③　主蒸汽阀前蒸汽压力低于3.2MPa或温度低于420℃，应适当减小机组负荷。

3）汽轮机组并网后，甩电负荷时，电负荷骤降到零，转速升高时的处理。

①　迅速监视功率表，确认电负荷已降至零位。

②　切断调压器，使汽轮机由调速器维持空负荷运行，并通知有关部门。

③　当转速稳定后，将向空排汽阀打开，关闭背压管道上的电动排汽阀。

④　检查推力轴承温度，检查机组有无异常声响和振动，并调整汽封。

⑤　检查发电机运行情况，电流、温升、振动、音响等。

⑥　在电气部分恢复正常后，必须按照规定程序重新接带负荷。

⑦　如甩负荷引起危急遮断器动作，除按规定程序操作外，还需重开（先关）主汽阀维持机组空负荷运行，对于调速系统动态不合格缺陷，应尽快解

决。

4）机组并网后，甩热负荷时，将引起背压升高，安全阀动作的处理：

① 迅速检查功率表和蒸汽流量指示，确认负荷已降到零。

② 将向空排汽阀开启，关闭背压管道上的排汽阀，切断调压器此时安全阀应复位。

③ 检查轴承温度、检查机组有无异常声响及振动情况或其他异常，同时调整汽封。

④ 当供热部分恢复正常后，必须按照规定程序重带负荷运行。

背压机组在正常情况下，不允许在向空排汽方式下接带负荷运行，只有在危急情况下，才允许采用向空排汽带负荷运行，但此时要严格规定调节级后的极限运行压力，并严密监视。

2. 发电机组故障的处理

1）励磁机无剩磁：励磁机无剩磁，使发电机不能建立电压。一般应在第一次冲动汽轮机至1/3额定转速时，灭磁开关在断开位置，这时应用万用表测量励磁机的空载电压，一般为5V左右，且随着转速增加而增加，则说明励磁机有剩磁。此时若测无空载电压或在2V以下且不随转速增加，则说明无剩磁。此时应用6V蓄电池对励磁机励磁线圈进行充磁，恢复磁性。充磁时要注意极性，电池正极接励磁线圈正极，电池负接励磁线圈负极，同时把励磁开关拉闸，充磁时间应按实际情况而定，一般不小于10s。如充磁后仍未能建立电压，应从以下几方面寻查原因。

① 检查励磁机出线连接是否正确，是否因为励磁线圈与电枢中间极线圈的出线连接接反，抵消剩磁。

② 检查励磁机励磁线圈回路是否断路，串联的电流表是否接好，电流表是否良好准确等。

③ 励磁机电刷与整流子接触是否良好，整流子表面是否不洁或电刷压力不够等。

④ 励磁机电刷不在正负磁极的几何中性位置上，使电枢反应的减磁作用而消磁等。

⑤ 励磁机正负极是否短路。

2）发电机中性点侧星形联结电流互感器相序接反，见图8-54a。这里要注意发电机差动保护电路中，中性点侧的电流互感器的相位及极性应与出线端的相位必须一致。

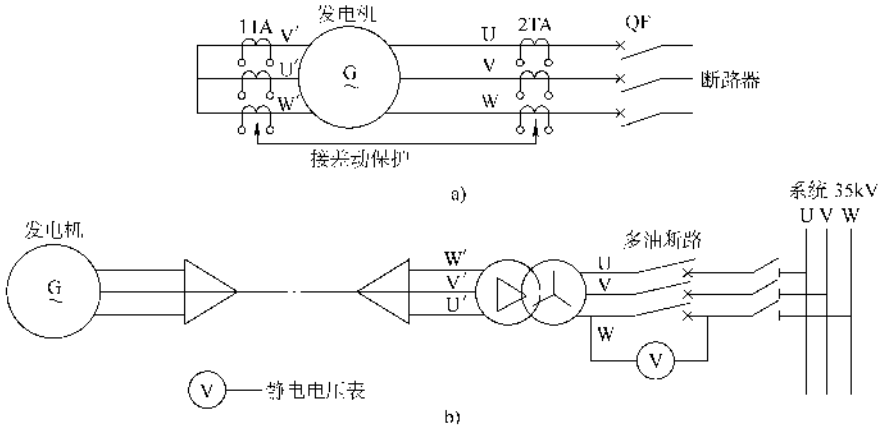


图 8-54 相序反接

a）1TA 相序接反 b）发电机出线相序接反

3）发电机—变压器组发电机侧一次相位接反发电机经变压器与系统并网时，发电机、变压器与系统的相序三者要对应一致。图8-54b所示为错误接线，发电机的相序要以制造厂标注的相序为准。

4）发电机主开关及励磁开关自动跳闸：事故特征：表针指到最大或零位、继电器动作、有关保护掉牌，强励装置动作、发电机负荷降到零位，开关指示红灯熄灭，绿灯闪光，音响报警信号动作，锅炉安全阀可能动作等。这时应先解除灯光、音响信号，将发电机磁场电阻回至最大位置，停用自动装置，检查继电保护动作情况并按此相应处理。

① 低压闭锁过流动作跳闸的处理：

发出“注意—解列”信号；

根据运行方式切换备用电源；

若事故是由于系统、母线或其他用电故障引起，则可在隔离故障点后（切除故障点）对发电机零起

升压，正常后并网发电进入工作状态；

若由于其他故障应修复后重新投入运行；

②　差动或转子二点接地保护动作跳闸的处理：

发出“注意—停机”信号；

进行电源的切换工作；

对发电机本体及差动保护范围内的各部进行检查，并进行修复。

5）发电机的振荡和失步的处理：事故特征包括，发电机定子电流表、功率表、电压表指针向两侧剧烈摆动，且电压下降；励磁电压电流表的指针在正常值附近摆动；发电机发出鸣叫声且与表针摆动节奏一致，强励磁装置可能间歇动作。若几台机组并列运行，其中失步机组的表针摆动幅度最大，方向与其他正常机组及系统联络线路相反。如果所有并列机组的表针与系统联络线路表针摆动方向一致，则说明系统中的其他部分失步。

①　发出“注意”信号；

②　根据表针摆动的幅度和方向判断是某台机组失步，还是系统失步；

③　若某台机组失步而自动调整励磁装置未投入，应迅速调整磁场变阻器，尽可能地增加发电机的励磁电流，并降低有功负荷将失步机拉入同步；

④　当自动调整励磁装置投入运行，应适当减小有功负荷使转子加速不致过大，以进入同步；

⑤　调整无效，且失步时间超过 2min 应将失步机解列，发出“解列”信号；

⑥　如果为系统间失步，经过 2min 应考虑与系统解列运行。

6）发电机变成调相机运行的处理：事故特征包括，发电机有功表突然指示为零以下；锅炉安全阀可能动作；无功表指示升高；定子电流表指示下降，转子回路表针正常。

①　当自动电压较正器未投入时，可调整磁场变阻器降低减小励磁电流无功功率到正常值；

②　发出“注意”信号；

③　如系人为误操作碰击危急保安器或有关保护使主汽阀关闭，则即可恢复运行且接带负荷，不必解列。

7）发电机失去励磁的处理：事故特征包括，转子电流为零或接近于零；转子电压可能升高或降低；定子电流显著增加并摆动；发电机有功和电压降低并摆动，与其并列的其他机组在自动电压校正器投入时无功自动止升；该机无功指示到负值，功率因数超前，汽轮机转速升高发电机失去同期，表针摆动。

①　发出“注意”信号；

②　将失磁机组的强励及自动电压校正器切除；

③　对于凸极式转子是不允许无励磁运行的，失磁后应立与系列解列，发“注意—解列”信号，故障排除后再并网运行；

④　对于整体转子、失磁后应降低有功负荷，一般可带 60% 的负荷运行，运行时间不超过 30min，消除后使其同步，不必解列，否则应停机检查。

8）发电机逆励磁的处理。事故特征包括，励磁电流、电压表的指针均指向零以下，其他表针正常。发生在运行中时，发电机由失步到同步的过程中表针将剧烈摆动。

①　对于在开机并列前发生的逆励磁，可能是接线错误或电气试验反充磁等原因，改正后按图样要求进行充磁。

②　在运行中发生逆励磁时应先停用自动装置，将励磁电流、电压表的接线头调换一下，不必解列发电机，可在下次停机后将励磁机极性和表针接线正式接好。

9）发电机开机时电压不能升起的处理：事故特征：发电机到额定转速后，合上励磁开关调节磁场变阻器时励磁电流表、电压表、发电机定子电压表都无指示。

①　检查励磁开关是否闭合良好；

②　检查励磁回路有无断线，接触是否良好，励磁机电刷位置是否正确并在两极电刷上测量有无电压；

③　检查励磁机的励磁线圈极性是否与图样相符；

④　如剩磁消失应充磁。

10）励磁系统两点接地的处理：运行中的发电机励磁系统发生一点接地时，励磁系统与地未形成回路，励磁回路仍正常，发电机可继续运行，但必须查出故障点并消除。在故障未消除前而又非下列情况时，应投入两点接地保护装置。

①　经查确为发电机转子外接连线发生一点接地。

②　经查确为励磁机的励磁绕组发生一点接地。

一般情况下总是在发生一点接地时即投入两点接地保护，如再有一点接地，保护就动作，特征包括：

a. 发电机控制屏或信号屏发出“励磁回路两点接地”或“掉牌未复位”信号。

b. 有关表针指针摆动、发电机主开关和励磁开关跳闸、并有声光报警信号。

c. 故障切除前可能听到发电机内部有响声和机组振动。

③ 对于未装设转子两点接地保护的发电机，在发生两点接地时的特征包括：

a. 转子电流增加，严重时骤增，电刷打火。

b. 励磁电压下降，严重时迅速下降。

c. 无功表指示下降，严重时变为负值，功率因数变为超前，电压校正器输出电流增加，有可能失步。

d. 发电机定子电流增加，定子电压下降。

e. 发电机发生强烈振动，内部可能有火花。

f. 与其并列的发电机无功上升（指有电压校正器时）。

④ 处理方法

a. 对于有两点接地保护的发电机：

复归声光信号；

发出“注意—停机”信号；

切除自动装置并将磁场变阻调至最大位置；

停机后对发电机转子回路进行检查并消除故障。

b. 对于未装两点接地保护的发电机：

利用发电机励磁回路绝缘监察装置经常检查回路的绝缘电阻，发现问题隐患及时根除。

出现上述现象和特征后应与系统电网解列并停机检查并彻底消除。

六、并网操作

汽轮发电机组试运行正常以后，征得供电部门的允许即可进行并网操作。并网操作是一项重要而关键的技术，由于操作不当或时机掌握不准即会发生严重事故，短路电流可达额定电流 20～30 倍，定子转子线圈端部将严重变形，还可使机轴发生弯曲而损坏机组。容量较大的机组还会影响电力系统甚至构成重大事故。

1. 并网操作的必要条件

并网是在核相基础上进行，操作时必须具备下列四个条件：

1）待并发电机组的相序与运行电力系统的相序必须相同；

2）待并发电机组的三相电压的相位与运行电力系统三相电压的相位相同，允许相位差 ±15°电角；

3）待并发电机组的电压有效值与运行电力系统电压有效值相等，允许压差 ±5% 额定值；

4）待并发电机组的频率与运行电力系统的频率相等，允许频率差 ±0.1Hz。

2. 并网操作的程序

见图 8-51、图 8-52。

1）核实“发电机三相出线相位与系统电源相位是否一致及发电机一次相位相对应的二次同期电压回是否正确”的核相资料记录，确认相序的一致。

2）用电话联系，向汽轮机发出“并列”的信号，同时将电力负荷减到最小限度，必要时可将负荷全部甩掉；汽轮机方应保持稳定的额定转速；并作好紧急停车的准备，机组人员进入并车状态工作；调节励磁的磁场变阻器手柄或旋钮应握在手内，双眼紧盯仪表盘，操作监护人已到位进入工作状态；锅炉出口汽压应稳定。

3）操作人员尽量将发电机的电压与系统电压调整一致，并掌握稳定一致时的持续时间，掌握规律。

4）操作人员尽量将发电机的频率与系统频率调整一致，同时掌握稳定一致时的持续时间，掌握规律。

5）观察发电机和电力系统的相位表，掌握相差在 ±10°（应小于允许误差）时的规律。

6）核校同步表的同期点，也就是发电机电压与系统电压差值达到最小时同期表指针的位置（同期点）防止接至同步表上的电压线相位接错。掌握到达同期点的规律，特别是即将到达同期点到同期点的时间间隔及规律。

7）当发电机和系统中的电压表、相位表、频率表的指针读数同时达到允许并列值时且同期表的指针向同期点偏移即将到达同期点时（这里要注意一定是还没有达到同期点只差一点时），即可操作合闸回路，使 101#断路器合闸，发电机即可安全进入并列运行。

3. 并列操作的注意事项

1）同期并列时发电机侧和系统侧使用的电工仪表（电压表、频率表、相位表、同期表）应检定合格，精度一般应在 0.5 级以内，且接线正确无误，牢固可靠，必要时应有两套仪表。一套是同期盘上的固定仪表，一套是临时配接的同期仪表（一般由供电部门提供）。

2）同期并列前应彻底检查所有二次接线，必须保证正确无误。

3）同期并列时应有供电部门的技术人员参加，必要时要邀请有并列经验的人员参加。

4）同期并列时，锅炉、汽轮机、发电机及其附属配套设备应运行正常，且进入并列投切状态。

5）并列的低压配电室送电一样，应有组织方案或计划、安全防护措施、技术交底、通信联络、消防设施见第七章第七节相关内容。

最后将电气安装工程中（包括低压发电设备）测试及调整时常用的仪器仪表及工具列出，供读者参考，见表 8-46～表 8-48。

表 8-46　常用仪表、仪器的结构型式及用途

名称	结构型式	用　　途
交流电流表	电磁式、电动式	测交流电流有效值
直流电流表	电磁式、电动式	测恒定直流及整流电流有效值
交流电压表	电磁式、电动式	测交流电压有效值
直流电压表	电磁式、电动式	测恒定直流及整流电压平均值
直流毫伏表	磁电式	测量直流毫伏级电压，标准毫伏表用于校验外附分流器的直流电流表
直流毫安表	磁电式	测量直流毫安级电流，标准毫安表用于校验毫安表
直流微安表	磁电式	主要为标准表，用以校验小量程毫安表，测表头电流，高压泄漏试验用
交流毫安表	电磁式	测量交流毫安级电流、校验小量程电流表，测差动保护电流、校验接地保护等
	整流式	测量交流毫安级电流，波形对误差的影响较大，作为标准仪表用、内阻大
瓦特表	电动式	测量交直流功率，标准表用于校验盘式功率表和电度表
	铁磁电动式	测量交流功率，测直流功率误差较大
功率因数表	电动式	测量功率因数，标准表用于校验盘式表
	铁磁电动式	测量功率因数
频率表	指针型（电动、铁磁电动型）、数字式	测量交流频率，标准表用于校验盘式频率表和低周率继电器
	振簧式	测量交流频率

名称	结构型式	用　　途
单臂电桥（惠斯通电桥）	如 QJ2 型	测量中、小电阻，如仪表附加电阻、线圈电阻等
双臂电桥（凯尔文电桥）	如 QJ44 型	测量欧姆级以下小电阻，如导线电阻、接触电阻
电阻箱	ZX-54 型 ZX-25 型	校验仪表等
手提电位差计	UJ-36	测量低电压，如数伏以下较准确的测量，或校验仪表
电位差计	如 UJ9、UJ1	作为标准器校验标准仪表
欧姆表		作为不太精确的电阻测量
绝缘电阻表	如 ZC-7 型	测定绝缘电阻
万用表	如 MF47、U101、数字万用表等	用于不太精确的测量，如测量交、直流电流、电压、电阻等。也有的可测电容、电感、半导体晶体管特性、分贝等
示波器	光线示波器如 SC-16	测量和拍摄电气量波形
	电子示波器	测量电气量波形
标准电度表	如 DBZ 型	校验盘式电度表，做有关电机、变压器特性试验
移相器		改变电流电压间相位，用以校验仪表如功率表、继电器（接地、方向、距离继电器等）
钳形电流表		不断开回路，可直接测量交流电流
接地电阻表		测量接地极的接地电阻
半导体点式温度计		测量电气接点、线圈温度

表 8-47 常用工具一览表

序号	名称	规格	主要用途
1	钢丝钳	150～200mm	剪线、拆卸较小零件
2	平口钳	125mm	拆卸仪表零件
3	尖嘴钳	125mm	剪线、拆卸小零件
4	偏口钳	125mm	切割连接导线
5	剥线钳	140、180mm	剥削连接导线
6	手虎钳	25mm	机械加工
7	台虎钳	100mm	机械加工
8	管子台虎钳	1 号(10～73mm)	金属管螺纹加工
9	管钳子	150～300mm	管路安装、检修
10	电工刀	88、112mm	剥削电缆头
11	剪刀	1 号(抛光)	剪表垫、纸
12	铁皮剪刀	2 号	机械加工
13	玻璃刀	—	割表面玻璃
14	割管刀	ϕ6mm	切割管材
15	木把螺钉旋具	50～150mm	拆装平口螺钉
16	胶把螺钉旋具	40～75mm	拆装小平口螺钉
17	十字花螺钉旋具	40～100mm	拆装十字花螺钉
18	钟表钉旋具	1～6 号	拆装小螺钉
19	钟表拿子	双头	拔轴夹,夹 ϕ2mm 以下丝料
20	活扳手	100～150mm	维修、安装工具
21	活扳手	200～400mm	维修、安装工具
22	单头扳手	18 件	拆装螺钉工具
23	双头死扳手	6、8、10 件	拆装螺钉工具
24	两用扳手	6、8、10 件	拆装螺钉工具
25	套筒扳手	6、9、10、13、17 件	拆装螺钉工具
26	梅花扳手	6、8 件	拆装螺钉工具
27	内六角扳手	13 件	拆装内六角螺钉
28	什锦组锉	12 支	小零件锉削加工
29	板锉	100mm 中齿	锉削加工
30	扁锉	200mm 细齿	锉削加工
31	方锉	150mm 中齿	锉削加工
32	三角锉	150mm 中齿	锉削加工
33	半圆锉	150mm 中齿	锉削加工
34	圆锉	150mm 中齿	锉削加工
35	木锉	300mm	绝缘板加工
36	板牙	M1～6、1M2～6	螺纹加工
37	英制板牙		螺纹加工
38	板牙板手	2～6mm	螺纹加工
39	丝锥	M1～6、1M2～6	螺纹加工
40	英制丝锥		螺纹加工
41	丝锥扳手	2～6mm	螺纹加工
42	螺纹卡规		测量螺距
43	钢板尺	150、300、500mm	测量长度
44	钢卷尺	2m	测量长度
45	直角尺		安装设备用
46	水平尺	小号	安装仪表用
47	游标卡尺	0～125±0.05mm	精密测量零件长度及内外圆直径
48	千分尺	0～25±0.01mm	精密测量零件及导线直径
49	卡钳	内、外卡	测量内外圆直径
50	钳工划规	中号	密封垫、机加工划线
51	冲子	尖	机械加工
52	凿子	扁形、窄形	机械加工
53	麻花钻头	ϕ1～10	钻孔
54	带丝	—	管螺纹加工
55	钟表手锤	—	修理工具
56	钟表铁砧台	—	垫敲工具
57	钟表镊子	不锈钢	拆卸小零件
58	钟表汽油刷	—	清洗零件
59	钟表三角油石	天然	磨轴尖、喷嘴
60	目放大镜	3～5 倍	检查小零件
61	手电钻	ϕ6 单相	钻孔
62	冲击电钻	—	墙面钻孔
63	射钉枪	ϕ8	固定螺钉
64	弓锯	可调整式	机械加工
65	钳工手锤	0.5、1kg	机械加工
66	铜锤	0.5kg	机械加工
67	木锤	小号	机械加工
68	弯管器	15～40mm	金属管煨弯
69	电烙铁	20、45、75、100W	焊接线路
70	试电笔	100～550V	测试电源
71	绕线机	手动	绕制线圈
72	打孔器	6 件	制作小垫圈
73	喷灯	—	焊接
74	字符冲子	数字、字母	铭牌、位号编制
75	绘图仪器	18 件	绘制表盘刻度
76	图形组冲	25 件	拆装仪表零件
77	台式车床	—	机械加工

表 8-48　锯条的选择

锯齿粗细	每 25mm 内的齿数	使用场合
粗	14～18	软钢、钢、工具钢、铸铁、黄铜、铝
中	24	钢管、铜管
细	32	薄片金属、薄壁管子

柴油发电机组自动投入试验见表 8-49。

低压备用电源的安装（包括风力发电机组），有关发电机、电动机、低压电器、盘柜安装等项目的质量标准和检验试验方见表 7-64～表 7-90 等相关内容。

表 8-49　柴油发电机机组自动投入试验签证

柴油机型号		启动方式		冷却方式	
发电机组型号		额定容量 kW		励磁方式 A	
制造厂家		出厂编号		出厂日期	
自动投入试验前检查					
盘内部清洁		盘内孔洞封堵		电缆挂牌	
二次接线标志		仪表使用有效期		室内消防设施	
一次回路绝缘对地 MΩ		二次回路对地绝缘 MΩ		蓄电池容量	

自动投入试验检查

启动试验	就地启动，自动启动闭锁试验	
	开关在试验位置，厂用电源正常，发电机出口开关在分闸位置，启动试验	
	开关在维护位置，向集控室发指示信号，闭锁手动及自动启动试验	
	厂用电源恢复，手动切换恢复厂用电源，并手动停柴油发电机组试验	

跳主开关保护动作	过电流保护		就地信号	接地保护		远方信号	自启动失败	
	欠电压保护			冷却水温度高			异常总信号	
	差动保护			润滑油压低			故障总信号	
				润滑油温高				
				柴油机超速				

柴油机自启动时间 s		柴油发电机启动至带负荷时间 s	

自动投入试验结论：

（本柴油发电机组自动投入试验，达到制造厂及设计要求）

质检机构	验　收　意　见	签　　名
工　　地		年　月　日
质 检 部		年　月　日
监　　理		年　月　日
建设单位		年　月　日

第五节 风力发电机组的安装调试

风力发电机组本身的技术含量很高，它包括了现代风力发电和控制技术的所有内容，从机组结构、性能到控制系统几乎全是高科技产品，这样便保证了机组本身的质量和功能，使系统的调试变成了较为简单的事情。通过工程实践，我们深深地了解到风力发电机组的安装主要是基础的浇注及养护，塔架（筒）的质量及塔架、机头、风叶的吊装。风力发电机一般为690V，因此我们放在本章讲述。风力发电机组发电后由二级升压后送至电网。其中，升压变压器（690/35000V）、集电线路（35kV架空线路）及升压站（35000/110000V）则是电气工程中常规的项目，我们将在第十章～第十二章讲述。

一、风力发电机组及其控制系统简介

（一）风力发电机组

风力发电机组可分为风叶、机头、塔筒和基础几个部分，见图8-55。

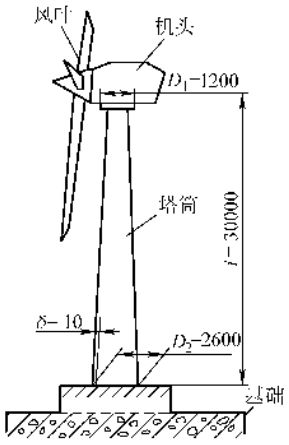


图8-55 风力发电机组

风叶是获取风中能量的关键部件，由叶片和轮毂组成。叶片具有空气动力外形，在气流作用下产生力距驱动风轮转动，通过轮毂将扭矩输入到传动系统。风叶按叶片数可以分为单叶片、双叶片、三叶片和多叶片风轮。其中三叶片风轮由于稳定性好，在风力发电机组上得到广泛应用。

机舱由底盘和机舱罩组成，底盘上安装除了控制器以外的主要部件。机舱罩后部的上方装有风速和风向传感器，舱壁上有隔音和通风装置等，底部与塔架连接。

塔架支撑机舱达到所需要的高度，其上安置发电机和控制器之间的动力电缆、控制和通信电缆，还装有供操作人员上下机舱的扶梯。塔架结构一般为筒形。桁架形式很少用。

基础为钢筋混凝土结构，根据当地地质情况设计成不同的形式。其中心预置与塔架连接的基础部件，保证将风力发电机组牢牢固定在基础上。基础周围还要设置预防雷击的接地系统。

风力发电机组由传动系统、偏航系统、液压系统与制动系统、发电机、控制与安全系统等组成。

传动系统包括主轴、齿轮箱和联轴节。轮毂与主轴固定连接，将风轮的扭矩传递给齿轮箱。有的风力发电机组将主轴与齿轮箱的输入轴合为一体。大型风力发电机组风轮的转速一般在10～30r/min范围内，通过齿轮箱增速到发电机的同步转速1500r/min（或1000r/min），经高速轴、联轴节驱动发电机旋转。

偏航系统的功能就是跟踪风向的变化，驱动机舱围绕塔架中心线旋转，使风轮扫掠面与风向保持垂直。风向标是偏航系统的传感器，将风向信号发给控制器，经过与风轮的方位进行比较后，发出指令给偏航电动机或液压电动机，驱动小齿轮沿着与塔架顶部固定的大齿圈移动，经过偏航轴承使机舱转动，直到风轮对准风向后停止。偏航轴承分为滑动型和滚动型，有的具备自锁功能，有的设置强制制动，都应设置阻尼满足机舱转动时平稳不发生振动的要求。

液压系统主要是为油缸和制动器提供必要的驱动压力，有的强制润滑型齿轮箱也需要液压系统供油。液压站由电动机、油泵、油箱、过滤器、管路及各种液压阀等组成。

制动系统主要分为空气动力制动和机械制动两部分，定桨距风轮的叶尖扰流器旋转约90°，或变桨距风轮处于顺桨位置均利用空气阻力使风轮减速或停止，属于空气动力制动。在主轴或齿轮箱的高速输出轴上设置的盘式制动器，属于机械制动。

发电机将风轮的机械能转换为电能，一般为异步发电机或同步发电机两种。

（二）控制系统

控制系统包括控制和监测两部分，控制部分又分为手动和自动。运行人员可在现场根据需要进行手动控制，自动控制应该在无人值守的条件下实施运行人员设置的控制策略，保证机组正常安全运行。监测部分将各种传感器采集到的数据送到控制器，经过处理作为控制参数或作为原始记录储存起来，在机组控制器的显示屏上可以查询，也要送到风电场中央控制室的计算机系统。

安全系统要保证机组在发生非正常情况时立即停机，预防或减轻故障损失，关键部件采用“失效-保护”。制动系统的叶尖制动片在运行时是利用液压系统的高压油保持叶尖制动片与叶片外形组合成一个整体，同时保持机械制动器的制动钳处于松开状态。一旦发生液压系统失灵或电网停电，叶尖制动片和制动钳将在弹簧作用下立即使叶尖制动片旋转约 90°，制动钳变为夹紧状态，风轮被制动停止旋转。控制系统框图见图 8-56。

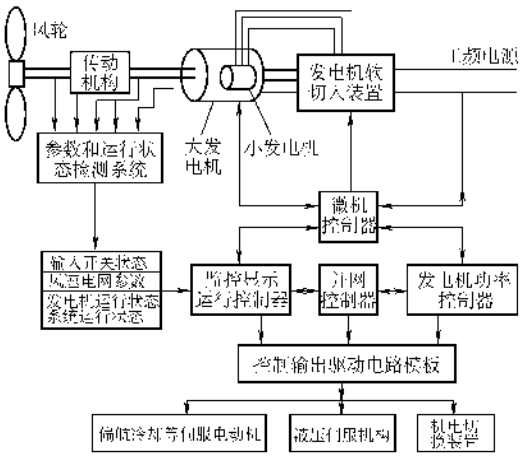


图 8-56　控制系统组成框图

恒速恒频风力发电机组一般控制系统由微机控制器（包括监控显示运行控制器、并网控制器、发电机功率控制器）、运行状态数据监测系统、控制输出驱动电路模板（输出伺服电动机、液压伺服机构、机电切换装置）等系统组成，主要有空气断路器，控制切换接触器，过电流，过电压及避雷保护器件，电流、电压及温度的变换电路，发电机并网控制装置，偏航控制系统，相位补偿系统，停机制动控制装置。传感信号主要由信号接口电路完成，它们向计算机控制器提供电气隔离标准信号。这些信号有模拟量 20 点、开关量 60 多点、频率量 10 多点，信号的电压和电流范围一般为工业标准信号。

1. 控制系统输入信号

系统监测的参数有三相电压、三相电流、电网频率、功率因数、输出功率、发电机转速、风轮转速、发电机绕组温度、齿轮箱油温、环境温度、控制板温度、机械制动闸片磨损及温度、电缆扭绞、机舱振动、风速仪和风向标等。同时，系统还需监测各接触器的开关、液压阀压力状况、偏航运作和按键输入等情况。主要为系统的模拟输入量：发电机和电网的三相电压、三相电流和发电机绕组温度、齿轮箱油温、环境温度、传动机构等旋转机构的热升温度；频率输入量有风轮转速、发电机转速、风速仪、风向仪，偏航正反向计数、扭缆正反向计数等；开关输入量主要有按键信号 16 个、制动闸片磨损、制动闸片热、风向标 0°、风向标 90°、偏航顺时针传感、偏航逆时针传感、机舱振动、偏航电动机过载、旁路接触器状态、风轮液压压力信号（风轮转速过高时出现）、机械制动液压压力高、机械制动液压压力低、外部错误信号等。

2. 控制系统输出信号

系统的控制输出主要是控制各电磁阀、接触器线圈、空气断路器的开合输出。电磁阀和接触器侧的开合则与发电动机的并网、偏航电动机（顺时针和逆时针）的动作、相位补偿的三步投切、空气制动及机械制动系统的动作等。还有系统的软并网和软脱网控制，对变桨距风力发电机组还要求根据风速变化调节变桨距而控制输出。

二、基础的施工

风力发电机组的基础是机组正常运行的最根本的保证，基础的施工必须按设计和当地实际情况进行，除了加强监理以外，提高项目经理和施工人员的技术技能也是根本的保证。必须保证灰、砂、石、水、温度、钢筋及搅拌、养护的每个环节，才能保证基础施工的质量。

1. 风力发电机基础

均为现浇钢筋混凝土独立基础。根据风电场场址工程地质条件和地基承载力以及基础荷载、尺寸大小不同，从结构的形式看，常用的可分为块状基础和框架式基础两种。

块状基础，即实体重力式基础，应用广泛，对基础进行动力分析时，可以忽略基础的变形，并将基础作为刚性体来处理，而仅考虑地基的变形。按其结构剖面又可分为倒“凹”形和“凸”形两种；前者见图 8-57，基础整个为方形实体钢筋混凝土的后者见图 8-58。后者与前者相比，均属实体基础，区别在于扩展的底座盘上回填土也成了基础重力的一部分，这样可节省材料降低费用。

框架式基础为桩基群与平面板梁的组合体，可分为摩擦桩基和端承桩基两种。桩上的荷载由桩侧摩擦力和桩端阻力共同承受的为摩擦桩基础；桩上负载主要由桩端阻力承受的则为端承桩基础。

根据基础与塔架（机身）连接方式又可分为地脚螺栓式和法兰筒式两种类型基础。前者塔架用螺母与尼龙弹垫平垫固定在地脚螺栓上，后者塔架法兰与基础段法兰用螺栓对接。

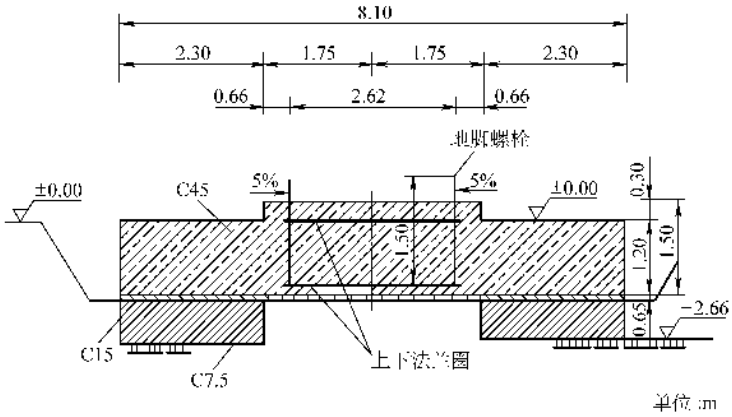


图 8-57 凹形基础结构

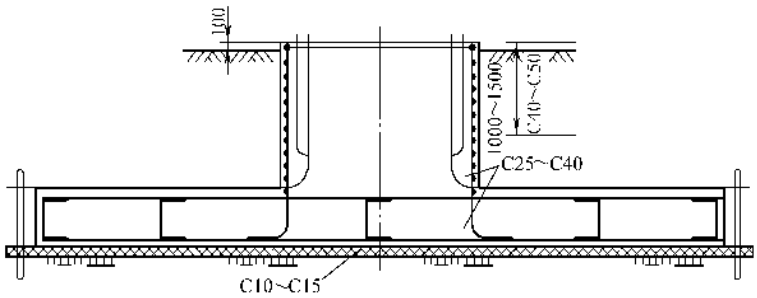


图 8-58 凸形基础结构

地脚螺栓式又分为单排螺栓、双排螺栓、单排螺栓带上下法兰圈等。

2. 风力发电机组基础设计的基本条件

风力发电机组的基础用于安装、支承风力发电机组，平衡风力发电机组在运行过程中所产生的各种载荷，以保证机组安全、稳定地运行。因此，地基基础的设计必须满足两个基本条件：

1）要求作用于地基上的载荷不超过地基容许的承载能力，以保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备。

2）控制基础的沉降，使其不超过地基容许的变形值。以保证风力发电机组不因地基的变形而损坏或影响机组的正常运行。因此，风力发电机组基础设计的前期准备工作是保证机组正常运行必不可少的重要环境。

3. 基础施工的注意事项

1）所有的材料必须经过相应资质的单位进行检验化验，并出据报告；

2）混凝土应使用商品混凝；

3）施工人员应有浇注大型柱型混凝土的经验；

4）工序质量检验和监理必须到位。

4. 基础施工时接地装置的敷设

基础施工时，电气施工人员，一是要及时埋设接地极及接地引线；二是要与监理同时监督基础钢筋的焊接，即双面焊，焊缝长度 200mm，确保接地系统的施工质量。

接地装置必须在基础回垫土前测试接地电阻，应符合设计要求。

按地装置的设置必须按 GB 50169—2006 执行。

三、设备的运输

设备的运输在风电工程中是一个难点，一般情况下，安装单位不要承担设备运输的合同。因为风电的设备超重、超长、超高、超宽，运输上无论采用何种方式都有绝大的困难，特别是工期较短、运输距离很长、卸货地点一般多为山区高原，更增加了困难。一般应采取公路运输，直接到安装现场。

因此，作为安装单位必须承接运输时，应转包给

专业运输单位，或由制造厂负责运输，并在合同条款中明确到货日期、途中意外事故责任、装载超限等条款。

同时应注意以下几点：

1）在采用公路汽车运输方案时，应会同承运单位对道路路况做全面了解，并对途中隧道桥涵的最高允许通过的装载高度、桥梁的最大允许载重逐一落实，当通过低等级路面时，对公路的最小转弯半径、最大横坡角度、凹坑和鞍式路面、过水路面等认真考察，发现有不宜直接通过的情况时，提前做好应对措施。

2）提前办好超限运输的手续，并按交通运输管理部门的要求准备好在汽车上设置的超限标准。严格遵守公路运输的规定。

3）采用铁路运输时，尽量不使装载超限。

4）无论采用何种运输方式，都应安排有经验的技术人员随车前往，并专车带领必要数量的人员，携带必要的工具、材料，如枕木、三角木、钢丝绳、跳板、垫木、蚂蝗钉、铁丝、千斤顶、铁锨、十字镐、大锤、棕绳等，随平板车同行，以处理小桥加固、鞍式路面垫高、隧道前拆卸超高的机舱盖和包装等应急事宜。

5）如果公路转弯半径很小，弯道很急，平板车无法正常通过的地方，可考虑使用合适吨位的汽车式吊车，采用吊车辅助移位法，帮助平板车通过弯道。采用此法，应事先与承运单位汽车驾驶员和吊车司机商定移位操作方法，并需注意安全操作。

6）运输塔架前，应对易变形的上段塔架上法兰进行内部防变形支撑处理，通常多采用筋板焊接方式，在塔架吊装完成后再去除点焊的支撑。

7）注意制造厂对风力发电机组运输的要求和提示。并满足这些要求，必要应由制造厂运输，以减小风险。

8）设备运输，安全第一，必要时应由有经验的人介入。

汽车运输方式见图 8-59。

图 8-59　汽车运输方式

四、塔筒的吊装和安装

1. 准备工作

1）检查并确认风力发电机组基础已验收，符合安装要求。

2）设备已经检验合格，并办理相关手续。

3）确认安装当日气象条件适宜，地面最大风速不超过 12m/s。

4）由制造厂技术人员会同建设单位、安装单位组织有关人员认真阅读和熟悉风力发电机组制造厂随机提供的安装手册。

5）以制造厂技术人员为主，组织安装队伍，并明确安装现场的唯一指挥者人选。设备的吊装必须有 1～2 名经验丰富的起重工和吊车司机，对超重、超长、超高杆件的吊装有几年的实践经验，并配以精通吊装计算的技术人员协助工作。同时配有 3～5 名高级钳工。

6）现场指挥和起重工、司机共同制定详细的安装作业计划。明确工作岗位，责任到人，明确安装作业顺序、操作程序、技术要求、安全要求，明确各工序各岗位使用的安装设备、工具、量具、用具、辅助

材料、油料等，并按需分别准备妥当。

7）清理安装现场，去除杂物，清理出大型车辆通道。

8）清理风力发电机组基础，清理基础环工作表面（法兰的上、下端面和螺栓孔），对使用地脚螺栓的，清理螺栓螺纹表面、去除防锈包装、加涂机油，个别损伤的螺纹用板牙修复。

9）安装用的大、小吊车已按要求落实，并进驻现场试吊和检验正常。

10）安装用的螺栓、焊条等各种材料及辅助材料必须经过检查或试验，确保施工质量。

2. 吊装程序

塔筒（架）吊装一般有两种方式。一种是使用起重质量为50t左右的吊车先将下段吊装就位，待吊装机舱和风轮时，再吊剩余的中、上段，这样可减少大吨位吊车的使用时间，适用于一次吊装风力发电机组数量少，且为地脚螺栓或基础结构。吊装时还需配备一台起重质量为16t以上的小吊车配合“抬吊”。另一种方式是一次吊装的台数较多，除使用50t吊车外，还使用起重质量大于130t，起吊高度大于塔筒（架）总高度2m以上的大吊车，一次将所有塔架各段全部吊装完成。塔筒（架）吊装时，由于连接用的紧固螺栓数量多，紧固螺栓占用时间长，有可能时，尽量提前单独完成，且宜采用流水作业方式一次连续吊装多台，以提高吊车利用率。特别是需调平上法兰上平面的采用地脚螺栓的风力发电机组塔筒（架），耗时更长。

3. 塔筒（架）安装

（1）塔筒（架）与基础环连接

1）清洁塔筒（架）油漆表面，对漆膜缺损处补漆处理；清理塔筒（架）下段下法兰端面及基础环上法兰端面，在基础环上法兰端面上涂密封胶。

2）采用大吨位主吊车与小吨位副吊车双机抬吊塔筒（架），预先将主副吊具固定于两端法兰上，通过吊具主吊车吊塔架小直径端，副吊车吊塔筒（架）大直径端，双机将塔筒（架）吊离地面后，在空中转90°角，副吊车脱钩，同时卸去该端吊具。

3）下端塔筒（架）工作门按标记方位对正后，徐徐下放塔架，借助两根小撬杠对正螺孔后，在相对180°方位先插入两只已涂过MoS_2油脂的螺栓，手拧紧螺母后，再将其余所有涂好MoS_2油脂的螺栓插入，用手拧紧螺母后放松吊绳，按对角拧紧法分两次拧紧螺栓至规定力矩。在第一次拧紧螺栓后去除主吊车吊钩。

4）塔筒（架）中、上段按上述双机抬吊方法依次安装，对接时注意对正塔内直梯。塔筒（架）紧固连接后，用连接板连接各段间直梯，并将上、下段间安全保护钢丝绳按规定方法固定。

5）若不立即吊装机头和控制柜时，应将工作门锁住，以防大风侵袭。

6）结构上不设下平台，控制柜直接放置在塔内混凝土基础上的，在吊装下段塔架前，应先使控制柜就位。

（2）塔筒（架）通过地脚螺栓与基础连接

1）清理基础表面，去掉地脚螺栓防锈包装，将所有地脚螺栓上的下调节螺母的上端面调至同一水平面。

2）塔筒（架）下段清洁后，按前述双机抬吊法使塔筒（架）纵轴线铅垂，借助小撬杠使塔架下法兰螺栓孔与所有螺栓对正，下放塔筒（架），使所有地脚螺栓插入下法兰孔中。

3）待下法兰下端面与下调节螺母接触后，将地脚螺栓总数1/3数量的上调节螺母拧入，稍放松吊车吊绳，并按对角法紧至约相当70%规定力矩。

4）一般应用U形连通管法或经纬仪检验塔筒（架）上法兰上平面与水平面的平行度以及纵轴线与水平面的垂直度，并用调节螺母调节，使其达到安装手册标准规定的要求后，紧固螺母，并把其余螺母全上紧，去除吊车吊钩。

5）依次把中、上段塔筒（架）用双机抬吊法安装，并按规定扭紧力矩用对角法分两次紧固连接螺栓。

6）重复上述操作，复验平行度和垂直度，若未达到要求，采用调节地脚螺母使之达到要求。

7）进行二次混凝土浇注，把塔筒（架）下段法兰下端面与基础上平面之间的环状空间填满。应注意，要按工艺要求采用加有早凝剂的膨胀水泥，且浇注采用手工捣固时应充分。塔筒（架）的吊装见图8-60。

4. 注意事项

1）起吊前起重工必须仔细检查吊点和钢索有无不妥。

2）起重工、安装钳工、司机及现场施工人员必须沟通协作，不得以任何理由发生口角或冲突。

3）严格遵守安全操作规程，杜绝酒后作业。

五、机头的吊装和安装

1. 准备工作　同塔筒吊装。

2. 安装程序

1）铰链式机舱盖的机头，打开分成左右两半的

机舱盖，挂好吊带或钢丝绳，保持机头底部的偏航轴承下平面处于水平位置，即可吊装于塔顶法兰上。

2）水平剖分机舱盖的机头，与机舱盖需先后分两次吊装。

3）已装好轮毂并装有两个叶片的机头，吊装前切记锁紧风轮轴并调紧刹车。

3. 吊装安装

见图 8-61。

1）打开铰链式机头盖，或卸去水平剖分式机头盖，清理机头内底板表面油污，搬去所有不相干的暂放物品，固定电力电缆和控制电缆。

2）将轮毂前平盖板，机舱内各有关护罩、紧固螺栓等固定在机头内。

3）挂好起吊钢丝绳吊具，调整其长度，使机头下部的偏航轴承下平面在试吊时处于水平位置，若调不出水平状态，应按安装手册提示，加用足够起重量的手动吊葫芦调平。

4）清理塔筒架上法兰平面和螺孔，去除运输时的法兰支撑，在法兰上平面涂密封胶，连接塔架-机舱偏航轴承的紧固螺栓表面涂 MoS_2 油脂，绑好稳定机舱用的拉绳。

a)

图 8-60　塔筒吊装示意图

b)

c)

d)

e)

图 8-60 （续）

a）塔筒的调装（一） b）塔筒吊装（二） c）风叶吊装 d）塔筒吊装 e）塔筒吊装

5）起吊机舱至处于上法兰上方，使两者位置大致对正，间隙约在 10mm 时，调整并确认机舱纵轴线与当时风向垂直。

6）利用两只小撬杠定位先装上几只固定螺栓，并拧入螺栓，徐徐下放机头至间隙为零，但吊绳仍处于受力状态，用手拧紧所有螺栓后放松吊绳。

7）按对角法分两次拧紧螺栓至规定力矩，去除吊绳。

8）安装偏航刹车，接通液压油管。

4. 注意事项

1）机头安装是在塔筒最顶部，在筒内顶部作业的人必须做到一旦落到内法兰上应迅速穿入两条对角线上的螺栓，确保安全。

2）其他同塔筒吊装。

六、风叶的吊装

1. 准备工作

同塔筒吊装。

2. 安装程序

1）一种是在地面上将三个叶片与风叶叶毂连接好，并调好叶片安装角（有叶片加长节的，也一并连接好）；

2）另一种方法是在地面上，把风叶叶毂与机舱的风轮轴连接，同时安装好离地面水平线有 120°角度的两个风轮叶片，第三个叶片待机舱吊装至塔架顶后再安装；

3）风叶吊装：用两台吊车“抬吊”，并由主吊车吊住上扬的两个叶片的叶根，完成空中 90°翻身调向，撤开副吊车后与已装好在塔架顶上的机头风叶轴对接，见图 8-62。

3. 风叶组装

图 8-61　机头吊装示意图

1）组装在风力发电机组安装现场进行。组装前安装点应清理干净、相对平坦、垫木、叶片支架及吊带、工具、油料均应备齐到现场，风轮轮毂、叶片均已去除外包装、防锈内包装，工作表面擦拭干净。

2）用吊带吊运，使轮毂与三只叶片就位，轮毂迎风面与叶片前缘均向上。

3）按已确定的叶片安装角对准标记，分别把三只叶片与轮毂连接，确认安装角不超差后，按对角法分两次将连接螺栓上紧至规定力矩。安装角误差一般不得超过半度。

4）安装叶片的叶尖。

5）进行以上操作时，均应按手册在相关零件表面涂密封胶或 MoS_2 油脂。

4. 安装风叶

1）用三副吊带分别绑轮毂三个叶根处，同时分别把三根拉绳在叶片和叶尖转轴上绑好。

2）主吊车吊两个叶根吊带，副吊车吊第三个叶根吊带，水平吊起，在主吊车钩徐徐上升过程中，副吊车钩徐徐下放，使风轮从起吊时状态逐渐倾斜，当风叶叶毂高度超过风轮半径尺寸约 2m 时，风轮只由主吊车吊住，完成空中 90°转身，松去副吊车吊绳，通过人拉三根拉绳，使风轮轴线处于水平位置，继续吊升风轮使之与机头主轴连接法兰对接。

3）松开机头内盘式刹车，转动齿轮箱轴，使主轴与风叶轮毂法兰螺孔相对。

4）安装人员系好安全带由机舱开口处从外部进入风叶叶毂中心，完成固定螺栓的紧固工作。当已紧固的螺栓数超过总数的一半，若安装手册另有规定时按规定数且在圆周均匀分布。轮毂内的安装人员撤回机舱，刹紧盘式制动，松开并去除主吊绳。

5）松开盘式制动，借助齿轮箱输出轴旋转风轮至适当位置后，重新刹紧盘式制动，安装人员再次进入轮毂，完成其余螺栓连接作业，并按规定力矩上紧。

6）安装主轴端分油器，并连接液压管路。

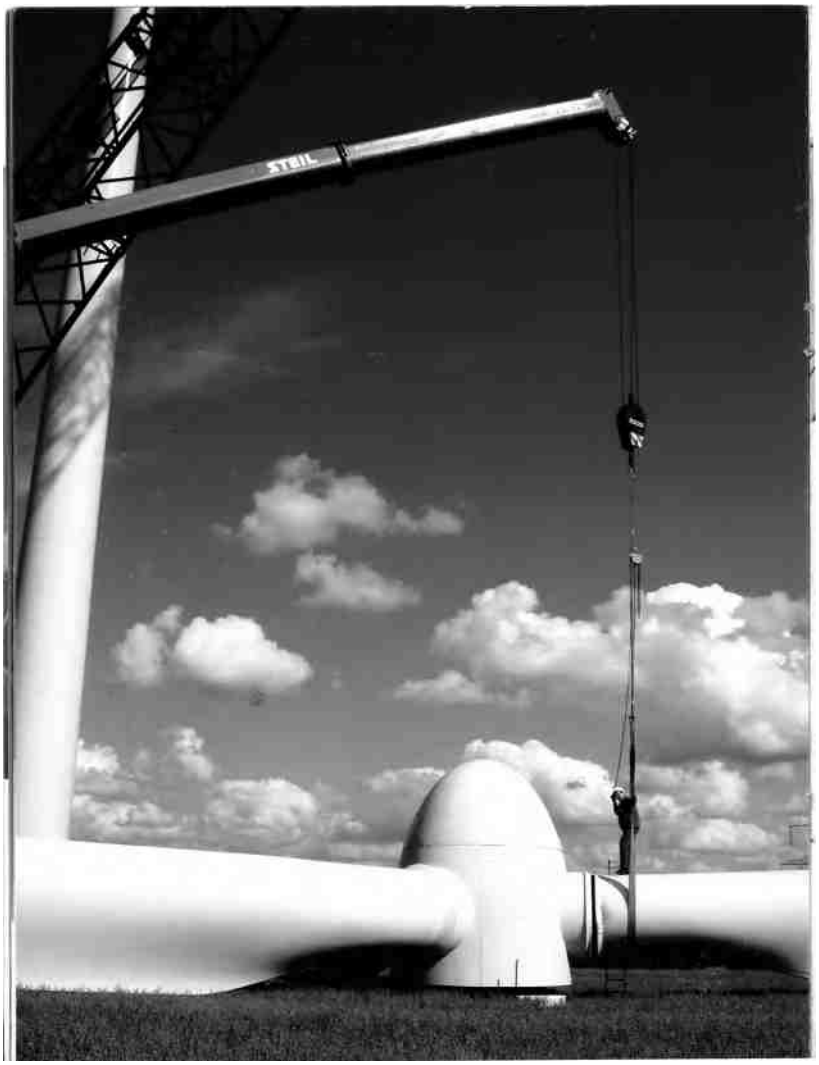


图 8-62 风叶的吊装

7）安装轮毂平盖板，安装人员撤回。

8）吊装水平剖分式机舱盖。

5. 注意事项

1）风叶安装是在机头开口法兰处与风叶叶毂法兰对接，作业人员必须做到一旦两法兰对接应迅速穿入两条对角线上的螺栓，确保安全。

2）其他同上。

七、电气系统的安装

风力发电机组电气系统的安装主要项目有盘柜及二次线安装、线缆及管路安装、接地系统安装等，基本与低压动力系统安装相同。不同的是盘柜安装除第七章讲述的内容外，增加了微机控制系统、各类传感器及自动控制系统。另外，风力发电系统的接地要求很严格，应按设计图样要求进行敷设。

（一）安装调试方法

（1）元件、设备、材料的检查和试验　详见第五、七章，要求相同。

（2）管线缆安装　详见第四章、第二章、第十章和第十一章的内容，要求相同。

（3）盘柜及二次线安装　详见第七章、第十二章、第十八章相关内容，要求相同。对于微机、传感器及自动控制系统还应详细阅读厂商提供的安装使用说明书和图样，并按其要求进行安装调试。

（4）接地防雷系统安装　详见第十四章的内容，要求相同。

风力发电机组是近几年兴起的科技含量较高的新型自然能源，这方面的标准规范不大健全。因此，在进行安装调试时不得低于现行相关标准规范的要求。

（二）安装调整试验注意事项

安装调整试验注意事项基本与照明、动力、变配

电相同，这里仅将风力发电机组易出现的故障列出，供读者参考。

1. 事故原因分析

（1）机组因素　产生故障的原因来自构成风力发电机组控制系统本身，是由构成系统的硬件或软件所产生的故障。例如，硬件连线开路、短路；接插件接触不良；焊接工艺不好；所用元器件失效；元器件经长期使用后性能变坏；软件上的种种错误以及系统内部各部分之间的相互影响等。

（2）环境因素　风力发电机所处的恶劣环境会对其控制系统施加更大的应力，使系统故障显著增加。当环境温度过高或过低时，控制系统都容易发生故障。环境因素除环境温度外，还有湿度、冲击、振动、压力、粉尘、盐雾以及电网电压的波动与干扰；周围环境的电磁干扰等。所有这些外部环境的影响在进行系统设计时都要认真加以考虑，力求克服它们所造成的不利影响。

（3）人为因素　风力发电机组控制系统是由人来设计而后供人来使用的。因此，由于人为因素而使系统产生故障是客观存在的。例如，在进行电路设计、结构设计、工艺设计以至于热设计、防止电磁干扰设计中，设计人员考虑不周或疏忽大意，必然会给后来研制的系统带来后患。在进行软件设计时，设计人员忽视了某些条件，在调试时又没有检查出来，则在系统运行中一旦进入这部分软件，必然会产生错误。

2. 控制系统的硬件故障

（1）硬件故障　构成风力发电机组控制系统的硬件从主机到外设，除了集成电路芯片、电阻、电容、电感、晶体管、电动机、继电器等许多元器件外，还包括插头、插座、印制电路板、按键、引线、焊点等。硬件的故障主要表现在这几个方面。

1）电气元件故障：电器故障主要是指电器装置、电气线路和连接、电气和电子元器件、电路板、接插件所产生的故障。

①　输入信号线路脱落或腐蚀；

②　控制线路、端子板、母线接触不良；

③　执行输出电动机过载或烧毁；

④　保护电路熔丝烧毁或断路器过电流保护；

⑤　热继电器安装不牢、接触不可靠、动触头机构卡住或触头烧毁；

⑥　中间继电器安装不牢、接触不可靠、动触头机构卡住或触头烧毁；

⑦　控制接触器安装不牢、接触不可靠、动触头机构卡住或触头烧毁；

⑧　配电箱过热或配电板损坏；

⑨　控制器输入/输出模板功能失效、强电烧毁或意外损坏。

2）机械故障：机械故障主要发生在风力发电机组控制系统的电气外设中。例如，在控制系统的专用外设中，伺服电动机卡死不动，移动部件卡死不走，阀门机械卡死等。

①　安全链开关弹簧复位失效；

②　偏航减速机齿轮卡死；

③　液压伺服机构电磁阀心卡涩，电磁阀线圈烧毁；

④　风速仪、风向仪转动轴承损坏；

⑤　转速传感器支架脱落；

⑥　液压泵堵塞或损坏。

3）传感器故障：这类故障主要是指风力发电机组控制系统的信号传感器所产生的故障，如闸片损坏引起的闸片磨损或破坏、风速风向仪的损坏等。

①　温度传感器引线振断、热电阻损坏；

②　磁电式转速电气信号传输失灵；

③　电压变换器和电流变换器对地短路或损坏；

④　速度继电器和振动继电器动作信号调整不准或给激励信号不动作；

⑤　开关状态信号传输线断或接触不良造成传感器不能工作。

（2）硬件本身产生的故障　硬件产生故障是指硬件本身失去了其基本功能，即元器件失效。

一种是突然失效，或称为灾难性失效。那是由于元器件参数的急剧变化造成的，经常表现为短路或开路状态。另一种称为退化失效，即元器件的参数或性能逐渐变坏。对一个硬件系统来说，尚有局部失效和整体失效，前者使系统的局部无法正常工作；而后者则使整个系统的整体无法正常工作。

（3）使用不当　在正常使用条件下，元器件有自己的有效期。经过若干时间的使用，它们逐渐衰老失效，这都是正常现象。在另一种情况下，如果不按照元器件的额定工作条件去使用它们，则元器件的故障率将大大提高。在实际使用中，许多硬件故障是由于使用不当造成的。因此，除在设计风力发电机组控制系统时，合理地选择元器件，以便获得高可靠性外，主要是加强机组及控制系统的维护保养及巡检工作，保证硬化工作在正常状态。

1）注意元器件的电气性能：确保它们在额定工作条件使用。

①　电阻器：电阻器的电气特性主要包括阻值、额定功率、误差、温度系数、温度范围、线性度、噪声、频率特性、稳定性等指标。在选用电阻器时，应

根据系统的工作情况和性能要求，选用合适的电阻器。例如，薄膜电阻可用于高频或脉冲电路；而线绕电阻只能用于低频或直流电路中。每个电阻都有一定的额定功率；不同的电阻温度系数也不一样。

② 电容器：容量、耐压、损耗、误差、温度系数、频率特性、线性度、温度范围等。例如，大的铝电解电容器在频率为几百兆赫时，会呈现感性。在电容耗损大时，应用于大功率场合会使电容发热烧坏。超过电容的耐压范围使用，电容很快就会击穿等。

③ 集成电路芯片：对不同的芯片，不同的用途应有特别要求，如工作电压、输入电平、工作最高频率、负载能力、开关特性、环境工作温度、电源电流等。

a. 74（或54）系列集成电路的最大工作电压比较低，在使用时应特别注意。其他如温度范围、负载能力等指标也应认真考虑。

b. 为了获得最快的开关速度和最好的抗干扰能力，与门及与非门的不用的输入端不要悬空。可以把它们接高电平；也可把一个固定输出高电平的门的输出接到这些输入端上；若前面输出有足够的负载能力，则可将不用的输入端并联在有用的输入端上。对于54LS或74LS系列的与门及与非门。它们的输入端有钳位二极管，可以将其不用的输入端直接接电源电压；无钳位二极管的与门或与非门，可以通过一个几千欧姆电阻接电源电压。

c. 注意电路的驱动能力。必须保证每块集成电路的负载都是合适的。

d. 集电极开路门负载电阻的计算。一般地说，非集电极开路门是不允许将它们的输出端线“或”运算的。而当选择合适的集电极开路门的负载之后，就可以实现这种门输出端的线“或”运算。在电路设计时，需确定一个合适的负载电阻值。此电阻有一个最大值，用以保证在输出均为高电平时，能为下级门提供足够的高电平输入电流。而且也为并联的各开路门提供高电平输出电流。另外，该电阻应有一个最小值，以保证当某一集电极开路门输出为低电平时，此电阻上流过足够的电流，确保输出为低电平。

e. 使用MOS及CMOS应注意的问题。在使用MOS及CMOS器件时，要特别防止静电损坏器件。人体静电是很高的，这与人所穿衣服、地面的绝缘程度等有很大关系，通常会有数千伏甚至一万多伏。因此，必须特别注意防静电，虽然现在许多MOS及CMOS器件都增加了防静电的齐纳二极管，起着保护器件的作用。

使用MOS及CMOS器件时，通常采用较高的电源电压，在与TTL电路相连接时，注意它们之间的电平转换。

2）环境因素的影响

① 温度：温度是影响硬件可靠性的一种条件。它对系统可靠性的影响是很大的。经验告诉我们，由于温度增高，微机应用系统故障率明显增加。

② 电源的影响：电源自身的波动、浪涌及瞬时掉电都会对电子元器件带来影响，加速其失效的速度。电源的冲击、通过电源进入微机应用系统的干扰、电源自身的强脉冲干扰，也会使系统的硬件产生暂时的或永久性故障。

③ 湿度的影响：湿度过高会使密封不良、气容性较差的元器件受到侵蚀。有些系统的工作环境不仅湿度大且具有腐蚀性气体或粉尘，或者湿度本身就是由于溶解有腐蚀性物质的液体所造成的，故元器件受到的损害会更大。

④ 振动、冲击的影响：振动和冲击可以损坏系统的部件或者使元器件断裂、脱焊、接触不良。不同频率、不同加速度的振动和冲击造成的后果不一样。

⑤ 其他应力的影响：如电磁干扰、压力、盐雾等许多因素，均需要在风力发电机组控制系统设计时加以考虑，尽可能减少环境应力的影响。

（4）结构及工艺上的原因 硬件故障中，由于结构不合理或工艺上的原因而引起故障，如某些元器件太靠近热源；需要通风的地方未能留出位置；将晶闸管、大继电器等产生较大干扰的器件放在易受干扰的元器件附近。

另外，焊点虚焊、印制电路板加工不良，金属氧化孔断开等工艺上的原因，都会使系统产生故障。

3. 控制系统软件设计中常见故障

（1）设计者没有认真进行需求调查 没有理解或者将用户的要求理解错了，则设计出的软件必然无法满足用户要求。

用户的需求是设计软件的依据、出发点。在进行系统设计中，包括软件设计之前，一定要彻底了解用户的要求，对这些要求要逐字逐句推敲。将你的理解与用户进行讨论，看双方对每一种要求的理解是否一致。用户与设计者在软件上要经常沟通，达到理解上的完全一致。

（2）编程中的错误 在软件设计者编写程序的过程中，经常会出现各种各样的错误。例如，在编程过程中，会出现语法错、语义错、定义域错、逻辑错、无法结束的死循环等。

（3）规范错误 要将用户的需求转化成软件，这中间必定要制定一系列的规范，以便顺利编程。所谓

规范就是解决问题的逻辑及算法规约。

（4）性能错误　性能错误是指所设计的软件性能与用户的要求相差太大，不能满足用户的性能要求，如软件的响应时间、执行时间、控制系统的精度等性能指标。风力发电机组控制系统在被测控的对象发生某种故障时，需要立即做出响应，包括系统自动保护，并向操作人员报警。若是响应时间太长，系统就有可能发生严重后果。

（5）中断与堆栈操作　软件设计中，中断和堆栈操作是极为有用的手段。在对某些事件的实时响应时，中断是必不可少的手段。在程序调用及对内存的某些快速操作中，经常会用到堆栈操作。这种操作使编程更加简单。

（6）人为因素　软件对设计人员有着极大的依赖性。软件故障的原因或是设计人员缺乏实践经验、或是对电气工程了解不深。因此，要求设计人员具有丰富的基础知识和软件编程能力，能够熟练地运用所使用的程序设计语言。在计算机的工程应用中，C 语言和汇编语言是不可缺少的程序设计语言，要求软件设计人员具有较好的数据结构及程序设计方法的知识，以便编出效率高、错误少的软件。

4. 减少故障出现的办法

（1）元器件的选择　合理地选择微机应用系统的元器件，先要确定系统的工作条件和工作环境，例如，系统工作电压、电流、频率等工作条件，以及环境温度、湿度、电源的波动和干扰等环境条件。同时预估系统在未来的运行中可能受到的各种条件影响、元器件的工作时间等因素，选择合适的元器件，满足上面所考虑到的各种条件。

（2）元器件的筛选　选择合适的元器件后应进行特性测试，对这些元器件施加外应力，经过一定时间的工作，再把它们的特性重新测一遍，剔除那些不合格的元器件。

在上述过程中所加的外应力可以是电的、热的、机械的等。在选择器件之后，使元器件工作在额定的电气条件下、在某些极限的条件下或加上其他外应力，如使它们同时工作在高温、高湿、振动、拉偏电压等应力下，连续工作数百小时，然后，再对它们进行测试并剔除不合格者。

（3）降额使用　元件或器件的额定工作条件是多方面的，其中包括电气的电压、电流、功耗、频率等，机械的压力、振动、冲击等及环境方面的温度、湿度、腐蚀等。元器件在降额使用时，就是设法降低这些条件，进一步测试元器件的性能和功能。

1）电子元器件的降额使用。

①　电阻器的降额使用主要是指降低它的工作时的功率。通常使电阻工作在它的额定功率的 0.1 ~ 0.6 倍之间，其工作环境温度在 45℃以下，这样的条件下，电阻器保持较低的失效率。

②　电容器的降额使用主要是指降低它们的工作电压。由于电容器种类繁多，所用材料也不一样，因此，降额使用的标准也有差别，一般工作电压选择在小于其额定电压的 60%，环境温度不要高于 45℃。

③　整流二极管及晶闸管器件的降额是指降低其电流，稳压二极管、晶体管的降额是指降低其功率损耗。一般工作在额定值的一半或更小，环境温度也最好在 45℃以下。

④　集成电路的降额使用主要考虑降低功耗，在保证工作的条件下，适当降低工作电压，同时减少其输出的负载。在它们的工作环境下，环境温度、湿度、振动、干扰等都应保持在较好的水平上。

2）机械、结构部件的降额使用。

（4）加强运行监护、维修保养，建立日、周、月、年巡视检查制度，随时记录元件、器件、设备的工作状态，及时更换变异元件，及时修复带病运行部件，使故障消灭在萌芽状态，必须做到防微杜渐，预防为主。

八、试发电运行

风力发电机组全部安装完毕并调整试验后，只要风力、集电线路和升压站的条件满足运行即可发电运行。一般条件下，风力发电厂都是单机安装完毕后即可发电，因为它只涉及机组本身的条件，除风力外与外界无关，这与水力、火力、核动力发电大不相同。风力发电机组试发电运行，主要满足以下要求。

（一）运行控制要求

1. 机组控制系统主要控制功率极限、风叶转速、电气负载、起动停机过程，电网或负载丢失时的停机、纽缆限制、机头对风迎风、运时电量及温度等。

机组保护系统主要是当控制失效、出现故障、危机状况机组非正常运行、超载、超速、振动、脱网停机失败等，机组保护系统动作保证机组安全停机待修。同时，系统有防雷系统，主电路和控制电路分别进行防雷保护。控制线路中每一个电源和信号输入端均设有防高压元件，主控柜设有良好的接地并提供简单而有效的疏雷通道。

2. 自动运行的控制要求

（1）开机并网控制　当风速 10min 平均值在系统工作区域内，机械闸松开，叶尖复位，风力作用于风轮旋转平面上，风力发电机组慢慢起动。当发电机转

速大于额定转速的20%并持续5min，转速仍达不到额定转速的60%，发电机进入电网软拖动状态。当转速达到软切转速时，风力发电机组进入软切入状态；当转速升到发电机同步转速时，旁路主接触器动作，机组并入电网运行。软切入控制方式是全自动的，见图8-63。

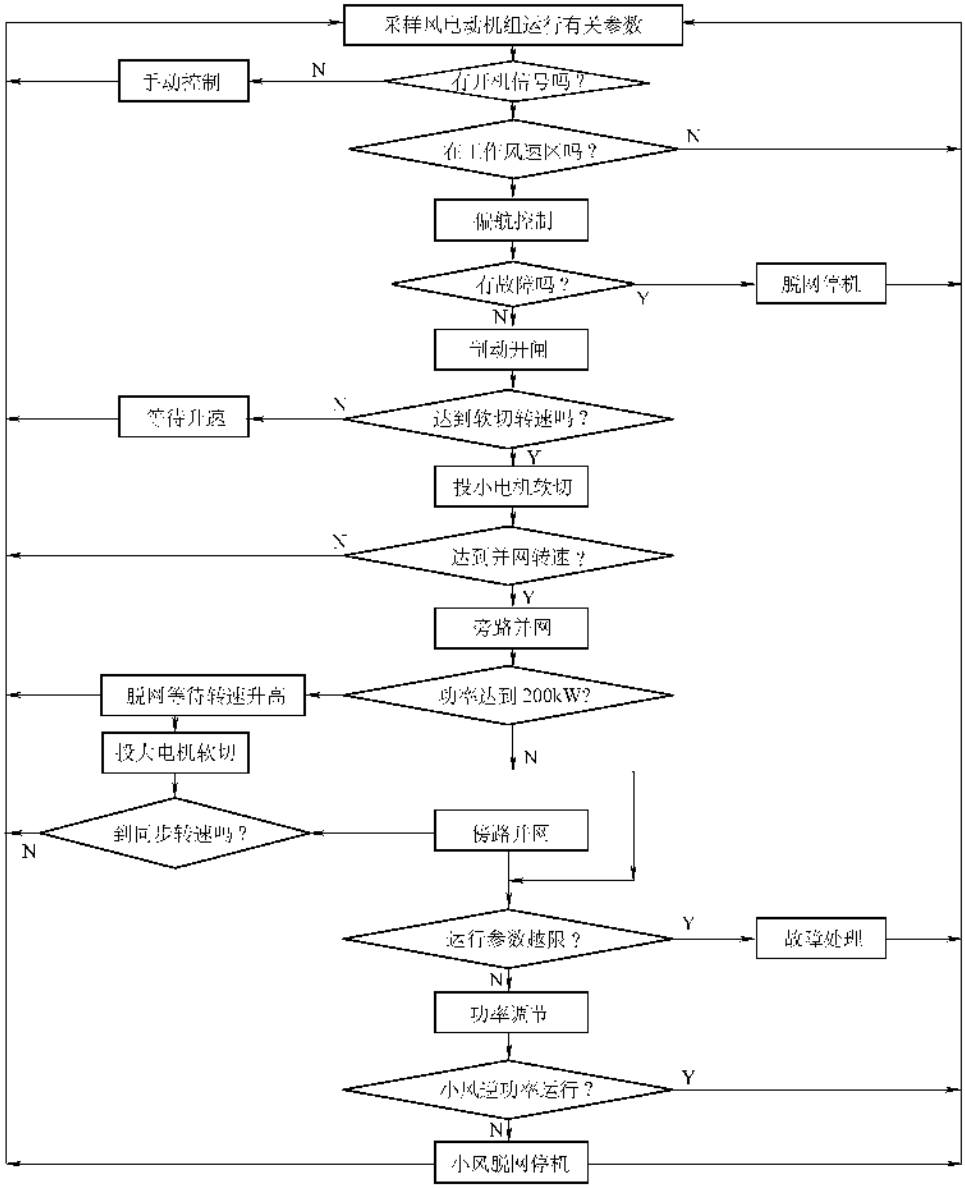


图8-63 控制系统工作流程图

主开关合上后，风力发电机组控制器准备自动动作。初始化—检查控制程序—微控制器硬件和外设—传感器来的脉冲及比较所选的操作参数，备份系统工作表，接着就正式起动。起动的第一秒钟内，先检查电网、设置各个计数器、输出机构初始工作状态及晶闸管的开通角。正常后，风力发电机组开始自动运行。用于风轮的叶尖本来是90°，现在恢复为0°，风轮开始转动。计算机开始时刻监测各个参数、输入，判断是否可以并网，判断参数有否超过极限、执行偏航、相位补偿、机械制动或空气制动。其中相位补偿的作用在于使功率因数保持在0.95～0.99之间。控制系统工作原理流程框图见图8-63。

（2）小风和逆功率脱网　小风和逆功率停机是将风力发电机组停在待风状态，当10min平均风速小于小风脱网风速或发电机输出功率负到一定值后，风力发电机组不允许长期在电网运行，必须脱网，处于自

由状态，风力发电机组靠自身的摩擦阻力缓慢停机，进入待风状态。当风速上升，风力发电机组自动旋转起来，达到并网转速后，风力发电机组又投入并网运行。

（3）普通故障脱网停机　机组运行时发生参数越限、状态异常等普通故障后，风力发电机组进入普通停机程序，机组投入气动制动，软脱网；待低速轴转速低于一定值后，再抱机械闸。这一现象是由于内部因素产生的可恢复故障，计算机可自行处理，即可恢复正常开机。

（4）紧急故障脱网停机　系统发生紧急故障如风力发电机组发生飞车、超速、振动及负载丢失等故障时，风力发电机组进入紧急停机程序，机组投入气动刹车的同时执行90°偏航控制，机舱旋转偏离主风向，转速达到一定限制后脱网，低速轴转速小于一定转速后，抱机械闸。

（5）安全链动作停机　安全链动作停机指电控制系统软保护控制失败时，为安全起见所采取的硬性停机即叶尖气动刹车、机械刹车和脱网同时动作，风力发电机组在几秒内停下来。

（6）大风脱网控制　当风速10min平均值大于25m/s时，风力发电机组必须进行大风脱网停机。先投入气动刹车，同时偏航90°，等功率下降后脱网，20s后或者低速轴转速小于一定值时，抱机械闸，风力发电机组完全停止。当风速回到工作风速区后，风力发电机组开始恢复自动对风，待转速上升后，风力发电机组又重新开始自动并网运行。

（7）对风控制　风力发电机组在工作风速区时，应根据机舱的控制灵敏度，确定每次偏航的调整角度。一般是按偏离的程度和风向传感器的灵敏度，及时调整机舱偏左和偏右的角度。

（8）偏转90°对风控制　当10min平均风速大于25m/s或风力发电机组转速大于转速超速上限时，风力发电机组作偏转90°控制，同时投入气动制动，脱网，转速降下来后，抱机械闸停机。

（9）功率调节　风力发电机组在额定风速以上并网运行时，发电机的功率不会超过额定功率的15%。一旦发生过载，必须脱网停机。

（10）软切入控制　风力发电机组在进入电网运行时，必须进行软切入控制，当机组脱离电网运行时，也必须软脱网控制。目的是通过不断监测机组的三相电流和发电机的运行状态，限制软切入装置通过控制主回路晶闸管的导通角，以控制发电机的端电压，达到限制起动电流的目的。在发电机转速接近同步转速时，旁路接触器动作，将主回路晶闸管断开，软切入过程结束，软并网成功。

3. 控制保护要求

（1）主电路保护　变压器低压侧三相四线进线处设置低压配电低压断路器，以实现机组电气元件的维护操作安全和短路过载保护。发电机三相电缆线入口处，也设有配电自动空气断路器，用来实现发电机的过电流、过载及短路保护。

（2）过电压、过电流保护　主电路计算机电源进线端、控制变压器进线端和有关伺服电动机进线端，均设置过电压、过电流保护措施。系统的整流电源、液压控制电源、稳压电源、控制电源一次侧、调向系统、液压系统、机械闸系统、补偿控制电容都设有过电流、过电压保护控制装置。

（3）防雷设施及熔丝　主避雷器与熔丝及合理可靠的接地线为系统主避雷保护，控制系统有专门的防雷保护装置。计算机电源及直流电源变压器一次侧及所有信号的输入端均设有相应的瞬时超电压和过电流保护装置。

（4）热继电保护　所有运转机构的发电机、电动机、各传动机构的过热、过载保护控制装置。

（5）接地保护　风力发电机组的零部件、传动装置、执行电动机、发电机、变压器、传感器、照明器具及其他电器的金属底座和外壳；电气设备的传动机构；塔架机舱配电装置的金属框架及金属门；配电、控制和保护用的盘（台、箱）的框架；交、直流电力电缆的接线盒和终端盒金属外壳及电缆的金属保护层和窜线的钢管；电流互感器和电压互感器的二次线圈；避雷器、保护间隙和电容器的底座、非金属护套信号线的1或2根屏蔽芯线等；上述均可靠接地。

（二）控制安全系统安全运行的技术要求

控制安全系统是风力发电机组安全运行的大脑指挥中心。控制系统的安全运行就是保证了机组安全运行。

风力发电机组在起停过程中，机组各部件将受到剧烈的机械应力的变化，其中起决定因素是风速变化引起的转速的变化。所以转速的控制是机组安全运行的关键。

1. 控制系统安全运行的必备条件

1）风力发电机组开关出线侧相序必须与并网电网相序一致，电压标称值相等，三相电压平衡。

2）风力发电机组安全链系统硬件运行正常。

3）调向系统处于正常状态，风速仪和风向标处于正常运行的状态。

4）制动和控制系统液压装置的油压、油温和油位在规定范围内。

5）齿轮箱油位和油温在正常范围。

6）各项保护装置均在正常位置，且保护值均与批准设定的值相符。

7）各控制电源处于接通位置。

8）监控系统显示正常运行状态。

9）在寒冷和潮湿地区，停止运行一个月以上的风力发电机组再投入运行前应检查绝缘，合格后才允许起动。

10）经维修的风力发电机组控制系统在投入起动前，应办理工作票终结手续。工作票的内容详见《新标准　电工安全技术365问》一书（机工版，白公主编）。

2. 风力发电机组工作参数的安全运行范围

（1）风速　自然界风的变化是随机的没有规律的，当风速在3～25m/s的规定工作范围时，只对风力发电机组的发电有影响，当风速变化率较大且风速超过25m/s以上时，则对机组的安全性产生威胁。

（2）转速　风力发电机组的风轮转速通常低于40r/min，发电机的最高转速不超过额定转速的20%，当风力发电机组超速时，对机组的安全性产生严重威胁。

（3）功率　额定风速以下时，不作功率调节控制，只有在额定风速以上应作限制最大功率的控制，通常运行安全最大功率不允许超过设计值20%。

（4）温度　运行中风力发电机组的各部件运转将会引起温升，通常控制器环境温度应为0～30℃，齿轮箱油温小于120℃，发电机温度小于150℃，传动等环节温度小于70℃。

（5）电压　发电电压允许的范围在设计值的10%，当瞬间值超过额定值的30%时，视为系统故障。

（6）频率　机组的发电频率应限制在50Hz±1Hz，否则视为系统故障。

（7）压力　机组的许多执行机构由液压执行机构完成，所以各液压站系统的压力必须监控，由压力开关设计额定值确定，一般低于100MPa。

3. 系统的接地保护安全要求

1）配电设备接地　变压器、开关设备和互感器外壳、配电柜、控制保护盘、金属构架、防雷设施及电缆头等设备必须接地。

2）塔筒与地基接地装置，接地体应水平敷设。塔内和地基的角钢基础及支架要用截面25mm×4mm的扁钢相连作接地干线，塔筒做一组，地基做一组，两者焊接相连形成接地网。

3）接地网形式以闭合型为好。当接地电阻不满足要求时，引入外部接地体。

4）接地体的外缘应闭合，外缘各角要作成圆弧形，其半径不宜小于均压带间距的一半，埋设深度应不小于0.6m，并敷设水平均压带。

5）变压器中线点的工作接地和保护地线，要分别与人工接地网连接。

6）避雷线宜设单独的接地装置。

7）整个接地网的接地电阻必须保证小于4Ω。

8）电缆线路的接地。

9）电缆在地下敷设，两端部应接地。

（三）控制与安全系统安装和维护的技术要求

1. 安全守则

详见《新标准　电工安全技术365问》一书（机工版，白公主编）。

1）维修前机组必须完全停止下来，各维修工作按安全操作规程进行。

2）工作前检查所有维修用设备仪器，严禁使用不符合安全要求的设备和工具。

3）各电器设备和线路的绝缘必须良好，非电工不准拆装电器设备和线路。

4）严格按设计要求进行控制系统硬件和线路安装，全面进行安全检查。

5）电压、电流、断流容量、操作次数、温度等运行参数应符合要求。

6）设备安装好后，试运转合闸前，必须对设备及接线仔细检查，确认无问题时方可合闸。

7）操作刀闸开关和电气分合开关时，必须带绝缘手套，并要设专门人员监护。电动机、执行机构进行实验或试运行时，也应有专人负责监视，不得随意离开。如发现异常声音或气味时，应立即停止机器切断电源进行检查修理。

8）安装发电机时，必须检查绝缘电阻是否合格，转动是否灵活，零部件是否齐全，同时必须安装接地线。

9）拖拉电缆应在停电情况下进行，若因工作需要不能停电时，应先检查电缆有无破裂之处，确认完好后，带好绝缘手套才能拖拉。

10）带熔断器的开关，其熔丝应与负载电流匹配，更换熔丝必须向拉开刀开关。

11）电器元件应垂直安装，一般倾斜不超过5°，应使螺栓固定在支持物上，不得采用焊接，安装位置应便于操作，手柄与周围建筑物间应保持一定距离，不易被碰坏。

12）低压电器的金属外壳或金属支架必须接地（或接零），电器的裸露部分应加防护罩，双头刀开

关的分合闸位置上应有防止自动合闸的位置。

2. 运行前的检查和试验要求

1）控制器内是否清洁，无垢，所安装的电器其型号、规格是否与图样相符，电器元件安装是否牢靠。

2）刀开关、组合开关、断路器等，不应有卡住或用力过大的现象。

3）刀开关、断路器、熔断器等各部分应接触良好。

4）电器的辅助触点的通断是否可靠，断路器等主要电器的通断是否符合要求。

5）二次回路的接线是否符合图样要求，线段要有编号，接线应牢固、整齐。

6）仪表与互感器的变比与接线极性是否正确。

7）母线连接是否良好，其支持绝缘子、夹持件等附件是否牢固可靠。

8）保护电器的整定值是否符合要求，熔断器的熔体规格是否正确，辅助电路各元件的节点是否符合要求。

9）保护接地系统是否符合技术要求，并应有明显标记。表计和继电器等二次元件的动作是否准确无误。

10）用绝缘电阻表测量绝缘电阻值是否符合要求，并按要求作耐压试验。

3. 控制与安全系统运行的检查

详见《新标准　电工安全技术 365 问》一书（机工版，白公主编）。

1）保持柜内电器元件的干燥、清洁。

2）经常注意柜内各电器元件的动作顺序以是否正确、可靠。

3）运行中特别注意柜中的开断元件及母线等是否有温升过高或过热、冒烟、异常的声音及不应有的放电等不正常现象，如发现异常，应及时停电检查，并排除故障，并避免事故的扩大。

4）对断开、闭合次数较多的断路器，应定期检查主触点表面的烧损情况，并进行维修。断路器每经过一次断路电流，应及时对其主触点等部位进行检查修理。

5）对主接触器，特别是动作频繁的系统，应及时检查主触点表面，当发现触点严重烧损时，应及时更换不能继续使用。

6）定期检查接触器、断路器等电器的辅助触点及电器的触点，确保接触良好。定期检查电流继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器等整定值是否符合要求，并作定期整定，平时不应开盖检修。

7）定期检查各部位接线是否牢靠及所有紧固件有无松动现象。

8）定期检查装置的保护接地系统是否安全可靠。

9）经常检查按钮、操作键是否操作灵活，其接触点是否良好。

10）必须建立日、周、月、年巡视检查制度，并贯彻执行。

九、常见故障处理

风力发电机组和其他电气设备一样，在安装、调试及试运行中易出现一些故障，其中电动机、变配电柜、线缆、照明、控制部分可参见第六章、第七章、第十二章、第十八章的相关内容。这里仅列出风力发电机组的一些故障及处理方法，供读者参考。

（一）机组常见故障

（1）绝缘电阻低　造成发电机绕组绝缘电阻低的可能原因有，电机温度过高，机械性损伤，潮湿、灰尘、导电微粒或其他污染物污染侵蚀电机绕组，以及机组先天不足等。

（2）振动、噪声大　造成发电机振动、噪声大的可能原因有，转子系统（包括与发电机相联的变速箱齿轮、联轴器）动不平衡，转子笼条有断裂、开焊、假焊或缩孔，轴径不圆，轴弯曲、变形，齿轮箱——发电机系统轴线未对准，安装不紧固，基础不好或有共振，转子与定子相擦或风叶上挂有异物等。

（3）轴承过热、失效　造成发电机轴承过热、失效的可能原因有，不合适的润滑脂，润滑脂过多或过少，润滑脂失效，润滑脂不清洁，有异物进入滚道，轴电流电蚀滚道，轴承磨损，轴弯曲、变形。轴承套不圆或椭圆形变形，发电机底脚平面与相应的安装基础支撑平面不是自然的完整接触，发电机承受额外的轴向力和径向力，齿轮箱——发电机系统轴线未对准，轴的热膨胀不能释放，轴承跑外圈，轴承跑内圈或风上挂有异物、轴承先天不足等。

（4）绕组断路、短路接地　造成发电机绕组断路、短路接地的可能原因有，绕组机械性拉断、损伤，小头子和极间连接线焊接不良，虚焊、假焊，电缆绝缘破损，接线头脱落，匝间短路，潮湿、灰尘、导电微粒或其他污染物污染、侵蚀绕组，相序反，长时间过载导致电机过热，绝缘老化开裂，其他电气元件的短路、故障引起的过电压、操作过电压、过电流而引起绕组局部绝缘损坏、短路，雷击损坏及机组先天不足等。

发电机故障后，首先必须先停机、脱网、仔细核查找出引起故障的原因和发生故障的部位，然后再采取相应的措施予以消除。必要时应由专业的发电机修

理商或制造商修理。

（二）预防故障发生的方法措施

风力发电机组一般都是无人值机的，预防故障发生的根本办法有三条：一是把好设备、元件、材料、安装、调试关；二是建立完善的巡检制度且认真执行；三是建立周期检查制度并真正做到周期检修，做到预防为主、计划检修、应修必修、修必修好。

1. 机组常规巡检

为保证风力发电机组的可靠运行，提高设备利用率，在日常的运行维护工作中要建立日常登机巡检制度。维护人员应当根据机组运行维护手册的有关要求并结合机组运行的实际状况，有针对性地列出巡检标准及工作内容。如每 2 小时检查内容，每班检查内容，每天检验内容，每周、每月、每半年、每年检查内容，具体方法参阅白公主编的《新标准　电工安全技术 365 问》相关巡检的内容。

2. 风力发电机组的日常故障检查处理

1）标志机组有异常情况的报警信号时，要根据报警信号所提供的故障信息及故障发生时计算机记录的相关运行状态参数，分析查找故障的原因，并且根据当时的气象条件，采取正确的方法及时进行处理，并在“运行日志”上认真做好故障处理记录。

2）液压系统油位及齿轮箱油位偏低时，应检查液压系统及齿轮箱有无泄漏现象发生。若是，则根据实际情况采取适当防止泄漏措施，并补加油液，恢复到正常油位。在必要时应检查油位传感器的工作是否正常。

3）风力发电机组液压控制系统压力异常而自动停机时，应检查油泵工作是否正常。如油压异常，应检查液压泵电动机、液压管路、液压缸及有关阀体和压力开关，必要时应进一步检查液压泵本体工作是否正常，待故障排除后再恢复机组运行。

4）风速仪、风向标发生故障，即风力发电机组显示的输出功率与对应风速有偏差时，应检查风速仪、风向标转动是否灵活。如无异常现象，则进一步检查传感器及信号检测回路有无故障，如有故障予以排除。

5）风力发电机组在运行中发现有异常声响时，应查明声响部位。若为传动系统故障，应检查相关部位的温度及振动情况，分析具体原因，找出故障隐患，并做出相应处理。

6）风力发电机组在运行中发生设备和部件超过设定温度而自动停机时，即风力发电机组在运行中发电机温度、晶闸管温度、控制箱温度、齿轮箱温度、机械卡钳式制动器制动片温度等超过规定值而造成了自动保护停机。应结合风力发电机组当时的工况，通过检查冷却系统、刹车片间隙、润滑油脂质量，相关信号检测回路等，查明温度上升的原因。待故障排除后，才能起动风力发电机组。

7）风力发电机组因偏航系统故障而造成自动停机时，应首先检查偏航系统电气回路、偏航电动机、偏航减速器以及偏航计数器和扭缆传感器的工作是否正常。必要时应检查偏航减速器润滑油油色及油位是否正常，借以判断减速器内部有无损坏。对于偏航齿圈传动的机型还应考虑检查传动齿轮的啮合间隙及齿面的润滑状况。此外，因扭缆传感器故障致使风力发电机组不能自动解缆的也应予以检查处理。待所有故障排除后再恢复起动风力发电机组。

8）风力发电机组转速超过限定值或振动超过允许振幅而自动停机时，风力发电机组运行中，由于叶尖制动系统或变桨系统失灵，瞬时强阵风以及电网频率波动造成风力发电机组超速；由于传动系统故障、叶片状态异常等导致的机械不平衡、恶劣电气故障导致的风力发电机组振动超过极限值。以上情况的发生均会使风力发电机组故障停机。应检查超速、振动的原因，经检查处理并确认无误后，才允许重新起动风力发电机组。

9）风力发电机组桨距调节机构发生故障，对于不同的桨距调节形式，应根据故障信息检查确定故障原因，需要进入轮毂时应可靠锁定叶轮。在更换或调整桨距调节机构后应检查机构动作是否正确可靠，必要时应按照维护手册要求进行机构连接尺寸测量和功能测试。经检查确认无误后，才允许重新起动风力发电机组。

10）风力发电机组安全链回路动作而自动停机，应借助就地监控机提供的故障信息及有关信号指示灯的状态，查找导致安全链回路动作的故障环节，经检查处理并确认无误后，才允许重新起动风力发电机组。

11）风力发电机组运行中发生主断路器动作，应当目测检查主回路元器件外观及电缆接头处有无异常，在拉开箱变侧开关后应当测量发电机、主回路绝缘以及晶闸管是否正常。若无异常可重新试送电，借助就地监控机提供的有关故障信息进一步检查主断路器动作的原因。若有必要应考虑检查就地监控机跳闸信号回路及断路器自动跳闸机构是否正常，经检查处理并确认无误后，才允许重新起动风力发电机组。

12）风力发电机组运行中发生与电网有关故障，应当检查场区输变电设施是否正常。若无异常，风力发电机组在检测电网电压及频率正常后，可自动恢复

运行。对于故障机组必要时可在断开风力发电机组主空气开关后，检查有关电量检测组件及回路是否正常，熔断器及过电压保护装置是否正常。若有必要应考虑进一步检查电容补偿装置和主接触器工作状态是否正常，经检查处理并确认无误后，才允许重新起动机组。

13）气象原因导致的机组过负荷或发电机、齿轮箱过热停机、叶片振动，过风速保护停机或低温保护停机等故障，如果风力发电机组自起动次数过于频繁，可根据现场实际情况决定风力发电机组是否继续投入运行，或先行停机处理。

14）风力发电机组运行中发生系统断电或线路开关跳闸，或当电网发生系统故障造成断电或线路故障导致线路开关跳闸，应检查线路断电或跳闸原因（或逢夜间应首先恢复主控室用电），待系统恢复正常，则重新起动机组并通过计算机并网。

15）风力发电机组因异常需要立即进行停机操作的顺序：

①　利用主控室计算机遥控停机。

②　遥控停机无效时，则就地按正常停机按钮停机。

③　当正常停机无效时，使用紧急停机按钮停机。

④　上述操作仍无效时，拉开风力发电机组主开关或连接此台机组的线路断路器，之后疏散现场人员，做好必要的安全措施，避免事故范围扩大。

16）风力发电机组事故处理。在日常工作中风电场应当建立事故预想制度，定期组织运行人员做好事故预想工作和模拟事故处理演练，并要根据风电场自身的特点完善基本的突发事件应急措施。

第九章　起重机械电气设备的安装

起重机械主要指室内天车、室外龙门吊和塔吊等大型起重设备及电葫芦等小型起重设备，它们是工业厂房及厂区常用的起重装卸机械，吨位小至1t，大至100t以上；其电路有简单的，也有复杂的；其跨度也有大有小，吊装高度也有高有低；但电气安装工艺基本相同。起重机械电气设备的安装，通常是在土建基础及机械部分基本安装完毕后进行的。

起重机械的安装主要包括管路的敷设及穿线，滑触线的安装，开关及控制设备的安装接线，电气设备的测试，系统调试及试车运行等。

起重机械电气设备的安装应符合电气装置施工及验收规范的要求，标准号：GB 50256—1996、GB 50278—2010、GB 50150—2006、GB 50168—2006、GB 50169—2006、GB 50170—2006、GB 50171—2012、GB 50254—1996、GB 50303—2002等。

第一节　总体要求及主要设备

一、一般要求

1）为保证起重机电气装置的施工安装质量，电压在0.5kV以下的各式起重机的电气部分的设计必须由具有相应资质的设计单位或生产厂商设计。

2）电压0.5kV以下的各式起重机、电动葫芦的电气装置和3kV及以下滑接线安装工程的施工必须由具有相应资质的安装单位安装，并由技术监督部门的特种设备机构监督。

3）起重机电气装置的安装，应按已批准的设计及产品技术文件进行施工，并报当地技术监督部门审批，同时报批开工报告备案。

4）起重机电气设备的运输、保管，应符合国家现行标准的有关规定。当产品有特殊要求时，尚应符合产品的要求。

5）采用的设备及器材，均应符合国家现行技术标准的规定，并应有合格证件，电气设备应有铭牌和型式试验报告。

6）设备及器材到达现场后，应作验收检查：

①　包装完整，密封件密封应良好。

②　开箱检查清点，规格应符合设计要求，附件、备件应齐全。

③　产品的技术文件应齐全。

④　外观检查应无损坏、变形、锈蚀。

7）施工中的安全技术措施，应符合规范和现行有关安全技术标准及产品技术文件的规定。

8）与起重机电气装置安装有关的建筑工程施工，应符合下列要求：

①　与起重机电气装置安装有关的建筑物、构筑物的建筑工程质量，应符合国家现行的建筑工程的施工及验收规范中的有关规定。当设备及设计有特殊要求时，尚应符合其要求。

②　设备安装前，建筑工程应具备条件：

a. 起重机上部的顶棚不应渗水；

b. 混凝土梁上预留的滑接线支架安装孔和悬吊式软电缆终端拉紧装置的预埋件、预留孔位置应正确，孔洞无堵塞，预埋件应牢固；

c. 安装滑接线的混凝土梁，应完成粉刷工作。

9）起重机电气装置的构架、钢管、滑接线支架等非带电金属部分，均应涂防腐漆或镀锌。

10）设备安装用的紧固件，除地脚螺栓外，应采用镀锌制品。

11）起重机非带电金属部分的接地，应符合要求：

①　装有接地滑接器时，滑接器与轨道或接地滑接线，应可靠接触。

②　轿厢与起重机本体用螺栓连接时，应进行电气跨接；其跨接点不应少于两处。跨接宜采用多股软铜线，其截面面积不得小于$16mm^2$，两端压接接线端子应采用镀锌螺栓固定；当采用圆钢或扁钢进行跨接时，圆钢直径不得小于12mm，扁钢截面的宽度和厚度不得小于40mm×4mm。

③　起重机的每条轨道，应设两点接地。在轨道端之间的接头处，宜作电气跨接；接地电阻应小于4Ω。

12）起重机电气装置的施工及验收，除按规范的规定执行外，尚应符合国家现行的起重机及电气装置有关标准规范的规定。

13）起重机安全防护装置的设置要求见表9-1。

二、滑接线和滑接器要求

1）滑接线的布置，应符合设计要求；当设计无规定时，应符合下列要求：

①　滑接线距离地面的高度，不得低于3.5m；在有汽车通过的部分滑接线距离地面的高度，不得低于6m。

表 9-1　安全防护装置在各种起重机上设置的要求

序号	安全防护装置名称	桥式类型起重机							
		桥式起重机			门式起重机			装卸桥	
		要求程度	要求范围		要求程度	要求范围		要求程度	要求范围
1	超载限制器	应装	额定起重量大于20t的	维修专用起重机可除外	应装	额定起重量大于10t的	维修专用起重机可除外	应装	
		宜装	动力驱动、额定起重量为3～20t的		宜装	动力驱动、额定起重量为5～10t的			
2	力矩限制器								
3	上升极限位置限制器	应装	动力驱动的		应装	动力驱动的			
4	下降极限位置限制器					同桥式起重机			同桥式起重机
5	运行极限位置限制器	应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置（单梁吊的小车可除外）		应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置		应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置
6	偏斜调整和显示装置				宜装	跨度等于或大于40m时		应装	跨度等于或大于40m时
7	幅度指示器								
8	联锁保护装置	应装	由建筑物登上起重机的门与大车运行机构之间；由轿厢登上桥梁的舱口门与小车运行机构之间；设在运动部分的轿厢在进入轿厢的通道口与小车运行机构之间					应装	设在运动部分的轿厢在进入轿厢的通道口与小车运行机构之间
9	水平仪								
10	防止吊臂后倾装置								
11	极限力矩限制装置								
12	缓冲器	应装	在大车、小车运行机构或轨道端部		应装	在大车、小车运行机构或轨道端部		应装	在大车、小车运行机构或轨道端部
13	夹轨钳和锚定装置或铁靴	宜装	露天工作的		应装	露天工作的		应装	露天工作的
14	风速风级报警器								

（续）

序号	安全防护装置名称	桥式类型起重机					
		桥式起重机		门式起重机		装卸桥	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
15	支腿回缩锁定装置						
16	回转定位装置						
17	登机信号按钮	宜装	具有轿厢的			应装	轿厢设于运动部分的
18	防倾翻安全钩	应装	单主梁起重机在主梁一侧落钩的小车架上	应装	单主梁龙门起重机在主梁一侧落钩的小车架上		
19	检修吊笼	应装	在轿厢对面靠近滑线一端				
20	扫轨板和支承架	应装	动力驱动的大车运行机构上	应装	在大车运行机构	应装	大车运行机构
21	轨道端部止挡	应装		应装		应装	
22	导电滑线防护板	应装					
23	倒退报警装置						
24	暴露的活动零部件的防护罩	宜装		宜装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机
25	电气设备的防雨罩	应装	露天工作的	应装	露天工作的	应装	

序号	安全防护装置名称	流动式起重机							
		汽车起重机		轮胎起重机		履带起重机		铁路起重机	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
1	超载限制器							应装	
2	力矩限制器	宜装	起重量小于16t的	宜装	起重量小于16t的	应装		宜装	
		应装	起重量大于或等于16t的	应装	起重量等于或大于16t的				
3	上升极限位置限制器	应装		应装		应装		应装	
4	下降极限位置限制器								

（续）

序号	安全防护装置名称	流动式起重机							
		汽车起重机		轮胎起重机		履带起重机		铁路起重机	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
5	运行极限位置限制器								
6	偏斜调整和显示装置								
7	幅度指示器	应装		应装		应装		应装	
8	联锁保护装置								
9	水平仪	应装	起重量等于或大于16t的	应装	起重量等于或大于16t的				
10	防止吊臂后倾装置	应装		应装		应装		应装	
11	极限力矩限制装置								
12	缓冲器								
13	夹轨钳和锚定装置或铁靴								
14	风速风级报警器								
15	支腿回缩锁定装置	应装		应装				应装	
16	回转定位装置	应装		应装		应装		应装	
17	登机信号按钮								
18	防倾翻安全钩								
19	检修吊笼								
20	扫轨板和支承架								
21	轨道端部止挡								
22	导电滑线防护板								
23	倒退报警装置	应装		应装		应装			
24	暴露的活动零部件的防护罩	应装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机
25	电气设备的防雨罩	应装		应装		应装		应装	

（续）

序号	安全防护装置名称	塔式起重机		门座式起重机		升降机		电葫芦	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
1	超载限制器	宜装	起重能力小于25 t·m的	应装		宜装		宜装	动力驱动的
2	力矩限制器	应装	起重能力等于或大于25t·m的						
3	上升极限位置限制器	应装		应装				应装	
4	下降极限位置限制器		同桥式起重机		同桥式起重机				
5	运行极限位置限制器			应装	在吊臂幅度的极限位置	应装	在上下极限位置		
6	偏斜调整和显示装置								
7	幅度指示器	应装		应装					
8	联锁保护装置	应装	在动臂变幅机构与吊臂的支持停止器之间			应装	在各卸料口的门与吊篮的升降机构之间		
9	水平仪								
10	防止吊臂后倾装置	应装	动臂变幅的						
11	极限力矩限制装置	应装	有可能自锁的旋转机构	应装	有可能自锁的旋转机构				
12	缓冲器			应装	在变幅机构	应装			
13	夹轨钳和锚定装置或铁靴	应装		应装					
14	风速风级报警器	宜装	臂架铰点高度大于50m时	应装	金属结构高度等于或大于30m时				
15	支腿回缩锁定装置								
16	回转定位装置								
17	登机信号按钮	应装	轿厢在上部并且设在运动部分的	宜装	轿厢设于运动部分的				

（续）

序号	安全防护装置名称	塔式起重机		门座式起重机		升降机		电　葫　芦	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
18	防倾翻安全钩								
19	检修吊笼								
20	扫轨板和支承架	应装		应装					
21	轨道端部止挡	应装		应装				应装	
22	导电滑线防护板			应装	采用滑线导电结构的				
23	倒退报警装置								
24	暴露的活动零部件的防护罩	应装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机				
25	电气设备的防雨罩	应装		应装		应装	露天工作的		

②　滑接线与设备和氧气管道的距离，不得小于1.5m；与易燃气体、液体管道的距离，不得小于3m；与一般管道的距离，不得小于1m。

③　裸露式滑接线应与轿厢同侧安装；当工作人员上下有碰触滑接线危险时，必须设有遮拦保护。

2）滑接线的支架及其绝缘子的安装

①　支架不得在建筑物伸缩缝和轨道梁结合处安装。

②　支架安装应平正牢固，并应在同一水平面或垂直面上。

③　绝缘子、绝缘套管不得有机械损伤及缺陷；表面应清洁；绝缘性能应良好；在绝缘子与支架和滑接线的钢固定件之间，应加设红钢纸垫片。

④　安装于室外或潮湿场所的滑接线绝缘子、绝缘套管，应采用户外式。

⑤　绝缘子两端的固定螺栓，宜采用高标号水泥砂浆灌注，并应能承受滑接线的拉力。

3）滑接线的安装

①　接触面应平正无锈蚀，导电应良好。

②　额定电压为0.5kV以下的滑接线，其相邻导电部分和导电部分对接地部分之间的净距不得小于30mm；户内3kV滑接线其相间和对地的净距不得小于100m；当不能满足以上要求时，滑接线应采取绝缘隔离措施。

③　起重机在终端位置时，滑接器与滑接线末端的距离不应小于200mm；固定装设的型钢滑接线，其终端支架与滑接线末端的距离不应大于800mm。

④　对型钢滑接线所采用的材料，应进行平直处理，其中心偏差不宜大于长度的1/1000，且不得大于10mm。

⑤　滑接线安装后应平直；滑接线之间的距离应一致，其中心线应与起重机轨道的实际中心线保持平行，其偏差应小于10mm；滑接线之间的水平偏差或垂直偏差，应小于10mm。

⑥　型钢滑接线长度超过50m或跨越建筑物伸缩缝时，应装设伸缩补偿装置。

⑦　辅助导线宜沿滑接线敷设，且应与滑接线进行可靠地连接；其连接点之间的间距不应大于12m。

⑧　型钢滑接线在支架上应能伸缩，并宜在中间支架上固定。

⑨　型钢滑接线除接触面外，表面应涂以红色的油漆或相色漆。

4）滑接线伸缩补偿装置的安装

①　伸缩补偿装置应安装在与建筑物伸缩缝距离最近的支架上。

②　在伸缩补偿装置处，滑接线应留有10～20mm的间隙，间隙两侧的滑接线端头应加工圆滑，接触面应安装在同一水平面上，其两端间高差不应大

于 1mm。

③ 伸缩补偿装置间隙的两侧，均应有滑接线支持点，支持点与间隙之间的距离，不宜大于 150mm。

④ 间隙两侧的滑接线，应采用软导线跨越，跨越线应留有余量，其允许载流量不应小于电源导线的允许载流量。

5）滑接线的连接

① 连接后应有足够的机械强度，且无明显变形。

② 接头处的接触面应平正光滑，其高差不应大于 0.5mm，连接后高出部分应修整平正。

③ 型钢滑接线焊接时，应附连接托板；用螺栓连接时，应加跨接软线。

④ 轨道滑接线焊接时，焊条和焊缝应符合钢轨焊接工艺对材料和质量的要求，焊好后接触表面应平直光滑。

⑤ 圆钢滑接线应减少接头。

⑥ 导线与滑接线连接时，滑接线接头处应镀锡或加焊有电镀层的接线板。

6）分段供电滑接线的安装

① 分段供电的滑接线，当各分段电源允许并联运行时，分段间隙应为 20mm；不允许并联运行时，分段间隙应比滑接器与滑接线接触长度大 40mm；3kV 滑接线，应符合设计要求。

② 分段供电不允许并联运行的滑接线间隙处，应采用硬质绝缘材料的托板连接，托板与滑接线的接触面，应在同一水平面上。

③ 滑接线分段间隙的两侧相位应一致。

7）3kV 滑接线的安装除应符合上述 1～6 条的规定外，还应符合下列要求：

① 高压绝缘子安装前应进行耐压试验，并应符合现行国家标准《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》的有关规定，见表 5-15。

② 3kV 滑接线固定装置的构件，铸铜长夹板、短夹板、托板、垫板、辅助连接板及接线板等在安装前，应按设计图制作完毕；当所采用的型钢、双沟铜线分段组装时，应按相编号，接缝应严密、平直。

8）软电缆的吊索和自由悬吊滑接线的安装

① 终端固定装置和拉紧装置的机械强度，应符合要求，其最大拉力应大于滑接线或吊索的最大拉力。

② 当滑接线和吊索长度小于或等于 25m 时，终端拉紧装置的调节余量不应小于 0.1m；当滑接线和吊索长度大于 25m 时，终端拉紧装置的调节余量不应小于 0.2m。

③ 滑接线或吊索拉紧时的弛度，应根据其材料规格和安装时的环境温度选定，滑接线间的弛度偏差，不应大于 20mm。

④ 滑接线与终端装置之间的绝缘应可靠。

9）悬吊式软电缆的安装

① 当采用型钢作软电缆滑道时，型钢应安装平直，滑道应平正光滑，机械强度应符合要求。

② 悬挂装置的电缆夹，应与软电缆可靠固定，电缆夹间的距离，不宜大于 5m。

③ 软电缆安装后，其悬挂装置沿滑道移动应灵活、无跳动，不得卡阻。

④ 软电缆移动段的长度，应比起重机移动距离长 15%～20%，并应加装牵引绳，牵引绳长度应短于软电缆移动段的长度。

⑤ 软电缆移动部分两端，应分别与起重机、钢索或型钢滑道牢固固定。

10）卷筒式软电缆的安装

① 起重机移动时，不应挤压软电缆。

② 安装后软电缆与卷筒应保持适当拉力，但卷筒不得自由转动。

③ 卷筒的放缆和收缆速度，应与起重机移动速度一致；利用重砣调节卷筒时，电缆长度和重砣的行程应相适应。

④ 起重机放缆到终端时，卷筒上应保留两圈以上的电缆。

11）安全式滑接线的安装

① 安全式滑接线的安装，应按设计规定或根据不同结构型式的要求进行，当滑接线长度大于 200m 时，应加装伸缩装置。

② 安全式滑接线的连接应平直，支架夹安装应牢固，各支架夹之间的距离应小于 3m。

③ 安全式滑接线支架的安装，当设计无规定时，宜焊接在轨道下的垫板上；当固定在其他地方时，应做好接地连接，接地电阻应小于 4Ω。

④ 安全式滑接线的绝缘护套应完好，不应有裂纹及破损。

⑤ 滑接器拉簧应完好灵活，耐磨石墨片应与滑接线可靠接触，滑动时不应跳弧，连接软电缆应符合载流量的要求。

12）滑接器的安装

① 滑接器支架的固定应牢靠，绝缘子和绝缘衬垫不得有裂纹、破损等缺陷，导电部分对地的绝缘应良好，相间及对地的距离应符合本规范有关规定。

② 滑接器应沿滑接线全长可靠地接触，自由无阻地滑动，在任何部位滑接器的中心线（宽面）不

应超出滑接线的边缘。

③　滑接器与滑接线的接触部分，不应有尖锐的边棱；压紧弹簧的压力，应符合要求。

④　槽型滑接器与可调滑杆间，应移动灵活。

⑤　自由悬吊滑接线的轮型滑接器，安装后应高出滑接线中间托架，并不应小于10mm。

三、配线要求

1）起重机上的配线

①　起重机上的配线除弱电系统外，均应采用额定电压不低于500V的铜芯多股电线或电缆。多股电线截面面积不得小于1.5mm^2；多股电缆截面面积不得小于1.0mm^2。

②　在易受机械损伤、热辐射或有润滑油滴落部位，电线或电缆应装于钢管、线槽、保护罩内或采取隔热保护措施。

③　电线或电缆穿过钢结构的孔洞处，应将孔洞的毛刺去掉，并应采取保护措施。

④　起重机上电缆的敷设。

a. 应按电缆引出的先后顺序排列整齐，不宜交叉；强电与弱电电缆宜分开敷设，电缆两端应有标牌；

b. 固定敷设的电缆应卡固，支持点距离不应大于1m；

c. 电缆固定敷设时，其弯曲半径应大于电缆外径的5倍；电缆移动敷设时，其弯曲半径应大于电缆外径的8倍。

⑤　起重机上的配线应排列整齐，导线两端应牢固地压接相应的接线端子，并应标有明显的接线编号。

2）起重机上电线管、线槽的敷设

①　钢管、线槽应固定牢固。

②　露天起重机的钢管敷设，应使管口向下或有其他防水措施。

③　起重机所有的管口，应加装护口套。

④　线槽的安装，应符合电线或电缆敷设的要求，电线或电缆的进出口处，应采取保护措施。

四、电气设备及保护装置要求

1）起重机电气设备安装前，应核对设备尺寸；其设备安装的部位、方向及管线位置，应符合设计和设备技术条件的要求。

2）配电屏、柜的安装

①　配电屏、柜的安装，应符合现行国家标准GB 50171—2012《电气装置安装工程　盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》的有关规定。

②　配电屏、柜的安装，不应焊接固定，紧固螺栓应有防松措施。

③　户外式起重机配电屏、柜的防雨装置，应安装正确、牢固。

3）电阻器的安装

①　电阻器直接叠装不应超过四箱，当超过四箱时应采用支架固定，并保持适当间距；当超过六箱时应另列一组。

②　电阻器的盖板或保护罩，应安装正确，固定可靠。

4）制动装置的安装

①　制动装置的动作应迅速、准确、可靠。

②　处于非制动状态时，闸带、闸瓦与闸轮的间隙应均匀，且无摩擦。

③　当起重机的某一机构是由两组在机械上互不联系的电动机驱动时，其制动器的动作时间应一致。

5）行程限位开关、撞杆的安装

①　起重机行程限位开关动作后，应能自动切断相关电源，并应使起重机各机构在下列位置停止：

a. 吊钩、抓斗升到离极限位置不小于100mm处；起重臂升降的极限角度符合产品规定；

b. 起重机桥架和小车等，离行程末端不得小于200mm处；

c. 一台起重机临近另一台起重机，相距不得小于400mm处。

②　撞杆的装设及其尺寸的确定，应保证行程限位开关可靠动作，撞杆及撞杆支架在起重机工作时不应晃动。撞杆宽度应能满足机械（桥架及小车）横向窜动范围的要求，撞杆的长度应能满足机械（桥架及小车）最大制动距离的要求。

③　撞杆在调整定位后，应固定可靠。

6）控制器的安装

①　控制器的安装位置，应便于操作和维修。

②　操作手柄或手轮的安装高度，应便于操作与监视，操作方向宜与机构运行的方向一致，并应符合现行国家标准GB/T 4025—1984《控制电气设备的操作件标准运动方向》（已被国标GB/T 4205—2010《人机界面标志标识的基本和安全规则操作规则》替代）的规定。

7）照明装置的安装

①　起重机主断路器切断电源后，照明不应断电。

②　灯具配件应齐全，悬挂牢固，运行时灯具应无剧烈摆动。

③　照明回路应设置专用零线或隔离变压器，不得利用电线管或起重机本身的接地线作零线。

④ 安全变压器或隔离变压器安装应牢固，绝缘良好。

8）当起重机的某一机构是由两组在机械上互不联系的电动机驱动时，两台电动机应有同步运行和同时断电的保护装置。

9）起重机防止桥架扭斜的联锁保护装置，应灵敏可靠。

10）起重机的音响信号装置，应清晰可靠。

11）起重量限制器的调试。

① 起重限制器综合误差，不应大于8%。

② 当负荷达到额定起重量的90%时，应能发出提示性报警信号。

③ 当负荷达到额定起重量的110%时，应能自动切断起升机构电动机的电源，并应发出禁止性报警信号。

五、电动起重机械的主要设备

（一）电动机

电动机是电动起重机械最重要的电气设备，它必须满足短时/断续运行、频繁起动/制动、显著振动/冲击的运行条件，并具有较宽的调速范围、较大的过载能、较高的机械强度等特点。电动起重机械常用的电动机主要有YZR3系列和YZP系列。其中YZP系列为变频调速三相异步电动机，适用于高起动转矩的要求，过载能力大、调速范围宽、运行稳定，能与多种变频器相配套。

1. 电动起重机械及冶金用电动机的分类

电动起重机械及冶金用电动机按结构分为四类：

1）三相异步电动机及派生系列；

2）绕线转子三相异步电动机及派生系列；

3）防爆电动机及派生系列；

4）变频调速三相异步电动机及派生系列。

2. YZ系列电动起重机械及冶金用电动机派生种类

1）YBZ系列隔爆型三相异步电动机；

2）YBZS系列隔爆型双速三相异步电动机；

3）YBZE隔爆型电磁制动三相异步电动机；

4）YBZSE隔爆型双速电磁制动三相异步电动机；

5）YZE系列电磁制动三相异步电动机；

6）YZD系列多速三相异步电动机；

7）YZDE系列多速电磁制动三相异步电动机；

8）YZP系列变频调速三相异步电动机；

9）YBZP系列隔爆型变频调速三相异步电动机；

10）YBZPE系列隔爆型变频调速电磁制动三相异步电动机。

3. YZR系列电动起重机械及冶金用电动机派生种类

1）YZRE系列绕线转子电磁制动三相异步电动机；

2）YZRS系列绕线转子双速三相异步电动机；

3）YZR系列中型高压绕线转子三相异步电动机；

4）YZRW系列涡流制动三相异步电动机；

5）YZRG、YZRF系列强迫通风型绕线转子三相异步电动机；

6）YZR-Z系列绕线转子三相异步电动机；

7）YZR-C系列绕线转子带超速开关三相异步电动机。

（二）减速器

减速器是在电动机与工作机械之间起匹配转速和传递转矩作用的机械装置，它必须具有超高的机械强度和变速能力。

按照设备的结构，可分为定轴线轮系和动轴线轮系（行星轮系）减速器。定轴线轮系又可分为展开式、分流式、同轴式、同轴分流式等平行轴系，如圆柱齿轮减速器、圆弧齿轮减速器和平面或空间垂直轴系减速器（如蜗轮蜗杆减速器、伞齿轮减速器）；行星轮系又可分为行星齿轮传动，如渐开线行星齿轮减速器、摆线针轮减速器、谐波齿轮减速器、三环减速器和行星差动齿轮传动减速器。

按照设备的传动级数及安装型式，可分为单级、双级、多级及两种或两种以上产品的组合式减速器、模块式减速器及多面安装减速器。

电动起重机械常用减速器的适用范围，见表9-2。

表9-2 电动起重机械常用减速器的适用范围

减速器类型	齿轮圆周线速度/（m/s）	高速轴转速/（r/min）	工作环境温度/℃	性能及使用场合
软齿面减速器 如ZQ、ZD、ZL、ZS系列	≤16	1500	-40～+45	软齿面减速器由于结构简单、选材方便、制造成本低，一般用于非主起升机构
中硬齿面减速器 如ZQA系列	≤16	1500	-40～+45	承载能力较软齿面有提高，是软齿面的改进型产品，一般使用于非主起升机构

（续）

减速器类型	齿轮圆周线速度/（m/s）	高速轴转速/（r/min）	工作环境温度/℃	性能及使用场合
中硬齿面减速器 如 QJ 系列	≤16	≤1000	-40～+45	中硬齿面减速器，由于采用了中碳合金结构钢，中硬调质处理，承载能力较软齿面有大幅度提高，广泛使用于各类起升机构中
硬齿面减速器 如 ZDY、ZLY、ZSY、QY、QJY、QS、QSC 系列	≤20	≤1500	-40～+45	硬齿面减速器，由于采用了低碳优质合金钢，渗碳淬火磨齿加工，使其具有体积小、质量轻、承载能力大的特点，适用于对整体尺寸和质量有限制要求的场所
行星齿轮减速器 如回转行星减速器系列	≤12	≤1500	-40～+45	承载能力大，适用于回转支承的旋转驱动机构

1. 减速器的安装、使用及维护

1）减速器的轴伸轴线与其连接的原动机和负载轴线应保证同轴，其误差不得大于所用联轴器的允许值。安装联轴器时不许锤击。联轴器热装时，应保证油封处的冷却，以防止油封烫坏而漏油。

2）减速器安装好后，向箱体油池内注入所需润滑油，油面应至于油尺规定的上下刻线之间的高度。

3）减速器在正式使用前用手转动，必须灵活，无卡阻现象，然后进行空载运转 2h 以上。运转应平稳，无冲击、振动及渗漏油现象，紧固件不得松动。

4）减速器首次使用 30 天后必须更换新的润滑油，一般情况下，对长期连续工作的减速器必须三个月更换一次。对于每天工作不超过 8h 的减速器，须每六个月更换一次。同时定期检查油的质量。如发现混入杂质或老化变质，需随时更换。油位低于规定高度需及时补足。

5）当减速器连续停机超过 24h，重新起动时必须使齿轮或轴承充分润滑后方可带负荷运转；带油泵电动机的，必须先起动油泵几分钟后起动主机。

6）油的选用按环境温度进行，温度最低时使用 L-CKC 润滑油，建议用 L-CKD 或更好的润滑油。

7）在使用过程中如发现油温显著升高，温升超过 60℃或油温超过 85℃，产生不正常噪声等现象时，应立即停止使用。查明原因，排除故障，如因齿面胶合等原因，必须修复且更换新油后再使用。

8）在使用中发现结合面渗油严重或漏油，应打开机盖清理干净并涂硅酮密封胶。若发现油封漏油，请按原油封型号更换。

9）减速器出厂前已将机内润滑油放尽，因此贮存期不能超过半年，以免生锈。

2. 减速器的润滑

根据减速器的使用环境及使用频率，确定润滑方式及润滑剂的型号。一般卧式减速器在标准规定的正常转速、正常环境温度条件下，为稀油飞溅润滑。当转速低于标准规定转速时，不能满足飞溅润滑的条件，就必须采用油泵强制润滑。一般立式减速器在签订合同时必须注明立式使用、带油泵润滑系统。特殊条件下，工作机使用频率很低，也可以使用润滑脂，目前市场上已有专用减速器润滑脂。

在不同环境温度下的润滑油选用见表 9-3。

表 9-3　减速机润滑油选用表

周围环境温度/℃	国产牌号	国外牌号		
		Mobil	SHELL	BP
-25～+80	—	Mobil Glygogle 30	Shell Tivia oil NB	BP Energol SG-XP220
0～+40	L—CKD220 L—CKD150	Mobil gear 630	Shell Omala oil 220	BP Energol GR-XP220
-5～+25	L—CKD100	Mobil gear 629	Shell Omala oil 100	BP Energol GR-XP100
-10～+10	L—CKD46	Mobil D. T. E15m	Shell Tellus oil T32	BP Energol GR-XP68
-30～-10	—		—	

（三）制动器

制动器是指电动机断电后能够使其在负载情况下迅速停止转动的装置，常用的有电力液压块式制动器、电磁块式制动器、盘式制动器三种。块式制动器的特点及应用范围见表 9-4。

表 9-4　块式制动器的特点及应用范围

种类	构造特点	应用范围	备　注
电力液压块式制动器	直制动臂 + 双杆推动器 + 横簧，如 YWZ、YWZ_B 系列	该产品已使用 30 余年，用量较大，但因其可靠性差只在维修更换时使用	横簧指弹簧水平布置，与垂直竖簧相比，弹簧刚度大，调整或使用磨损后，制动力矩同比变化大 双杆推动器因性能参数、构造等欠合理，易漏油，可靠性差，逐渐被单杆推动器替代 未特殊指明闭合方式的制动器均为常闭式制动器，即断电时制动，通电时松闸
	直制动臂 + 单杆推动器 + 横簧，如 YWZ_4、YWZ_{4B} 系列	主要用于替代 YWZ 系列	
	弯制动臂 + 双杆推动器 + 横簧，如 YWZ_3、YWZ_{3B} 系列	因主机标准多引用此标准且滞后于零部件标准，在使用产品中该系列具有一定的数量，可用 YW、YWZ_5 等替代	
	弯制动臂 + 单杆推动器 + 竖簧，如 YWP、YWZ_8、YWZ_{10}、YWZ_{12} 系列	现行标准产品，因生产厂商和配套的推动器差异造成代号、附加功能或构造略有不同，但其安装尺寸、性能参数等相同，可互换	
	弯制动臂 + 单杆推动器 + 竖簧，如 YW、YWB、YWZ_5、YWZ_9、YWZ_{13} 系列		
	弯制动臂 + 横卧单杆推动器，如 YWL、YWH 系列	适用于安装面积小、空间高的场合。因推动器水平布置，一般推动器难适用	
	防爆液压块式制动器，如 BYWZ 系列	实际为隔爆型制动器，可应用于井下等隔爆场合	
	卧式安装液压块式制动器，如 YWW（常闭）、YKW（常开）系列	适用于门座和塔式起重机及斗轮堆取料机的回转机构	
电磁块式制动器	配套交流电磁铁，如 TJ_2、JCZ 系列	TJ_2 配套 MZD1 交流电磁铁，耗能大，噪声大，可靠性较差，一般仅用于更换在用品；JCZ 配套 MZS_1 交流电磁铁已淘汰	交流电磁铁因能耗大、噪声大、易烧线圈而被淘汰。直流驱动外接交流的电磁铁因电子整流器的可靠性欠佳尚未得到推广应用 单杆推动器的性能及动作时间可完全避免“溜钩”现象。直流电磁铁制动器多用于直流驱动电机配套，特别是串励电磁铁
	配套直流电磁铁，如 TZ_2、ZWZ、ZWZ_A 系列	因主机标准多引用此标准且滞后于零部件标准，在使用产品中具有一定的数量，建议仅用于维修更换	
	配套直流电磁铁，如 ZWZ_2、ZWZ_3、ZWZ_{3A}、MWZA 系列		
	配套直流电磁铁但外接交流电源，如 TJ_{2A}、JWZ 系列	交流电经自身整流后驱动直流电磁铁，因电子整流器可靠性较差仅用于替代在用的 TJ_2 系列	
	配套直流电磁铁，如 MW、MWZ、MWZB 系列	现行标准产品，适用于具备直流电源的设备，如冶金起重机、轧钢机等，动作快、无油污	
	配套直流电磁铁，经控制箱也可接交流电源，如 MWT 系列	用于替代进口产品，可直接替代美国 GEH 公司、Eaton 公司，日本安川电机、东芝、三菱等公司，意大利 E. M. G 公司等的产品	
脚踏式人力操纵常开块式制动器，如 RWK 系列		可用于起重机大车行走机构的减速制动	—

（四）缓冲器

缓冲器是安装于道轨运行设备上的安全部件。当设备运行时，吸收由于撞击而产生的冲击力，减小并保护由于撞击而导致的设备损伤。

常用的缓冲器有两种：一种是蓄能型缓冲器，主要有弹簧缓冲器和橡胶缓冲器；一种是耗能型缓冲器，主要有聚氨酯缓冲器、液压缓冲器、复合型缓冲器、弹性阻尼缓冲器。

常用缓冲器的选用见表 9-5。

表 9-5　常用缓冲器选用表

名称	低速	中速	高速	轻型	中型	重型	常温	高温	低温	高频率冲击
弹簧缓冲器	✓	—	—	✓	✓	—	✓	✓	✓	—
橡胶缓冲器	✓	—	—	✓	✓	—	✓	—	—	—
聚氨酯缓冲器	✓	✓	—	✓	✓	✓	✓	—	—	✓
液压缓冲器	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	—
复合缓冲器	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
弹性阻尼缓冲器	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

注："✓"表示适用，"—"表示不适用。

（五）电缆卷筒

电缆卷筒是连续卷起或散开为电动起重机械正常供电电缆的正反转动装置，当起重机前行时反转，将电缆沿路散开；当起重机后行时其正转，将电缆沿路卷起。电缆卷筒必须保证与起重机械同步转动，卷起或散开电缆时均不得使电缆受到拉力。卷筒包括电缆卷筒、光缆卷筒和软管卷筒（输送水、汽、油等）。

电缆卷筒的主要结构有卷盘、减速机、传动调速机构、集电环、导缆架及安装底架等。光缆卷筒、软管卷筒主要有光纤旋转连接器、旋转管接头装置，其他基本与电缆卷筒相同。

卷筒类型见表 9-6。

电缆卷筒（包括光缆、软管）在安装、运行时应注意以下几点：

1）使用的电缆要柔软、抗拉，适合反复卷取的需要，如 YCW 重型橡套电缆、CEFR 船用电缆等，应尽量选取新型卷盘电缆，其内置了芳纶编织层，增加了电缆的抗拉强度。

2）计算电缆长度时要根据大车行程和电缆锚固位置，同时还要考虑卷盘上 3 圈余量和安装高度及卷筒内部接线的需要，应视现场条件而定。

3）卷盘有单排（轴向单列径向多层）和多排（轴向多列径向多层）两种，$50mm^2$ 以上电缆应选用单排卷盘，多排卷盘不宜安装导缆架，以免干涉电缆在卷盘上的排列。

表 9-6　卷筒类型表

分类原则	类型	特　　点
输送介质	电缆卷筒	通过集电环连续传输动力电源、控制信号
	光缆卷筒	通过光纤旋转连接器，连续、稳定传输激光信号
	软管卷筒	通过旋转管接头，连续输送水、汽、油等
驱动方式	变频驱动式卷筒	专业矢量变频器控制电动机的输出转矩，电缆拉力恒定，基本结构见图 9-1
	磁滞式卷筒	配备 1～4 台磁滞驱动器为动力调速系统，收放过程柔和
	力矩电动机式卷筒	配备 1～2 台不同转矩的长期堵转力矩电动机为动力调速系统
	磁偶合式卷筒	配备多个永磁偶合器为调速机构，通常从设备行走机构取动力，链条传动，基本结构见图 9-2
	涡卷弹簧式卷筒	利用涡卷弹簧为卷筒动力调速机构
	配重式卷筒	利用配重被提升作为卷筒动力调速机构
安装方式	车载卷筒	卷筒安装在设备上，随设备移动
	固定卷筒	卷筒固定不移动，垂直或悬空卷取电缆

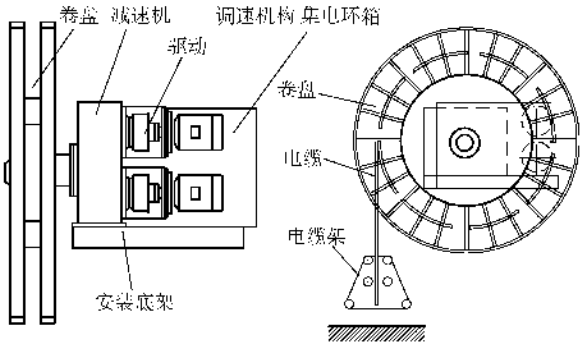


图 9-1 变频驱动式、磁滞式及力矩电动机式电缆卷筒

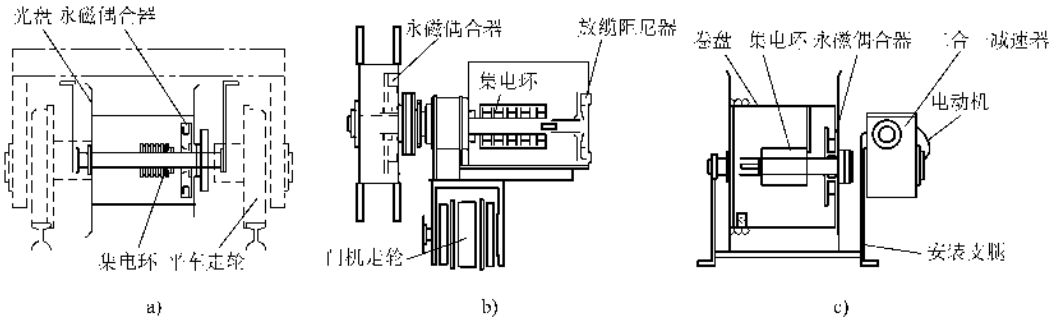


图 9-2 磁偶合式卷筒结构示意图

a）JQC-Ⅰ平车型卷筒结构 b）JQC-Ⅱ门机型卷筒结构 c）JQC-W 垂直型卷筒结构

4）电缆卷筒的安装高度不宜过高，应根据卷盘外径合理选择。卷筒安装越高，需要的卷取力矩和制动力矩越高；同时，必须保证卷筒行驶的道路平整、干净、无障碍物等。

5）配有电动机电缆卷筒的控制方式有所不同，使用时一定要确认卷筒电动机的控制方式，磁滞式和弹力式电缆卷筒还需确认卷盘旋向。

6）光缆卷筒应明确光纤类型（多模、单模）、光纤外径、偶合器形式（ST、FC 等）。

7）软管卷筒应确定软管通径、外径、压强及接口形式等。

8）卷筒安装前应对其参数进行核定，如电缆规格（电缆截面、芯数、外径及单重）、电压等级、卷绕长度、电缆锚固位置、大车运行速度、安装方式及安装高度等，以确保运行的安全。

（六）滑触线（滑线）

滑触线是架空敷设的硬质导线，并用装设在移动设备上的滑接器与之滑动无接触电阻连接后将电源送到轿厢的总配电柜上，确保电动起重机械的正常运行。滑触线必须保证其绝缘良好并和无接触电阻连接。

滑触线的种类很多，以适应不同的安装环境（如导电粉尘、凝露、室内、室外、酸、碱、盐雾等场所），主要有单极组合式滑线、钢体滑线、多极管式滑线、电缆滑线导轨等。

（七）润滑系统

润滑系统是保证电动起重机械转动，给传动部位润滑供油的装置，并能做到定时、定点、定量供油，确保机械运转正常。润滑系统主要由注油泵、电磁阀、供油量及分配器、控制及监测装置、控制电缆组成。

常用的润滑系统有 CX 系列电脑程控润滑系统、WDB 多点直供润滑系统、电动单线润滑系统。

（八）起重机专用电子秤

起重机专用电子秤是一种在吊装过程中的称重装置，一般由称重传感器和称重控制显示装置组成。电子秤必须有适用于起重量的机械强度，并能准确地显示物重或超重。

电子秤有吊钩秤、钩头秤、天平秤、起重量限制器等几种。其中，无线数据传输吊钩秤、无线数据传输钩头秤、无线数据传输天平秤是在通过电缆传输有线信号电子秤的基础上发展起来的高科技产品，通过传感器测量后将其变为无线信号，经无线传输和数据处理后由仪表显示重量。

（九）逆止器

逆止器是用在提升设备上防止倒转的安全装置。逆止器具有相应的机械强度，在重物提升过程中如发

生下降，则能将其传动装置锁住，确保系统的安全。　　逆止器的基本结构形式见表 9-7。

表 9-7　逆止器的基本结构形式

分类原则	类　型	特　　点
结构原理	棘轮逆止器	原理简单可靠，属于早期已被淘汰的产品。运行有噪声，寿命和转速受限
	带式逆止器（ND、TD 型）	原理简单可靠，逆转力矩较小，因应用场合特点明显仍有使用，有标准系列
	滚柱逆止器（GN、DTⅡ、NZⅢ型）	原理可靠实用，受材质局限逆转力矩较小，适用转速较低，国产产品停留在企标阶段。国外相应产品的开发和应用较为灵活，力矩范围大
	楔块式逆止器（NZ、NYD、NJ、NJD、DSNZ）	原理可靠，制造工艺及材料要求严格。力矩范围大，有高、低速两类，转速范围宽，如今得到普遍应用
转速（稀油、脂润滑）	非接触式高转速逆止器（NF 系列）	多属楔块式逆止器，离心原理，适用于高转速场合，推荐选用国标系列产品
	接触式逆止器（NJZ、NJD、DSNZ、NZⅢ）	在低速范围选用，逆转力矩范围大，因在大型逆止需求的煤矿场合多用，现已有规范“MA”矿用产品安全认证

（十）电阻器

电阻器是与绕线转子电动机配套的调速元件，它与转子绕组串联，以减小起动时的转子电流，并能控制转子的转速，是对调速要求不高的电动起重机械常用的元件。

（十一）超速开关

超速开关是电动机超速保护装置，采用旋转编码器及电子电路进行高速运算，能及时测出电动机的转速。当电动机超速时发生减速信号到控制装置，使电动机减速或停止转动，保护电动机及起重装置的运行安全。

典型的电子式超速开关如图 9-3 所示。

（十二）电气控制装置

电气控制装置是电动起重机械的重要电气设备，一般的起重机由 5～6 台电动机拖动，从控制到保护有着复杂精密的控制系统。传统的控制是以继电器-接触器为主，而现代的控制是以电力电子技术为主的无触点控制装置和调速控制装置，有些还采用了变频控制装置。这些都为电动起重机械的高性能、精控制、尖技术提供了技术支持。但传统控制继电器-接触器系统因造价低、维修简便，仍在港口、码头、装卸、运输、铁路等场所使用。

1）WQK 系列电动起重机无触点控制装置主要有极限转换模块、故障显示模块、电源模块、阻容模块、遥控转换模块等。

2）WZK 系列电动起重机械无触点控制装置主要有智能功率一次模块、智能功率二次模块、智能保护模块、主卷筒电闸模块、检测模块等。

3）电动机定子调压调速控制器由晶闸管串接在电动机定子回路，其转子回路串接适当的电阻器，通过调节三相反并联晶闸管导通角来改变定子电压。因电动机的转矩与定子电压的二次方成比例，从而达到控制电动机转速的目的。电动机转速通过人工操作主令设定速度，速度反馈实现闭环控制，通过改变电动机转子电阻，改变电动机的机械特性、转速及转向。控制器有五组反并联的晶闸管模块 U、V、W、V1、W1，电动机运转方向通过改变施加到电动机定子三相电源相序完成。U、V、W 导通时，电动机正转；U、V1、W1 导通时，电动机反转。调速器的规格型号很多，主要有 QY 系列、QP 系列和 QTDJ 系列。

QTDJ 系列调速器性能特点见表 9-8。

表 9-8　QTDJ 系列调速器性能特点

产品类型 / 性能特点	QTDJ	QTDJ-Ⅰ	QTDJ-Ⅱ
控制方式	数字	数字	数字
系统参数	可调	可调	可调

（续）

性能特点 \ 产品类型	QTDJ	QTDJ-Ⅰ	QTDJ-Ⅱ
人机界面	全中文界面，可显示实时状态	全中文界面，可显示实时状态	全中文界面，可显示实时状态
故障记录	可记录多达 64 条故障	可记录多达 64 条故障	可记录多达 64 条故障
主令信号处理	外部继电器转换	内置光电转换	内置光电转换
输入输出指示	无	LED 指示	LED 指示
换向方式	内置晶闸管	内置晶闸管	内置晶闸管
反馈方式	转子反馈	转子反馈	编码器反馈
通信方式	RS485	RS485	RS485

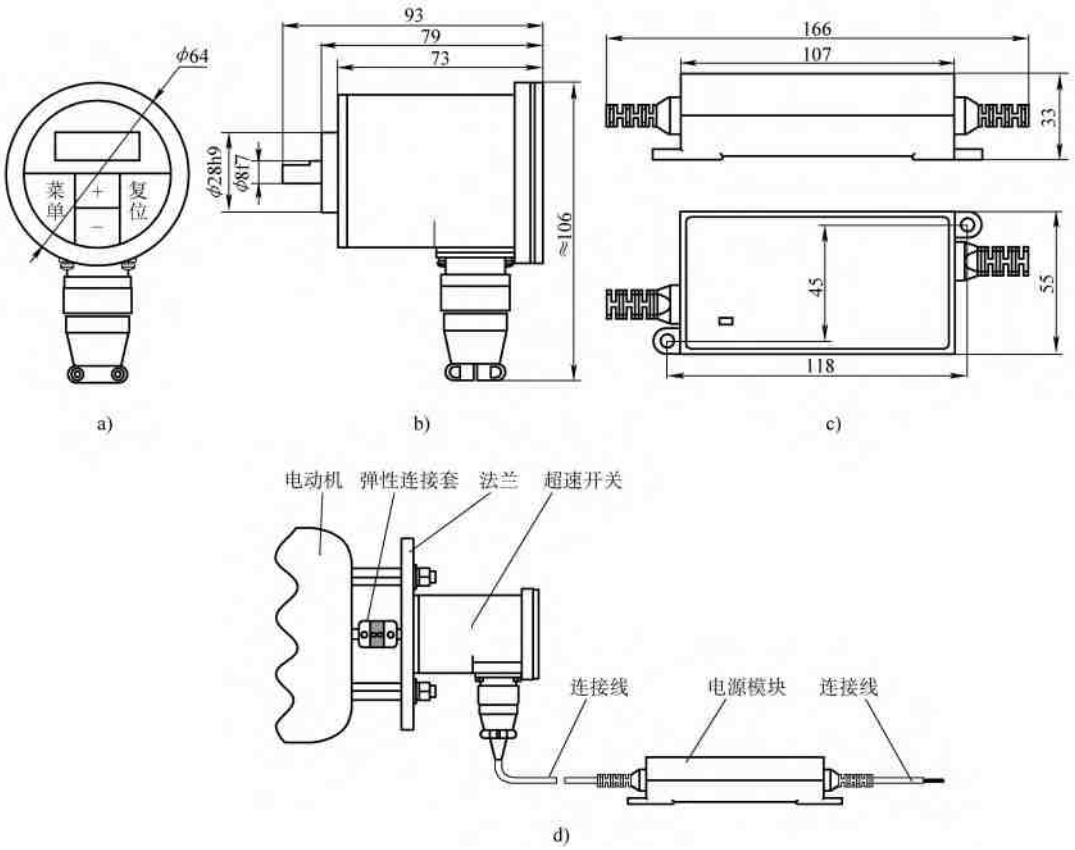


图 9-3 典型的电子式超速开关

a）超速开关 b）超速开关和电源模块外形尺寸 c）电源模块 d）超速开关和电源模块典型安装

可以看出，上述三种新型控制装置采用数字控制，具有故障自检和保护功能，通过 RS485 与计算机、PLC 构成闭环控制系统，解决了接触器和机械联锁故障，提高了控制、调速、换向、制动的可靠性。

4）起重机电流矢量变频器，主要有 YD5000 系列。

QTDJ 系列调压调速控制器的原理图如图 9-4 和图 9-5 所示。

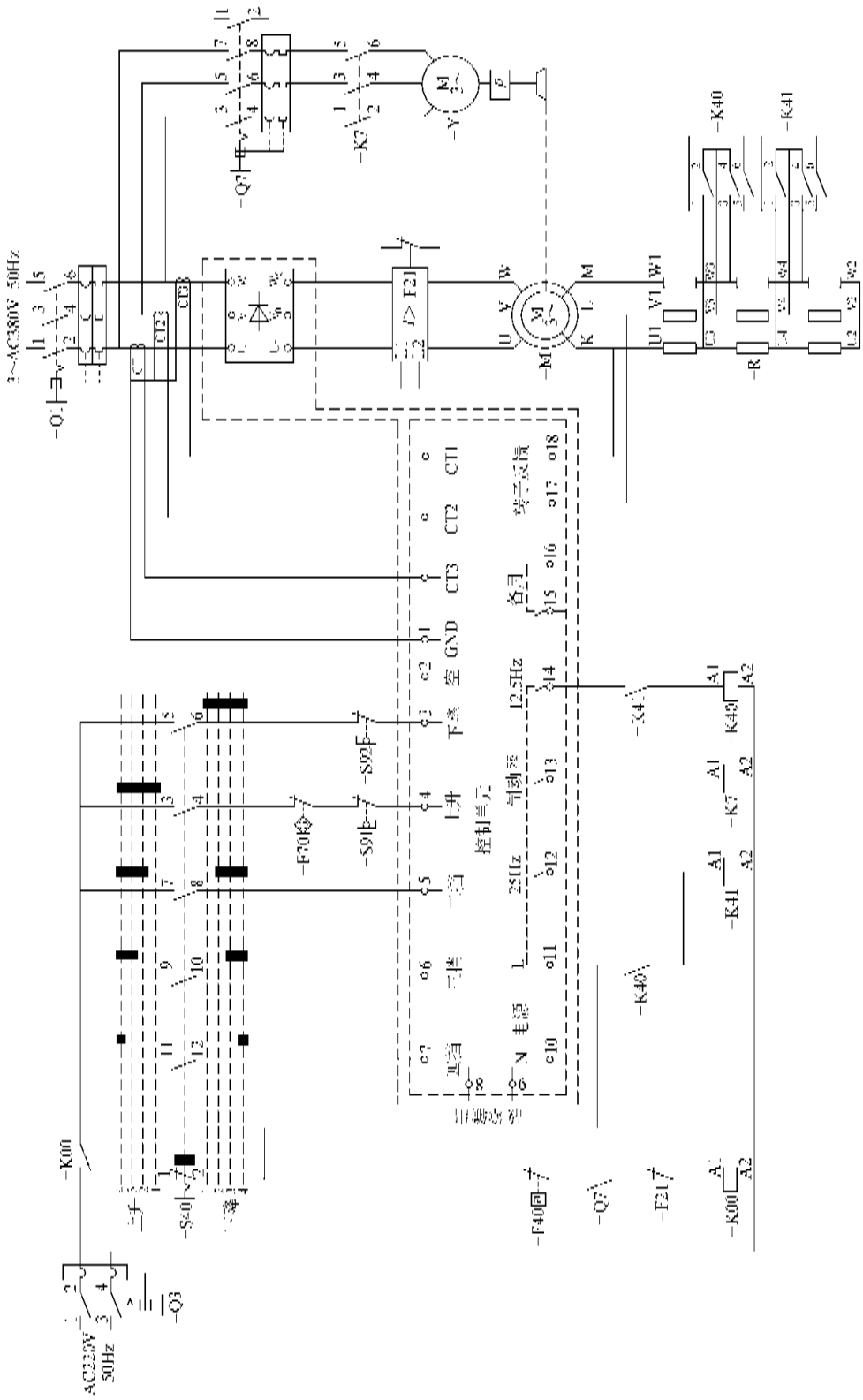


图 9-4　QTDJ 系列调压调速控制器起升典型原理图

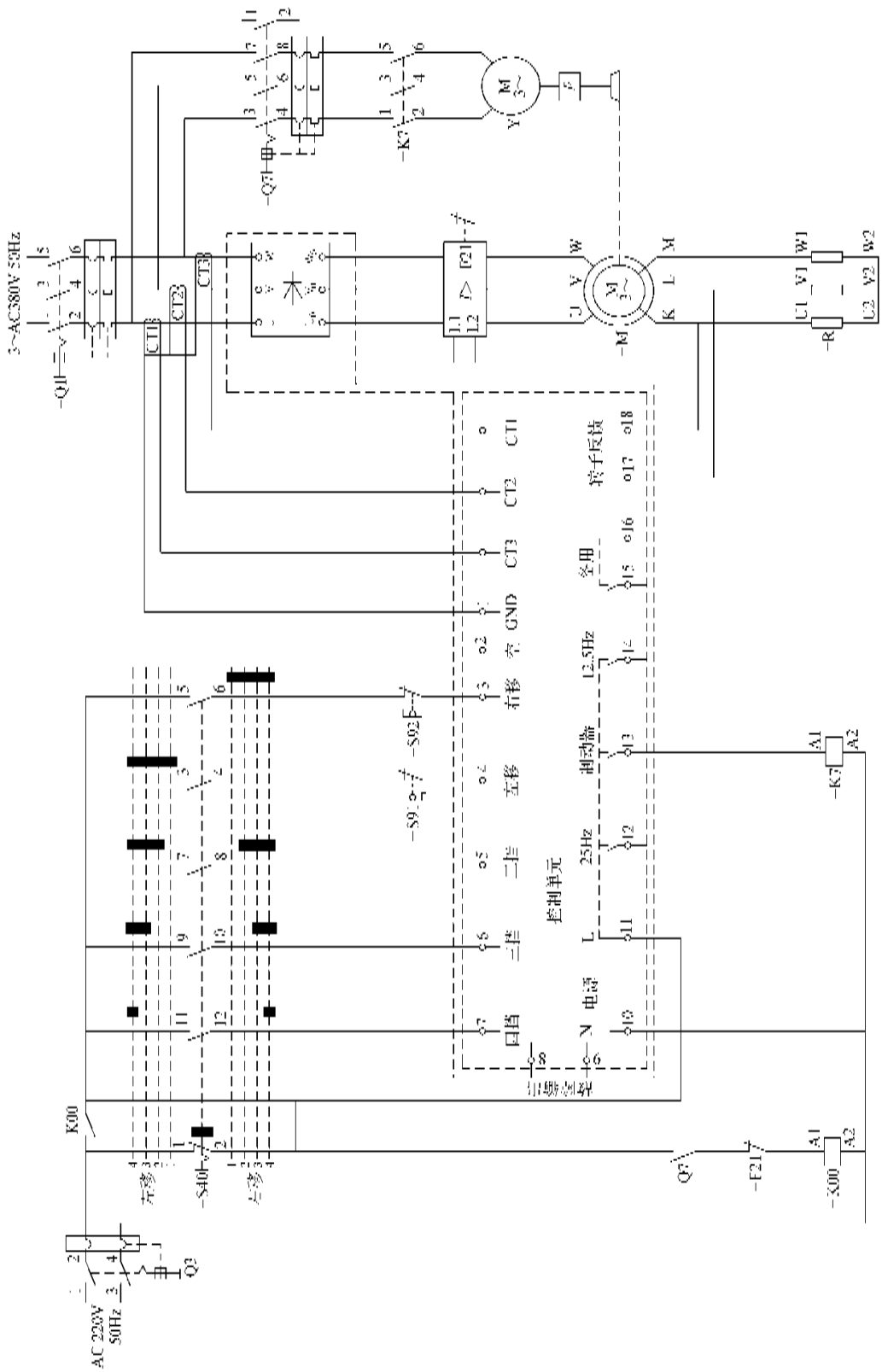


图 9-5 QTDJ 系列调压调速控制器平移典型原理图

YD5000 系列起重机电流矢量变频器接线图如图 9-6 所示。

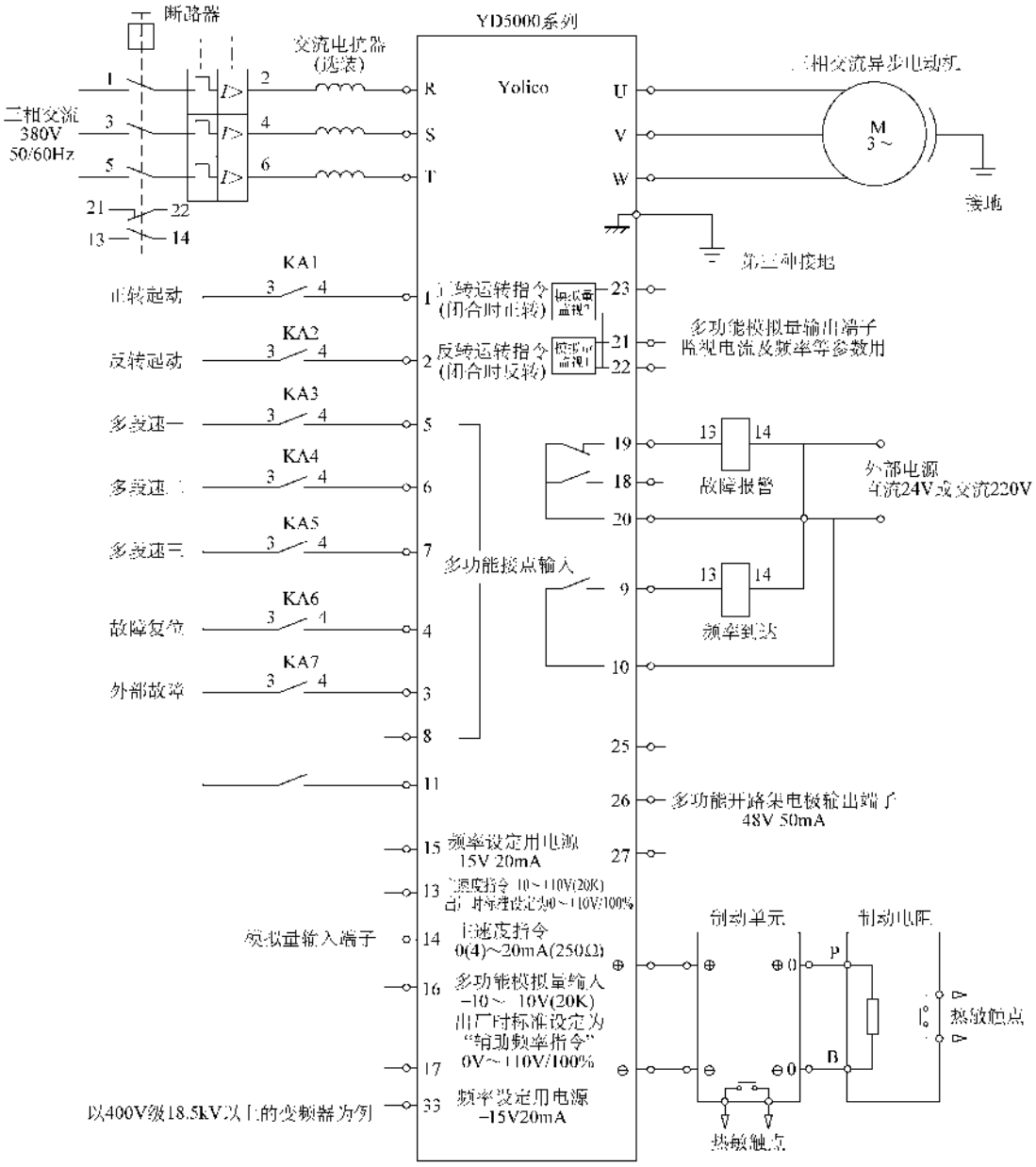


图 9-6　YD5000 系列起重机电流矢量变频器接线图

注：1. 无 PG/有 PG 矢量控制方式时，需做动态自学习。做自学习时电动机会转动，务必注意安全。

2. 在无法做自学习的场合，也可以用 VF 控制；为了提高低频转矩，需提高中间输出电压和最低输出电压，提升应用时打开抱闸的频率也应做相应的提高。

3. YD5000 系列起重用变频器有很高的低频起动转矩及过载能力，但如果设计时电动机功率的余量有限，建议变频器的功率比电动机的功率大一或两个等级。至少要保证变频器的额定输出电流是电动机额定电流的 1.2 倍以上。

4. YD5000 系列 15kW 及以下的变频器已内置制动单元，在实际使用时无需再加制动单元，仅需外接制动电阻。

5. 更多的技术数据请参考 YD5000 系列变频器使用说明书。

（十三）电缆

电动机重机械使用的电缆很多，主要用于电动机、控制、信号、照明系统，主要有：

1）YFFB 系列丁腈聚氯乙烯绝缘及护套扁平软

电缆；

2）YBF 橡套扁平电缆；

3）YGFB 硅橡胶扁平电缆。

（十四）安全保护装置

安全保护装置是保证起重机安全运行的重要设备，主要有：

1）起重吊装重量限制器；

2）行程/高度限制器；

3）力矩限制器；

4）防碰撞保护器；

5）过载保护器。以 WJJL1/X 系列为例，该保护器具有定时限、反时限两类；负载电流范围为 0～3000A；起动时间、相失衡时间、瞬动倍数均可现场设置；电动机过载保护后，数码管显示故障保护内容，其主要性能见表 9-9。

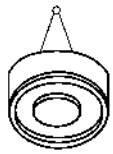
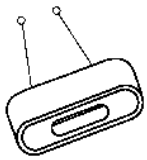
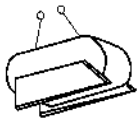
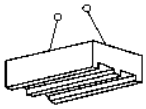
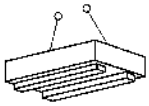
（十五）电磁铁

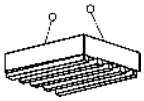
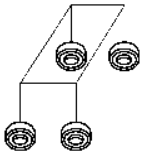
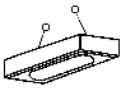
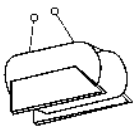
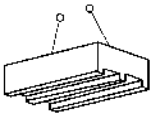
电磁铁是用于起吊铁性物质材料并通以直流电的装置，其种类及功能很多，见表 9-10。

表 9-9　WJJL1/X 系列保护器的主要性能

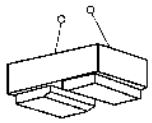
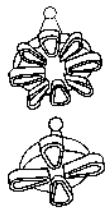
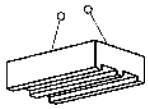
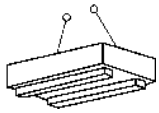
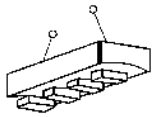
功能	指标说明
过电流保护	定时限：负载过电流且持续过电流时间达到过电流时间设定值，WJJL1/X 自动脱扣，5min 后能自动复位 反时限：负载过电流且持续时间达到由脱扣级别选择的 1～4 级曲线中某一曲线及负载电流与电流整定值之比值所规定的时间时，WJJL1/X 自动脱扣，5min 后自动复位
短路保护	负载电流与电流整定值之比超过某一数值时，可视为短路，WJJL1/X 在 0.5s 内脱扣，数码管显示为“SHORT”
断相保护	三相中任一相的电流在最小电流整定值的 1/3 以下，且持续时间达到某一时间值时，WJJL1/X 自动脱扣，数码管显示为“PHASE”
相失衡保护	三相电流不平衡达到 50% 且持续时间达到某一时间值，WJJL1/X 自动脱扣，数码管显示最大相的电流值
错相保护	三相电源相序与原相序相反，WJJL1/X 在 0.2s 内自动脱扣，数码管显示错相标志“PR”

表 9-10　起吊用电磁铁的种类及功能

功能	吊废料		吊制铁、半成品		
形状	圆形	椭圆形	单线圈 U 形	E 形	双线圈 U 形
示意图					

功能	吊制铁、半成品	吊成品、钢板		吊成品与形钢	
形状	双 E 形	单块形	多块形	单线圈 U 形	E 形
示意图		 小圆磁铁	 多件形  单线圈形		

（续）

功能	吊成品、带钢卷		吊成品、线材		
形状	立卧两用起吊形	端部起吊形	E 形	双线圈形	
示意图	 双线圈U	 多线圈放射形			

（十六）轿厢（轿厢）

轿厢是电动起重机械操作控制的“心脏”，并装有主要受电配电柜及电源引入装置、控制柜、保护柜、操作机构、信号显示、安全装置等。轿厢要求视野开阔、便于操作、安全可靠、坚固耐用。

轿厢主要分桥式、门式、港口门座式、塔式起重机及其他特殊要求起重机轿厢。

（十七）基本结构钢架

基本结构钢架是起重机械的主体，结构钢架必须保证其相应的机械强度和负载能力。结构钢架主要由主梁、端梁、支撑、行走机构、导轨以及辅助装置组成。基本结构钢梁必须由取得国家相应资质的企业制造加工，并保证其质量和安全。

随着技术的进步和电子技术的发展，电动起重机械的科技含量也在不断提高，使其更有安全性、可靠性和实用性。例如，测力传感器、测矩传感器、测速传感器、测重传感器、测风速传感器、斜倾幅度传感器、变流技术、微机技术等，均已引入电动起重机械中。

对于这些新技术、新元件，应按前述内容对其外观、线路进行检查，无误后应进行测试、试验和调整，并按安装使用说明书的要求一一进行。特别是这些传感器本身带有线缆及其接线在没有供应商在场的情况下不得随意拆动。微机技术、变流技术的设备元件应用专用设备仪器进行测试，其软件不得随意更动。

第二节　安装条件及设施的验收

一、土建工程及开工应具备的条件

（一）室内安装

1）混凝土梁上预埋或预留的滑接线支架安装孔和悬吊式软电缆滑触终端拉紧装置的预埋件、预留孔位置应正确，孔洞无堵塞，预埋件应牢固。

2）安装滑接线的混凝土梁已完成粉刷工作。

（二）室外安装

起重机电源侧的地面已平整，对于立杆、架线已无障碍。混凝土枕木的铺设符合要求。

二、机械设备设施安装应具备的条件

1）导轨安装完毕，且平直无弯（带弯道的塔吊或龙门吊除外）无凹凸现象，螺栓紧固且橡胶垫完整，导轨的平行度、水平度及两轨的标高经测试合格且符合设备要求；导轨两端的止轮器或车档已安装完毕。

2）天车的桁架、龙门吊及塔吊的龙门架已安装在导轨上，且滚轮合适，轿厢、大车小车行走机构已安装好，且整机能在导轨上移动，滚轮无悬空现象。

3）主机及传动机构已安装完毕，电动机已安装就位。

三、土建工程的验收

混凝土柱、导轨梁、混凝土枕木、基础梁应无峰窝、跑浆、露筋现象，钢筋及水泥标号符合设计要求，预埋的铁件应牢固，土建工程应符合设计及施工验收规范的要求。

四、机械设备的检查及验收

1）桁架、龙门架的焊接点应牢固可靠，无漏焊、虚焊和砂眼，经 X 光拍片应合格；铆钉或螺栓连接的部位应无松动或无螺栓滑扣的现象，应紧固可靠。

2）变速装置、传动机构及钢丝绳良好，行走机构灵活无卡，轴承间隙合适，齿轮啮合良好。

3）配重符合设计要求。

4）行走轮与导轨接触良好，夹轨钳安全可靠。

5）电动机与传动机构的联轴器应符合设计要求，制动器安全可靠。

6）整体安装符合设计要求。

五、施工组织设计的到位情况

施工组织设计的到位情况基本同第十二章照明电路，同时应组织工长、班长、质检员、安全员、会同监理、土建、设备安装单位的相关人员对已完工的土建工程、机械设备安装工程进行验收和检查，不符合

规范要求的必须进行整改修复直到验收合格。

第三节 电气设备材料的检查、验收及试验

一、电气设备及器材的检查、验收

1）开箱检查清点，型号、规格、数量应符合设计要求，附件、备件齐全，无机械损伤、无破损，无锈蚀现象。

2）滑线平整光滑无污垢斑迹，滑线与滑接器配套合适，滑动自如无阻卡。

3）软电缆质地优良、绝缘良好，使用的导线为优质铜芯绝缘导线。

4）制造厂的技术文件齐全，有合格证及制造许可证。

5）随主机、设备成套供应的电气元件应有厂商的委托协议书或合同的复印件。

这里需要强调说明一点，起重机械和电梯是属国家劳动安全及技术监督监察部门管理的项目，安装单位应具有相应资质，并从工程开始必须严格按规程及要求进行工作，以保证工程的质量及安全可靠。同时向管理机构递交安装申请书。

二、电气设备的试验

1. 过电流继电器

电动起重机械的过电流保护常采用 JL12 系列过电流延时继电器，该型继电器具有过载、起动延时、过电流迅速动作的反时限特性。继电器在环境温度 -30 ~ +40℃经调节螺钉调整后其特性应符合表 9-11 的要求。

表 9-11 JL12 系列过电流继电器反时限特性

电流/A	动作时间及说明
I_N（额定电流）	不动作 持续 1h 不动作为合格
$1.5I_N$	<3min（热态）
$2.5I_N$	10s ± 6s（热态）
$6I_N$	<1 ~ 3s 当环境温度大于 0℃时，动作时间小于 1s 当环境温度小于 0℃时，动作时间小于 3s

环境温度较低时，由于温度对硅油粘度的影响，使继电器的动作时间增长，则可调节螺钉，使铁心位置上升，即可使动作时间缩短；环境温度较高时，则可调节螺钉，使铁心位置下降，即可使动作时间延长。因此，铁心的位置高度应按环境温度而定，经适当调整后，继电器在使用环境温度下，都能达到表中的要求。试验电路见图 5-39，可将电流从 I_N 按表 9-10 中递增并测其动作时间，应符合表中的规定。

2. 凸轮控制器

凸轮控制器是起重机械中控制电动机的专用装置。它是通过凸轮的转动而带动触头的闭合与断开的。其控制原理见图 9-7，1 ~ 4#触头是接通和切断电动机定子回路的；5 ~ 9#触头是分段切除转子串接电阻的；10 ~ 12#触头是常闭触点，是用在保护回路的。

1）用 500V 绝缘电阻表测试各个触头之间、各个触头与地之间（外壳）的绝缘电阻，应不小于 1MΩ。

2）用万用表测试触头的通断性和动作的可靠性，（转动手轮），见图 9-7。

① 当手轮指针置于 0 位时，1 ~ 9#触头应断开，阻值为∞；10 ~ 12#触头应闭合，阻值为 0；应用纸条测试接触压力。

② 当手轮指针置于正转 1 档时，1#、3#、10#触头应闭合，阻值为 0；其余都应断开，阻值∞，并测试接触压力。

③ 当手轮指针置于正转 2 档时，1#、3#、5#、10#触头应闭合，阻值为 0；其余都应断开，阻值∞，并测试触头压力应正常。

④ 当手轮指针置于正转 3 档时，1#、3#、5#、6#、10#触头应闭合，阻值为 0；其余都应断开，阻值∞，测试触头压力正常。

⑤ 当手轮指针置于正转 4 档时，1#、3#、5#、6#、7#、10#触头应闭合，阻值为 0；其余都应断开，阻值∞，触头压力正常。

⑥ 当手轮指针置于正转 5 档时，1#、3#、5#、6#、7#、8#、9#、10#触头应闭合，阻值为 0；其余都应断开，阻值∞，触头压力正常。

⑦ 手轮指针从 5 档返回至 0 位时，在每档重复上述的测试，应正常。

⑧ 用同样的方法把手轮指针打向反转各档，重复上述的测试，除 2#、4#触头与 1#、2#触头动作相同外，其余触头与正转相同。当触头压力不足时，可调节弹簧使其压力正常。

3）测试 1#、3#及 2#、4#触头的同步性：将 1#、3#触头串联起来接在万用表的欧姆档上，当从 0 位置于 1 档时。如果 1#、3#、触头的同步性良好时，表的指针应立即指向零位，否则同步性差。再将 1#、3#触头在 1 档的闭合状态并联起来接在万用表的欧姆档上，当从 1 档返回“0”位时，如果 1#、3#触头的同步性良好时，表的指针应立即指向∞，否则同步性差。

用同样的方法可测试 2#、4#触头的同步性，只是手轮应打向反转。

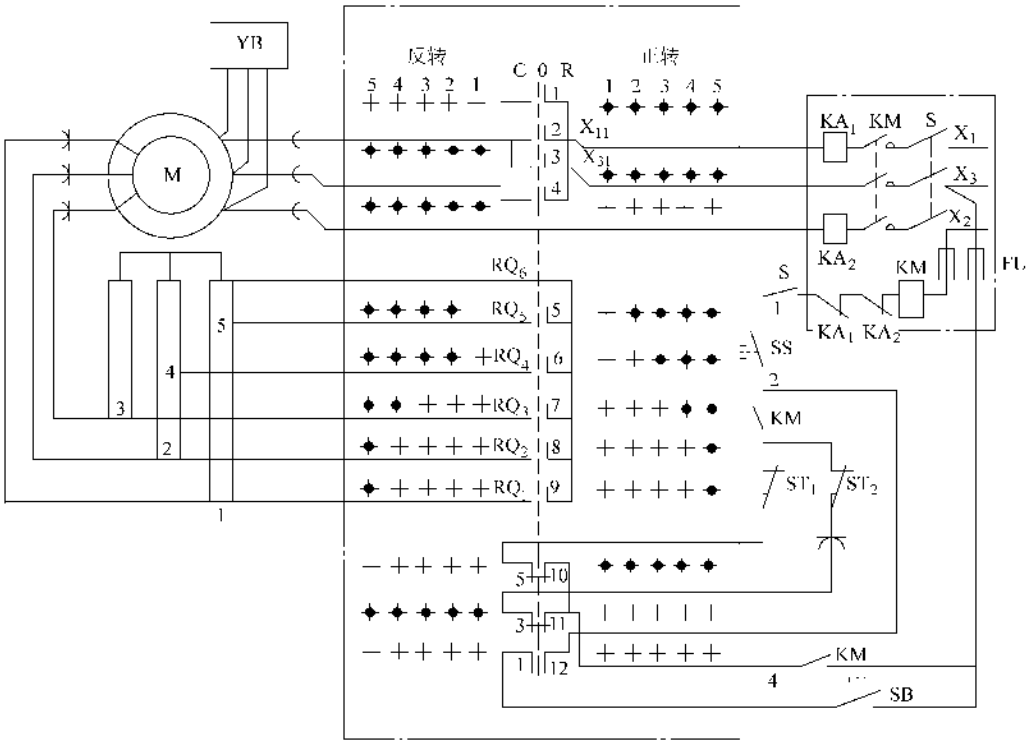


图 9-7　凸轮控制器原理接线图

用同样的方法测试凸轮控制器切除电阻触头动作的同步性。

4）用升流器按 4 倍被控电动机定子额定电流测试 1～4#触头，其温度不应超过室温 25℃，且切换灭弧良好，触头无烧伤痕迹。

按 3 倍被控电动机转子额定电流测试 5～9#触头，要求同前。

3. 电磁抱闸

1）线圈的绝缘电阻应大于 1MΩ。

2）线圈的耐压试验：试验电压 1000V，时间 1min 不击穿；当绝缘电阻在 10MΩ 以上可用 2500V 绝缘电阻表代替，时间 1min。

3）通电试验：将线圈加以额定电压，电磁铁应吸合并带动闸瓦动作，动作应灵活，电磁铁吸合应严密，衔铁和轭铁间应无气隙，否则磁阻增大，感抗减小，电流增加进而使线圈发热而烧毁。正常情况下，线圈的温度不应超过室温 10～15℃。必要时可测电流，一般不得大于说明书上数值的 1.05 倍。

4）牵引力的测试：用弹簧拉力计测试线圈通电后的拉力，拉力应不小于说明书上的数值。

4. 起动电阻的测试

1）用电桥或数字万用表测试电阻的阻值，阻值应近似等于起动电阻的计算值，计算值一般由设计给出或查表，见表 9-12～表 9-15。

表 9-12　凸轮控制器控制的电动机及电阻器数据表

电阻器型号	电动机型号	电动机数据			所配用的控制器型号	每台电动机配用电阻箱数
		容量/kW	转子电流/A	转子电压/V		
RT01-6/1B	JZR2-01-1	0.6	8.15	64		
RT02-6/1B	JZR2-02-6	1.0	8.9	91		
RT03-6/1B	JZR2-03-6	1.5	9.7	120		
RT11-6/1B	JZR2-11-6	2.2	11.8	138	KTJ1-50	
RT12-6/1B	JZR2-12-6	3.5	12.1	206	KT10-25J	1
RT21-6/1B	JZR2-21-6	5	17.1	143	KT12-25J	
RT22-6/1B	JZR2-22-6	7.5	18.9	267		
RT31-8/1B	JZR2-31-8	7.5	27	186		
RT31-6/1B	JZR2-31-6	11	32	225		
RT41-8/1B	JZR2-41-8	11	50	150		

（续）

电阻器型号	电动机型号	电 动 机 数 据			所配用的控制器型号	每台电动机配用电阻箱数
		容量/kW	转子电流/A	转子电压/V		
RT42-8/1B	JZR2-42-8	16	49	215	KT10-60J	
RT51-8/2D	JZR2-51-8	22	64	220		2
RT52-8/2D	JZR2-52-8	30	67	285	KT-60J	

表 9-13 电阻器各段电阻阻值

阻值/Ω 型号	$R_1 \sim R_5$	$R_5 \sim R_6$	$R_3 \sim R_6$	$R_2 \sim R_4$	$R_4 \sim R_6$
RT01-6/1B	1.4	7.45	2.81	0.54	4.64
RT02-6/1B	1.835	10.2	3.68	0.648	6.27
RT03-6/1B	2.16	13.39	4.43	0.755	7.68
RT11-6/1B	1.87	13.6	4.11	0.702	7.42
RT12-6/1B	2.65	21.6	5.95	0.936	11.2
RT21-6/1B	1.56	15.2	3.66	0.494	7.4
RT22-6/1B	1.938	20.2	4.64	0.645	9.66
RT31-8/1B	0.991	9.35	2.32	0.341	4.64
RT31-6/1B	0.9	10.13	2.23	0.3	4.85
RT41-8/1B	0.42	4.2	1.0	0.14	2.0
RT42-8/1B	0.5	6.8	1.4	0.20	3.0
RT51-8/2D	0.528	4.0	1.23	0.179	2.45
RT52-8/2D	0.66	6.1	1.53	0.224	3.05

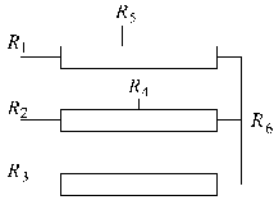
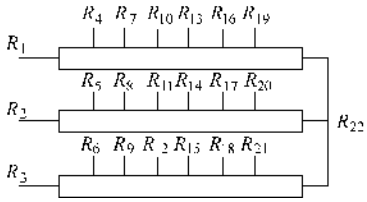


表 9-14 主钩电动机及电阻器数据表

电阻器型号	电动机型号	电 动 机 数 据			通电持续率	每台电动机所配用的电阻器箱数
		容量/kW	转子电压/V	转子电流/A		
22P5-61-10/5D	JZR2-61-10	30	142	135		5
22P5-62-10/6D	JZR2-62-10	40	180	142		6
22P5-63-10/6D	JZR2-63-10	50	214	146		6
22P5-64-10/9D	JZR2-64-10	65	272	148	25%	9
22P5-71-10/9D	JZR2-71-10	80	282	176		9
22P5-72-10/9D	JZR2-72-10	100	355	177		9
22P5-73-10/15D	JZR2-73-10	125	452	168		15
24P5-61-10/6D	JZR2-61-10	24	142	108		6
24P5-62-10/6D	JZR2-62-10	33	180	117		6
24P5-63-10/8D	JZR2-63-10	41	214	120		8
24P5-64-10/9D	JZR2-64-10	50	272	114	40%	9
24P5-71-10/9D	JZR2-71-10	63	282	137		9
24P5-72-10/12D	JZR2-72-10	85	355	150		12
24P5-73-10/15D	JZR2-73-10	100	452	135		15

表 9-15　电阻器各段电阻阻值

电阻器＼电阻值	$R_1 \sim R_4$	$R_4 \sim R_7$	$R_7 \sim R_{10}$	$R_{10} \sim R_{13}$	$R_{15} \sim R_{16}$	$R_{16} \sim R_{19}$	$R_{19} \sim R_{22}$
22P5-61-10/5D	0.032	0.056	0.112	0.158	0.221	0.296	0.925
22P5-62-10/6D	0.048	0.084	0.14	0.19	0.284	0.382	1.08
22P5-63-10/6D	0.048	0.112	0.168	0.221	0.316	0.425	1.38
22P5-64-10/9D	0.063	0.112	0.196	0.252	0.379	0.551	1.69
22P5-71-10/9D	0.056	0.107	0.171	0.224	0.335	0.466	1.39
22P5-72-10/9D	0.07	0.128	0.214	0.28	0.42	0.592	1.74
22P5-73-10/15D	0.098	0.172	0.3	0.364	0.56	0.765	2.32
24P5-61-10/6D	0.043	0.095	0.158	0.17	0.297	0.382	1.23
24P5-62-10/6D	0.064	0.112	0.168	0.212	0.297	0.467	1.39
24P5-63-10/8D	0.063	0.112	0.196	0.255	0.382	0.51	1.54
24P5-64-10/9D	0.085	0.168	0.28	0.297	0.51	0.68	2.16
24P5-71-10/9D	0.079	0.129	0.235	0.284	0.442	0.595	1.85
24P5-72-10/12D	0.079	0.15	0.257	0.316	0.505	0.68	2.15
24P5-73-10/15D	0.11	0.214	0.364	0.442	0.692	0.975	2.92



2）电阻的通电试验，电阻应通以所配电动机转子额定电流的 3 倍，其温度不应超过室升 30℃，必要时可测试其功率。

5. 主令控制器

主令控制器类似凸轮控制器，其触头容量小，操作轻便，适用于按顺序操纵多个控制回路，用以发出指令，通过接触器来实现控制电动机的起动、制动、调速和反转。通常把接触器装在控制屏上。

主令控制器的测试同凸轮控制器。

6. 控制屏和保护屏

控制屏是与主令控制器配套使用的，它是将刀开关、熔断器、过电流继电器、各类接触器、各类继电器、电阻器、整流器等元器件装于一个柜内或屏上（见图 9-59、图 9-60）。其型号规格很多，功能大体相同，按用途分有提升机构（主钩、副钩）、平移机构（小车）、行走机构（大车）等，见表 9-16 ~ 表 9-21。

保护屏是将电源总开关、线路接触器、信号装置等元件装于一个柜内或屏上（见图 9-59、图 9-60）。与凸轮控制器配套使用的保护屏还要将过电流继电器装于屏上。无论使用主令控制器，还是使用凸轮控制器都有保护屏，其规格型号见表 9-22 ~ 表9-25。

表 9-16　PQR10A 系列控制屏技术数据

型　　号	频率/Hz	电动机容量/kW	额定电压/V	控制电路电压/V	JC% =40% 时允许电流/A		过电流继电器额定电流/A	对照原型号
					定子	转子		
PQR10A-100-1	50	11	380	380	100	170	30	PQR10-75-1
PQR10A-100-2	50	16	380	380	100	170	40	PQR10-75-1
PQR10A-100-3	50	22	380	380	100	170	60	PQR10-75-1
PQR10A-100-4	50	30	380	380	100	170	75	PQR10-75-2
PQR10A-100-5	50	40	380	380	100	170	100	PQR10-75-2
PQR10A-150	50	50 ~ 65	380	380	150	170	150	PQR10-250-1
PQR10A-250	50	80 ~ 100	380	380	250	170	200	PQR10-250-2

表 9-17 PQR10A 系列控制屏电器元件配套表

电器 / 型号	刀开关		交流接触器				过电流继电器							接线端子
	HD11-200/38	HK2 15A 单级	CJ10-10	CJ12E-100/3	CJ12B-150/3	CJ12E-250/3	JL12-30	JL12-40	JL12-60	JL12-75	JL12-100	JL12-150	JL12-200	DI-10 10A
PQR10A-100-1	1	1	1	9			2							13 节
PQR10A-100-2	1	1	1	9				2						13
PQR10A-100-3	1	1	1	9					2					13
PQR10A-100-4	1	1	1	9						2				13
PQR10A-100-5	1	1	1	9							2			13
PQR10A-150	1	1	1	7	2							2		13
PQR10A-250	1	1	1	7		2							2	13

表 9-18 新系列控制屏的技术数据

用途	型号	被控制电动机功率/kW	额定电流/A		额定电流时的允许操作频率/次	
			定子	转子		
平移机构控制屏	单电动机	PQY1-60 PQY1-100 PQY1-150 PQY1-250	11～22 30 45～60 80～100	60 100 150 250	170 170 170 250	600
		PQY1-400	125～160	400	250	300
	双电动机	PQY$\frac{2}{3}$-100	2×11 2×16	2×50 2×50	2×100 2×100	600
		PQY$\frac{2}{3}$-150	2×22 2×30	2×75 2×75	2×150 2×150	
		PQY$\frac{2}{3}$-250	2×45	2×125	2×250	
		PQY$\frac{2}{3}$-400	2×60 2×80	2×200 2×200	2×250 2×250	300
	四电动机	PQY4-250	4×11 4×16 4×22	4×60 4×60 4×60	4×100 4×100 4×100	600
		PQY4-400	4×30	4×100	4×150	300
升降机构电动机	单电动机	PQS1-100 PQS1-150 PQS1-250	16～30 45～60 80～100	100 150 250	100 150 250	600
		PQS1-400	125 160	400 400	400 400	300

（续）

用　　途	型　　号	被控制电动机功率/kW	额定电流/A		额定电流时的允许操作频率/次	
			定子	转子		
升降机构电动机	双电动机	PQS $\frac{2}{3}$-100	2×16～2×30	2×100	2×100	600
		PQS $\frac{2}{3}$-150	2×45～2×60	2×150	2×150	
		PQS $\frac{2}{3}$-250	2×80～2×100	2×250	2×250	
		PQ $\frac{2}{3}$-400	2×125～2×160	2×400	2×250	300
抓斗开闭升降机构控制屏		PQZ1-100 PQZ1-150 PQZ1-150	2×16～2×30 2×45～2×60 2×80～2×100	2×100 2×150 2×250	2×170 2×170 2×250	600
		PQZ1-400	2×125 2×160	2×400 2×400	2×250 2×250	300

表 9-19　PQY 屏元件表

符　　号	名　　称	PQY2-100	PQY2-150	PQY2-250	PQY2-400	数　　量
		元　件　型　号				
QK_1	刀开关	HD11-100/38	HD11-100/38	HD11-200/38	HD11-400/38	1
QK_2	刀开关	HK1-P 380V				1
1～2FU	熔断器	RL1-15 熔体 15A				2
KMF，KMR	换向接触器	CJ12-100/3	CJ12-150/3	CJ12-250/3	CJ12-400/3	2
KMB	反接接触器	CJ12-100/4	CJ12-150/4	CJ12-250/4		1
1～3KMA	加速接触器	CJ12-100/4	CJ12-150/4	CJ12-250/4		3
KV	零压继电器	CJ0-20～380V				1
1～2KLA	联锁继电器	JT3-11/3～110V				2
1～2KA	过电流继电器	JL5-60 或 JL9-60	JL5-80 或 JL9-80	JL5-150 或 JL9-150	JL5-300 或 JL9-250	2
3R	电阻	ZG11-50 600Ω				1
1～2R	电阻	ZG11-50 450Ω				2
1～2U	整流器	2CZ-5/800 800V 5A				2

表 9-20　PQS1 屏元件表

符　　号	名　　称	PQS1-100	PQS1-150	PQS1-250	PQS1-400	数　　量
		元　件　型　号				
QK_1	刀开关	HD11-100/38		HD11-200/38	HD11-400/38	1
QK_2	刀开关	HK1-P 380V				1
1～2FU	熔断器	RL1-15 熔体 15A				2
KMF，KMR	换向接触器	CJ12-100/3	CJ12-150/3	CJ12-250/3	CJ12-400/3	3
KMB	反接接触器	CJ12-100/3		CJ12-150/3		1

（续）

符　号	名　称	PQS1-100	PQS1-150	PQS1-250	PQS1-400	数　量
		元　件　型　号				
1～3KMA	加速接触器	CJ12-100/3		CJ12-150/3		3
KMB	反接接触器				CJ12-150/3	1
1～4KMA	加速接触器				CJ12-150/3	4
KMB	制动接触器	CJ10-20～380V				1
KV	零压继电器	CJ10-20～380V				1
1KLA	联锁继电器	JT3-20/1～110V				1
HXJKR	换向继电器	JT3-12～110V				1
2～4KLA	联锁继电器	JT3-11/1～110V				3
5KLA	联锁继电器				JT3-11/1—110V	1
1～2KA	过电流继电器	JL5-100 或 JL9-100	JL5-150 或 JL9-150	JL5-300 或 JL9-250	JL5-400 或 JL9-400	2
7R	电阻	ZG11-50 600Ω				1
1-6R	电阻	ZG11-50 450Ω				6
1-2U	整流器	2CZ-5/800 800V 5A				2

表 9-21　PQZ1 屏元件表

符　号	名　称	PQZ1-100	PQZ1-150	PQZ1-250	PQZ1-400	数　量
		元　件　型　号				
QK_1	刀开关	HD11-200/38	HD11-200/38	HD11-400/38	HD11-400/38	1
2DK 2QK	刀开关	HK1-P 380V				1
1～2FU	熔断器	RL1-15 熔体 15A				2
1～2KMF KMR	换向接触器	CJ12-100/3	CJ12-150/3	CJ12-250/3	CJ12-400/3	2
1～6KMA	加速接触器	CJ12-100/3		CJ12-150/3		6
1～8KMA	加速接触器				CJ12-150/3	8
KV	零压接触器	CJ10-20～380V				1
1～6KLA	联锁继电器	JT3-11/1—110V				6
1～8KLA	联锁继电器				JT3-11/1—110V	8
1～4KA	过电流继电器	JL5-100 或 JL9-100	JL5-150 或 JL9-150	JL5-300 或 JL9-250	JL5-600 或 JL9-400	4
9R	电阻	ZG11-50 600Ω				1
1～8R	电阻	ZG11-50 450Ω				8
1～2U	整流器	2CZ-5/800 800V 5A				2

表 9-22　电动双梁桥式起重机电动机及保护柜选用表

吨位	级别	跨度/m	电动机				保护柜型号
			主卷扬	副卷扬	小车	大车	
5	中	10.5～31.5	JZR2-31-6	—	JZR2-11-6	2×JZR2-12-6	GQR5-EBCC
	重	10.5～31.5	JZR2-42-8	—	JZR2-11-6	2×JZR2-21-6	GQR5-GBCC
10	中	10.5～22.5	JZR2-42-8	—	JZR2-11-6	2×JZR2-12-6	GQR5-GBCC
		25.5～31.5	JZR2-42-8	—	JZR2-11-6	2×JZR2-21-6	GQR5-GBCC
	重	10.5～22.5	JZR2-52-8	—	JZR2-11-6	2×JZR2-21-6	GQR5-GBCC
		25.5～31.5	JZR2-52-8	—	JZR2-11-6	2×JZR2-22-6	GQR5-HBDD
15/3	轻	10.5～31.5	JZR2-21-6	JZR2-41-8	JZR2-11-6	2×JZR2-11-6	GQR6-CEBBB
		25.5～31.5	JZR2-21-6	JZR2-41-8	JZR2-11-6	2×JZR2-12-6	GQR6-CEBCC
	中	10.5～31.5	JZR2-51-8	JZR2-41-8	JZR2-12-6	2×JZR2-21-6	GBR6-GECCC
		25.5～31.5	JZR2-51-8	JZR2-41-8	JZR2-12-6	2×JZR2-22-6	GBR6-GECDD
	重	10.5～31.5	JZR2-63-10	JZR2-41-8	JZR2-12-6	2×JZR2-12-6	GBR5-ECDD
		25.5～31.5	JZR2-63-10	JZR2-41-8	JZR2-12-6	2×JZR2-31-6	GBR5-ECEE
20/5	轻	10.5～22.5	JZR2-22-6	JZR2-31-6	JZR2-11-6	2×JZR2-11-6	GQR6-DEBBB
		25.5～31.5	JZR2-22-6	JZR2-31-6	JZR2-11-6	2×JZR2-12-6	GQR6-CEBCC
	中	10.5～31.5	JZR2-52-8	JZR2-42-8	JZR2-12-6	2×JZR2-22-6	GQR6-HGCDD
	重	10.5～22.5	JZR2-63-10	JZR2-42-8	JZR2-12-6	2×JZR2-22-6	GQR5-GCDD
		25.5～31.5	JZR2-63-10	JZR2-42-8	JZR2-12-6	2×JZR2-31-6	GQR5-GCEE
30/5	轻	10.5～31.5	JZR2-31-6	JZR2-31-6	JZR2-11-6	2×JZR2-21-6	GQR6-EEECC
	中	10.5～31.5	JZR2-63-10	JZR2-42-8	JZR2-21-6	2×JZR2-22-6	GQR5-GCDD
	重	10.5～22.5	JZR2-71-10	JZR2-42-8	JZR2-21-6	2×JZR2-31-6	GQR5-GCEE
		25.5～31.5	JZR2-71-10	JZR2-42-8	JZR2-21-6	2×JZR2-42-6	GQR5-GCGG
50/10	轻	10.5～31.5	JZR2-42-8	JZR2-42-8	JZR2-12-6	2×JZR2-22-6	GQR6-GGCDD
	中	10.5～31.5	JZR2-63-10	JZR2-52-8	JZR2-22-6	2×JZR2-31-6	GQR5-HDEE
	重	10.5～31.5	JZR2-71-10	JZR2-52-8	JZR2-22-6	2×JZR2-42-8	GQR5-HDGG
75/20	轻	10.5～31.5	JZR2-51-8	JZR2-52-8	JZR2-21-6	2×JZR2-41-8	GQR6-HGCEE
	中	10.5～22.5	JZR2-71-10	JZR2-52-8	JZR2-31-6	2×JZR2-42-6	GQR5-HEGG
		25.5～31.5	JZR2-71-10	JZR2-52-8	JZR2-31-6	2×JZR2-51-8	GQR5-HEGG
100/20	中	13～22	JZR2-71-10	JZR2-52-8	JZR2-41-8	2×JZR2-51-8	GQR5-HEGG
		25～31	JZR2-71-10	JZR2-52-8	JZR2-41-8	2×JZR2-51-8	GQR5-HEGG

表 9-23 GQR5 型保护柜技术数据

型号	1 号电动机		2 号电动机		3 号电动机		4 号电动机		电动机总容量/kW	总继电器额定电流/A
	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A		
GQR5-EBCC	7.5～11	30	2.2～3.5	10	3.5～5	15	3.5～5	15	16.7～24.5	60
GQR5-ECDD	7.5～11	30	3.5～5	15	5～7.5	20	5～7.5	20	21～31	75
GQR5-ECEE	7.5～11	30	3.5～5	15	7.5～11	30	7.5～11	30	26～38	100
GQR5-GBCC	16～22	60	2.2～3.5	10	3.5～5	15	3.5～5	15	25.2～35.5	100
GQR5-GCDD	16～22	60	3.5～5	15	5～7.5	20	5～7.5	20	29.5～42	100
GQR5-GCEE	16～22	60	3.5～5	15	7.5～11	30	7.5～11	30	34～49	100
GQR5-GCGG	16～22	60	3.5～5	15	16～22	60	16～22	60	51.5～71	200
GQR5-HBDD	22～30	75	2.2～3.5	10	5～7.5	20	5～7.5	20	34.2～48.5	100
GQR5-HDEE	22～30	75	5～7.5	20	7.5～11	30	7.5～11	30	42～59.5	150
GQR5-HDGG	22～30	75	5～7.5	20	16～22	60	16～22	60	59～81.5	200
GQR5-HEGG	22～30	75	7.5～11	30	16～22	60	16～22	60	61.5～85	200

表 9-24 GQR6 型保护柜技术数据

型号	1 号电动机		2 号电动机		3 号电动机	
	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A
GQR6-CEBBB	3.5～5	15	7.5～11	30	2.2～3.5	10
GQR6-CEBCC	3.5～5	15	7.5～11	30	2.2～3.5	10
GQR6-DEBBB	5～7.5	20	7.5～11	30	2.2～3.5	10
GQR6-DEBCC	5～7.5	20	7.5～11	30	2.2～3.5	10
GQR6-FEBCC	11～16	40	7.5～11	30	2.2～3.5	10
GQR6-GECCC	16～22	60	7.5～11	30	3.5～5	15
GQR6-GECDD	16～22	60	7.5～11	30	3.5～5	15
GQR6-GGCDD	16～22	60	16～22	60	3.5～5	15
GQR6-HGCDD	22～30	75	16～22	60	3.5～5	15
GQR6-HGCEE	22～30	75	16～22	60	3.5～5	15

型号	4 号电动机		5 号电动机		电动机总容量/kW	总继电器额定电流/A
	容量/kW	继电器额定电流/A	容量/kW	继电器额定电流/A		
GQR6-CEBBB	2.2～3.5	10	2.2～3.5	10	17.6～26.5	75
GQR6-CEBCC	3.5～5	15	3.5～5	15	21.2～29.5	75
GQR6-DEBBB	2.2～3.5	10	2.2～3.5	10	19.1～29	75
GQR6-DEBCC	3.5～5	15	3.5～5	15	21.7～33	100
GQR6-FEBCC	3.5～5	15	3.5～5	15	27.7～40.5	100
GQR6-GECCC	3.5～5	15	3.5～5	15	34～48	100
GQR6-GECDD	5～7.5	20	5～7.5	20	37～53	100
GQR6-GGCDD	5～7.5	20	5～7.5	20	45.5～64	150
GQR6-HGCDD	5～7.5	20	5～7.5	20	51.5～72	150
GQR6-HGCEE	7.5～11	30	7.5～11	30	56.5～79	200

表 9-25　GQR 系列保护柜电器元件配套表

型号	刀开关	交流接触器	变压器	螺旋式熔断器					按钮	指示灯	单相双用暗插座	过电流继电器	接线座
	HD14-400/20 400A	CJ12B-250/3	BKC-150 380/36V	RL1-60 60A	RL1-15 15A	熔体 35A	熔体 10A	熔体 6A	LA18-22 500V 5A	XD6-380V/24V	500V 5A	JL12	JX2 500V 10A
GQR1	1	1	1		3		2	1	1	1	1	7	8 节
GQR2	1	1	1	2	3	2	2	1	1	1	1	5	8 节
GQR3	1	1	1		3		2	1	1	1	1	9	8 节
GQR4	1	1	1		3		2	1	1	1	1	7	8 节
GQR5	1	1	1		3		2	1	1	1	1	9	8 节
GQR6	1	1	1		3		2	1	1	1	1	11	8 节

注：新系列电动机套用表 9-12 ~ 表 9-25 时可按电动机额定功率选用数据。

控制屏、保护屏的检查和试验同“动力电路”中的起动控制柜。

自制天车、龙门吊或控制屏、保护屏不随设备配套的，应按设计制作组装，见“预制加工”章节。

7. 行程开关及其他按钮、保护开关

主要测试其通断能力及可靠性，行程开关要检查其是否坚固、机械强度。

8. 电动机的测试

起重机械多用起重冶金绕线转子异步电动机，其测试方法及内容详见第五章、第七章（动力电路）。其中行走机构的两台或四台电动机的各种电气参数应相同，进而保证同步性。

第四节　管路的敷设及穿线

起重机械电线管路都是沿设备的钢架明装敷设的，敷设的方法有两种，即焊接法和管卡固定法。采用焊接固定法时，焊点必须牢固，防止起重机运行时的振动和弹性变形使焊点开裂和损坏。无论哪种方法，特别是室外安装的起重机械的管路敷设应使管口向下或有其他防雨防水措施。进入柜内、控制器的垂直向上的管口至少出板面 80mm。管路的敷设应尽量隐蔽在钢架的内侧，不得破坏其结构，不得妨碍传动装置和移动器械的正常工作。所有的管路应横平竖直，成排的管应排列整齐，并应符合第六章中明装线路及灯具、开关的安装的规定。由于起重机械的控制方法不同，常采用主令控制器和控制屏控制提升机构，凸轮控制器控制平移及行走机构，管路的敷设途径也不相同。管子的敷设应该根据每台电动机实际采用的控制方法决定的。图 9-8 所示为某桥式起重机的管线布置图，供读者参考。

一、管路的种类

（1）电源管　由轿厢下底（保护柜位置）到滑接线的管路。

（2）电动机负荷管　采用凸轮控制时，由凸轮控制器位置从轿厢下底到被控电动机接线盒的管路；采用主令控制器控制时，由控制屏位置（从轿厢下底）到被控电动机接线盒的管路。有的管路只送到滑线的一端，然后由滑线再引至电动机。

（3）控制管　从保护柜经轿厢下底到凸轮控制器的管路及从控制屏经轿厢下底到主令控制器的管路，轿厢门操作台到保护柜或控制屏、保护紧急开关的管路。

（4）行程开关管　由保护柜或控制屏经轿底到安装行程开关位置的管路。

（5）电阻器管　由凸轮控制器或控制屏经轿底到电阻器安装位置的管路及电阻器到电机位置的管路。

（6）照明及信号管　由轿厢操作台到保护屏及保护屏到轿厢内外安装照明及安全信号装置（电铃）、终端信号灯（常用室外龙门吊）的管路。

这里要注意两点，由于提升机构是随小车移动的，因此提升机构的主钩、副钩电动机和小车电动机的负荷管、电阻器管路只送到主轿架的一端，与电动机的连接是由架设在大车上的辅助滑线来完成的。

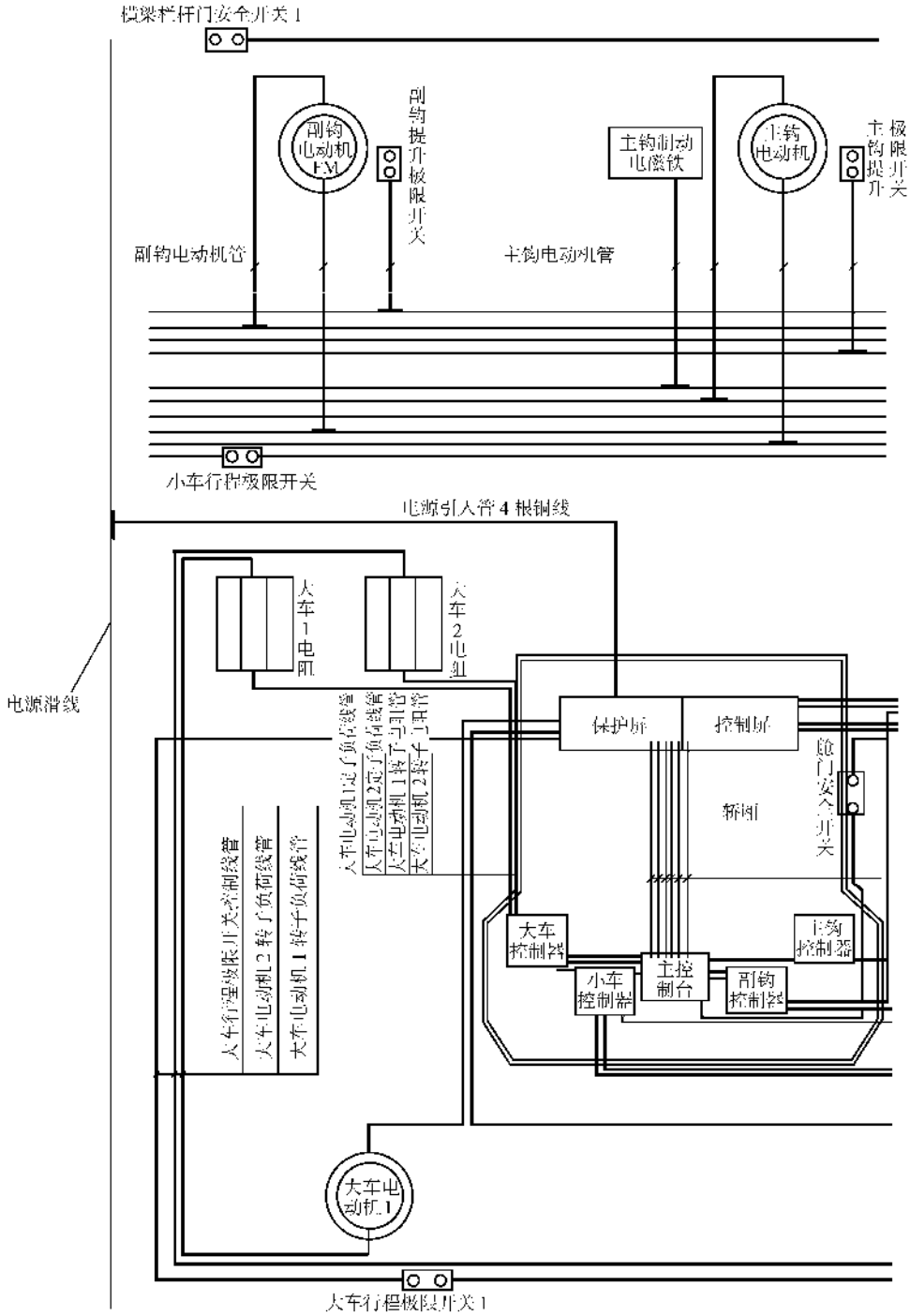
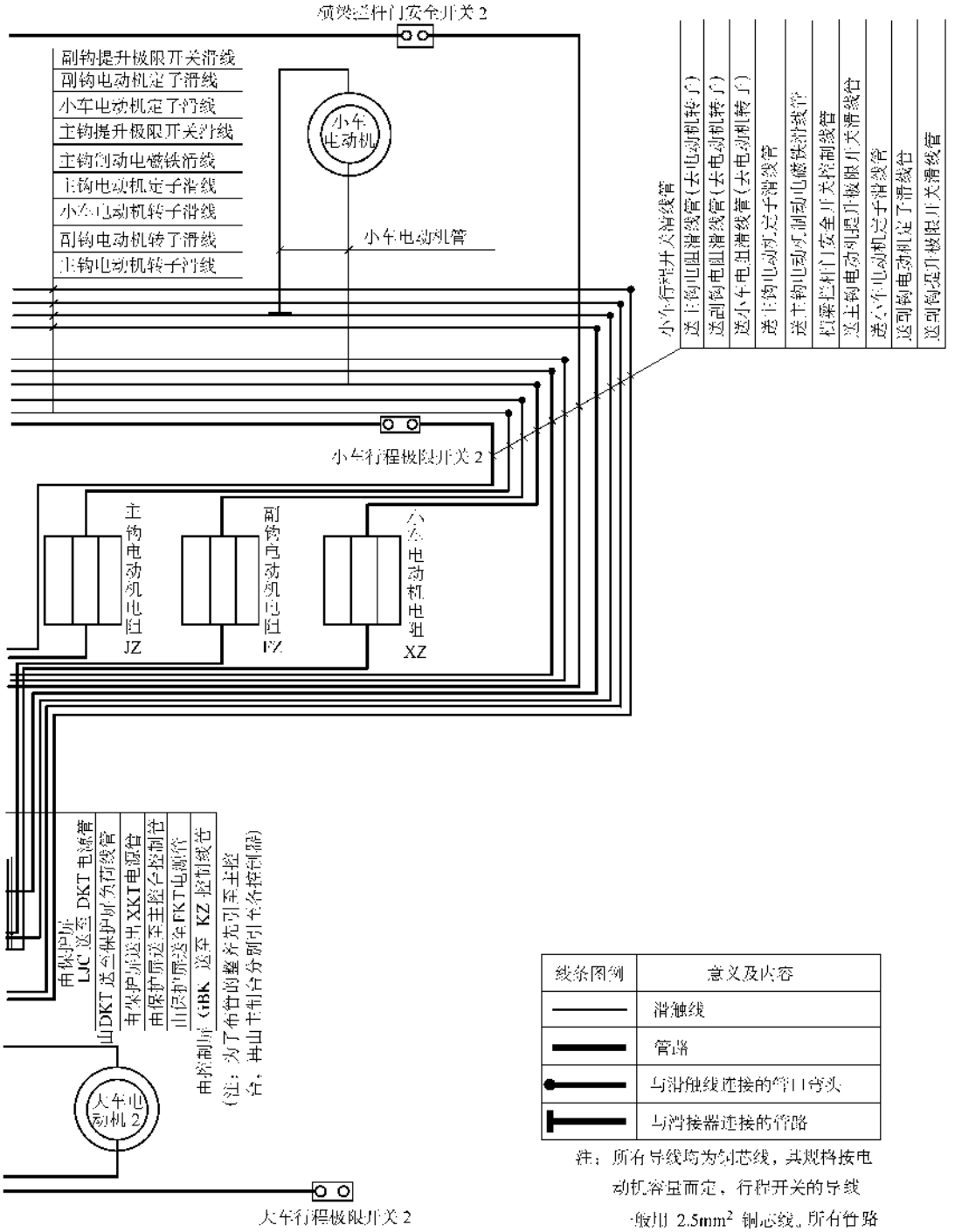

模梁栏杆门安全开关 1
副钩电动机 1
副钩提升极限开关
主钩制动电磁铁
主钩电动机
主钩提升极限开关
副钩电动机管
主钩电动机管
小车行程极限开关
电源引入管 4 根铜线
大车 1 电阻
大车 2 电阻
电源滑线
大车电动机定子负荷线管
大车电动机 2 定子负荷线管
大车电动机 1 转子负荷线管
大车电动机 2 转子负荷线管
保护屏
控制屏
桥面
舱门安全开关
大车行程极限开关控制线管
大车电动机 2 转子负荷线管
大车电动机 1 转子负荷线管
大车控制器
小车控制器
主控制台
副钩控制器
主钩控制器
大车电动机 1
大车行程极限开关 1

图 9-8 某轿式起重机



线条图例	意义及内容
———	滑触线
━━━	管路
●———	与滑触线连接的管口弯头
├———	与滑接器连接的管路

注：所有导线均为铜芯线，其规格按电动机容量而定，行程开关的导线一般用 2.5mm² 铜芯线。所有管路规格由导线截面和根数而定，一般为 G15、G20、G25、G32、G40。

管线布置示意图

另外，通常凸轮控制器、主令控制器及保护柜是安装在轿厢内的，控制屏、电阻器是安装在大车轿架上的，但也有安装于轿厢之中的。

因此，管路敷设前，必须确认或确定电气设备的安装位置，见本章第六节，而在工程中则以图样或实物为准。

二、管路的敷设及穿线

（一）焊接固定法

1）根据设备实际安装位置，确定管路的途径，划线并标出焊接的位置。

2）管路的处理、连接、煨弯和管口套丝同前。两根或两根以上管路成排敷设时，在转角处有时用接线盒代替煨弯，接线盒为钢制密封，严禁进水。其大小可根据管路的规格及多少决定，见图 9-9，这也是明设管路时常用的方法。立装时可在盒盖处加橡皮垫或在上方焊接防水挡板，装于顶板上时加盖即可。这种方法可避免由于煨弯的误差而造成转角处的不整齐和不一致。

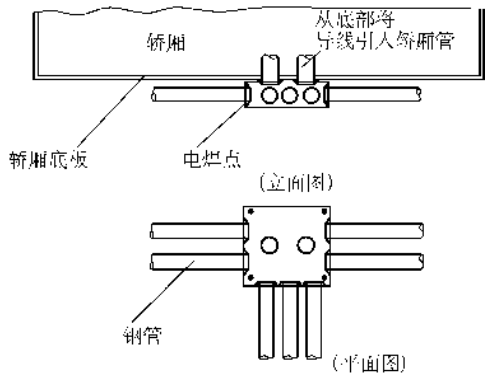


图 9-9　接线盒的设置

3）钢管与钢架焊接时须在接触部位的上下都焊接，见图 9-10，焊接长度不小于 30mm，焊点间距 1.5～2.0m，所有管路应一致。

（二）管卡固定法

管卡固定法只是焊点部位改设成管卡子，其他与焊接固定法相同。在管子敷设部位的两侧各开一 ϕ3～ϕ4mm 的孔，然后套丝，丝锥为 4～5mm，最后用 Ω 形卡子将管固定。固定螺钉的大小由管径而定，一般用 4mm 的螺钉，大于 ϕ25mm 的管用 5mm 的螺钉，见图 9-11。

管路的敷设应注意以下两点：

1）在室外龙门架标高 2m 以下钢架上敷设管路时，必要时应用角钢或槽钢保护钢管，一般是将角钢或槽钢扣在钢管上，然后将其与钢架电焊焊接，焊缝一般每隔 1m 焊 100mm，见图 9-12。

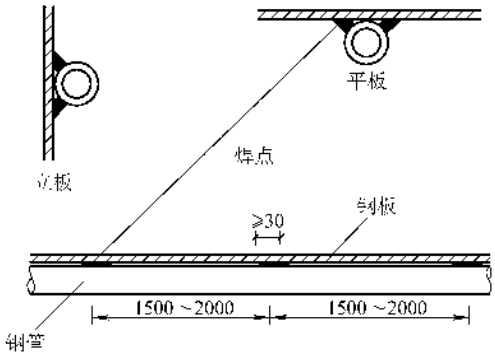


图 9-10　钢管的焊接固定

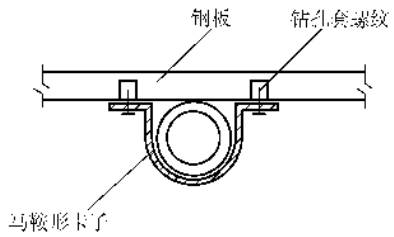


图 9-11　钢管用卡子固定

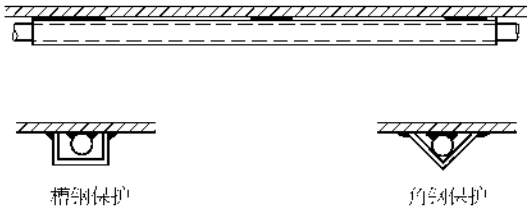


图 9-12　钢管的保护

2）敷设管路时，如果改变管路的方向实在困难，可用金属软管代替，但只能在 2m 以上的位置，金属软管与钢管接口处应用专用的配套卡子。

3）管路安装完后，应刷防锈漆两遍，用与天车钢架同色的漆再刷一遍。

（三）穿线

穿线方法及注意事项同动力电路。这里需要特别强调几点：

1）所有导线须为额定电压不低于 500V 的铜芯绝缘导线，导线的截面积最小不得小于 2.5mm^2，通常应按表 9-26～表 9-29 选择导线截面，因为其工作条件的特殊性，与一般动力电路略有不同。

2）穿入管内导线，其绝缘电阻必须大于 1MΩ。

表 9-26　电动机导线选用表

型号＼规格	功率/kW	定子电流/A	转子电流/A	定子线截面积/mm^2
JZR2-11-6	2.2	7.0	12	2.5
JZR2-12-6	3.5	10.4	12	2.5
JZR2-21-6	5.0	14.5	18	2.5
JZR2-22-6	7.5	18.5	20	2.5
JZR2-31-6	11	28.5	32.5	4
JZR2-31-8	7.5	22.5	30	4
JZR2-41-8	11	32	46	6
JZR2-42-8	16	40	46.5	10
JZR2-51-8	22	53	70	10
JZR2-52-8	30	74	72	10
JZR2-61-10	30	75	137	10
JZR2-62-10	45	110	146	16
JZR2-63-10	60	130	159	25
JZR2-71-10	80	187	179	50
JZR2-72-10	100	231	178	70
JZR2-73-10	125	272	176	95

型号＼规格	转子线截面积/mm^2	转子电阻连线截面积/mm^2
JZR2-11-6	2.5	6×2.5
JZR2-12-6	2.5	6×2.5
JZR2-21-6	2.5	6×2.5
JZR2-22-6	2.5	6×2.5
JZR2-31-6	4	6×4
JZR2-31-8	4	6×4
JZR2-41-8	10	6×10
JZR2-42-8	10	6×10
JZR2-51-8	10	6×10
JZR2-52-8	10	6×10
JZR2-61-10	10	3×25+3×16+6×10
JZR2-62-10	25	3×25+3×16+6×10
JZR2-63-10	25	3×35+3×16+6×10
JZR2-71-10	35	3×35+6×16+3×10
JZR2-72-10	35	3×35+6×16+3×10
JZR2-73-10	35	3×35+9×16+6×10

注：1. 本表也同样适用于 JR 型同规格电动机，因电流相差不大。

2. 转子电阻连线，主令屏的仅适合于新系列屏，旧屏导线还要多，这一点务必注意。

3. 本表对不同环境温度和工作制都适用，不必再另行区别。

表 9-27　铜芯橡皮绝缘电线穿管载流量

（线芯最高温度 +65℃）

截面积/mm^2	环境温度/℃					
	25	35	45	45	55	55
	接电持续率（%）					
	100	25	25	40	25	40
1.5	17	15	12	12	8	8
2.5	23	20	16	16	12	12
4	30	26	21	21	15	15
6	39	49	40	35	28	24
10	53	66	54	47	38	33
16	69	95	78	66	55	47
25	90	124	102	85	72	61
35	110	166	136	113	96	80
50	137	207	169	140	120	99
70	173	262	214	177	151	125
95	210	318	260	215	184	152
120	245	370	302	250	214	178
150	280	423	346	287	245	203

表 9-28　三芯重型橡套电缆载流量

（线芯最高温度 +65℃）

截面积/mm^2	环境温度/℃					
	25	35	45	45	55	55
	接电持续率（%）					
	100	25	25	40	25	40
2.5	26	32	27	23	19	16
4	34	43	35	30	25	21
6	43	59	48	41	34	29
10	63	87	71	60	50	43
16	84	127	104	86	73	61
25	115	174	142	118	101	83
35	142	214	175	146	124	103
50	176	266	217	180	154	128
70	224	338	276	230	196	162
95	273	412	337	280	238	198
120	316	477	390	324	276	229

表 9-29　一根管子内最多穿导线数

截面积/mm	管　径/mm						
	15	20	25	32	40	50	70
2.5	3	6	12	21	30	53	83
4	2	5	9	14	21	38	60
6	1	4	7	13	19	34	53
10	1	2	4	8	10	19	30
16	1	1	3	5	7	12	19
25		1	2	4	5	9	14
35		1	2	3	4	7	12
50			1	2	3	4	8
70			1	1	2	3	6
95				1	1	2	4

3）导线或电缆穿过钢结构的孔洞时，应将孔洞的毛刺去掉，并有保护措施；裸露部分的导线不应受到热辐射或油脂的滴落浸渍。

4）导线接头的包扎一般用黄蜡绸三层，胶布三层，绝缘必须可靠。

5）导线编号必须清晰正确。

第五节　滑触线网的安装

滑线是电动式起重机械的电源母线。由于起重机的大车、小车分别能在 X、Y 轴上行走，因此它们的电源是通过滑触器和滑线的滑动接触得到的。滑线和滑触器是电动式起重设备的主要组成部分。

一、滑触线网的种类及安装总体要求

滑线的种类很多，从安装场所可分为室内和室外两大类；从材料上又可分为角钢滑触线、电车滑触线、铝质滑触线、圆钢滑触线、导管式安全滑触线、安全式滑触线、滑车电缆及卷筒电缆、胶管滑线等。

滑线的安装主要要求是，滑线要平要直，绝缘性能良好，与滑触器的接触性能良好，能安全可靠地将电流送到电动机中去。其与周边设施安全距离见表 9-30。

表 9-30　起重机裸滑线与周围设施的安全距离与偏差

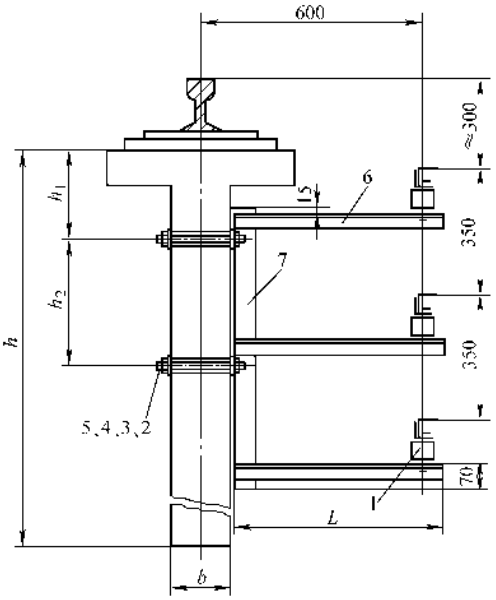
项　　目	安全距离与偏差/mm
距地面高度	＞3500
距汽车通道高度	＞6000
距一般管道	＞1000
距氧气管道及设备	＞1500
距易燃气体和液体管道	＞3000
相邻滑线导电部分和对接地的净距	＞50
滑接器距滑线末端距离	＞200
固定装设的型钢滑线，其终端支架距滑线末端距离	≤800
滑线膨胀补偿装置的间隙	10～20
型钢滑线与起重机轨道的实际中心线平行度偏差	小于或等于长度的 1/1000，但最大偏差为 10
滑线接触面之间的等距偏差	同上
型钢滑线与起重机轨道沿滑线全长平行度的最大偏差	≤10
悬吊滑线间的弛度偏差	≤20

二、室内滑线的安装

现以最常用的角钢滑线为例，讲述室内滑线的安装方法。

（一）滑线支架的制作

支架的型式很多，一般可分为两大类，一类是在混凝土梁上安装，一类是在钢结构梁上安装，分别见图 9-13 和图 9-14。支架由角钢 50×50×5 焊接而成，支架的制作请参照第三章预制加工进行，这里要提醒一句，所有的开孔应开长孔且尺寸必须一致。

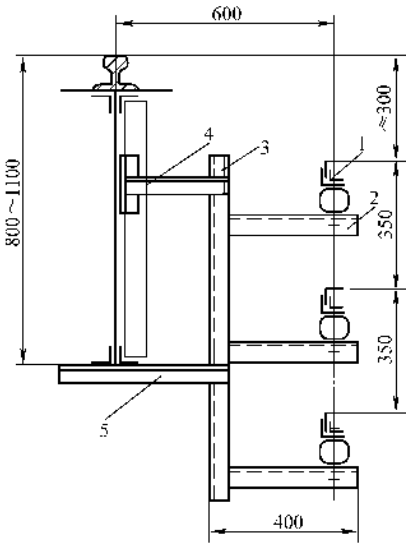


梁型号	尺寸表				
	h	h_1	h_2	b	L
Ⅱ	600	200	280	140	575
Ⅲ	800	250	300	160	565
Ⅰ	600	250	250	140	575
Ⅱ Ⅲ	900 1200	250	350	160 180	565 555
YFDL6-8	992～1400	250	350	120	585
YXDL6-5-11	1200	250	350	140	575
YXDL6-12-14	1500	250	350	160	565
YZDL6-4-13	1200	250	350	120	585

设备材料表

编号	名　　称	型号及规格	单位	数量
1	滑触线固定瓷件		套	3
2	双头螺栓	M16（b+100）	个	2
3	螺母	AM16	个	4
4	垫圈	16	个	2
5	弹簧垫圈	16	个	2
6	支架	角钢 50×50×5	根	3
7	支架	角钢 50×50×5，l=785	根	1

图 9-13　滑线在混凝土梁上安装



编号	名　　称	型号及规格	单位	数量
1	滑触线固定瓷件		套	3
2	支架构件	角钢 50×5	根	3
3	支架构件	角钢 50×5	根	1
4	支架构件	角钢 50×5	根	1
5	支架构件	角钢 50×5	根	1

图 9-14　滑线在钢梁上的安装

（二）角钢滑线夹板的制作

夹板分内夹板和夹板两种，用角钢制作，其中内夹板的规格比滑线规格小一号，夹板的规格与滑线规格相同，见图 9-15。有的采用了顶母螺钉。

（三）滑线的制作

角钢滑线的材料应选用平直、光滑、质地优良的优质角钢，单根长度越长越好，一般应大于 8m。有条件的最好在检验平板（台）上检验，其中心偏差不宜大于全长的 1/1000，且不得大于 10mm；一般不进行人工调直处理。角钢的规格必须一致，要用千分尺测量其断面的几何尺寸，其误差应 ±1% 以内。要想保证规格的一致，应使用同一厂商同一批号产品。

角钢滑线是在安装时焊接的，事先应将端部不规格的部分锯掉，并打好坡口。焊接时应在内侧附连接托板，托板的长度一般为 200mm，托板的材料应为比角钢滑线小一号的角钢，托板应事先加工好。有关焊接工艺及要求请参阅第七章母线的制作。

滑线制作时，应用钢刷或砂布将锈斑清除干净。焊口的位置应躲开与绝缘子固定位置。

（四）柱式绝缘子的检查及试验

柱式绝缘子安装前应检查其外观有无裂纹及破损，固定螺栓应牢固，螺纹应良好，并用紧固螺母试验。

柱子绝缘子安装前应做耐压试验，也可用 1000V 绝缘电阻表摇测两端紧固螺栓的绝缘电阻，应大于 10MΩ。

柱子绝缘子安装前应将其擦拭干净。

（五）滑触线支架及柱式绝缘子的安装

滑触线支架通常安装在天车导轨的混凝土梁上或钢结构梁上。在配合土建时已在梁上预留了螺栓孔，而在钢结梁上则是采用焊接的方法。支架的安装位置应躲开建筑物伸缩缝和导轨梁结合处至少 500mm。

1. 混凝土梁上的安装

先将天车梁两个终端的支架安装好，且标高应保持一致且垂直于梁的中心面，见图 9-13。然后用一小白线或细铅丝将这两个支架的最上一层的顶端系好并拉紧。为了不使白线有垂度，可将中间及距两端 1/4 全长的三个支架装上，并使这 5 个支架的标高一致，必要时可用水准仪测试其水平度，见图 9-16。找平后的支架应将其紧固螺栓紧好，并使小白线不在有位移，否则应重新调整找平。

然后以白线或细丝为标准，将其余支架一一安装好。紧固螺栓应拧紧，且有弹垫、平垫，支架的中心面应垂直于梁的中心面。

2. 钢结构梁上的安装

先测量钢结构梁的总长度，按 1.5～2.0m 的间隔合理分配支架的安装位置，并在钢梁上标注出安装点。然后将两个终端的支架焊接在钢梁上，见图 9-14。用 1 中的找平找正的方法将其他支架焊接在钢梁上。焊接时应先点焊住，位置、标高、垂直度都符合要求时再正式施焊。焊接应牢固可靠，由图可见，支架的焊接是通过一个过渡板与钢架焊接的。焊接者必须合格焊工，不得使钢架受到任何损伤。

支架安装好后应刷防锈漆一遍、色漆一遍。

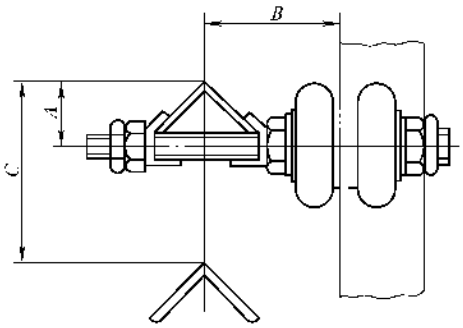
3. 柱式绝缘子的安装

先将天车梁两个终端支架最上一层的柱式绝缘子装好，这时要注意将其安装在长孔的中心位置上，然后将这两只绝缘子顶部的螺栓用小白线系住并撑紧，找出其余绝缘子安装的中心位置，并按其将其余绝缘子装好。

固定绝缘子的螺栓应紧固并有平垫、弹垫和支架的接触面应垫绝缘红钢纸垫片，其面积应大于或等于柱式绝缘子的底面积见图 9-15。如果装于室外或潮湿场所的滑接绝缘子、绝缘垫应用户外式。

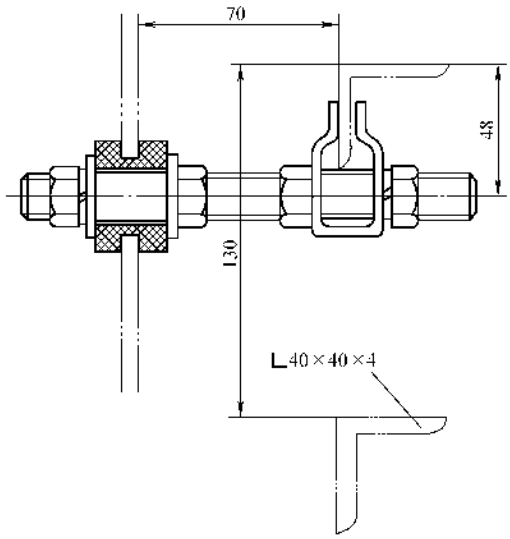
（六）角钢滑线的安装

角钢滑线在绝缘子上的固定方式见图 9-15，这种方式可保证角钢在固定后能自由伸缩。

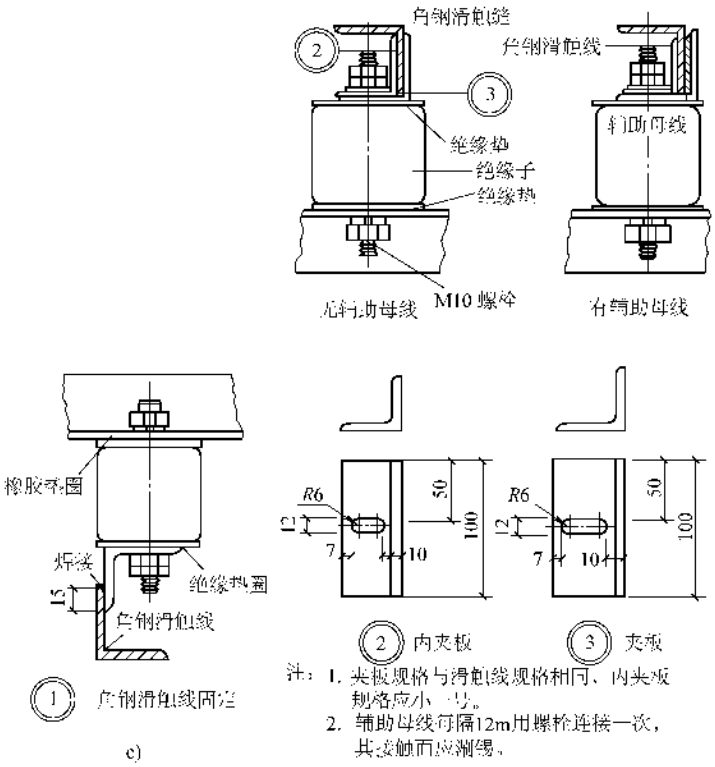


角钢规格/mm	A	B	C	安装孔	质量/kg
	/mm				
50×50×5	47	96	130	ϕ28	2
75×75×8	64.5	113	150	ϕ28	2.3

a)



b)



c)

图 9-15 角钢滑线在绝缘子上的固定

a）角钢滑线固定器之一 b）角钢滑线固定器之二 c）角钢滑线固定器之三

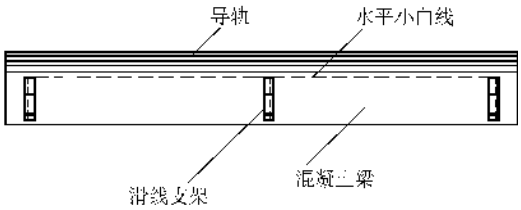


图 9-16　滑线支架的找平找正

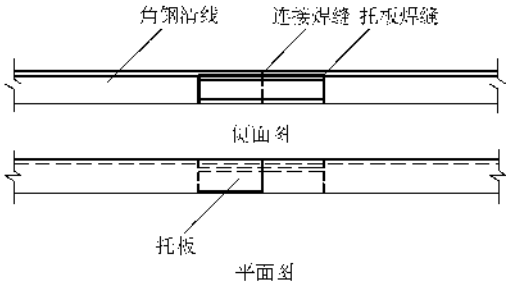


图 9-17　托板的焊接

将角钢滑线按照预制时的顺序从一端头尾相接一一固定在绝缘子上，头尾相接处预留的焊缝间隙一般不大于3mm，焊条采用 ϕ3.2mm 的焊条，施焊者必须是合格焊工，焊缝不得虚焊、漏焊、夹渣及明显变形。必要时应焊接试件，并做拉伸试验和焊缝电阻的测试，强度应不小于同质角钢的强度，电阻应不大于同质同长度角钢的电阻。

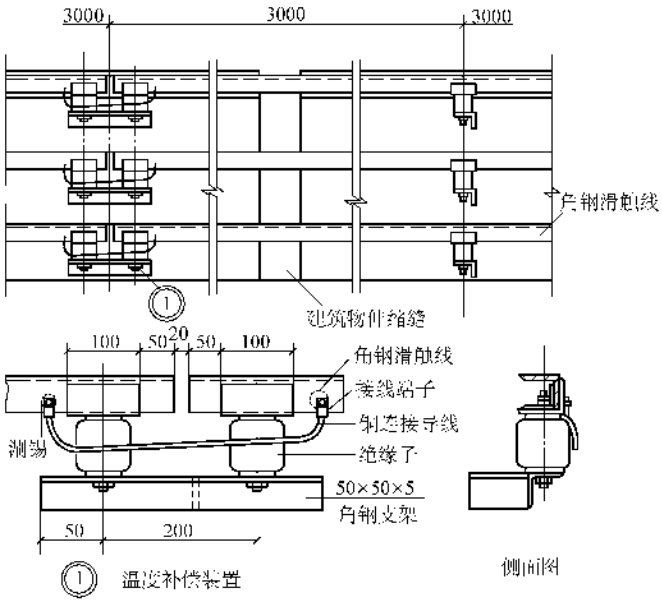
焊接时应先进行角钢连接的焊接，并在角钢的外侧（滑接面）上进行，焊好后应用砂轮、板锉修整，使其平整光滑，其高差不应大于 0.5mm。

然后再进行连接托板的焊接，托板应放在角钢的内侧且中心位置应与角钢连接焊缝重合。托板应进行周围焊缝的焊接，要求同前，见图 9-17。

角钢滑线焊接时，焊条和焊缝应符合钢轨焊接工艺对材料和质量的要求，焊好后的接触面应平整光滑。

（七）滑线补偿装置的安装

滑线长度超过 50m 或在跨越建筑物的伸缩缝时，应装接膨胀补偿装置，见图 9-18。



注：1. 连接导线应采用铜导线，其截面积应不小于电源导线的截面积。

2. 连接接线端子的滑触线角钢接触面上应测锡。

3. 本图使用在滑触线检修段时，应把连接导线断开，两端接至检修开关。

图 9-18　滑线补偿装置的安装

补偿装置应在离建筑伸缩缝最近的支架位置上安装；补偿装置处滑线应留 10～20mm 的间隙，间隙两端的滑线断面应加工圆滑，避免放电，接触面要安装在同一水平面上，其两端间高差不应大于 1mm；间

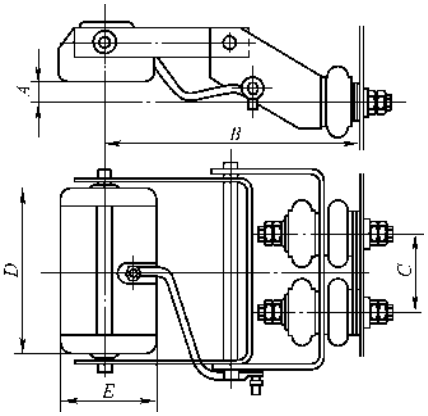
隙两侧应有滑线绝缘子支架，支持点距间隙的距离不应大于 150mm；间隙两侧的滑线应用软导线跨接，跨接线应留有余量，其允许载流量不应小于电源导线的允许载流量；跨接线与角钢的连接应用螺栓压接，压接处应镀锡，导线应压线鼻子，螺栓应用镀锌螺栓，有平垫弹垫，螺母要紧固可靠。支架应用 50×50×5 角钢制作，安装同前。

（八）滑触器的安装

滑触器又叫集电器或导电器，是连接滑线和桥式起重电源总开关的主要部件，其安装有以下要求：

滑触器应沿滑线全长可靠地接触，能自由无阻地沿滑线滑动，在任何部位其中心线（宽面）不应超越出滑接线的边缘；绝缘子和绝缘套不得有裂纹、破损等缺陷，导电部分对地的绝缘应良好；滑触器与滑线的接触部分不应有尖锐的棱角；压紧弹簧的压力要适宜；槽型滑触器与可调滑杆间应移动灵活；自由悬吊滑接线的轮型滑触器，安装后应高出滑接线中间托架不少于 10mm。

滑触器的种类很多，室内用于角钢滑线的大车导电器见图 9-19，用于小车的导电器见图 9-20。大型天车中，有时在钢制桥身上为小车架设角钢滑线、方法同前。必要时应有遮栏保护，遮栏采用金属网制作。



导电器容量/A	A	B	C	D×E	安装孔	重量/kg
	/mm					
300	25	303	100	220×120	2×ϕ21	16
300	30	305	100	280×110	2×ϕ18	16
600	25	303	100	350×120	2×ϕ21	
1000	15	305	100	380×110	2×ϕ18	25

图 9-19　大车导电器

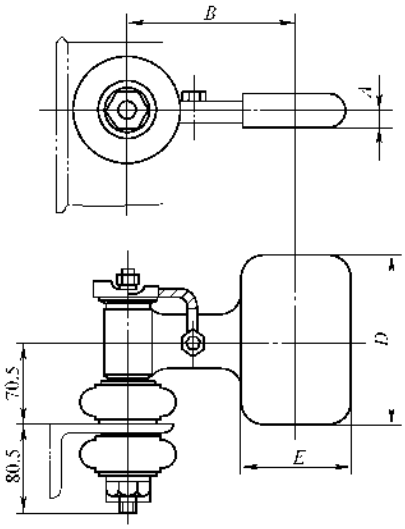


图 9-20　小车导电器

滑触器一般安装在角钢或槽钢架上，架子固定在桥身一端的下侧。制作时，从桥身下侧到滑线的距离应略大于实际型钢下料的尺寸，一般不大于 3mm，且固定滑触器处要开长孔。因为该种滑触器是靠重力与滑线接触的，这样制作的目的是为了滑触器与滑线接触良好，示意见图 9-21。

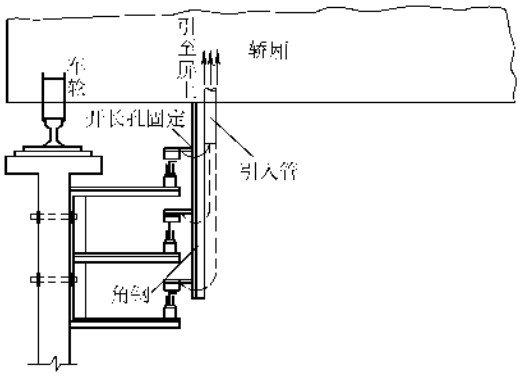


图 9-21　将滑线电源引入轿厢电源屏上

滑触器安装好后，应在全程滑动中测试其与滑线的接触电阻，其值应为零，凡大于零处应调整接触压力，修整滑线水平度或除尽锈迹等。同时应测滑接器导电部位与地（钢架）的绝缘电阻，应大于 1MΩ。

（九）滑线信号装置的安装

滑线信号装置应装在电源进户侧的滑线支架旁。一般采用平灯口、白炽灯泡（黄绿红三色）且串接线绕电阻，熔断器、星形接线，见图 9-22。

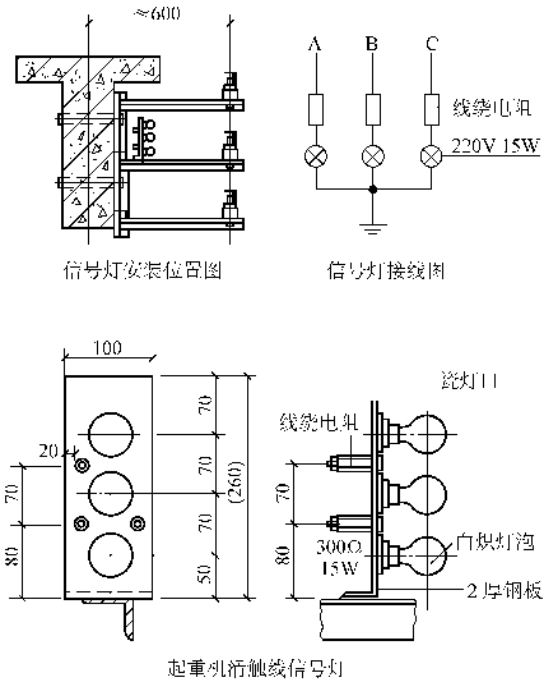


图 9-22　滑线的信号装置安装示意图

（十）刷漆

滑线安装完毕且全部合格后即可刷漆，除与滑接器接触面和电源接线位置外，应涂防锈漆一遍，相色漆一遍（黄绿红）。

（十一）滑线的接线

滑线的接线有电源进线的接线、信号装置的接线、滑接器的接线等几种。

1. 电源进线的接线

电源进线通常在滑线的尽头，有时滑线较长也可采用由中间接线。有的采用电缆进户，有的采用架空进户，进户方式见图 9-23。

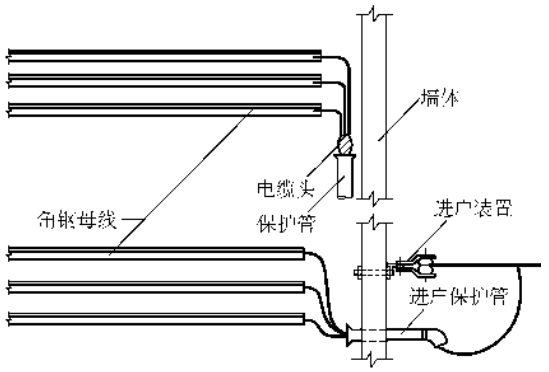


图 9-23　滑线电源的进户方式

无论哪种方式，电源和滑线的连接方式是相同的，见图 9-24。

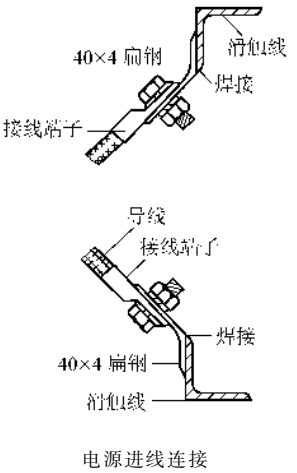


图 9-24　电源与滑线的连接方式

（1）直接连接　电源线端子和角钢滑线直接连接，直接连接应在连接处涮锡。先将角钢面除锈，直至出现金属光泽，并开孔 $\phi10\sim\phi12$mm，然后用气焊在孔以外 300mm 处烘烤加热，直至刚发红即可，这时用焊药敷于触面，即可用电烙铁（大于 500W）蘸锡在触面涂沫，即可涮上一层锡，再用棉丝擦干净。最后将电源线的线鼻子用螺栓紧固即可，要加平垫，弹垫。

（2）过渡连接　先在角钢滑线上焊一镀锌扁钢，见图 9-24；然后再用螺栓将电源线的线鼻子紧固在上面，扁钢焊好后要除去焊药渣，再涂漆。过渡连接在母线与端子之间增加了一个焊点，从接触电阻和可靠性上都增加了故障的可能性，一般不宜采用。

2. 信号灯的接线

在连接电源线的同时，应将信号灯的线压接在同一接线点上。这里要注意，信号灯的线应采用铜线，并在端头镀锡处理。

3. 滑触器的接线

将由轿厢经管引来的导线与滑接器的接线端一一分别连接，接触应紧密可靠，见图 9-19 和图 9-21。

三、室外滑线的安装

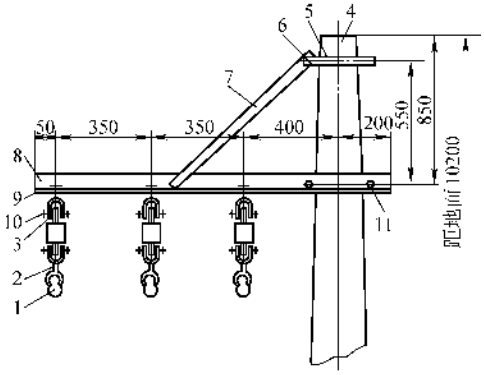
现以最常用的电车滑线为例，讲述室外滑线的安装方法。电车滑线为铜质材料，其截面见图 9-25。

（一）横担的制作

横担一般用角钢或槽钢制作，常用的规格有 $\angle65\times65\times6$、$[80\times43\times5$，或者根据滑线的距离及其截面积而定，横担加工见图 9-25。开孔一般均为圆孔，因此尺寸必须一致，误差 ±1mm。

如滑线较长，终端横担的形式见图 9-26。

固定横担的辅件有抱箍、拉板及拉板抱箍等，见第十章，横担和辅件加工好后应镀锌处理。



序号	名　　称	规　　格	数量
1	电车滑触线	100mm²	
2	吊线总承		3
3	U 形拉板		3
4	水泥杆	ϕ170　$l=12$m	1
5	拉板抱箍	ϕ170　镀锌	1
6	螺栓	M16×80　镀锌	1
7	铁拉板	$l=770$　镀锌	1
8	铁横担	$l=1440$　镀锌	1
9	螺栓	M12×50	3
10	螺栓	M12×80	3
11	横担抱箍	ϕ190	1

图 9-25　横担加工尺寸及杆头组装图

（二）立杆、组装横担、作拉线

见第十章架空线路及室外变台的安装，这里要强调指出几点：

1）杆必须立于同一条直线上，且这条直线与龙门吊导轨平行；同时电杆的规格必须一致，档距由设计而定，一般不超过 8m。

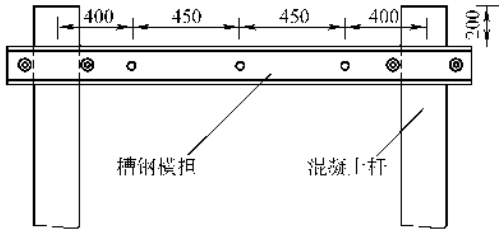


图 9-26　槽钢终端横担

2）横担安装标高应一致，标高的起点以龙门吊两导轨所成的平为准；必要时用水准仪测出标高。

3）横担应安装在电杆所成直线的内侧，电杆与导轨的距离由电车滑线受电器的臂长决定。

电杆平面布置图见图 9-27。

横担组装图见图 9-25 和图 9-26。

4）横担上组装的吊线元件应一一检查，应全部合格；吊式绝缘子应用 1000V 绝缘电阻表测试绝缘电阻（≥1MΩ），且外观良好；吊线总成（叨线器）夹力良好。吊线元件应为滑线配套供应产品。

（三）电车滑线的架设

基本同第十章的导线架设部分，可参照进行安装。

1）将成盘的电车滑线用放线车放开，不得打纽，线轴不得平放。将放开的滑线充分消除应力，并使由于缠绕而形成的较大圈或弯反向转动予以消除，任何时候不得进行拉伸。放线时应将三相同时放开。

2）将一端与夹线器连接，夹线器必须是滑线的配套供应产品，然后将其与花篮螺钉连好（花篮螺钉应调整在螺杆最长的位置上），挂在终端横担的悬式绝缘子上。悬式绝缘子是用于高压线路的，但其拉

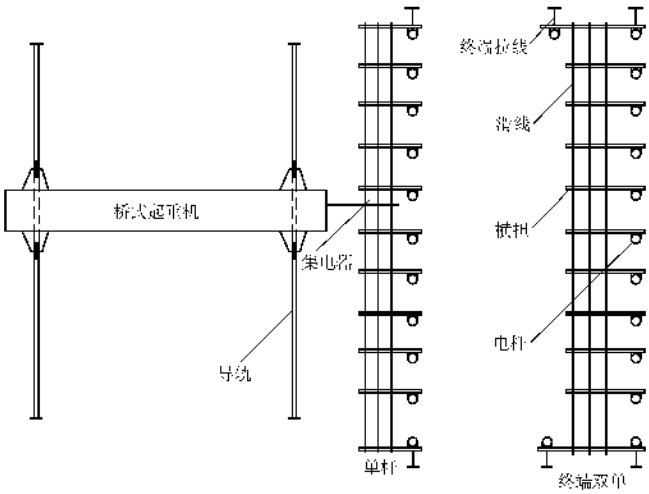


图 9-27　室外龙门吊布置示意图

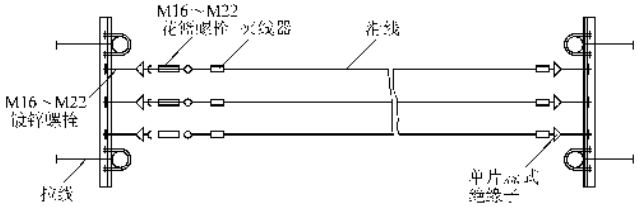


图 9-28　电车滑线终端安装示意图

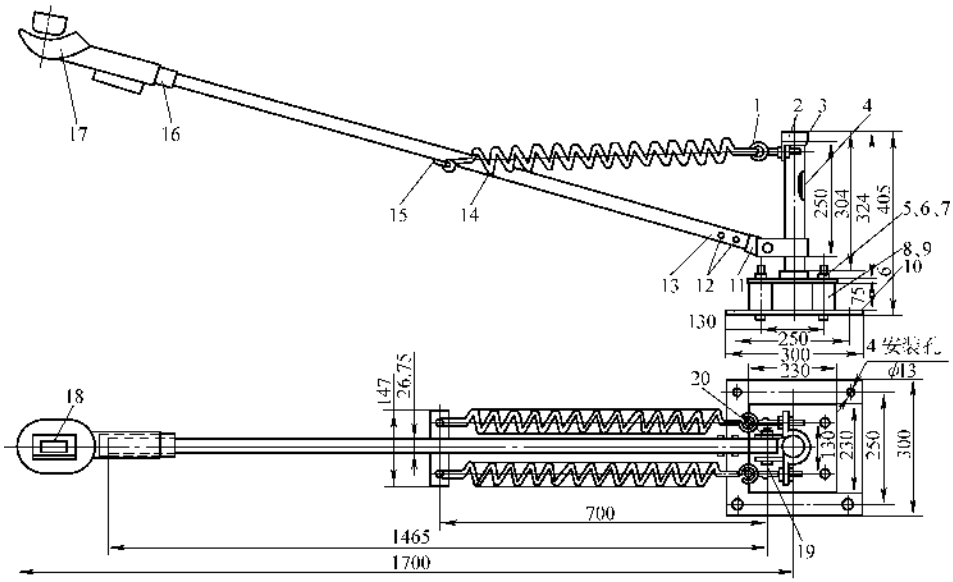
力强度大，通常可用于终端作为拉紧装置。安装示意见图 9-28。

3）将另一端穿过挂在横担上的滑轮里，检查两端拉线、横担、悬具等无误后，端头即可用力拉紧，在杆上测出与夹线器连接的位置；将滑线放下，将多余的部分锯掉，使之与夹线器连接好，按 2）中的办法将其挂在横担上。同时应在滑线的中间位置的杆上及距两端 1/4 全长的杆上用麻绳将滑线提起，以免由于垂度使滑线受到过度的应力。

4）调整花篮螺栓（这时悬吊的麻绳不得松开），使三根滑线撑紧且垂度相同，然后将每根横担上的叼线器夹紧滑线。反复测量滑线的垂度，必要时还得调整，直至使三相垂度相同。

（四）电车滑线受电器的安装

电车滑线受电器见图 9-29，将其安装在桥架上，并使其碳精块与滑线接触，调节拉紧螺栓使其接触良好。同样应在全程测量其接触电阻和绝缘电阻。



序号	名　　称	规　　格	数量	序号	名　　称	规　　格	数量
1	拉紧螺栓	M12	2	11	端头		1
2	压盖		1	12	铆钉		2
3	转动套		1	13	镀锌铁管	$\phi 20^{\#}$　$l=1390$	1
4	轴		1	14	拉伸弹簧		2
5	胶皮垫	2mm 厚胶皮	8	15	镀锌铁板		1
6	螺栓	M12×60	8	16	电木管	3526　内径 26mm　$l=300$	1
7	螺母	M12	8	17	滑靴总成		1
8	垫圈	2mm 厚胶皮	8	18	电车滑线碳精块		1
9	吊车瓷瓶	8404	4	19	轴		1
10	底板		1	20	开口销	6×35	1

图 9-29　电车滑线受电器的安装

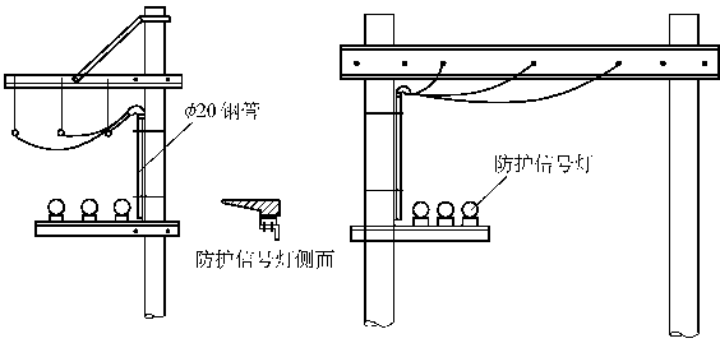


图 9-30 室外滑线信号装置的安装示意图

（五）信号装置的安装

基本同上，信号灯采用有防护罩的信号灯，安装在电源接户侧的终端杆上，电源用管从上引下，见图 9-30。

（六）接线

基本同上，电源进线采用专用线夹连接。

四、其他种类滑线的安装

（一）圆钢滑线

圆钢滑线基本同电车滑线，安装时应注意以下几点：

1）圆钢滑线应尽量减少接头，接头的焊接一般采用电渣焊，接头应修整平滑，高差不大于 0.5mm。

2）圆钢滑线安装前应拉伸，其载面减少后不得小于设计规定的 90%，有时采用比设计规定的直径大一个规格的圆钢。安装时应整体架设，逐渐伸直，以免出现弯曲。

3）室内安装一般采用立装，见图 9-31，室外安装一般采用平装，见图 9-32。支持点的距离一般为 1.5～2m。

这里将各种滑线的载流量及有关数据列于表 9-35～表 9-49。

（二）导管式安全滑线

导管式安全滑线是一种新型滑线，适用于室内、室外（应增设防雨措施）安装。它是将电源的电极或导线的电极都装于一个导管内，用集电器与电极滑动接触，其导管内的线数有 3、4、7、16 根，不仅将电源送至吊车，还可以将控制回路送至被控点。导管式安全滑线采用吊式安装，并采用正装（导管开口缝垂直向下）方式安装，其有关参数见表 9-31。集电器从导管端部插入并沿下侧开口缝水平滑动，并使集电器触点与电极有良好的接触。

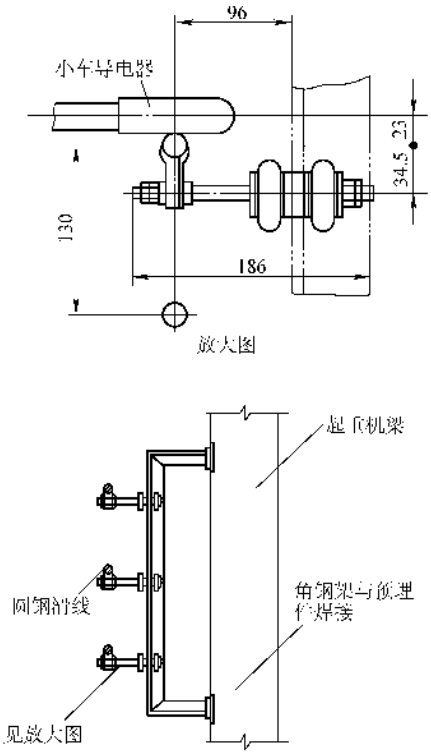


图 9-31 滑线的立装（竖直）

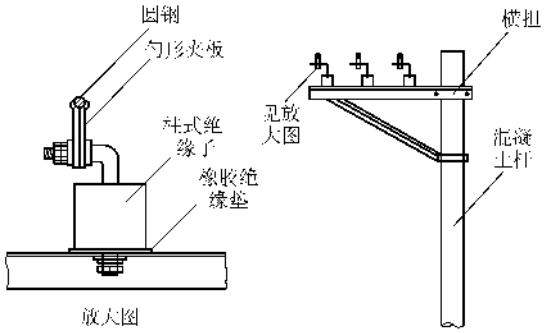


图 9-32 滑线的平装（水平）

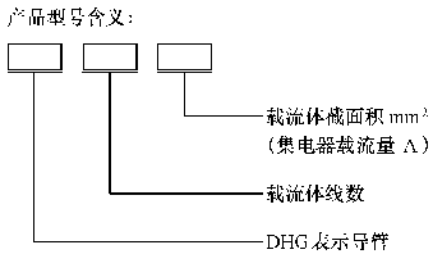
表 9-31　导管式安全滑触线技术数据表

一、导　　管

型号 / 项目	塑料导管							金属导管			
	DHG-3-35/140	DHG-3-70/210	DHG-4-15/80	DHG-4-35/140	DHG-7-10/50	DHG-7-50/170	DHG-16-10/50	DHGL-4-15/80	DHGL-4-25/120	DHGL-4-35/140	DHGL-4-50/170
额定电流/A	140	210	80	140	50	170	50	80	120	140	170
线数	3	3	4	4	7	7	16	4	4	4	4
20℃电阻率/（Ω/km）	0.514	0.25	1.2	0.514	1.8	0.36	1.8	1.2	0.72	0.514	0.36
50Hz 电阻率/（Ω/km）	0.562	0.285	1.38	0.571	1.91	0.385	1.91	1.38	0.81	0.571	0.385

二、弧型导管

型号 / 项目	DHGR-4-15/80	DHGR-7-10/50	DHGLR-4-15/80	DHGLR-4-25/120
额定电流/A	80	50	80	120
线数	4	7	4	4
20℃电阻率/（Ω/km）	1.2	1.8	1.2	0.72
50Hz 电阻率/（Ω/km）	1.38	1.91	1.38	0.81
最小弯曲半径/m	0.8	1.8	1	1



三、集电器

型号 / 项目	J-4-15/40	JR-4-15/25	J-3-35/140	J-16-10/25	J-7-10/25	J-7-35/120	JR-7-10/25
额定电源/A	40	25	140	25	25	120	25
线数	4	4	3	16	7	7	7
备注		可用于弯管					可用于弯管

1）安装示意见图 9-33。

2）滑动悬吊支架的安装见图 9-34。

3）固定悬吊支架的安装见图 9-35。

4）导管的连接安装见图 9-36。

5）终端供电器的接线见图 9-37。

6）集电器拨叉的安装见图 9-38。

7）支架安装形式多种多样，见图 9-39 ~ 图 9-41。

（三）安全式滑线

安全式滑线是一种新型、适用于容量较大的起重设备的滑线，单根导线设置。采用吊式或挂式安装，开口朝下或水平设置，有关参数见表 9-32。集电器沿下侧开口水平滑动，且接触良好。当安全式滑线长度大于 200m 时，应设伸缩装置；支架间距应小于 3m，可焊接在轨道下的垫板上，在其他地方固定时，应做好地线，接地电阻 <4Ω。

1）安装示意见图 9-42。

2）支架安装见图 9-43。

导管式安全滑触线和安全式滑线的安装，除使用的角钢支架、紧固件外其余均为配套供应件，安装前应检查外观、质量及接触电阻，安装完毕时，应测量绝缘电阻和全程的接触电阻。其他要求同前。

图 9-33 ~ 图 9-43、图 9-45 ~ 图 9-47 摘自 DQ 华北建筑电气通用图集。

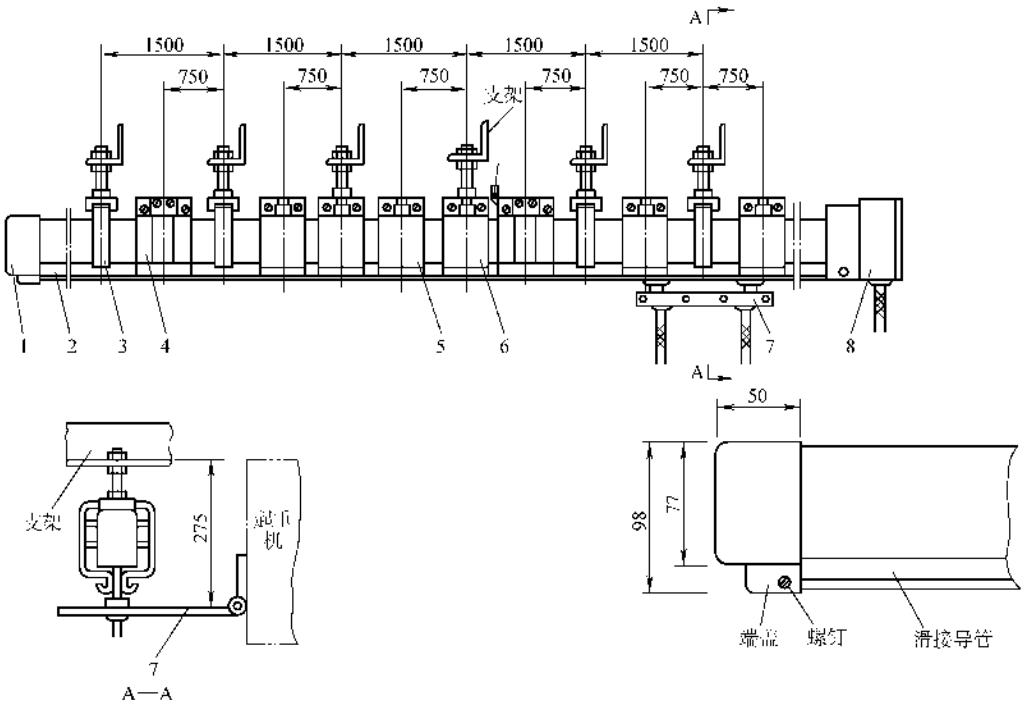
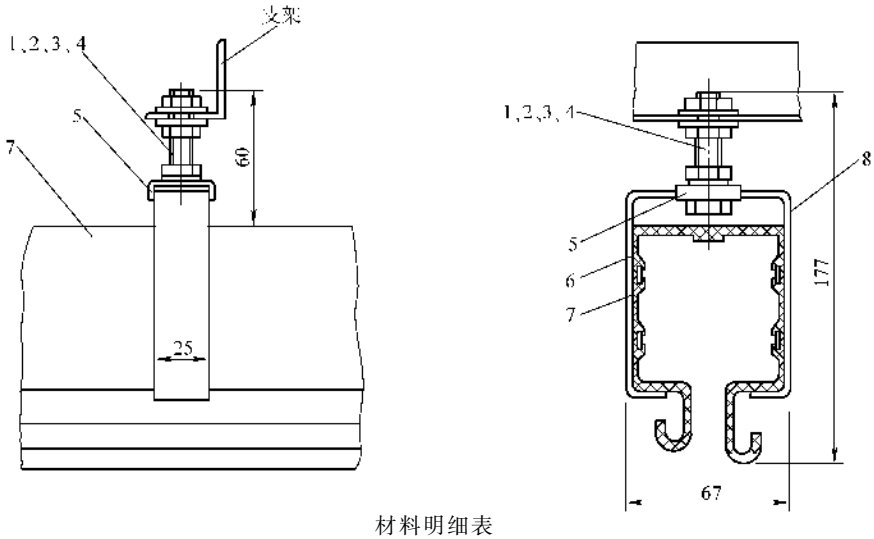


图 9-33 导管式安全滑触线安装示意图

注：滑接导管直线段吊挂点间距 1.5m，曲线段≤0.5m，必须采用正装方式安装。

1—端盖 2—滑接导管 3—滑动悬吊支架 4—导管连接 5—固定夹 6—固定悬吊支架（位于中部）

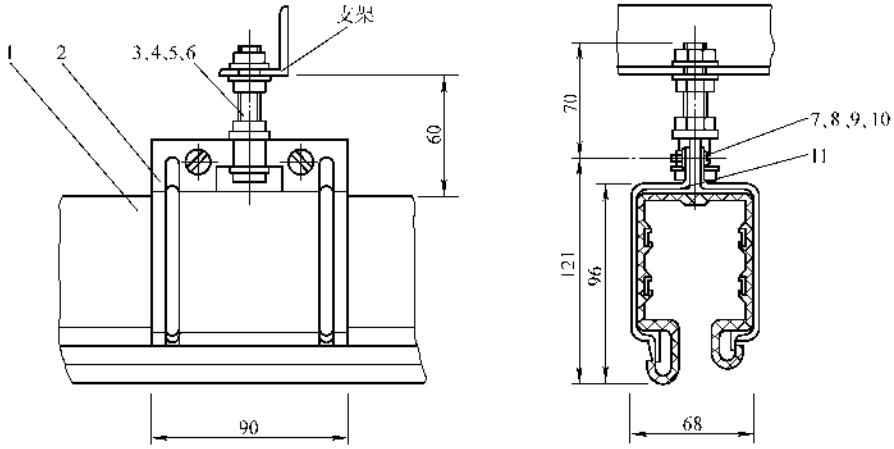
7—集电器拨叉 8—终端供电器



材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	螺栓	M8×70	个	1	5	卡套		个	1
2	螺母	M8	个	3	6	滑动支架右框		个	1
3	平垫圈	8	个	1	7	滑接导管		个	1
4	弹簧垫圈	8	个	2	8	滑动支架左框		个	1

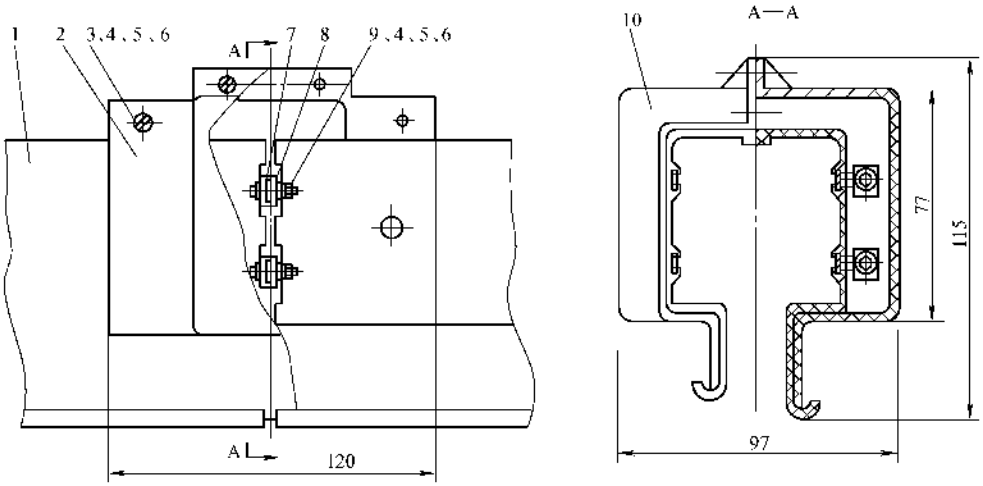
图 9-34 滑动悬吊支架安装示意图



材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	滑接导管				7	螺栓	M6×12	个	2
2	右夹片		个	1	8	螺母	M6	个	2
3	螺栓	M8×70	个	1	9	弹簧垫圈	6	个	2
4	螺母	M8	个	3	10	平垫圈	6	个	2
5	弹簧垫圈	8	个	2	11	左夹片		个	1
6	平垫圈	8	个	2					

图 9-35　固定悬吊支架安装示意图

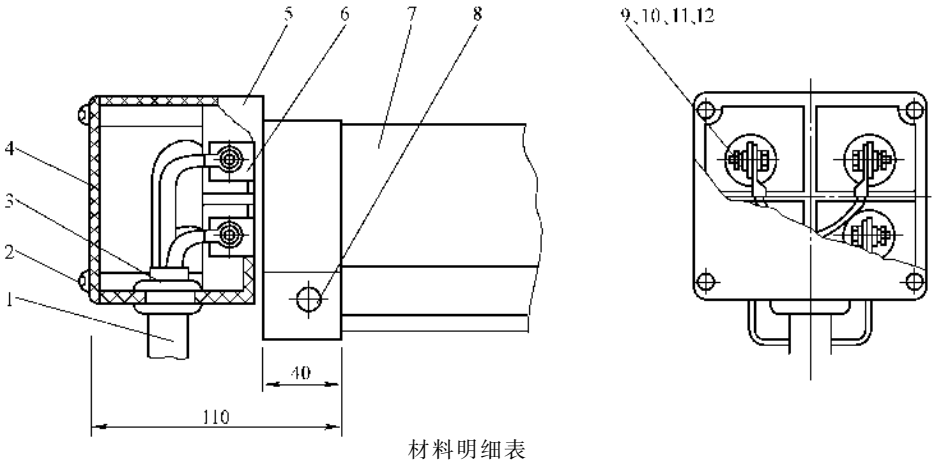


材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	滑接导管				6	螺母	M6	个	8
2	右壳		个	1	7	压板		个	4
3	螺钉	M6×25	个	4	8	铜排			
4	弹簧垫圈	6	个	8	9	螺栓	M6×20	个	4
5	平垫圈	6	个	12	10	左壳		个	1

注：每个导管连接处都可连接电源线。

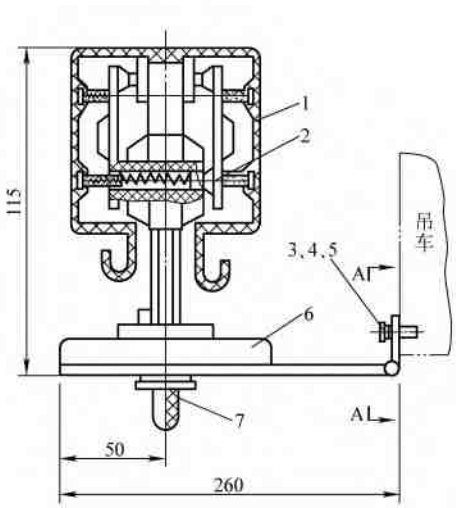
图 9-36　导管的连接安装示意图

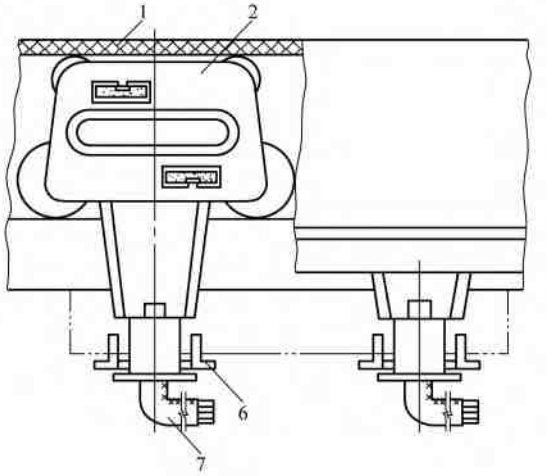


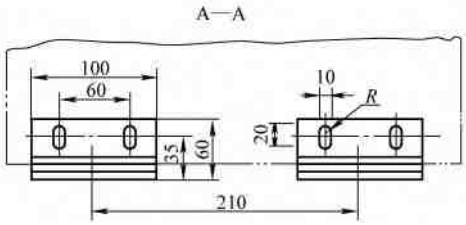
材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	电缆	见工程设计			7	滑接导管			
2	螺钉	ST3.2×9.5	个	4	8	螺钉	ST4.2×32	个	1
3	橡胶护口		个	1	9	螺栓		个	4
4	盒盖		个	1	10	螺母		个	4
5	接线盒		个	1	11	平垫圈		个	8
6	铜排				12	弹簧垫圈		个	4

图 9-37 终端供电器的接线



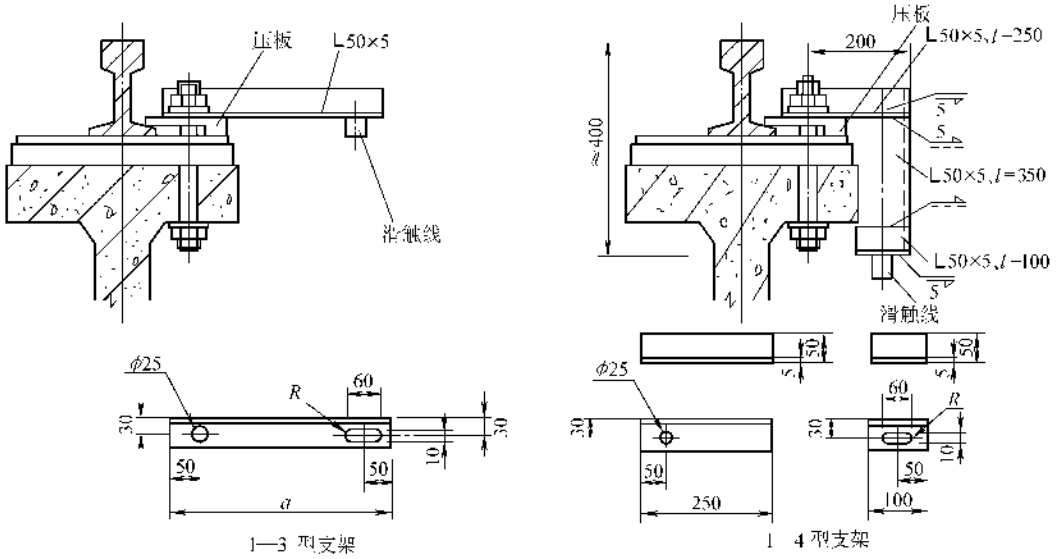




材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	滑接导管			
2	集电器		个	2
3	螺栓	M8×30	个	4
4	平垫圈	8	个	4
5	弹簧垫圈	8	个	4
6	拨叉		个	2
7	电缆	见工程设计		

图 9-38 集电器拨叉的安装示意图



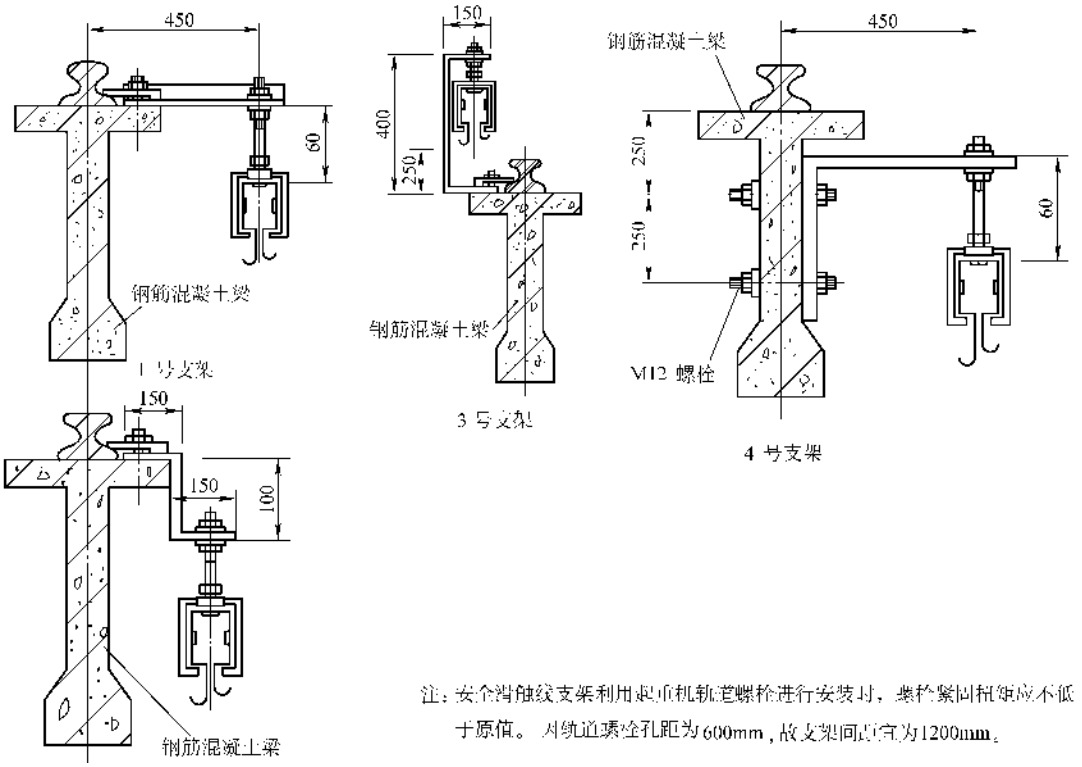
1—3 型支架尺寸　（单位：mm）

吊车梁编号	DLZ1～8Z、S、B	DL［Q］-1～2	DL［Q］3～12
a	360	320	360

注：1. 本图用于滑触线支架利用起重机轨道螺栓进行安装。螺栓紧固扭矩应不低于原值。

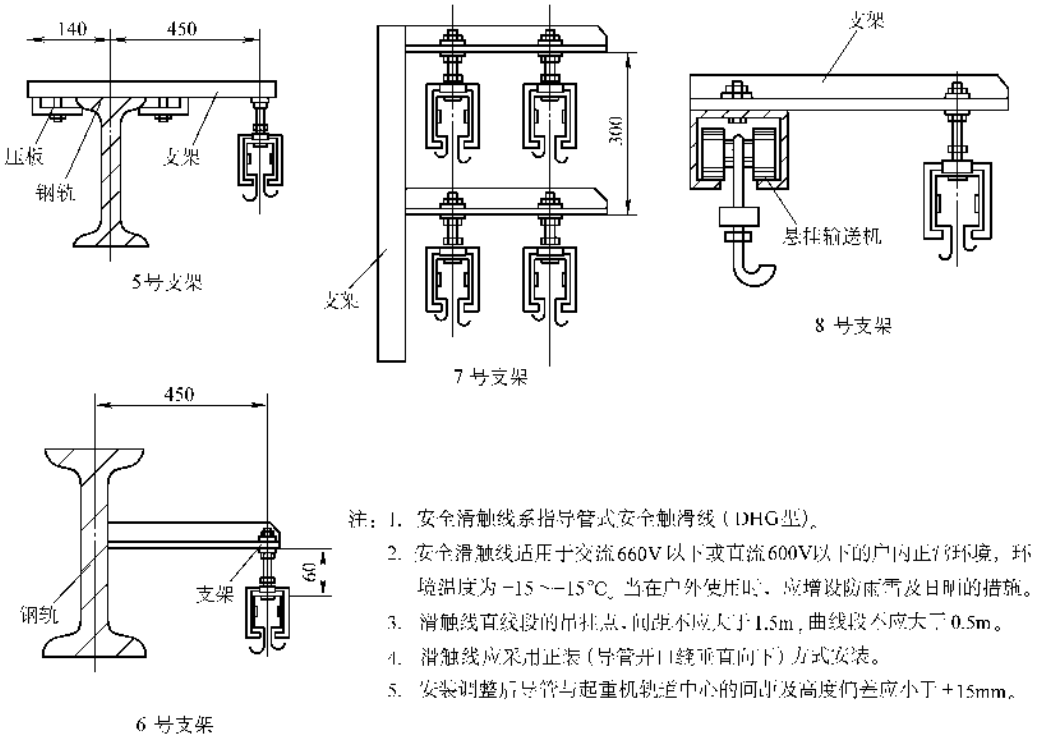
2. 因轨道螺栓孔距为600mm，故支架间距宜为1200mm。

图 9-39　支架安装形式一



注：安全滑触线支架利用起重机轨道螺栓进行安装时，螺栓紧固扭矩应不低于原值。因轨道螺栓孔距为600mm，故支架间距宜为1200mm。

图 9-40　支架安装形式二



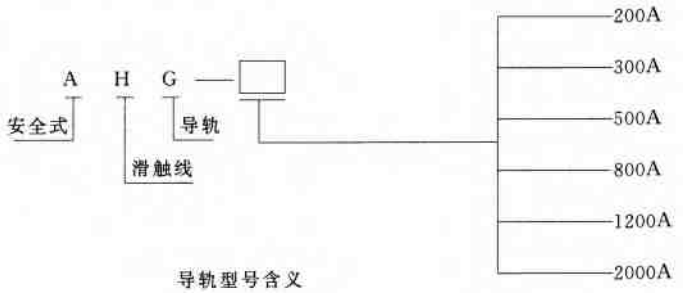
注：1. 安全滑触线系指导管式安全触滑线（DHG型）。
2. 安全滑触线适用于交流660V以下或直流600V以下的户内正常环境，环境湿度为-15～+15℃。当在户外使用时，应增设防雨雪及日照的措施。
3. 滑触线直线段的吊挂点，间距不应大于1.5m，曲线段不应大于0.5m。
4. 滑触线应采用正装（导管开口朝垂直向下）方式安装。
5. 安装调整后导管与起重机轨道中心的间距及高度们差应小于+15mm。

图 9-41　支架安装形式三

表 9-32　安全式滑线技术数据表

一、导轨

项目＼型号	AHG-200	AHG-300	AHG-500	AHG-800	AHG-1200	AHG-2000
额定电流/A	200	300	500	800	1200	2000
35℃时的直流电阻率/(Ω/m)	0.000376	0.000293	0.000113	0.000078	0.000037	0.000019
轨距80mm时的电阻率/(Ω/m)	0.000413	0.000326	0.000176	0.000159	0.000131	0.000127
绝缘套可燃性	自灭型					
最大运行速度/（m/min）	600					
导轨标准长度/m	3		5			
支架固定间距/m	1.5		3			
曲线段支架固定间距/m	0.75		1.5			
外形尺寸/mm	18×26		32×42		56×78	
质量/（kg/m）	0.425	0.45	1.4	1.7	3.6	6.1

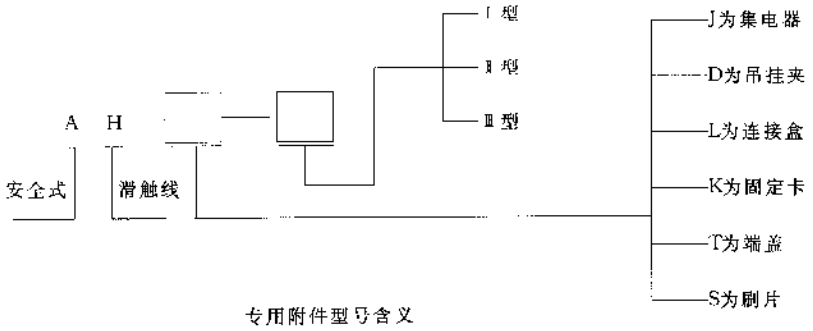


导轨型号含义

（续）

二、集电器

项目＼型号	AHJ-Ⅰ	AHJ-Ⅱ	AHJ-Ⅲ	项目＼型号	AHJ-Ⅰ	AHJ-Ⅱ	AHJ-Ⅲ
额定电流/A	100	250	500	横向移动距离/mm	±100		
最大运行速度/（m/min）	600			连接电缆截面积/mm^2	16	70	
接触压力/N	20	28	40	索引杆至滑触面的距离/mm	~100	~125	~220

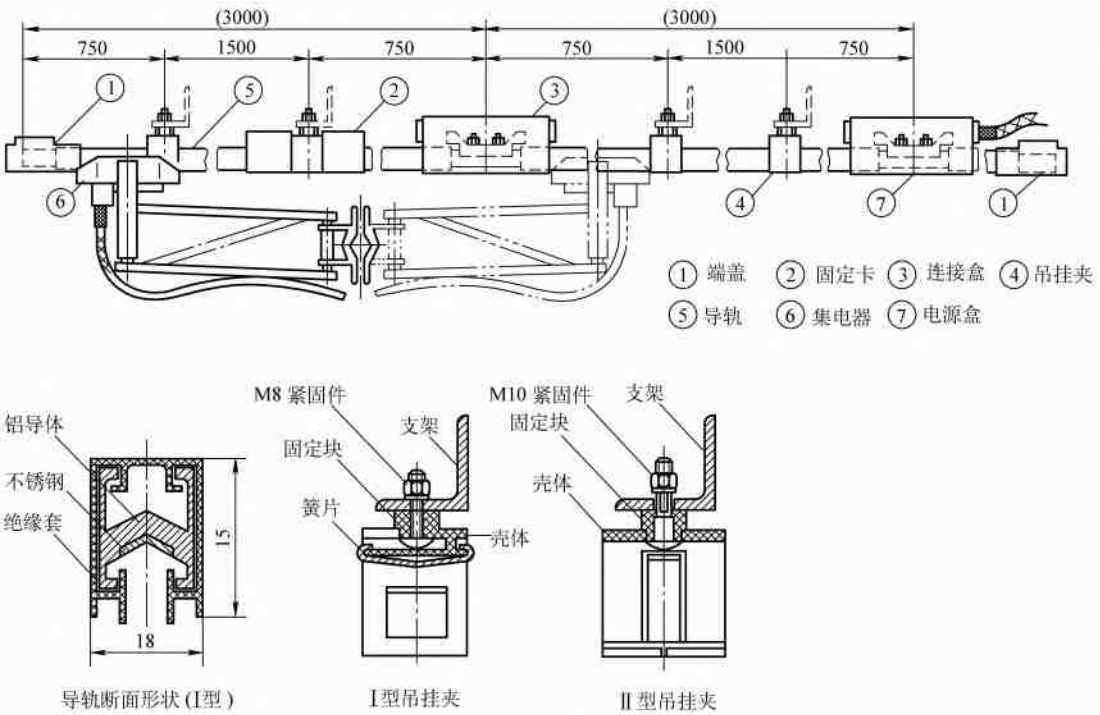


专用附件型号含义

注：1. 每种型号的集电器有单头及双头两种规格。双头的电流为上表中的二倍。

2. Ⅰ型为 AHG-200、300 的专用附件，Ⅱ型为 AHG-500、800 的专用附件，Ⅲ型为 AHG-1200、2000 的专用附件。

3. ※为轨距为 150mm 时。



注：1.AHG 型安全式滑触线适用于交流 660V 以下或直流 600 V 以下，无可燃或可爆气体的环境。

2. 在不同的工作制 (JC%) 下允许的最高环境温度：

工作制 /JC%	100	80	60	40	20
允许环境温度 /°C	55	57.5	60	60	60

3. 导轨的最小弯曲半径，伸缩节的设置要求等详见生产厂的安装说明。

图 9-42　安全式滑触线安装示意图

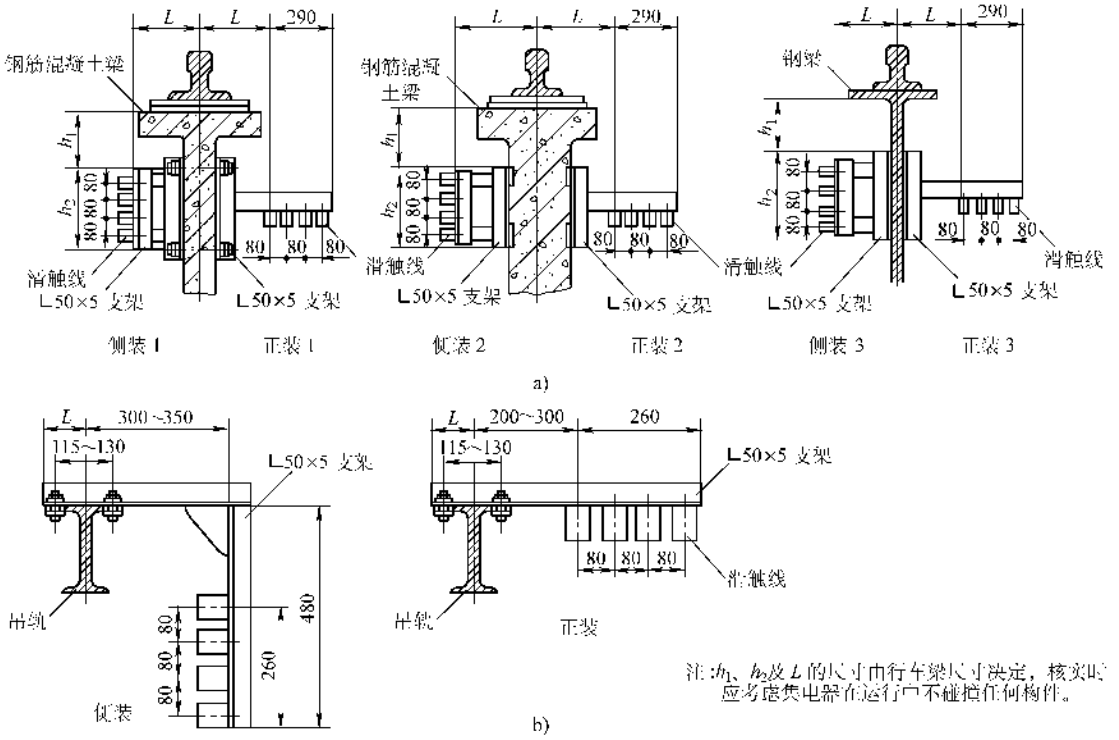


图 9-43 支架安装示意图

a）钢筋混凝土梁上支架安装 b）电动葫芦吊轨上支架安装

五、滑车电缆的安装

滑车电缆安装的示意图见图 9-44。一般用于小车上，有时也可用于大车上。运行经验证明，其安全可靠、无滑动触头、故障少，便于维修。

型钢导轨一般吊挂在天车梁的支架上或电杆的支架上，选料要精良，型钢的焊接高低偏差不应大于 0.5mm，接头应有足够的强度且无明显变形，除滑面外应有托板；软电缆安装后，其悬挂小车能沿滑道灵活无跳动的移动，不得有阻卡现象，一般是在小车轴上加铅末以助滑动，而不采用油脂；悬挂小车的电缆夹与电缆可靠固定，但缆夹与小车的连接宜能自由转动，悬挂小车的间距不宜大于 3m；牵引钢丝绳宜选用较细软的油丝绳，拖放开后应充分消除由于缠绕而产生的应力，必要时应以反向转动，使其活弯消除。拖放开后不宜立即与电缆扎紧，应使其自然消除应力，如有条件应拉住一端站于高度大于其长度的至高处，悬吊使其放松伸直。电缆拖放开后应采用同样的方法消除应力。电缆与钢丝绳的绑扎宜用专用线夹，间距宜为 1m；软电缆移动段的长度应比起重机移动距离长 15% ~25%；起重机移动时应拖拉钢丝绳，软电缆移动时不得受到应力或拉力。其他电源指示信号装置，电源接线等同滑线。

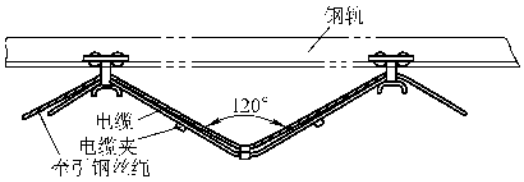


图 9-44 滑车电缆安装示意图

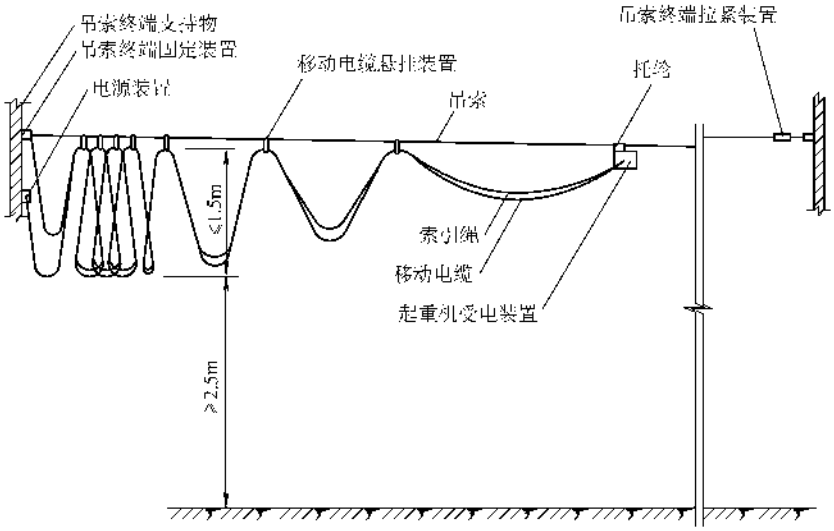
六、钢索悬挂电缆的安装

钢索悬挂电缆的安装基本同滑车电缆，只是将型钢导轨换成钢索，把悬挂小车换成移动电缆悬挂装置，安装示意图见图 9-45，有关技术数据及选用见表 9-33。

钢索的安装是悬挂在柱或墙上预埋的耳环内，见示意图 9-46。

钢索在终端是通过耳环和线夹安装的，详见图 9-47。

钢索悬挂电缆的安装，应使终端固定装置和终端拉紧装置有足够的机械强度，其允许最大拉力应大于 2 倍滑接线电缆或吊索的允许最大拉力；终端拉紧装置应有适当的调节余量，当长度不大于 25m 时，不应小于 0.10m；长度大于 25m 时，不应小于 0.20m；吊索拉紧弛度，应根据其材料规格和安装时的环境温



吊索悬挂移动电缆示意

名称	在吊索上滑环悬挂		在吊索上滑绳悬挂	
移动电缆悬挂装置型号	X_1J_1	X_1J_2	X_2J_1	X_2J_2
简图				
使用说明	(1)用于直线吊挂距离，室内在60m以内；室外在100m以内 (2)电缆芯线不大于10mm²			
	宜于起重机使用不频繁的场合		宜于起重机使用频繁的场合	

注：1. 吊索用圆钢或钢丝绳的选用、吊索弧垂等由工程设计决定。

2. 移动电缆装置可按表中的四种型式根据需要选用一种。

3. 移动电缆的长度应比移动距离大20%，索引绳的长度应比移动电缆稍短。

4. 索引绳材料采用麻绳、尼龙绳或普通钢丝绳。

5. 电源装置由工程设计决定。

图 9-45　钢索悬挂电缆安装示意图

表 9-33 钢索悬挂弧垂及应力选择表

一、适用于室内

电缆芯线/mm²	安装时温度/℃ \ 吊索跨距/m	ϕ6mm 圆钢（A_3）							
		30		40		50		60	
	应力弧垂	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f
2.5	0	103	0.23	120.7	0.35	132.4	0.5	139.3	0.68
	+10	95.2	0.25	120.7	0.35	119.7	0.55	126.5	0.75
	+20	79.5	0.3	105.9	0.4	109.9	0.6	118.7	0.8
	+30	67.7	0.35	84.4	0.5	101	0.65	118.7	0.8
	+40	67.7	0.35	84.4	0.5	101	0.65	111.8	0.85
4	0	107.9	0.25	119.7	0.4	136.4	0.55	144.2	0.75
	+10	107.9	0.25	119.7	0.4	124.6	0.6	135.4	0.8
	+20	89.3	0.3	106.9	0.45	114.8	0.65	126.5	0.85
	+30	67.7	0.4	87.3	0.55	106.9	0.7	119.7	0.9
	+40	67.7	0.4	87.3	0.55	100.1	0.75	115.8	0.93
6	0	116.7	0.28	135.4	0.45	139.3	0.65	145.2	0.9
	+10	108.9	0.3	129.5	0.45	129.5	0.7	138.3	0.95
	+20	93.2	0.35	116.7	0.5	129.5	0.7	131.5	1.0
	+30	81.4	0.4	97.1	0.6	113.8	0.8	124.6	1.05
	+40	81.4	0.4	89.3	0.65	106.9	0.85	118.7	1.1

二、适用于室内，也适用于室外（无覆冰，最大风速 35m/s）

电缆芯线/mm²	安装时温度为/℃ \ 吊索跨距/m	ϕ7.5mm 钢丝绳										ϕ8.5mm 钢丝绳	
		30		40		50		60		80		100	
	应力弧垂	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f
2.5	0	170.7	0.18	195.2	0.28	244.3	0.35	246.2	0.5	336.5	0.65	367.9	0.8
	+10	170.7	0.18	195.2	0.28	213.9	0.4	223.7	0.55	312.9	0.7	346.3	0.85
	+20	170.7	0.18	182.5	0.3	190.3	0.45	205	0.6	291.4	0.75	326.7	0.9
	+30	150	0.2	157	0.35	190.3	0.45	189.3	0.65	273.7	0.8	294.3	1.0
	+40	150	0.2	157	0.35	171.7	0.5	175.6	0.7	243.3	0.9	267.8	1.1

（续）

电缆芯线/mm²	吊索跨距/m	ϕ7.5mm 钢丝绳										ϕ8.5mm 钢丝绳	
	安装时温度为/℃	30		40		50		60		80		100	
	应力弧垂	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f
4	0	195.2	0.18	223.7	0.28	245.3	0.4	256	0.55	357.1	0.7	370.8	0.9
	+10	195.2	0.18	209	0.3	217.8	0.45	234.5	0.6	333.5	0.75	351.2	0.95
	+20	195.2	0.18	209	0.3	217.8	0.45	216.8	0.65	312.9	0.8	333.5	1.0
	+30	175.6	0.2	178.5	0.35	196.2	0.5	201.1	0.7	294.3	0.85	303.1	1.1
	+40	175.6	0.2	178.5	0.35	178.5	0.55	187.4	0.75	263.9	0.95	277.6	1.2
6	0	239.4	0.18	254.1	0.3	264.9	0.45	286.5	0.6	359	0.85	401.2	1.0
	+10	239.4	0.18	254.1	0.3	264.9	0.45	263.9	0.65	339.4	0.9	401.2	1.0
	+20	214.8	0.2	217.8	0.35	238.4	0.5	245.3	0.7	320.8	0.95	364.9	1.1
	+30	187.4	0.23	191.3	0.4	216.8	0.55	228.6	0.75	305.1	1.0	334.5	1.2
	+40	187.4	0.23	191.3	0.4	198.2	0.6	214.8	0.8	277.6	1.1	309	1.3
10	0	320.8	0.2	379.6	0.3	394.4	0.45	394.4	0.65	433.6	1.05	435.6	1.35
	+10	278.6	0.23	325.7	0.35	355.1	0.5	365.9	0.7	433.6	1.05	435.6	1.35
	+20	256	0.25	284.5	0.4	322.7	0.55	341.4	0.75	414	1.1	419.9	1.4
	+30	228.6	0.28	253.1	0.45	296.3	0.6	319.8	0.8	395.3	1.15	405.2	1.45
	+40	213.9	0.3	227.6	0.5	272.7	0.65	301.2	0.85	379.6	1.2	392.4	1.5
16	0	422.8	0.2	428.7	0.35	426.7	0.55	450.3	0.75	444.4	1.35	451.3	1.7
	+10	367.9	0.23	374.7	0.4	391.4	0.6	421.8	0.8	444.4	1.35	437.5	1.75
	+20	338.4	0.25	374.7	0.4	391.4	0.6	421.8	0.8	428.7	1.4	425.8	1.8
	+30	281.5	0.3	333.5	0.45	361	0.6	397.3	0.85	414	1.45	414	1.85
	+40	281.5	0.3	300.2	0.5	334.5	0.7	374.7	0.9	400.2	1.5	403.2	1.9

三、适用于室外（最大覆冰 15min，最大风速 10m/s）

电缆芯线截面积/mm²	吊索跨距/m	ϕ8.5mm 钢丝绳										ϕ9.4mm 钢丝绳	
	安装时温度/℃	30		40		50		60		80		100	
	应力弧垂	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f
2.5	0	148.1	0.18	2.05	0.23	246.2	0.3	265.9	0.4	315.9	0.6	326.7	0.8
	+10	148.1	0.18	205	0.23	246.2	0.3	265.9	0.4	270.8	0.7	290.4	0.9
	+20	148.1	0.18	189.3	0.25	210.9	0.35	236.4	0.45	252.1	0.75	274.7	0.95

（续）

电缆芯线截面积/mm²	安装时温度/℃ \ 吊索跨距/m	φ8.5mm 钢丝绳										φ9.4mm 钢丝绳	
		30		40		50		60		80		100	
		σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f	σ	f
2.5	+30	133.4	0.2	189.3	0.25	210.9	0.35	236.4	0.45	236.4	0.8	260.9	1.0
	+40	133.4	0.2	168.7	0.28	184.4	0.4	212.9	0.5	222.7	0.85	237.4	1.1
4	0	166.8	0.18	231.5	0.23	277.6	0.3	299.2	0.4	327.7	0.65	345.3	0.85
	+10	166.8	0.18	212.9	0.25	252.1	0.33	265.9	0.45	283.5	0.75	309	0.95
	+20	166.8	0.18	212.9	0.25	218.8	0.38	239.4	0.5	265.9	0.8	279.6	1.05
	+30	150.1	0.2	212.9	0.25	218.8	0.38	239.4	0.5	250.2	0.85	266.8	1.1
	+40	150.1	0.2	190.3	0.28	193.3	0.43	217.8	0.55	224.6	0.95	244.3	1.2
6	0	200.1	0.18	256	0.25	285.5	0.35	320.8	0.45	341.4	0.75	348.4	1.0
	+10	180.5	0.2	229.6	0.28	250.2	0.4	288.4	0.5	302.1	0.85	316.9	1.1
	+20	180.5	0.2	213.9	0.3	222.7	0.45	261.9	0.55	285.5	0.9	290.4	1.2
	+30	157	0.23	213.9	0.3	222.7	0.45	240.3	0.6	257	1.0	267.8	1.3
	+40	157	0.23	194.2	0.33	200.1	0.5	221.7	0.65	233.5	1.1	249.2	1.4
10	0	262.9	0.2	284.5	0.33	293.3	0.5	324.7	0.65	358.1	1.05	369.8	1.35
	+10	229.6	0.23	247.2	0.38	266.8	0.55	301.2	0.7	341.4	1.1	356.1	1.4
	+20	210.9	0.25	234.5	0.4	244.3	0.6	281.5	0.75	326.7	1.15	332.6	1.5
	+30	188.4	0.28	218.8	0.43	225.6	0.65	263.9	0.8	312.9	1.2	312	1.6
	+40	175.6	0.3	209	0.45	209.9	0.7	248.2	0.85	288.4	1.3	293.3	1.7
16	0	299.2	0.23	307.1	0.4	318.8	0.6	344.3	0.8	363	1.35	367.9	1.75
	+10	275.7	0.25	285.5	0.43	294.3	0.65	324.7	0.85	350.2	1.4	358.1	1.8
	+20	246.2	0.28	272.7	0.45	273.3	0.7	306.1	0.9	338.4	1.45	348.3	1.85
	+30	229.6	0.3	245.3	0.5	255.1	0.75	290.4	0.95	338.4	1.45	339.4	1.9
	+40	209	0.33	222.7	0.55	239.4	0.8	275.7	1.0	326.7	1.5	322.7	2.0

四、吊索的许用最大拉力、最大应力

吊索规格	φ6mm 圆钢	φ7.5mm 钢丝绳	φ8.5mm 钢丝绳	φ9.4mm 钢丝绳
允许最大拉力/N	4415	13244	16677	20601
允许最大应力/（N/mm²）	157	628	628	628

（续）

吊索规格	ϕ6mm 圆钢	ϕ7.5mm 钢丝绳	ϕ8.5mm 钢丝绳	ϕ9.4mm 钢丝绳
抗拉强度/（N/mm²）	329	1570	1570	1570
安全系数	2.5	2.5	2.5	2.5

注：1. 采用吊索悬挂时，应按照吊索许用最大拉力提请土建专业考虑或核算建筑结构强度。

2. 吊索的弧垂及应力计算，按照一般架空线路计算弧垂及应力的方法进行。为了保证吊索所受的最大应力（在最低环境温度时）不超过吊索的许用最大应力，必须根据安装时环境温度选择适当的弧垂。本表供工程设计和施工时参考（按照吊索悬挂的重型移动电缆全部拉直时计算）。

表中一、二、三：

f——吊索的安装弧垂（m）；

σ——在弧垂为 f 时吊索所受的应力（N/mm²）。

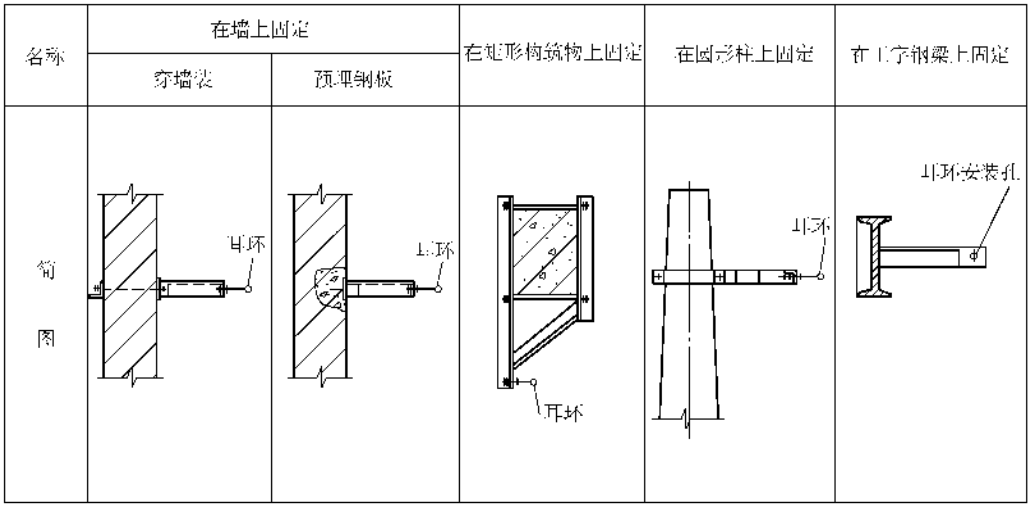


图 9-46　钢索终端安装示意图

度选定，且电缆线间的弛度应基本一致，偏差不应大于 20mm；电缆与终端装置之间的绝缘电阻应良好可靠；电缆夹间距一般不大于 5m。

七、卷筒电缆的安装

卷筒式电缆一般用于室外，有条件时也可用在室内。卷筒电缆就是在大车行走的同时带动一个滚筒转动，滚筒缠绕橡皮绝缘软电缆，前进时将电缆放开，后退时将电缆收紧缠绕在卷筒上。安装示意图见图 9-48，图中减速机、电动机没有画出。

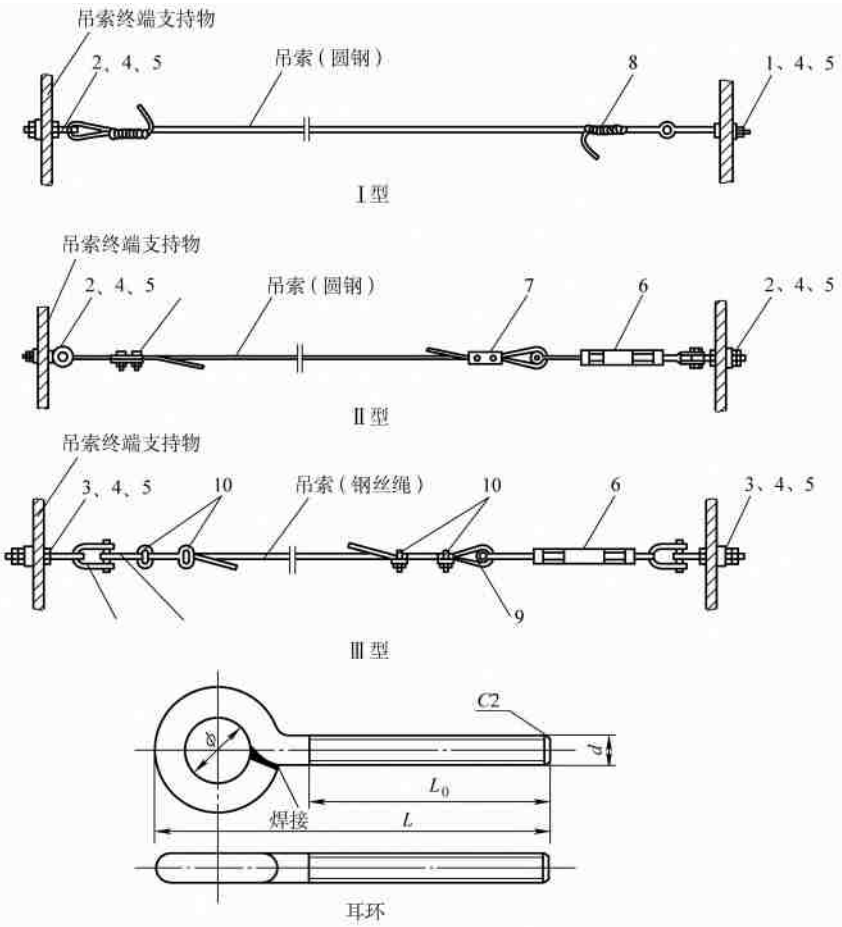
卷筒电缆的安装应使软电缆与卷筒保持较小的拉力，且卷筒不得自由转动或惯性转动，与大车有同步闭锁装置；卷筒的放缆和收缆速度，应与起重机移动速度同步一致，利用重砣调节卷筒时，电缆长度和重砣的行程应相适应，放缆到终端时，卷筒上至少保留 2 圈，安装时应和机装人员配合。

电缆拖放的道路应平整，且与大车导轨平行，常用混凝土抹光抹平，雨天不得有积水。

卷筒轴头安装的集电环和电刷要求同电动机的集电环和电刷。电缆卷于卷筒内的端头是从轴（空轴）内通往集电环的，与集电环的连接必须可靠，与电刷连接的通往保护屏总开的导线应不妨碍集电环的转动。通常集电环应装于盒内，避免杂物落入。集电环基本同第六章重型花灯的绞车滚筒的集电环，见图 6-32。

卷筒电缆对软电缆的要求较高，必须使用质地优良的橡胶绝缘软电缆。其他电源信号装置、电源接线等同上。

这里将标准图册中有关滑线的附件列于本章图 9-66 ~ 图 9-71 中，供参考。



规格表

型号	最大拉力/N	耳环尺寸/mm				开式索具螺旋扣型号	索具套环型号	索具卸扣型号	钢丝绳用绳夹型号
		d	L	l_0	ϕ				
$Ⅰ_a$	4414.5	M_{12}	220	160	20	—	—	—	—
$Ⅰ_b$Ⅱ	4414.5	M_{12}	120	60	20	开式螺旋扣 UU0.4-M_{12}		—	—
	7848	M_{16}	160	70	35	开式螺旋扣 UU0.8-M_{16}	套环 0.8	卸扣 0.9	强夹 Y_1-6
Ⅲ	13243.5	M_{20}	200	80	45	开式螺旋扣 UU1.3-M_{20}	套环 1.3	卸扣 1.4	强夹 Y_2-8
	16677	M_{22}	220	90	54	开式螺旋扣 UU1.7-M_{22}	套环 1.7	卸扣 2.1	强夹 Y_2-8
	20601	M_{27}	220	90	54	开式螺旋扣 UU2.4-M_{27}	套环 2.4	卸扣 2.1	强夹 Y_3-10

材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量			编号	名称	型号及规格	单位	数量		
				Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型					Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型
1	耳环	$Ⅰ_a$型、A_3、A_2	个个	1			7	并沟线夹	B-0	个		2	
2	耳环	$Ⅰ_b$型、Ⅱ型、A_3、M_{12}	个	1	2		8	绑扎绳	ϕ2.6 铁丝	米			
3	耳环	Ⅲ型、A_3	个			2	9	索具套环	见表 9-26～表 9-40	个			2
4	螺母	按耳环尺寸选配	个	6	6	6	10	钢丝绳用绳夹		个			4
5	垫圈	按耳环尺寸选配	个	2	2	2	11	索具卸扣		个			1
6	开式索具螺旋扣	按附表选用	个		1	1							

注：1.Ⅰ型用于吊索跨距在 30m 以内，Ⅱ型用于吊索跨距在 60m 以内，Ⅲ型用于吊索跨距在 100m 以内。
2. 移动电缆的电源装置应在没有螺旋扣的一端。

图 9-47 钢索终端拉紧装置

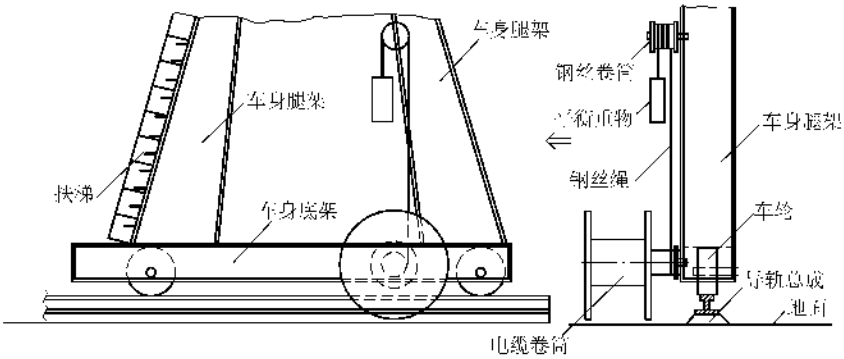


图 9-48　卷筒电缆安装示意图

第六节　电气设备的安装与接线

起重设备的电气设备及控制设备大都安装在轿厢内，只有行程开关、电磁抱闸分别安装在大小车、吊钩行程的终端和电动机的联轴器上。但是由于各厂商制造的不同，有时也将保护屏或电阻器安装在大车的桥架上。

一、电气设备的安装

（一）保护屏、控制屏的安装

保护屏、控制屏的安装与第七章动力电路及低压配电室的安装中讲述的方法相同，但要注意以下几点：

1）基础槽钢的安装：轿厢内安装时，应与轿厢的钢架机械连接固定，不得只与底板固定；桥架上安装应与型钢或车架固定。

2）保护屏、控制屏应固定牢靠，但不得焊接固定；保护屏、控制屏与基础槽钢的连接螺栓及基础槽钢与钢架的连接螺栓必须有防松措施，以防在运行中由于振动而松脱。

保护屏、控制屏在轿厢内的安装位置，见图 9-49。

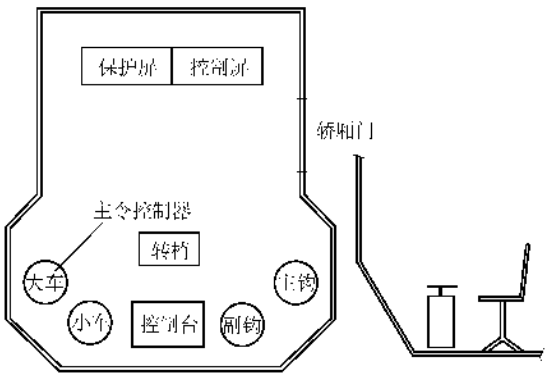


图 9-49　轿厢内平面布置图

3）在桥架上安装时，屏的型号必须是防水型，从任何位置上都不能漏进雨水。

（二）凸轮控制器、主令控制器及控制保护开关的安装

凸轮控制器、主令控制器一般按半圆形排列并安装在窗口边，以便观察，见图 9-49。间距一般为 50mm，下端对正引入线的管口（见图 9-8 和图 9-9）且垂直于轿厢的底板，用螺栓固定在轿厢的骨架上。圆周的排列应使司机便于操作。

控制保护开关包括紧急停车开关、主接触器按钮、室内室外照明开关、开车信号（电铃）开关、控制回路接触按钮等，一般将其都装在一个控制台上。控制台用钢板制作，高度不大于凸轮控制器 100mm，见图 9-50；垂直安装于底板钢架上且对准引入线的管口，见图 9-8 和图 9-9。

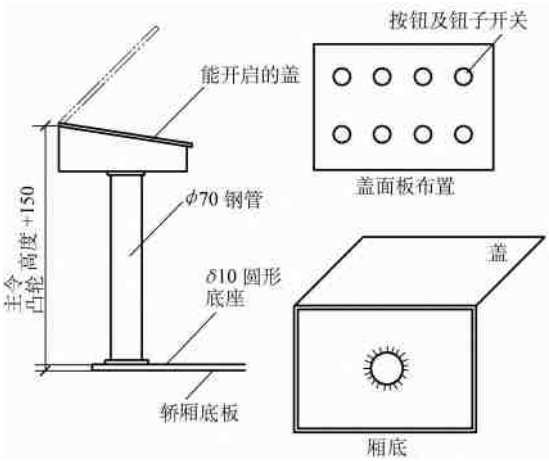


图 9-50　控制台安装示意图

（三）电磁抱闸的安装

电磁抱闸用螺栓固定在机座上，但必须保证闸瓦

的中心与电动机轴（制动轮）同心，一般由钳工配合进行安装。电磁抱闸见图 9-51 和图 9-52。

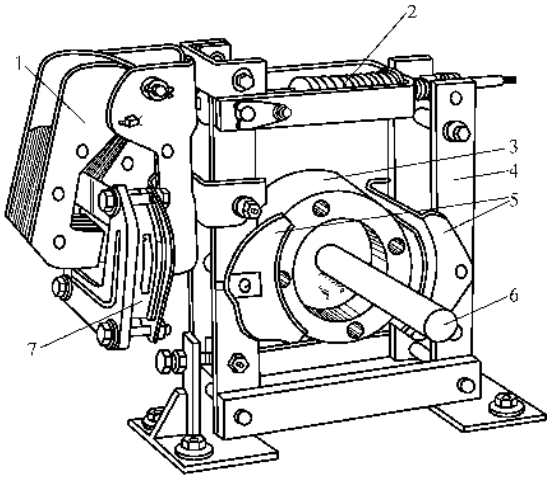


图 9-51　单相短行程电磁铁制动器

1—铁心　2—弹簧　3—闸轮　4—杠杆
5—闸瓦　6—轴　7—线圈

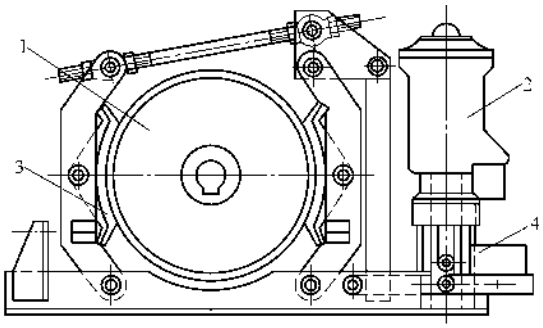


图 9-52　三相长行程电磁铁制动器

1—制动轮　2—电磁铁　3—闸瓦　4—重物

在非制动状态下，闸瓦与闸轮之间应有均匀的间隙（长行程间隙不大于 0.7～0.8mm，短行程间隙不大于 1mm），且无摩擦。

电磁抱闸应使用配套产品，安装好后应通以临时电进行试验调整，动作应迅速、准确。

（四）电阻器的安装

电阻器的安装可根据其体积的大小或片数的多少置轿厢内、屏内或架上，桥架上安装应有防水措施，通常是装于有百叶窗的钢制箱内。电阻器的外形见图 9-53，安装示意见图 9-54。

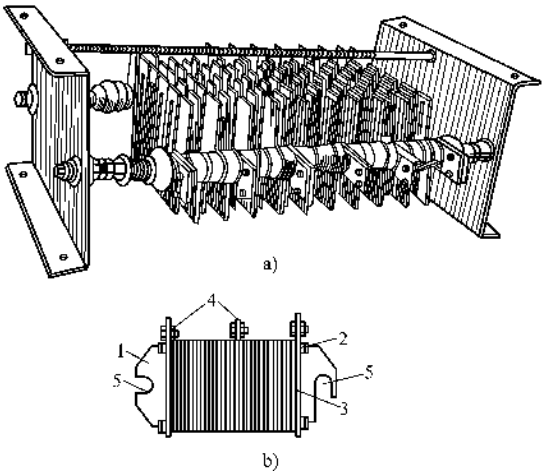


图 9-53　电阻器的外形

a）铸铁片组成的电阻箱　b）电阻丝绕的电阻元件
1—钢板　2—瓷篦子　3—电阻丝
4—端子　5—安装孔

电阻器垂直叠装不应超过 4 组，超过 4 组应用支架固定，但不应超过 6 组，超过 6 组时应另列一组。

（五）行程开关的安装

大车行程开关一般应安装在车身距导轨最近的地方，即车轮钢架部位，而把撞块安装在距行程顶端 3m 处导轨与行程开关对应的一侧，见图 9-55。撞块的位置要安装准确，撞击行程开关时不应有任何冲击力及机械损伤。撞块一般由扁钢制作，撞击行程开关部位应圆滑。行程开关的触动连杆应灵活无卡，触点动作可靠。固定行程开关的螺孔应为长孔，以便调整，撞块通常焊接固定。使用的螺栓应有防松装置。撞块的宽度应大于机械（桥架或小车）横向窜动值，撞块的长度应大于机械的最大制动距离。

小车行程开关一般安装在小车导轨的两端，撞块装于小车车身距导轨最近的部位，见图 9-56。行程开关动作后，应使桥架、小车离行程末端不小于 200m 处停止。

提升机构的行程开关采用自动复位型，装设在小车钢丝绳滚筒的下侧，上行的撞块装在吊钩的顶部、下行的撞块装在钢丝绳末端 5m 处，见图 9-57。行程开关动作后，应使吊钩、抓斗升到离极限位置不小于 200mm 处停止。两台起重机同一导轨时，行程开关动作后，应使一台临近另一台相距不得小于 400mm 处停止。

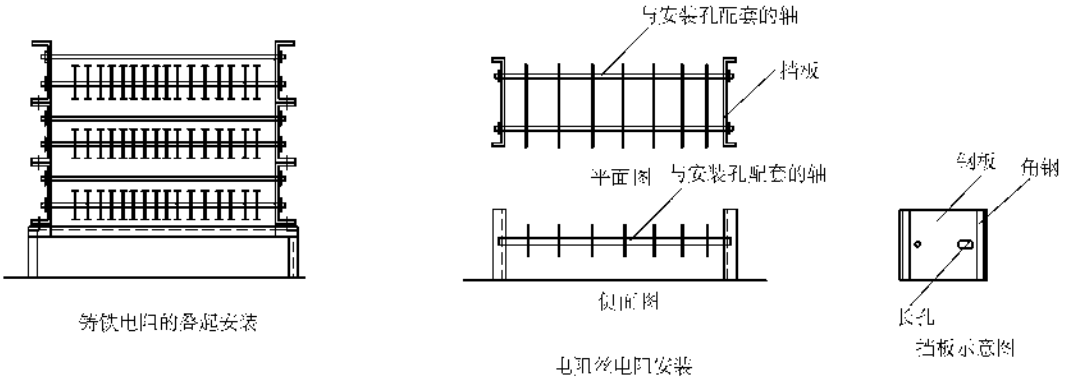


图 9-54　电阻器安装示意图

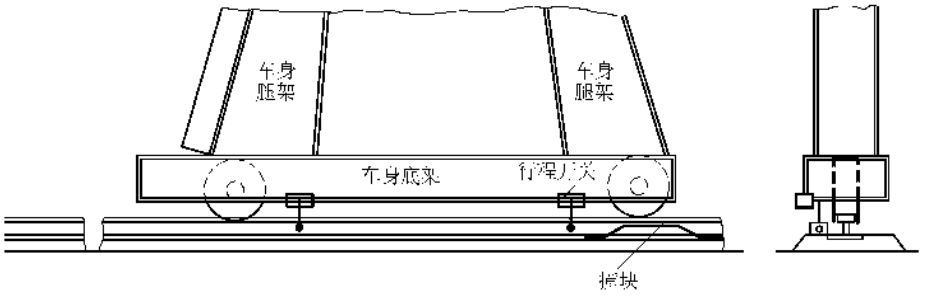


图 9-55　大车行程开关安装位置与车轮的配合

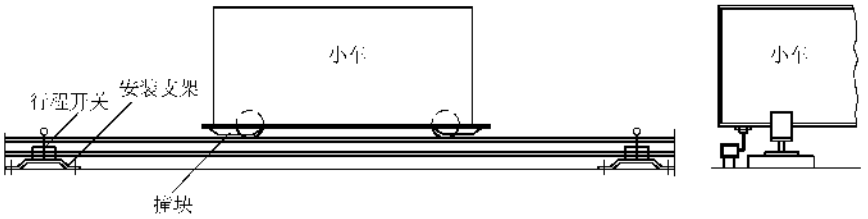


图 9-56　小车行程开关的安装

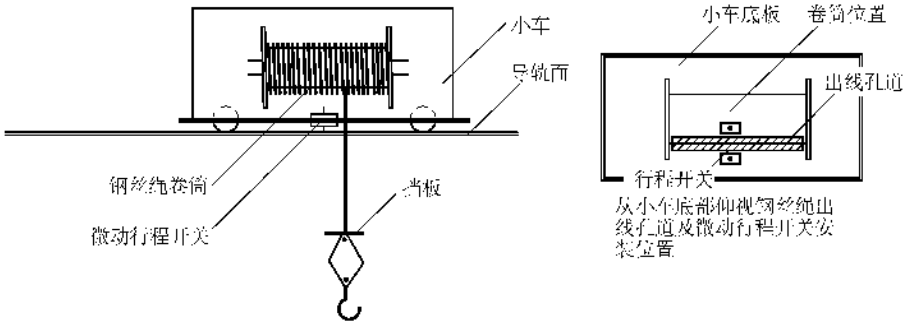


图 9-57　提升机构限位开关安装示意图

（六）声响信号的安装

声响信号装置指电铃，通常安装在轿厢前脸的外面，用螺钉固定在轿厢上，其管路是从控制台引来而敷设在轿厢内侧。

（七）照明装置的安装

照明装置有桥架上的检修工作照明及插座，检修工作照明常采用室外弯灯，插座采用单相和三相的插座，通常将插座及开关装于钢制箱内，开关箱安装于桥架上的走道旁。

桥架下侧的照明装置常采用工厂管吊式吊灯，供吊装作业照明，由控制台控制。此外，有时还在轿厢外侧安装投光灯，作为特殊作业照明，安装在厢外的角钢架上。

轿厢内照明采用吸顶安装。

照明装置全部采用明装管路安装，请读者参照第六章照明电路的安装。

室外龙门吊一般在行程的两个终端轿厢侧应安装安全信号灯，采用有防护罩的信号灯，落地安装，标高 800mm，管路由杆上的控制箱引来，电源经管由滑线端引入，见图 9-58。

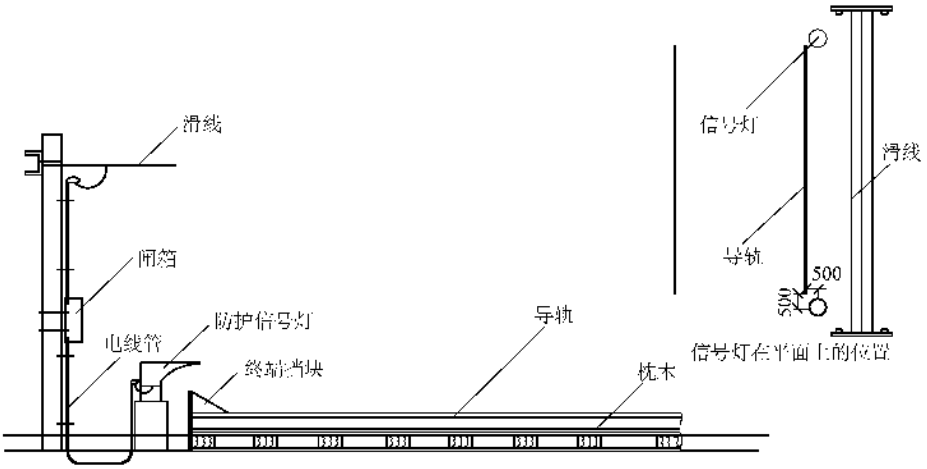


图 9-58　室外终端信号灯安装示意图

（八）接地与防雷装置的安装

桥式起重机械的接地方式通常有两种，一种是导轨直接接地，然后通过接地滑接触头（车轮）将非带电的车身金属部分接地；另一种是单独设置的接地滑线（同电源滑线），接地滑线直接接地，然后通过接地滑接触头（同电源滑线的滑接器）将非带电的车身金属部分接地。第二种方法应在架设电源滑线时同时架设接地滑线。

导轨或接地滑线应在两端与接地极可靠焊接，有关接线装置见第十四章防雷和接地系统的安装。单设接地滑线时，导轨也应可靠接地。

装置的接地滑动触头或车轮应与接地滑线或导轨可靠接触，接触电阻应用电桥测试，阻值应为零。接地滑动触头应与桥架可靠连接。

轿厢与桥架、桥架之间凡采用螺栓连接时，以及导轨的连接两者之间应焊接跨接线。跨接线的设置每一点间不得少于两处，跨接线采用圆钢时，其直径不小于 10mm，采用扁钢时截面不小于 $60mm^2$，厚度不小于 3mm。

桥式起重机接地系统的接地电阻不得大于 1Ω，车身任何部位的接地电阻不得大于 4Ω。

室外桥式起重机常装设避雷针，即在桥身至高点竖立焊接 ϕ25mm × 2500mm 的尖端镀锌圆钢，避雷针的接地与设备的接地共用一接地极。有关防雷避雷针装置见第十四章防雷和接地系统的安装。

二、电气设备的接线

电气设备安装完后，应进行仔细检查有无不妥，并摇测绝缘电阻，检查核对导线敷设情况，如截面、根数、头尾起点是否正确等，然后即可进行接线。

（一）接线时的注意事项

1）所有接线应紧固可靠，接线螺栓应有防松装置，大于 $6mm^2$ 的导线应由线鼻子过渡。

2）接线的顺序为电源—控制器—电动机—其他附属线路。

3）接线时应按回路一一进行，也就是控制器和被控电动机分别由两人同时进行，以便查对和试验，接完一个回路再接另一个回路。

4）起重机电动机中定子绕组的某一相绕组是不经过控制器或接触器触点控制的，而是由电源直接引入，这与以往的接线是不同的，接线时要注意这点。

但这根非控线必须与另外两相线穿于同一根管子里。

（二）桥式起重机的控制电路

图 9-59 某桥式起重机的控制线路图，由图可以看出，其主钩电动机 JM 由主令控制器控制，副钩电机 FM 及大车电机 DM_1、DM_2、小车电机 XM，均由凸轮控制器控制。

图 9-60 所示为该桥式起重机控制电路接线图，读者可与图 9-59 所示对照，并找出对应的元件及其线路的布置，同时熟悉电源保护屏和主钩控制屏板面上的元件组成及布置。

由图可以看出主钩、副钩、小车电动机的定子和转子的接线及总电源的接线是通过滑线完成的，这样在桥架上装设的辅助滑线应该是六组；而大车的两车驱动电动机是直接控制的、没有滑线。这些在布置滑线及线路时是要注意的，同时在接线时也要根据图样的要求及滑线的布置而进行。

（三）电源保护屏的接线

见图 9-59 和图 9-60，将由主滑线的滑触器经管引到轿厢的电源线接在总开关 QF 的上闸口。

由图 9-59 可知，副钩和小车电动机定子的接线是先经过电流继电器线圈，然后再接至凸轮控制器 FKT 和 XKT 的。由于保护屏上的接线已由厂商接好，即可把两只过电流继电器 3KA 的下闸口接至凸轮控制器 XKT 的电源进线端 R_{12} 和 R_{32} 上；而把两只过电流继电器 4KA 的下闸口接至凸轮控制器 FXT 的进线端 R_{11} 和 R_{31} 上。

由图 9-59 可知，大车的两台电动机的接线是先经过凸轮控制器 DKT 的接点，然后再接至过电流继电器 1KA 和 2KA 的。即可把由线路接触器 KM 送至两只 3KA 上闸口的电源线接至凸轮控制器 DKT 的电源进线端 R_1 和 R_3 上；把 1KA 或 2KA（其上闸口已并联接好）的上闸口接在由凸轮控制器电源出线端 C_1、C_2 送来的导线上，而把下闸口分别接在引至电动机 DM_1、DM_2 的四根导线上。

由上可以知道，在布置管路时，小车和副钩由保护屏到凸轮控制器只分别设一根管，而在大车凸轮控制器到保护屏及保护屏到两台电动机则应分别设两根管。

从 0KA 下闸口引出的电动机非控制线应随每台电动机的同一根管路敷设，中间经过凸轮控制时可不截断，如已截断应可靠接好。因此从其下闸口应接出三根导线，其中一根送至辅助滑线 R_{21}，另外两根分别同 1KA、2KA 的出线穿管引至大车的两台电动机处。

（四）凸轮控制器的接线

为了讲述上的方便，我们把凸轮控制器所有触头的两个接线端分别命名为 C 端（动触头）和 R 端（静触头），那么任何一副触头即可用 C_n—R_n 来表示，n 为触头的序号，如 C_1—R_1、C_2—R_2 等即表示 1#、2#触头。

1. 凸轮控制器内部的接线（见图 9-7）

1）R_1 和 R_2、R_3 和 R_4、C_2 和 C_3、C_1 和 C_4 用短线（与电动机线同一截面积）连接，目的是为了电动机的换相，而改变转向。

2）R_5、R_6、R_7、R_8、R_9 用短线连接在一起，目的是为将转子电阻的末端封成星点。

3）R_{10}、R_{11}用短线连接，目的是为了正反转的联锁，用在线路接触器 KM 的自保回路里。

2. 引入线的接线

电源的引入线一相接在 R_1 或 R_2 上，一相接在 R_3 或 R_4 上，另一相不经过接点，直接引至电动机。

电动机的负载线一相接在 C_1 或 C_4 上，另一相接在 C_2 或 C_3 上。

由电阻器引来的线分别接在 C_5、C_6、C_7、C_8、C_9 和 R_5 上。

这里要注意，大车行走机构用两台同型号的电动机驱动，而采用一台凸轮控制器控制。两台电动机的定子采用并联方式，而该凸轮控制器则有两套可以同时切换电机转子电阻的同步触头。因此该凸轮控制器，还应将 R_5'、R_6'、R_7'、R_8'、R_9'用短线连在一起，再把另一台电动机的转子电阻引来的线分别接在 C_5'、C_6'、C_7'、C_8'和 C_9'、R_5'上，见图 9-60 的 DKT。

3. 保护触点的接线

凸轮控制器的保护触头有两种。其中 C_{10}—R_{10}、C_{11}—R_{11}是用在线路接触器的自保回路中，称为正反联锁触头，是与大车、小车的行程开关串联连接的。而 C_{12}—R_{12}是用在线路接触器的起动回路里，和起动按钮串联连接的，称为零位触头，见图 9-61。在几台凸轮控制器一体控制的系统中，保护触头是经过组合而连接的。

大车凸轮控制器 DKT 的 R_{10}或 R_{11}接至由保护屏 4#端子板引来的导线上，C_{10}、C_{11}分别接至由大车行程开关 DST_2、DST_1 引来的导线上。

小车凸轮控制器 XKT 的 C_{10}、C_{11}分接接至由小车行程开关 XST_1、XST_2 引来的导线上；而 R_{10}或 R_{11}则接在副钩电动机凸轮控制器的 R_{10}或 R_{11}上，而副钩凸轮控制器的 C_{11}则接在保护屏的 3#端子板上。另外副钩凸轮控制器的 R_{10}或 R_{11}则和上行行程极限保护开关 FSE 的辅助滑线连接，见图 9-61 中滑线 29。

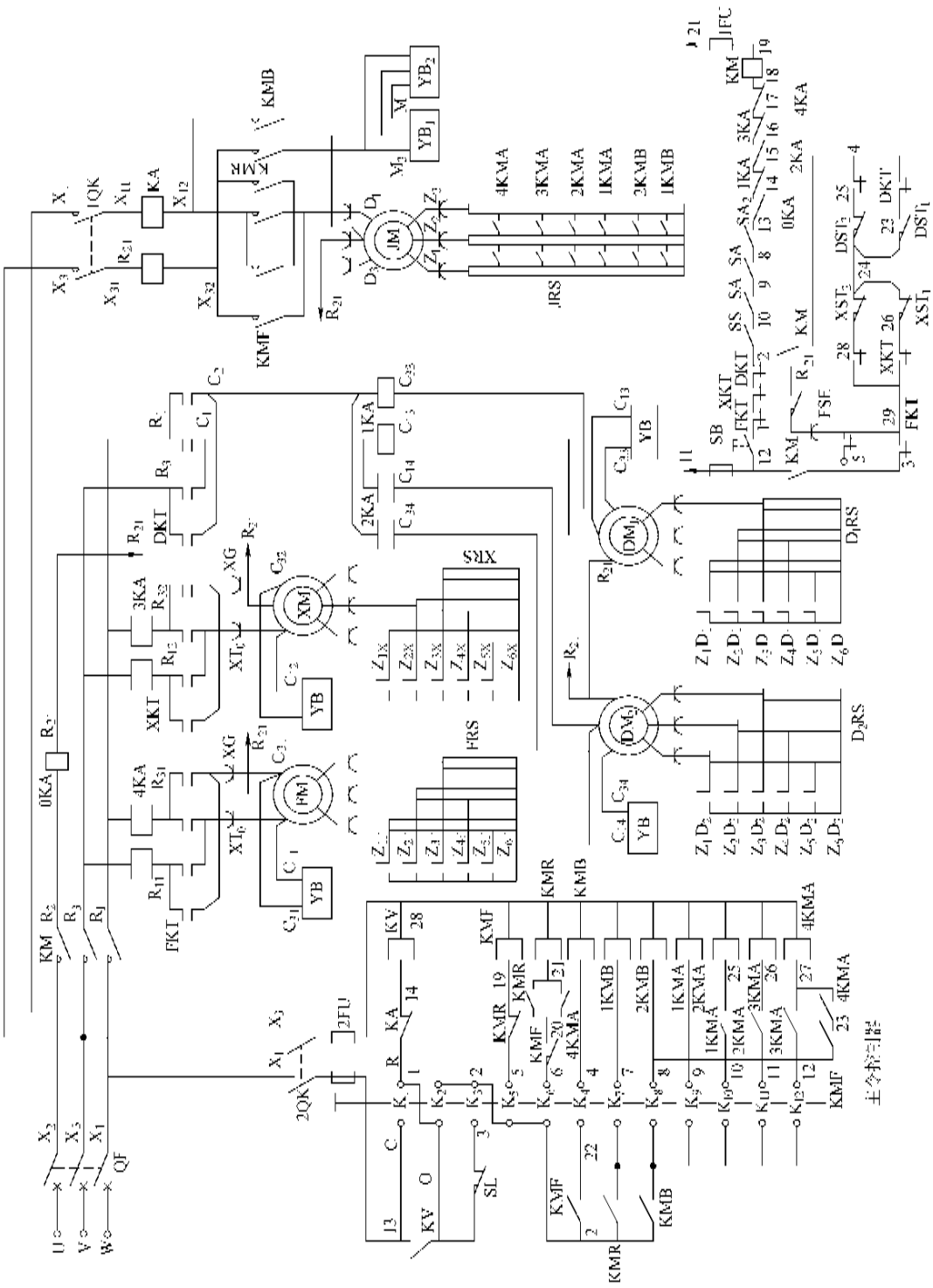


图 9-59 15/3t 桥式起重机控制线路图

大车 DKT 的 R_{12} 接至由轿厢控制台上紧急开关 SS 引来的导线上，而 C_{12} 接至小车 XKT 的 C_{12} 端；小车 XKT 的 R_{12} 端接至副钩 FKT 的 R_{12} 端；副钩 FKT 的 C_{12} 端则接至由操作台按钮 SB 引来的导线上，这样便完成了三副常闭触头的串联。

凸轮控制器控制单台电动机的接线图见图 9-7。

（五）控制屏的接线

见图 9-59 和图 9-60（见文后插页），控制屏的内部接线已由生产厂家完成，只将引入引出的线接好即可。

（1）引入线的接线　将由电源保护屏总开关下闸口经管引来的电源线接在屏上开关 1QK 的上闸口，这里要注意引来的是两相，另一相非控线，电动机将由辅助滑线取得。

（2）引至主令控制器控制线的接线　引至主令控制器的控制线共有 15 根（多敷一根），均由一根管引出，将其编号后分别接至屏上的端子 1、5、6、4、7、8、9、10、11、12、22、2、13、0 上。

（3）引至电阻器短接线的接线　引至电阻器的短接线共有 18 根，均由一根管引出至电阻器，将其编号后分别接在短接接触器相应的接点上 Q_1、Q_2、Q_3、Q_{11}、Q_{12}、Q_{13}、Q_{21}、Q_{22}、Q_{23}、Q_{31}、Q_{32}、Q_{33}、Q_{41}、Q_{42}、Q_{43}、Q_{51}、Q_{52}、Q_{53}。

（4）引至辅助滑线上导线的接线　引至辅助滑线上的导线共 4 根，电动机两根、抱闸两根，分别穿管引出，导线应分别接在接触器 KMF 下闸口 D_1、D_3 和接触器 KMB 下闸口 M_1、M_3 上。

（六）主令控制器的接线

主令控制器的控制线路见图 9-59，它是用其触头的开闭去控制相应的接触器、继电器的线圈得电与否，而由接触器或继电器的触头再去控制电动机及其电阻的切除，接线方法与凸轮控制器有相似的地方，导线可使用 2.5mm^2 的软铜线，和第三章控制柜的制作相关内容一样，接一个回路应转动手柄试一个回路，以防错误。

主令控制器和控制屏配套使用，常用于容量较大的电动机控制回路里。为了接线方便，同样以 C 和 R 来表示接点的动触头和静触头。

1. 主令控制器内部的接线

（1）将 R_2、R_3、C_5、C_6 用短线连接起来，R_1 和 C_2 用短线连接起来。

（2）将 C_4、C_7、C_8、C_9、C_{10}、C_{11}、C_{12} 用短线连接起来。

2. 引入线的连接　引入线均由控制屏穿管引来，按编号将 1#、5#、6#、4#、7#、8#、9#、10#、11#、12#线分别接在 R_1、R_5、R_6、R_4、R_7、R_8、R_9、R_{10}、R_{11}、R_{12}上。

将 13#线接在 C_1 上，0#线接在 C_2 上；2#线接在 C_6 上，22#线接在 C_4 上。这里要注意，由于 R_1 和 C_2 的连接，0#线和 1#线为同一标号线，即 1#线。

3. 引出线的连接

将 C_2、C_3 接线穿管引至上行极限保护开关 SL 的辅助滑线上，即 1 和 3 辅助滑线。

（七）电阻器的接线

1. 凸轮控制器短接电阻的接线

电阻器到凸轮控制器一根管 6 根线，将编号 C_5、C_6、C_7、C_8、C_9的线分别接在电阻 Z_5X、Z_4X 抽头上及 Z_3X、Z_2X、Z_1X 的端头上；将编号 R_5 的线接在三组电阻的星点上，见图 9-59 和书后插页图 9-60。

电阻器到辅助滑线的接线是将三组电阻的端头接线后用管引至的。

这里要注意的大车的电阻有两组，接法同上，但其端头的接线是经管直接引至电动机转子的，而不经辅助滑线。

2. 控制屏短接电阻的接线

将管由控制屏引来的 18 根短接电阻线按编号分别接在电阻器的相应接线上，然后把电阻的末端封成星点。

同样将三组电阻的端头接线后经管引至辅助滑线。

3. 试验短接电阻

凸轮控制器短接电阻接好线后即可转动手轮，并将万用表接于被短接电阻处，观察电阻被短接的情况。短接后万用表的读数为零。

控制屏短接电阻接好线后可先用临时两相电源接于屏上，把屏上通至滑线的线先临时拆掉，这时可操作主令控制器，观察电阻被短接的情况，同时可观察屏上继电器，接触器的动作情况。正常后，把临时电源拆掉，把通往滑线的线按原来的位置接好。

（八）电动机和电磁抱闸的接线

1）凸轮控制器控制的电动机其接线是和电磁抱闸同时进行的。

①　把保护屏送来的大车两台电动机的负荷线和直接引来的非控制线分别接在两台电动机接线盒内定子绕组的三个端子上，同时把电磁抱闸的两根线压接在两根被控线的端子上，然后把接线盒内地线端子接在钢架上（钻孔套丝）。一般情况下，不采用先接在一台电动机上，然后再从这台电动机并接到另一台电动机上的作法。最好是接上临时电源，在联轴器摘开的情况下，试验电机的空转，两台电动机的转向应相同。

再把由电阻器穿管引来的三根短接电阻线接在集

电环的电刷上。

② 小车和副钩电动机定子和转子的接线是经过滑接器或滑车软电缆从辅助滑线引来的，方法同上。

2）主令控制器和控制屏控制的主钩电动机其接线也是和电磁抱闸同时进行的，但与上有以下几点不同。

① 主钩电动机的定子、转子和电磁抱闸的接线都是经滑接器或滑车软电缆从辅助滑线引来的。

② 电磁抱闸多采用三相电源的，其中一相为非控制线，应压接在电动机定子非控制线的端子上。

3）接线注意事项

① 由滑线经滑接器引来的导线应穿管引至电动机，滑接器与滑线的接触应良好。

② 由滑车软电缆引来的导线应穿管引至电动机或电磁抱闸，软电缆在放开或收紧时不得受到应力。

③ 由管口到接线盒的导线应穿金属软管（蛇皮管）保护或套软塑料管保护。

④ 同一台电动机的二相控制线及一相非控制线必须穿同一根管子引到电动机处。

（九）行程开关的接线

图 9-60 所示的行程开关共有 6 只，其中大车的两只 DST_1 和 DST_2 的一个接线端子已分别与大车凸轮控制器的正反联锁触头接好，小车的两只 XST_1 和 XST_2 的一个接线端子也已分别与小车凸轮控制器的正反联锁触头接好；这时将两只大车行程开关的另一个接线端子用导线连接起来，同时把两只小车行程开关的另一个接线端子也用导线连接起来，然后再用导线把大车行程开关与小车行程开关的这个接线端子连接起来，见图 9-60 中滑线 24。

主钩的行程开关 SL 是经滑线或滑车软电缆引入导线的，将两根导线分别接在两个接线端子上即可。而导线另端已与主令控制器的 C_2、C_3 接好。

副钩行程开关 FSE 的一个接线端子也是由滑线或滑车软电缆引入导线的，导线的另端已与副钩凸轮控制器上行闭锁触头接好，而 FSE 的另一个接线端子应接在电动机定子非控制线接线的端子上。

接线注意事项同电动机及抱闸的接线。

（十）保护回路的接线

保护回路的电路见图 9-61。保护回路中的元件或接点分布在保护屏、控制器、操作台、行程开关、轿厢门等桥架的各个部位，线路较长，接线必须正确可靠。

1）将操作台上的按钮 SB，一端接在由保护屏 12#端子引来的电源线上，另一端接在去副钩凸轮控制器 FXT 的 C_{12} 的导线上，C_{12} 和三副零位保护触头的串联已在凸轮控制器接线中接好，并将 DKT 的 R_{12} 点接在了操作台上紧急开关 SS 的一端（见凸轮控制器的接线）。

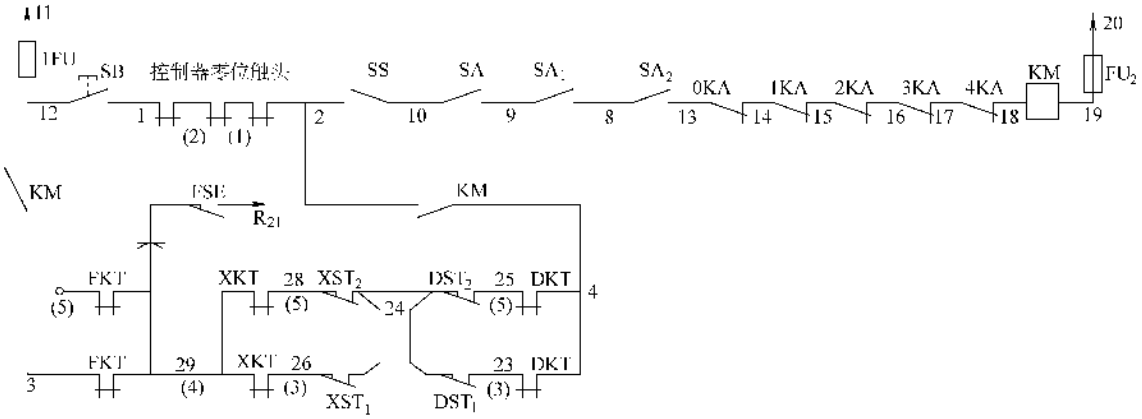


图 9-61 GQR1 系列保护柜电气原理图

2）将 SS 的另一端经管引接至轿厢门的舱门开关 SA 的一端，另一端经管引接在横梁栏杆门安全开关 SA_1 和 SA_2 串联后的一端，最后将 SA_2 的末端经管引至保护屏，接在 13#端子上。

这时可将保护屏上 12#、19#端用刀开关接上 380V 的临时电源，并把屏上的熔断器 1FU、2FU 临时取掉，并使 SS、SA、SA_2 和 SA_1 手动闭合，操作 SB，接触器 KM 应引合，松开 SB 应释放，如操作任何一台凸轮控制器使其离开零位，KM 都要释放，回零后 KM 不能吸合，只有重新操作 SB，KM 才能再次吸合。

3）图中接触 KM 的两个辅助触头（即 3#、4#）所跨接的线路正是按钮 SB 的自保持回路。可以看出 3#的供电回路是由两个接线提供的：一个是 KM 的辅助触点；而另一个是 R_{21}，也就是共用的非控制线。这两个点是同相，接线时必须找对相序，接线要绝对

正确，否则要发生相与相的短路；这是以往安装人员容易忽略的一点。

由前面凸轮控制器和行程开关的接线可知该自保持回路的接线已经完成，现在做的工作是应正确接上临时电源试验保护回路接线，并验证线路的可靠性。

按前述同样的方法接好临时电源，并把 R_{21} 也接在 12#端子上，操作 SB 先使 KM 吸合。这时我们操作 SS、SA、SA_1、SA_2、0KA、1KA、2KA、3KA、4KA 的任意一个触头，KM 都应释放；否则有接线错误或触头接触有误。这时我们操作三台凸轮控制器的手轮，任何一台离开零位，KM 都不释放，因为有了自保回路。如果我们手动操作大车和小车的任何一台凸轮控制器，然后用手触动相应方向的行程开关，KM 应释放；如果不释放可触动反方向的那只，KM 应释放，这说明凸轮控制器正反方向联锁触头的线接反，可将两根通至行程开关的线对调一下即可正确。如果都不能使 KM 释放，则说明接线有误或接触不良。

如果我们手动操作副钩凸轮控制器，然后再触动 FSE，KM 应释放。

对于主令控制器的保护回路也应做相应的试验，临时电源接在控制屏上 2QK 的下闸口，并把 2QK 断开，操作主令控制器，然后手动 KV 动作或行程开关 SL，主令控制器控制的继电器或接触器都应释放，否则接线有误或接触不良。

（十一）照明回路的接线

见第六章照明电路及单相电气设备的安装。但这里要注意，灯具应选用室外防雨型的，接线盒不得进水，应密封好，盒盖应有胶垫。电源进户零线应与导轨或滑触地线可靠接触，照明的零线应与车身螺栓连接。

第七节　整机调试及试车

起重机械的电气设备安装、结线完毕后，待机械设备部分安装调整完毕且具备试车条件时，再征得装机人员及有关技术人员的同意后，即可进行整机调试及试车工作。调试及试车的程序应先单机、后联动，先空载、后负载，先静载、后动载，最后全载联动试车，中间有一环节不妥，即应检查修复，否则不得继而试车。

一、设备及元件电气参数的测试调整

1. 绝缘电阻的测试

用 500V 的绝缘电阻表测试导线对地、导线线间以及滑触器、滑线、继电器、接触器、电磁抱闸、控制开关、凸轮与主令控制器、行程开关等带电部分与系统正常时不带的金属部分以及相与相之间的绝缘电阻，应大于 1MΩ。同时将测试结果填写在调试报告上。

2. 接地电阻的测试

用接地电阻表测试接地系统的接地电阻，不得大于 1Ω，车身金属构架的任何部位的接地电阻不得大于 4Ω。接地引线的焊接应符合要求。

3. 接触电阻的测试

用电桥或数字万用表测试滑接器的触头、电刷的接触电阻，其阻值应小于 $10^{-6}\Omega$。有弹簧装置的应用标准弹簧秤测试弹簧装置的压力，一般应大于 0.02MPa。

4. 耐压试验

硬件滑线应作耐压试验，试验电压 1000V、试验时间 1min 无击穿及闪络现象。

5. 电动机的试验

见第五章、第七章。

6. 过电流继电器的整定

每台电动机控制相线的过电流继电器的整定值一般整定在被保护电动机额定电流的 2.25 ~ 2.50 倍。非控制相线的总过电流继电器 0KA 的整定值一般整定在全部电动机额定电流之和的 1.2 ~ 1.5 倍。试验时，当电流升至整定值时，电流继电器应在动作时间到达时动作，见表 9-8。否则可调整调节螺钉，使其符合表中的要求。

从配电室送至桥式起重机的总电源应能保护系统的短路；操作回路的熔丝一般为 5A。

7. 电磁抱闸的试验调整

电磁抱闸一般分粗调、细调两步。

（1）粗调　先将电动机与减速机的联轴器摘开，但电动机及抱闸的安装位置不动，这时我们用手用力盘动电动机机轴，应盘不动，则说明在不通电的情况下抱闸的闸瓦将电动机的制动轮死死抱住，否则应将间隙调小。这时我们只给抱闸的线圈接上临时电源（一般为 380V，但要看清线圈上的标注，因为也有使用 220V 的电磁铁线圈），接通后，电磁铁动作，这时我们用手盘动电动机机轴，应灵活无卡，则说明通电的情况下闸瓦均匀地离开了制动轮。同时，可观测间隙是否符合要求，否则应调整间隙。然后我们把抱闸的电源撤掉，并重新将抱闸的接线与电动机接在一起，这时再将电动机接上临时电源，并起动电动机、切除全部电阻，使电动机达到额定转速，然后突然将电动机断电，这时抱闸制动，将由于惯性而转动的电动机的制动轮抱住，电动机立即停止，动作迅速准确，否则说明间隙太大或不均匀，应重新调整。这样

反复几次，直到符合要求。

粗调完成后将联轴器重新装好，并将临时电源拆除，将现场清除干净。

（2）细调　细调是指单机调整试验完毕，起重机进入负载试车时，对电磁抱闸的调整。细调可为操作停车或事故停车（行程开关动作，过电流继电器动作等），调整方法基本同前，并符合下列要求：

起重机及其附属部分（吊钩、抓斗、小车等）的制动距离极限值，不应超过制造厂商规定值的百分数：

当制动距离为250mm以下时为+10%；当制动距离为250～500mm时为+5%；当制动距离为500mm以上时为+3%。同时应测定大车两台电动机制动器动作时间的一致性。

8. 行程开关的调整

行程开关也分粗调和细调两步。

粗调已在保护回路的接线中做了试验。而细调则是在单机调试完毕，起重机进入联动空载试时对行程开关撞块位置是否准确的调整。

在额定速度的情况下，起重机的行程限位开关动作后，能使起重机运行机构在下列位置准确停止上升或移动：

吊钩、抓斗、起重臂升到离极限位置不小于100mm处；起重机桥架和小车等，离行程末端不小于200mm处；一台起重机临近另一台起重机时（同一对导轨上同时有几台起重机运行），相距不小于400mm处。

上述的数值是最小的极限值，通常我们都把撞块的安装位置调整在下列位置上：

大车距导轨顶端5m的位置，室内为1m；小车距导轨顶端1m，室内为0.5m；提升机构距顶点为0.5m。

反复测定撞块的高低及位置，直至动作准确无误后，把撞块固定好。行程开关撞块的调整必须开动大车、小车或吊钩进行实测，调整时要将凸轮或主令打在最慢档，以防撞车。当调整好后，再打快车进行试验。

二、整机检查

主要有整机各部、接线、滑线有无错误、松脱，元件有无破损，电阻器抽头接线位置和星点封头是否正确等，不妥之处应一一修复。同时起重机静载、动载试运转正常，主要要求有：

1. 起重机的静载试验

（1）起重机应停放在厂房柱子处。

（2）将小车停在起重机的主梁跨中或有效悬臂处，无冲击地起升额定起重量1.25倍的荷载距地面100～200mm处，悬吊停留10min后，应无失稳现象。

（3）卸载后，起重机的金属结构应无裂纹、焊缝开裂、油漆起皱、连接松动和影响起重机性能与安全的损伤，主梁无永久变形。

（4）主梁经检验有永久变形时，应重复试验，但不得超过3次。

（5）小车卸载后开到跨端或支腿处，检测起重机主梁的实有上拱度或悬臂实有上翘度，其值不应小于表9-34的规定。

表9-34　起重机主梁实有上拱度或悬臂实有上翘度的最小值

起重机类别	检测部位	最小值/mm
手动单梁起重机、手动双梁起重机、手动悬挂起重机、电动葫芦桥式起重机、通用桥式起重机、冶金起重机、电动葫芦门式起重机、通用门式起重机	主梁跨中$S/10$的范围内	$0.7S/1000$
电动单梁起重机、电动悬挂起重机	主梁跨中$S/10$的范围内	$0.8S/1000$
电动葫芦门式起重机、通用门式起重机、悬臂起重机	有效悬臂处	$0.7L_0/350$

注：1. S为起重机的跨度（mm），L_0为有效悬臂的长度（mm）。

2. 起重机静载试验后，应以额定起重量在主梁跨中和有效悬臂处检测起重机的静刚度，静刚度值应符合随机技术文件的规定，其检测应符合下列规定：

（1）将空载小车开到跨端或支腿处，在主梁跨中或有效悬臂处应定出测量基准点。

（2）再将小车开至主梁跨中或有效悬臂处，应起升额定起重量的荷载距离地面200mm，并应待荷载静止后检测。

（3）起重机主梁或悬臂的静刚度值，应以测量基准点垂直向下移动的距离计。

3. 起重机的动载试验

（1）各机构的动载试运转应分别进行；当有联合动作试运转要求时，应符合随机技术文件的规定。

（2）各机构的动载试运转应在全行程上进行；试验荷载应为额定起重量的1.1倍；累计起动及运行时间，电动的起重机不应少于1h，手动的起重机不应少于10min；各机构的动作应灵敏、平稳、可靠，安全保护、联锁装置和限位开关的动作应灵敏、准确、可靠。

（3）门式起重机大车运行时，荷载应在跨中。

（4）柱式悬臂起重机在任何工况下，不应有悬臂自主回转和小车失控运行。

（5）卸载后，整机机构、结构无损坏、无变形、无连接松动、无焊缝开裂、无油漆起皱，液压系统、密封系统无渗漏。

三、空载电气试验

以上各试验调整合格后，即可进行空载电气试验。先将电动机与传动装置、减速机的联轴器摘开，将凸轮主令置于零位，将各种开关置于断开位置，检查无误后，通知配电室将桥式起重机馈电回路的开关合上。

1）测量滑线上的电压，应为380V±10V，且三相平衡，电源指示灯正常。同时，观察滑线及支持绝缘子有无异常，用钳型表测量进户处的三相电流，应均为零。

2）将总开关QF闭合，关闭舱门（SA闭合）、关闭横梁栏杆门（SA_1、SA_2闭合）、闭合紧急开关SS，操作按钮SB，主接触器KM应吸合。这时观察电源保护屏、凸轮控制器及通电各部位有无异常、冒烟、焦味、声响、电打火等，可用万用表测量得电部位的电压，应正常。

3）试验声响信号、照明电路应正常，同时测量各插座电压应正常。

4）将小车凸轮控制器XKT的手轮置于向前的第一档，电动机应正转起动且为慢速，可用转速表测量转速，这时电磁抱闸YB得电吸合，闸瓦松开，无摩擦，否则应用前述调整方法进行调整。然后将手轮置于2档，电动机加速；再将其置于3、4、5档，电动机应逐级加速。同时，在每档可用转速表测量转速并用钳形表测量电流，应正常。

正转加速正常后，可将其由5档逐级退回零位，电动机制动停止。在加速或减速的换档中，电磁抱闸应准确动作制动。然后将手轮置于向后第一档，并按向前步骤一样逐级增速、减速试验，应正常。

当置于5档时电动机的空载电流应为1/3额定电流左右；各个档位电动机的声音、温升、轴承温度以及电刷部位应正常。

进行副钩和小车试验时，要测量其在辅助滑线上的电压是否正常。

5）用同样的方法和步骤，试验副钩及大车电动机，内容基本相同，所不同的是大车的凸轮控制器同时控制两台电动机，同时切除两组电阻、同时控制两台电磁抱闸。电路及设备、元件必须保证两台电动机功能和转向的同步性和一致性，否则桥架要发生扭斜，这是要绝对禁止的。

同步性的试验要进行三种数据的测量：一是要用同一转速表、同一测量方法及部位测量正反方向上每一档位的转速，两台电动机应相等；二是用同一电桥测量每一档位下转子串接的电阻应相同，否则必须调整为一致；三是换档的同步性测量，通常是用下面的办法进行的。

准备两块钳形电流表，型号相同且同时经计量部门检定合格，允许误差调节成相同值，把两块表放在同一位置，然后加长两台电动机的控制相线，使其穿过表的钳口，这样即可在一个位置同时观察两台电动机的电流（转速）切换情况。检查无误后，即可操作大车的凸轮控制器，起动及换档时，电流表的指示及切换时指针的摆动应一致。否则说明凸轮控制器触头的切换不一致，或电阻，电动机的匹配不一致，应作进一步的调整。见图9-62。

同步性的测试也可用灯泡法，见图9-63。

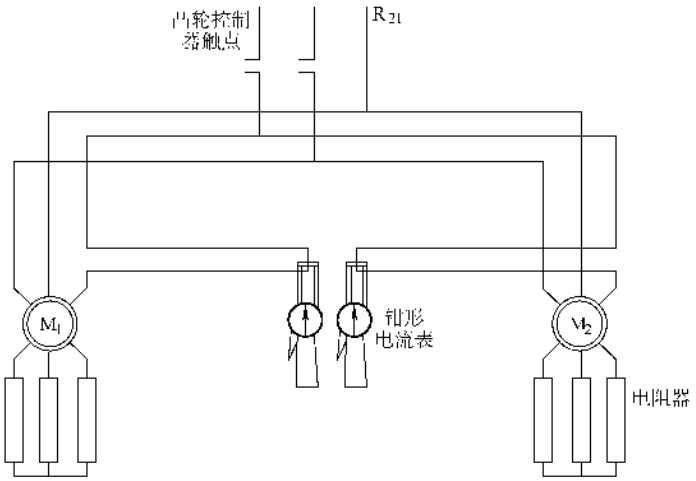


图9-62　同步性测试示意图（一）

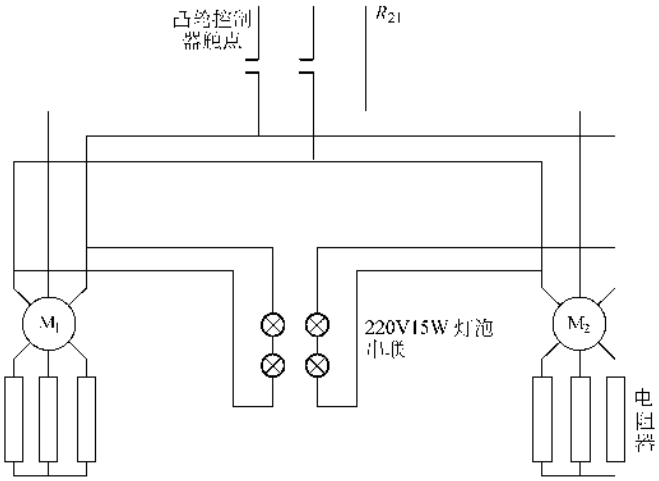


图 9-63 同步性测试示意图（二）

6）将控制屏上的 1QK、2QK 合上，测试主钩，这时先观察控制屏及主令控制器有无异常，一切正常后即可操作主令。

主令手柄在“0”位时，触头 K_1 闭合，电压继电器被接通动作，其常开触头闭合自锁，为控制电路提供电源，为起动电动机作好准备。

在上升的 1～6 档中，转速逐级增加；从 6～1 档中，转速逐级减小，主令触头控制接触器的动作切除或接入电阻，这与凸轮控制是相同的，测试项目和方法与前述相同。

在下降的 J～5 档中，则有所不同。前三个位置 J～2，电动机相序接法与提升相同，但转子串入较大的电阻，速度较慢。如果接入负荷，在一定位能转矩负载下，会使电动机运行在速度反向的倒拉反接制动状态，从而得到较小的下降速度。这种工作方式常用在重载下降。

在 J 的位置上，K_7、K_8 闭合，使 1KMB 和 2KMB 接触器吸合，短接两段电阻，电动机发出较大的起制动作用的转矩；此时 K_4 不闭合，使 KMB 接触器不得电，电磁抱闸也起制动作用，能使重物保持一定的位置而静止不动，此位置用于下降制动停止。在下降的 1～5 的位置上，K_4 都闭合，KMB 接通制动电磁铁，抱闸松开，无制动作用。

在“1”档上，K_2、K_4、K_6、K_7 闭合，接触器 KMF、KMB、1KMB 得电吸合，电动机转子串入五段电阻，电动机仍接成上升相序，机械特性与提升位置 1 相同，不同的是为提升 1 位置时机械特性在第Ⅳ象限的延伸，见图 9-64，主令控制器的控制电路见图 9-65。

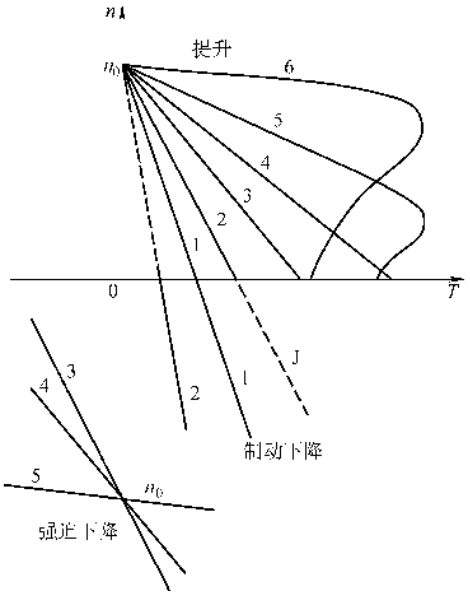


图 9-64 主钩电动机机械特性

在“2”档上，K_2、K_4、K_6 闭合，KMF、KMB 得电吸合，电动机转子串入六段电阻，机械特性比提升 1 位置更软，仍在第Ⅳ象限，见图 9-64。如果负荷转矩不能克服电动机产生的转矩，则重物不但不下降，反而上升，所以常用于重载下降。

在下降的 3、4 档，可获得强迫下降，使重物在极轻时也能得到下降速度。在“3”档时，K_2、K_4、

K_6、K_7、K_8 触头闭合、KMR、KMB、1KMB、2KMB 得电吸合，抱闸松开、电动机接成反转，转子接入四段电阻，由于转矩反了，转速反了，机械特性进入Ⅲ象限，如图 9-64 曲线 3。在 4 档中除 3 外，K_9 闭合，1KMA 得电吸合，转子接入三段电阻反转，机械特性如图 9-64 曲线 4。

在下降位置 5 档时，电阻除常串电阻外全部切除，负载较轻时，也可得到较快的强迫下降速度。负载较重时，在重物的作用下使电动机进入再生发电制动状态，把重力位能转换成电能反馈回电网，机械特性进入第Ⅳ象限。

当负载较重时，处于再生发电制动下放状态，这时若由 5 切换到 J 或 1、2 时，为了避免经过 3、4 而造成的过高的下降速度，而用 4KMA 常开触头（23—27）与 KMR 常开触头（8—23）串联，使 4KMA 线圈回路形成自锁，保证切换时 4KMA 仍然通电，使电动机始终运行在特性 5 曲线上。

7）保护功能的试验：在进行上述电动机空转试验时，应人为的使行程限位开关或保护回路中任一开关打开以至过电流继电器动作，电动机都能停止且制动；重新起动时，必须使凸轮或主令回到零位，否则不能重新起动。

四、空载试运转试验

经过上述试验全部合格后，将电源回路断开，并在配电室的屏上挂好禁止合闸的标牌，然后将电动机与传动装置、减速机的联轴器连接好，同时派人检查整机及线路、元件有无不妥之处，导轨上有无异物障碍或不妥，测量轮距及轨距，全部合格后征得机装负责人员的同意并在其配合下即可进行起重机的运转试验。

1. 桥式起重机的试运转必须具备下列条件

1）电气装置安装已全部结束，且电气设备（电动机、控制器、接触器、制动器、继电器、各类开关元件及滑线等），已经调整试验合格，各元件接线正确、动作正常可靠。

2）电气设备及线路的绝缘电阻应符合规范或设计要求。

3）保护接地良好。

4）安全保护装置已经试验、调整，动作正确可靠。

5）声光信号装置显示正确、清晰可靠。

6）控制器手轮或手柄指示的方向及档位变换与所控大车、小车、吊钩的运行方向和速度符合设计或产品要求。

7）机械安装及调整完毕，且大车及小车已在导轨上推动前进和后退试验正常，应灵活无卡（推动时应先将电磁抱闸的接线拆下，接上临时电源，使其动作，松开抱闸）。

2. 小车行走的空载试验

先观察电源进户处滑线上的电源指示正常与否，关好舱门和横梁栏杆门，闭合紧急开关，按动 SB，主接触器吸合，按动电铃按钮，发出试车信号。然后即可操作小车的凸轮控制器，先慢速来回行驶，再加速。试验的项目有正反车、加速、减速、制动，零位、限位及紧急开关保护等，应正常。速度的变化应明显，制动、零位、限位及紧急开关保护准确可靠无滑行；正反转行驶时，车身平稳无振动、无倾斜、无晃动。每个速度下全程来回行驶不得少于三次。

如果行走方向和凸轮控制上标注的方向相反，可在控制器进线处的接点上倒转。

3. 副钩升降的空载试验

副钩升降试验同小车，吊钩应上下灵活，吊钩下降到最低位置时，卷筒上的钢丝绳不应少于 5 圈。副钩试验完毕后，再做小车和副钩的空载联动试验，小车全行程来回行驶，同时副钩上下升降，应灵活自由，无任何不妥。

4. 大车行走的空载试验

大车行走的空载试验基本同小车，但要特别注意观测两台电动机的同步性以及大车桥架在两根导轨上行走时的速度及距离的一致性。一般是用钢卷尺测量开车前至停车制动后两轮的距离，两根导轨应相同。

大车行走试验时还要观测滑线的运行情况，使用卷筒软电缆时，收缆和放缆的速度应与运行机构的速度相协调。

大车行走正常后应做小车、副钩、大车的联动试验，即小车、大车来回行走，副钩上下升降，应灵活自如，无不妥之处。

5. 主钩的空载试验

图 9-65 所示为主令控制的主钩电动机电路图。主钩的空载试验同副钩，然后进行主钩、大车、小车的联动试验，应正常。

以上空载试验时应测量各台电动机的空载电流、温升、轴承温度、声音、振动控制屏、保护屏、控制器工作状况及滑线温升等，详见第七章，滑线同母线试验。

五、负载试运转试验

1）空载试运转试验正常合格后即可进行静负荷试运转试验；室内天车应将起重机的桥架停放在厂房的柱子处，进行试验。静负荷试验应按先小钩、后大钩，先慢速、后加速，先半载、后全载，先单机、后

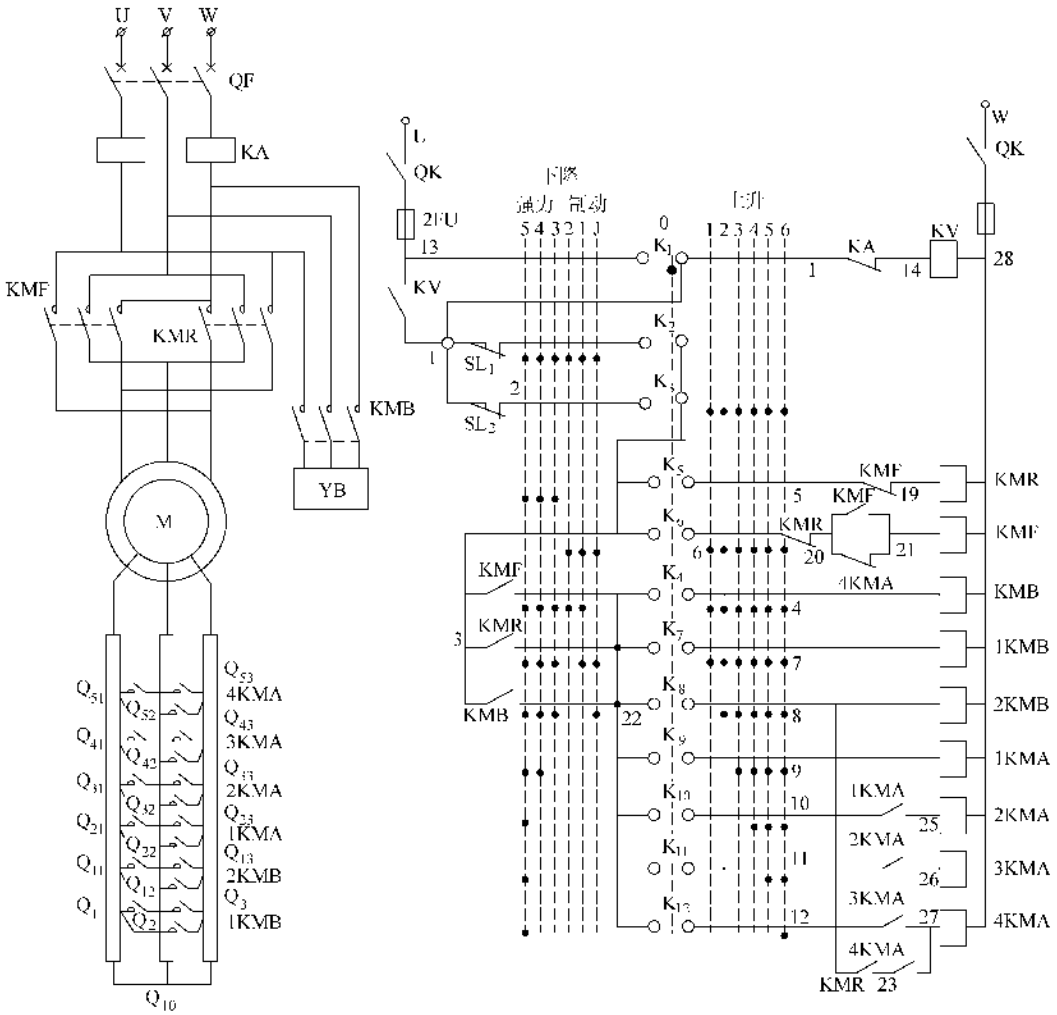


图 9-65 主令控制器控制的主钩电动机电路图

联动的原则进行。

通常是先吊起本钩额定负载的 1/4 试验，然后再按 1/2 试验，同时开动小车，在桥架上全行程来回行走。正常后再进行 3/4 及全负载的起吊试验，并开动小车，使其在桥架上全行程来回行走。试验过程中电气系统，保护回路的功能正常，整机无振动、无倾斜、无晃动、无异常声响、平稳协调。

将小车停在桥架中间位置，提升 1.25 倍的额定负载，离开地面 100mm 停留 10min，然后卸去负载，将小车开到跨端或支腿处，由装机人员检查桥架，应无永久变形；反复三次后，测量主梁的实际拱度或翘度：

通用桥式起重机的上拱度应大于 $0.8L/1000$；L 为跨度。

冶金起重机、龙门起重机和装卸桥的上拱度应大于 $0.7L/1000$。

然后将小车停在桥架中间位置，吊起额负荷，测量下挠度，应符合表 9-35 的规定。

表 9-35 起重机桥架或悬臂在额定载荷下的下挠度

起重机类别		下挠度不应超过值
通用桥式起重机		$L/700$
龙门吊、装卸桥	主梁	$L/1000$
	悬臂	$L_0/350$
冶金起重机		$L/1000$
电动单梁、电动单梁悬挂起重机		$L/600$
手动单、双梁起重机		$L/400$
壁行式悬臂起重机		$3L_0/1000$

注：L—跨度 L_0—悬臂长度

2）静负荷试验正常后即可进行动负荷运转试验，原则同静负荷试验。

应先在1.1倍额定负载的条件下，同时提升与运行（大车、小车）机构反复运转，累计起动试验时间不应少于10min，各机构（电气和机械）动作应灵敏、平稳、可靠、性能满足使用要求，限位开关和保护联锁装置的作用应可靠准确，制动准确无滑车现象。试验限位行程开关时，操作者应手把紧急开关，一但行程开关动作不灵或滑行超差应立即切断保护回路，停车，然后再修复调整。

冶金起重机达到上述要求后，再以1.25倍的额定负载慢速起车，试验锥形摩擦联轴器等过载安全装置，均应安全可靠。

抓斗应作张开、下降、抓取和倒空动作的试验，并应在连续2次无负载和5次负载试验中能工作正常，安全可靠，动作准确。

3）静负载和动负载试验中电气参数的测量和检测项目

① 各台电动机的电流及三相是否平衡；

② 系统的总电流及三相是否平衡；

③ 电动机的温升、轴承温度、转速、振动、声音；

④ 电磁抱闸、行程限位开关、紧急开关、凸轮与主令控制器、保护屏、控制屏、滑线、滑触器及声响信号系统的工作状况。

为了更好地观察试车及滑线的运行情况，一般应在静态和动态试验合格后，安排一次夜间额定负载的试验，方法程序同上。进一步观测滑线、滑接器有无打火、过热、温升过高及所有电气设备及元件包括照明电路的运行情况。届时应将打火位置标出，以便处理。处理时应用放大镜观察，以便用最有效的办法和最得力的工具消除故障。

对装有起重量限制器的起重机，其限制器的综合误差为不大于8%；当负荷达到额定起重量的90%时，应能发出提示性报警信号；当负荷达到额定起重量的110%时，应能自动切断提升机构的电源，并发出禁止性报警信号。

进行以上试验应严格遵守安全操作规程，操作人员应由有经验的天车工在电气人员的协同下进行，轿厢内外要规定好联络信号，必要时应用布话机。起吊后桥架下不准有人，试验完毕后大车应将止轮器装好，同时检查配重应安全可靠。

最后整理安装、调试记录及工程有关资料、技术文件等，装袋存档，交工验收。

这里将部分附件及数据列出，供参考见图9-66～图9-73和表9-36～表9-70（摘自DQ华北建筑电气通用图集）。

表9-36　角钢滑线载流量

角钢规格/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/km)	载流量/A
30×30×4	227	1780	194
40×40×4	308	2420	260
50×50×5	480	3770	345
60×60×6	691	5420	416
75×75×8	1150	9030	545

表9-37　圆钢滑线载流量

直径/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/km)	载流量/A
16	201	1580	100
20	314	2470	132

表9-38　圆铜电车滑线载流量

直径/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/km)	载流量/A
6.2	30	270	161
7.1	40	360	197
8.0	50	445	234
9.1	65	580	284

表9-39　双沟形电车铜滑线载流量

截面积/mm^2	质量/(kg/km)	载流量/A
65	580	300
85	760	367
100	390	413

表9-40　50×50×5角钢加扁铝辅助线载流量

辅助线规格/mm	质量/(kg/km)		载流量/A
	扁铝	角钢	
40×4	430	3770	528
40×5	540	3770	586
50×5	680	3770	720
60×5	820	3770	845
60×6	970	3770	924
80×6	1300	3770	1210
100×6	1620	3770	1490
100×8	2160	3770	1700
100×10	2700	3770	1900

表9-41　圆铜电车滑线每1A·km电压降(%),380V

截面积/mm^2	相距180mm cosφ为		相距130mm cosφ为	
	0.5	0.6	0.5	0.6
30	0.265	0.285	0.257	0.277
40	0.223	0.236	0.215	0.229
50	0.198	0.207	0.189	0.199
65	0.173	0.178	0.161	0.168

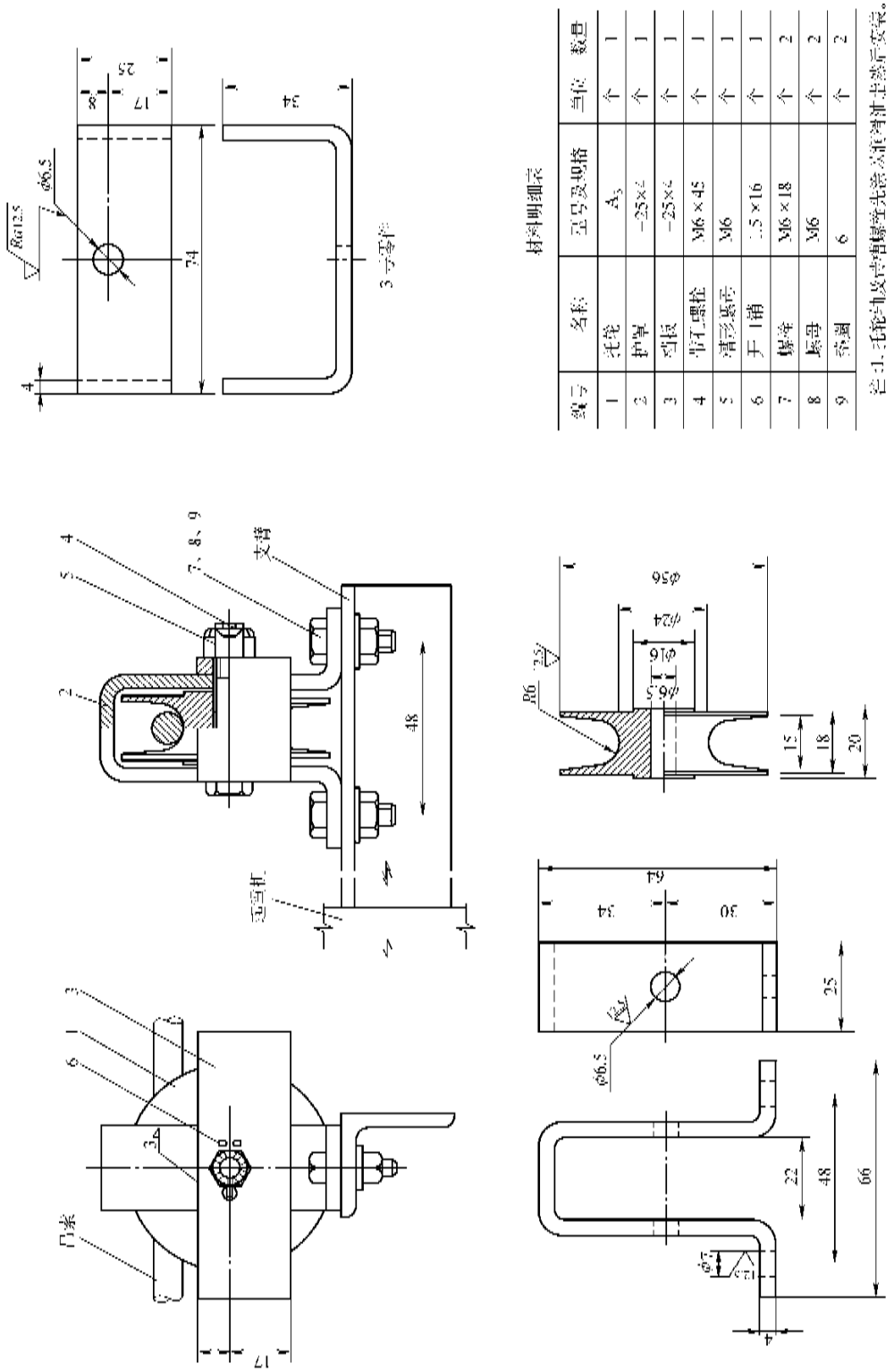
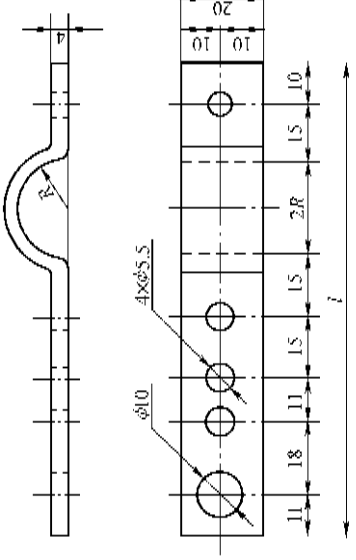
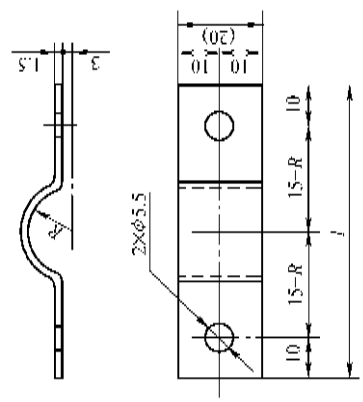


图 9-66 起重机上托轮装置零件图



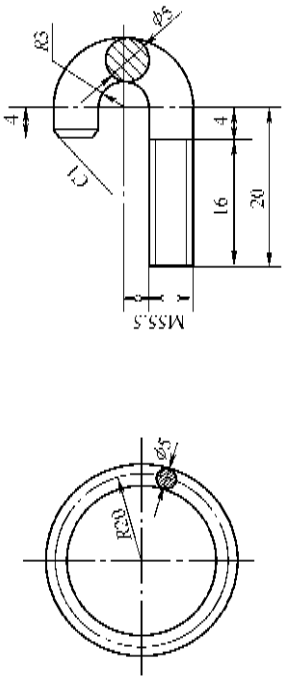
电缆外径 /mm	R/mm	l/mm	展开长度 /mm
14~19	11	117	228
20~27	15	125	240

1 号零件



电缆外径 /mm	R/mm	l/mm	展开长度 /mm
14~19	11	72	78
20~27	15	80	91

2 号零件



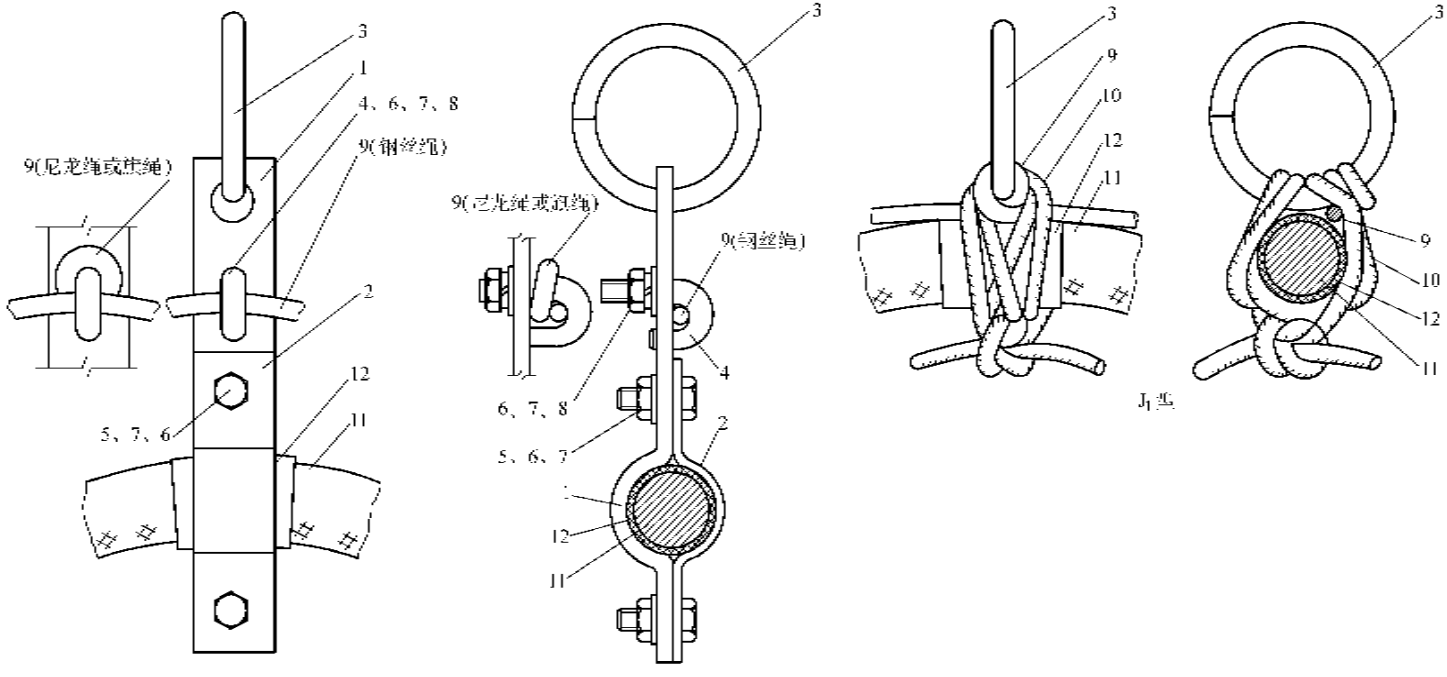
4 号零件

3 号零件

材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	
				J_1型	J_2型
1	扁板	−20×4	个		1
2	电缆夹	钢板 $l=1.5$	个		1
3	扁形	Φ5 $l=127$	个	1	1
4	半圆形夹	Φ5 $l=46$	个		1

图 9-67　移动电缆夹具零件图(一)



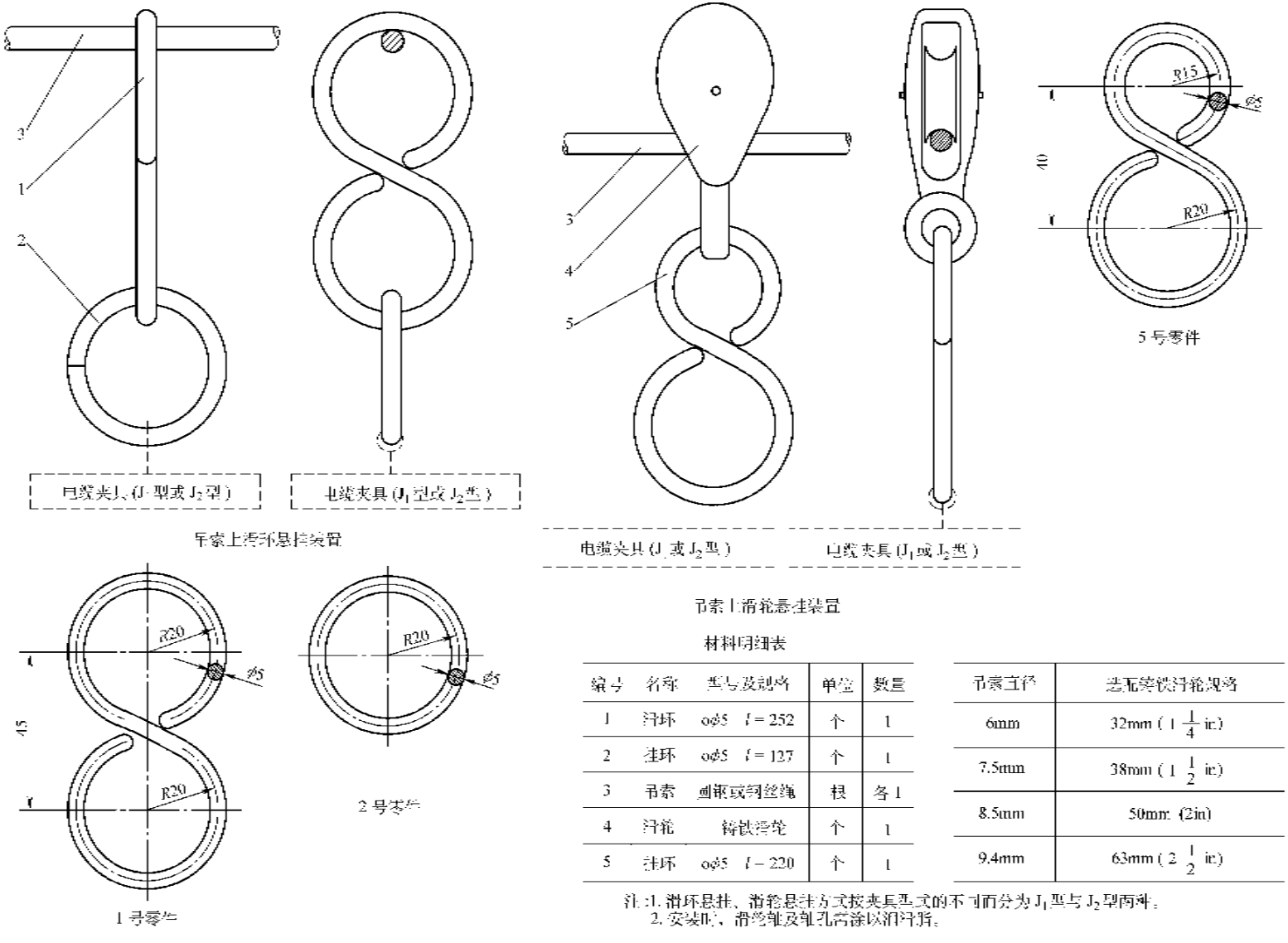
材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量		编号	名称	型号及规格	单位	数量	
				J_1型	J_2型					J_1型	J_2型
1	主板	−20×4	个		1	7	垫圈	5	个		3
2	电缆夹	钢板 $t=1.5$	个		1	8	弹簧垫圈	5	个		1
3	挂环	$\phi5$ $l=127$	个	1	1	9	牵引绳	旗绳、尼龙绳或钢丝绳	根	1	1
4	牵引绳夹	$\phi5$ $l=46$	个		1	10	绑扎绳	4号旗绳	m		
5	螺栓	M5×16	个		2	11	移动电缆	由工程设计决定	根	1	1
6	螺母	M5	个		3	12	护套	橡皮 $t=1.5$，宽30	个	1	1

注：J_1型电缆夹具的牵引绳可用旗绳(4号)或尼龙绳($\phi4.5$)。

J_2型电缆夹具的牵引绳可用旗绳(4号)、尼龙绳($\phi4.5$)或普通钢丝绳($\phi4.4$)，其固定方法分别见图。

图9-68 移动电缆夹具零件图(二)



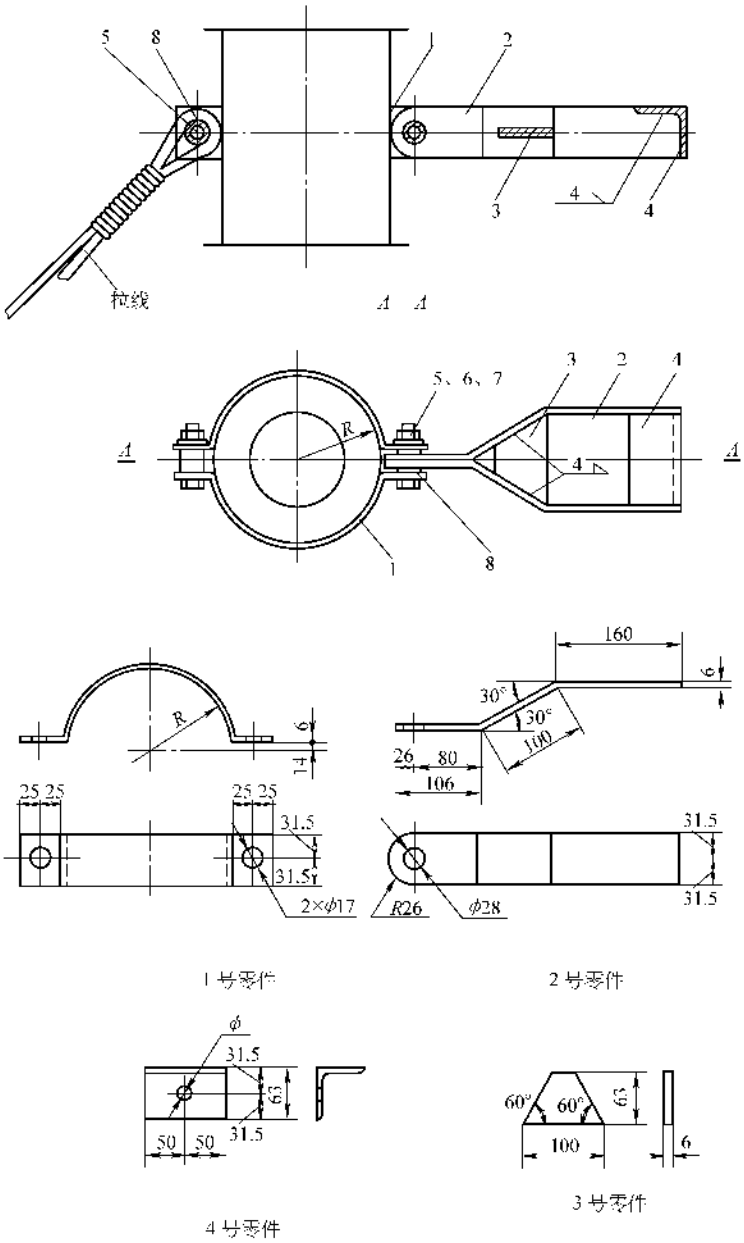
材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	滑环	o⌀5　l = 252	个	1
2	挂环	o⌀5　l = 127	个	1
3	吊索	麻绳或钢丝绳	根	各1
4	滑轮	铸铁滑轮	个	1
5	挂环	o⌀5　l = 220	个	1

吊索直径	选配铸铁滑轮规格
6mm	32mm（$1\frac{1}{4}$in）
7.5mm	38mm（$1\frac{1}{2}$in）
8.5mm	50mm（2in）
9.4mm	63mm（$2\frac{1}{2}$in）

注：1. 滑环悬挂、滑轮悬挂方式按夹具型式的不同而分为J_1型与J_2型两种。
2. 安装时，滑轮轴及轴孔需涂以润滑脂。

图 9-69　吊索上滑环、滑轮悬挂装置零件图



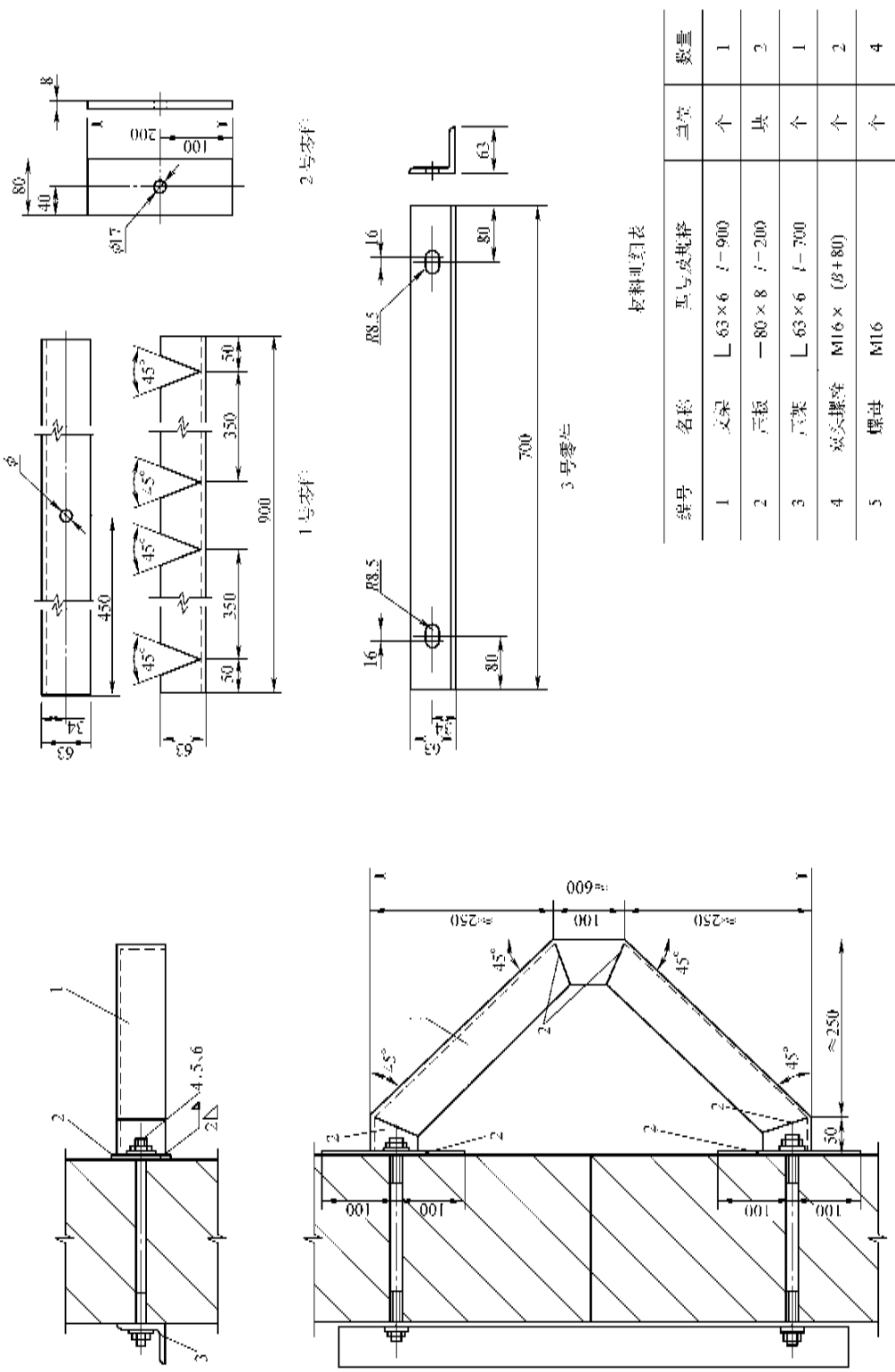
材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	抱箍	−63×6	个	2	5	螺栓	M16×70	个	2
2	拉板	−63×6　l=366	个	2	6	螺母	M16	个	2
3	撑架	−63×6　l=100	个	1	7	垫圈	16	个	2
4	支架	L63×6　l=100	个	1	8	套管	焊接钢管SC20　l=26	个	2

注：1.若柱子是纵立柱，可按图示位置加装拉线。

2.ϕ值根据耳环尺寸决定。

图 9-70　吊索终端装置在圆形柱上的固定零件图



材料明细表

编号	名称	型号及规格	单位	数量
1	支架	L 63×6 l=900	个	1
2	三板	—80×8 l=200	块	2
3	三架	L 63×6 l=700	个	1
4	双头螺栓	M16×(B+80)	个	2
5	螺母	M16	个	4
6	垫圈	16	个	4

注：φ值根据甲方尺寸决定。

图 9-71　吊索终端装置在墙上固定零件图

表 9-42 双沟形铜电车线每 1A · km 电压降(%),380V

截面积 /mm²	相距 180mm cosφ 为		相距 130mm cosφ 为	
	0.5	0.6	0.5	0.6
65	0.170	0.176	0.163	0.169
85	0.15	0.153	0.122	0.146
100	0.14	0.142	0.132	0.134

表 9-43 角钢滑线电压降,380V

(单位:V/m)

角钢规格/mm	电流 / 电压降 / cosφ	电流/A				
		175	200	250	300	350
50×50×5	0.5	0.39	0.425	0.495	0.556	0.61
	0.65	0.425	0.465	0.54	0.608	0.665
63×63×6	0.5			0.428	0.482	0.538
	0.65			0.468	0.525	0.585
75×75×8	0.5				0.40	0.442
	0.65				0.436	0.480

角钢规格/mm	电流 / 电压降 / cosφ	电流/A					
		400	500	600	750	900	1100
50×50×5	0.5	0.67	0.77	0.885	1.025		
	0.65	0.73	0.84	0.96	1.12		
63×63×6	0.5	0.588	0.682	0.76	0.87	0.99	
	0.65	0.642	0.745	0.828	0.95	1.08	
75×75×8	0.5	0.478	0.55	0.62	0.72	0.818	0.94
	0.65	0.520	0.60	0.675	0.786	0.894	1.03

表 9-44 圆钢滑线电压降,380V

直径/mm	电压降(V/100A · m)	
	cosφ = 0.5	cosφ = 0.65
16	0.78	0.85
20	0.6	0.655

表 9-45 50×50×5 角钢加扁铝辅助线每 1A · km 的电压降(%),380V

辅助线规格/mm	相距 380mm cosφ 为	
	0.5	0.6
40×4	0.126	0.127
40×5	0.115	0.115
50×5	0.107	0.106
60×5	0.099	0.096
60×6	0.093	0.092
80×6	0.084	0.081
100×6	0.066	0.063
100×8	0.063	0.060
100×10	0.059	0.055

表 9-46 铝芯导线或裸铝绞线时,380V 三相线路中每 1A · km 的电压降(%)

(中心线间距离为 150mm,$T = 50℃$)

截面积 /mm²	电阻 /(Ω/km)	电抗 /(Ω/km)	在下列 cosφ 值时	
			0.5	0.6
10	3.472	0.286	0.906	1.055
16	2.17	0.271	0.601	0.693
25	1.39	0.257	0.418	0.474
35	0.99	0.246	0.324	0.362
50	0.794	0.235	0.274	0.303
70	0.496	0.224	0.202	0.217
95	0.365	0.215	0.169	0.179
120	0.289	0.208	0.150	0.155
150	0.231	0.201	0.137	0.140
185	0.188	0.19	0.120	0.122

注:中心距为 200mm 时,电压降应小 10% 左右。

表 9-47 铜芯导线或裸铜绞线时,380V 三相线路中每 1A · km 的电压降(%)

(中心线间距离为 150mm,$T = 50℃$)

截面积 /mm²	电阻 /(Ω/km)	电抗 /(Ω/km)	在下列 cosφ 值时	
			0.5	0.6
10	2.06	0.286	0.583	0.668
16	1.29	0.271	0.401	0.451
25	0.824	0.257	0.289	0.319
35	0.589	0.246	0.231	0.260
50	0.412	0.235	0.187	0.200
70	0.294	0.224	0.157	0.162
95	0.217	0.215	0.134	0.141
120	0.172	0.208	0.121	0.123
150	0.137	0.201	0.110	0.110
185	0.114	0.194	0.102	0.101

注:中心距为 200mm 时,电压降应小于 10% 左右。

表 9-48 铝芯电缆或铝芯绝缘导线穿管时,380V 三相线路中每 1A · km 的电压降(%)

($T = 50℃$)

截面积 /mm²	电阻 /(Ω/km)	电抗 /(Ω/km)	在下列 cosφ 值时	
			0.5	0.6
10	3.472	0.073	0.82	0.955
16	2.17	0.068	0.522	0.628
25	1.39	0.066	0.343	0.404
35	0.99	0.064	0.251	0.295
50	0.794	0.063	0.206	0.245
70	0.496	0.061	0.138	0.158
95	0.366	0.060	0.107	0.125
120	0.289	0.060	0.09	0.101
150	0.231	0.060	0.081	0.085
185	0.188	0.060	0.066	0.073

表 9-49　铜芯电缆或铜芯绝缘导线穿管时，380V 每 1A · km 的电压降(%)

($T=50℃$)

截面积/mm²	电阻/(Ω/km)	电抗/(Ω/km)	在下列 cosφ 值时	
			0.5	0.6
10	2.06	0.073	0.82	0.593
16	1.288	0.068	0.522	0.377
25	0.824	0.066	0.343	0.245
35	0.589	0.064	0.251	0.185
50	0.412	0.063	0.206	0.136
70	0.294	0.061	0.138	0.103
95	0.217	0.060	0.107	0.081
120	0.171	0.060	0.09	0.069
150	0.137	0.060	0.081	0.060
185	0.111	0.060	0.066	0.052

表 9-50　铝母线每 1A · km 的电压降(%),380V

规格/mm	相距 250mm 平放 cosφ 为	
	0.5	0.6
40×4	0.115	0.120
40×5	0.105	0.108
50×5	0.092	0.094
50×6	0.086	0.087
60×6	0.078	0.079
60×8	0.073	0.072
60×10	0.069	0.068
80×6	0.066	0.066
80×8	0.062	0.061
80×10	0.059	0.058
100×6	0.058	0.058
100×8	0.055	0.053
100×10	0.052	0.051

额定电压 500V 及以下起重机械电气装置的安装质量检验标准及方法见表 9-71 ~ 表 9-78。

表 9-51　YBF 橡套扁平电缆、YGFB 硅橡胶扁平电缆技术参数表

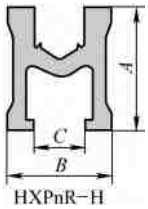
规格	导体结构	电缆参考数据				20℃最小绝缘电阻/MΩ	
		外径上限(宽度×厚度)	近似重量	20℃最大直流电阻			
芯数×截面积/mm²	根数/(直径/mm)	YB YBF YBZ /(mm×mm)	YB YBP YBZ /(kg/km)	不镀锡 /(Ω/km)	镀锡 /(Ω/km)	YB YBF YBZ	YBZ
3×4	56/0.30	19.6×8.9	285	4.95	5.09	50	400
3×6	84/0.30	22.0×9.9	380	3.30	3.39		
3×10	84/0.40	27.5×12	615	1.91	1.95		
3×16	126/0.40	31.3×13.3	830	1.21	1.24		
3×25	196/0.40	38.3×15.8	1230	0.78	0.795		
3×35	276/0.40	42.8×17.6	1605	0.554	0.565	40	300
3×50	396/0.40	49.2×20.0	2205	0.386	0.393		
3×70	360/0.50	55.6×22.5	2965	0.272	0.277		
3×4+2×1	56/0.30+32/0.20	25×8.5	427	4.95	5.0	50	400
3×6+2×1	84/0.30+32/0.20	30×12	590	3.30	3.34	50	400
3×6+2×1.5	84/0.30+30/0.25	30×12	600	3.30	3.38	50	400
6×2.5+6×1.5	49/0.25+30/0.25	35×15	900	7.98	8.05	50	400
3×4+4×2.5	56/0.30+49/0.25	32×9	520	4.95	5.03	50	400
3×25+1×10	196/0.40+84/0.40	53×18	1800	0.78	0.81	50	400
3×16+1×10	126/0.40+84/0.30	43×15	1200	1.21	1.27	50	400
3×35+1×10	276/0.40+84/0.40	61×21	2500	0.554	0.56	40	300
3×50+1×10	396/0.40+84/0.40	65×24	3200	0.386	0.392	40	300

规格	导体结构	电缆参考数据				20℃最小绝缘电阻/MΩ	
		外径上限(宽度×厚度)	近似质量	20℃最大直流电阻			
芯数×截面积/mm²	根数/(直径/mm)	mm×mm	kg/km	Ω/km	Ω/km	YB YBF YBZ	YBZ
4×2.5	49/0.25	22.5×8.2	285	7.98	8.21	50	400
4×4	56/0.30	26.2×9.1	396	4.95	5.09		
4×6	84/0.30	29.2×9.9	505	3.30	3.39		
4×10	84/0.30	36.5×12	835	1.91	1.95		
4×25	196/0.40	51.1×15.8	1665	0.780	0.795		

（续）

规格	导体结构	电缆参考数据				20℃最小绝缘电阻/MΩ	
		外径上限（宽度×厚度）	近似质量	20℃最大直流电阻			
芯数×截面积/mm²	根数/（直径/mm）	mm×mm	kg/km	Ω/km	Ω/km	YB YBF YBZ	YBZ
4×35	276/0.40	57.0×17.6	2170	0.54	0.565	40	300
7×2.5	49/0.25	37.2×8.2	490	7.98	8.21	50	300
8×1.5	30/0.25	33.4×7.0	380	13.3	13.7		
8×2.5	49/0.25	41.6×8.2	555	7.98	8.21		
10×1.5	30/0.25	40.3×7.0	465	13.3	13.7	50	400
10×2.5	49/0.25	50.4×8.2	680	7.98	8.21		
12×1.5	30/0.25	48.3×7.0	565	13.3	13.7		
12×2.5	49/0.25	60.5×8.2	820	7.98	8.21		

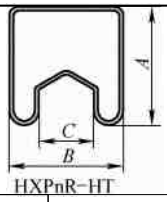
表 9-52　HXPnR-H 系列单极组合式滑触线技术参数表

外形尺寸					
型号规格	滑触线截面尺寸/mm			载流量/A	适配外置式集电器
	A	B	C		
HXPnR-H-166/200	19.0	16.0	7.0	200	HJD，HJD2
HXPnR-H-226/300	33.5	26.5	13.5	300	HJD，HJD1
HXPnR-H-266/500	33.5	26.5	13.5	500	HDJ，HJD1
HXPnR-H-424/800	33.5	26.5	13.5	800	HJD，HJD1，HJD3
HXPnR-H-515/1250	33.5	26.5	13.5	1250	HJD，HJD1，HJD3
HXPnR-H-905/1600	65.0	50.0	12.0	1600	HJD，HJD1，HJD3
HXPnR-H-1200/2000	85.0	60.0	15.0	2000	HJD，HJD1，HJD3
HXPnR-H-1500/2500	91.7	55.0	15.6	2500	HJD，HJD1，HJD3
HXPnR-H-2000/3000	91.7	55.0	15.6	3000	HJD，HJD1，HJD3

注：1. 滑触线标准长度为 6m。

2. HXPnR-H 型为铝合金材料的滑触线。

表 9-53　HXPnR-HT 系列单极组合式滑触线技术参数表

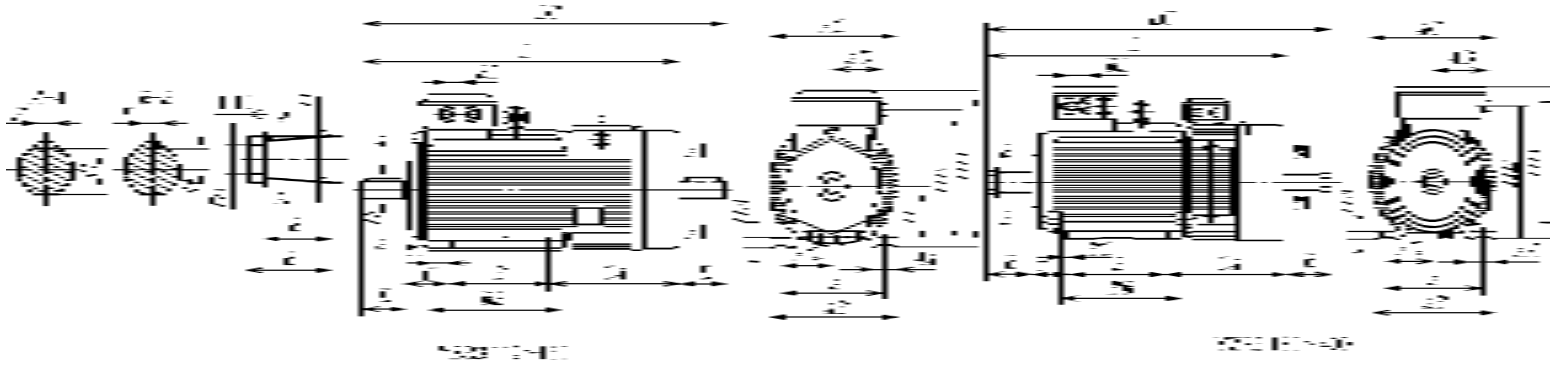
外形尺寸					
型号规格	滑触线截面尺寸/mm			载流量/A	适配外置式集电器
	A	B	C		
HXPnR-HT-100/300	29.6	28.5	13	300	HDJ，HJD2
HXPnR-HT-134/400	29.6	28.5	13	400	HJD，HJD2
HXPnR-HT-167/500	29.6	28.5	13	500	HJD，HJD1
HXPnR-HT-200/600	29.6	28.5	13	600	HJD，HJD1
HXPnR-HT-234/700	29.6	28.5	13	700	HJD，HJD3
HXPnR-HT-267/800	29.6	28.5	13	800	HJD，HJD3

注：1. 滑触线标准长度为 6m。

2. HXPnR-HT 型为铜材料的滑触线。

表 9-54　YZR 系列 IM1001、IM1002、IM1003、IM1004 卧式安装的电动机外形及安装尺寸表　（单位：mm）

外形尺寸及标注



机座号	安装尺寸及公差																					外形尺寸												
	A	$A/2$①	B	C② 基本尺寸	C② 极限偏差	CA	D③ 基本尺寸	D③ 极限偏差	D_1	E 基本尺寸	E 极限偏差	E_1 基本尺寸	E_1 极限偏差	F 基本尺寸	F 极限偏差	G 基本尺寸	G 极限偏差	H 基本尺寸	H 极限偏差	K 基本尺寸	K 极限偏差	螺栓直径	AA	AB	AC	AD	BC	BB	BL	HA	HD	HE	L	LC
112M	190	95	140	70	±2	300	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.20	112	0 −0.5	12	+0.43 0	M10	50	250	235	160	20	225	40	20	315	275	590	670
132M	216	108	178	89			38									33		132					50	275	285		28	240	14	22	355	312	647	727
160M	254	127	210	108	±3	330	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		160		14.5	+0.52 0	M12	60	320	320	200	47	290	33	25	425	366	758	868
160L			254																									330					802	912
180L	279	139.5	279	121		360	55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.540			19.9		180					72	360	360		28	380	40		470	420	870	980
200L	318	159	305	133		400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		200		18.5		M16	90	406	406	245	31	390	49	28	520	467	978	1118
225M	356	178	311	149	±4	450	65									23.9		225					90	455	425		30	410	40		560	500	1050	1190
250M	406	203	349	168		540	70		M48×3					18		25.4		250		24		M20	100	515	470	315	43	500	32	30	625	561	1195	1337
280S	457	228.5	368	190			85	+0.054 0	M56×3	170		130	0 −0.630	20	0 −0.052	31.7		280	0 −1.0				100	575	530		58	520	55	32	735	650	1265	1438
280M			419																									570					1315	1489
315S	508	254	406	216		600	95		M64×4					22		35.2		315		28		M24	130	640	620	370	43	550	34	35	835	710	1385	1562
315M			457																									600					1443	1613
355M	610	305	560	254		630	110		M80×4	210	±0.58	165		25		41.9		355					140	740	695	440	42	710	46	38	990	825	1654	1864
355L			630																									780					1724	1934
400L	686	343	710	280			130	+0.063 0	M100×4	250		200	0 −0.720	28		50		400		35	+0.62 0	M30	160	855	800		85	880	45	45	1090	920	1870	2120

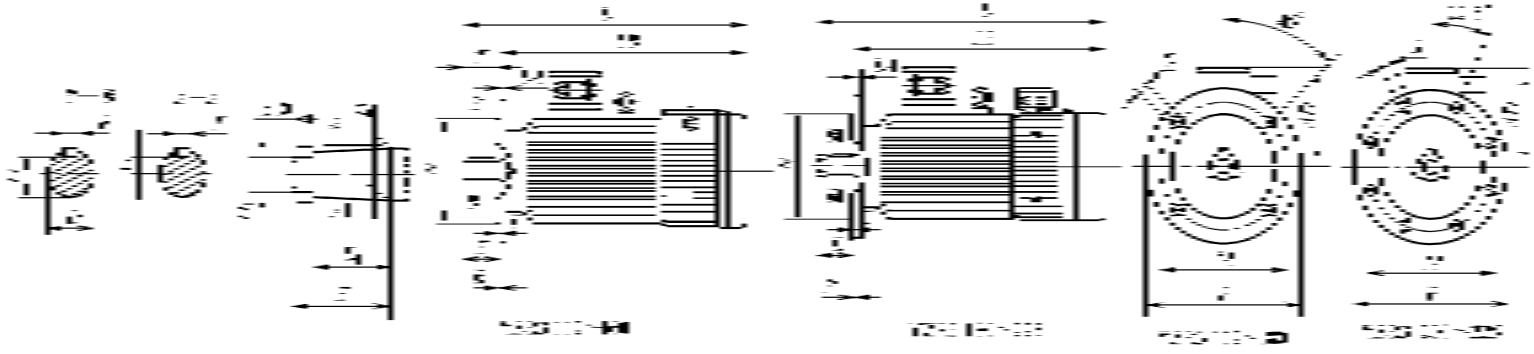
① 如 K 孔的位置度合格，则 $A/2$ 可不考核。

② C 尺寸的极限偏差包括轴的窜动。

③ 圆锥形轴伸按 GB/T 1570—2005 规定检查。

表 9-55　YZR 系列 IM3001 及 IM3003 卧式安装的电动机外形及安装尺寸表　（单位：mm）

外形尺寸及标注



机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸			
	凸缘号	D 基本尺寸	D 极限偏差	D_1	E 基本尺寸	E 极限偏差	E_1 基本尺寸	E_1 极限偏差	F 基本尺寸	F 极限偏差	G 基本尺寸	G 极限偏差	M	N 基本尺寸	N 极限偏差	P	R 基本尺寸	R 极限偏差	S 基本尺寸	S 极限偏差	螺栓直径	T 最大	孔数个	AD	LA	LB	L
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.20	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	±0.43	M12	4	4	203	14	510	590
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 −0.013	300								218		567	647
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	±0.52	M16	5		265	18	648	758
160L																										692	802
180L		55	+0.046 0	M30×2			82	0 −0.054			19.9													285		760	870
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	±0.018	450		±4.0					8	317	20	838	978
225M		65									23.9													335		910	1050

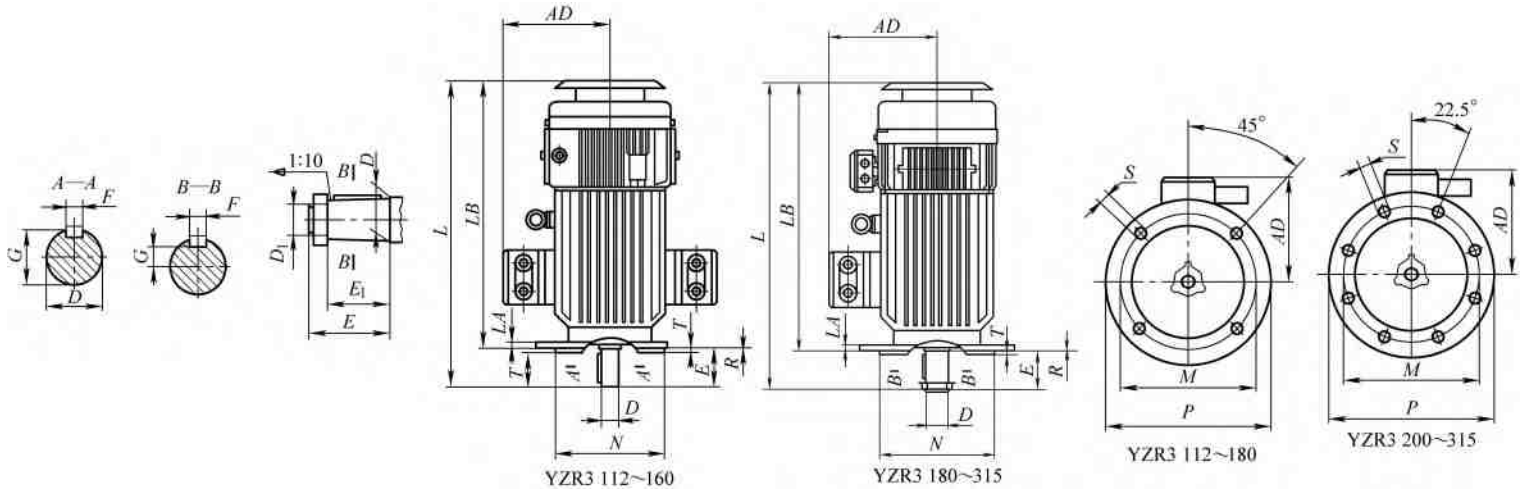
注：1. 圆锥形轴伸按 GB/T 1570—2005 的规定检查。

2. *P* 尺寸为最大极限尺寸。

3. *R* 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

表 9-56　YZR 系列 IM3011、IM3013 立式安装的电动机外形及安装尺寸表　（单位：mm）

外形尺寸及标注



机座号	安装尺寸及公差																							外形尺寸			
	凸缘号	D 基本尺寸	D 极限偏差	D_1	E 基本尺寸	E 极限偏差	E_1 基本尺寸	E_1 极限偏差	F 基本尺寸	F 极限偏差	G 基本尺寸	G 极限偏差	M	N 基本尺寸	N 极限偏差	P	R 基本尺寸	R 极限偏差	S 基本尺寸	S 极限偏差	螺栓直径	T 最大	孔数个	AD	L	LA	LB
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.36	27	0 −0.2	215	180	+0.014 −0.011	250	0	±2.0	15	+0.430 0	M12	4	4	203	630	14	550
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 −0.013	300						5		218	687		607
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		300	250		350		±3.0	19	+0.520 0	M16			265	808	18	698
160L																									852		742
180L		55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.540			19.9													285	920		810
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	±0.018	450		±4.0					8	317	1028	20	888
225M		65									23.9													335	1100		960
250M	FF500	70	+0.054 0	M48×3					18		25.4		500	450	±0.020	550								375	1257	22	1117
280S		85		M56×4	170		130		20	0 −0.052	31.7													455	1328		1158
280M								0 −0.630																	1379		1209
315S	FF600	95		M64×4					22		35.2		600	550	±0.022	660			24		M20	6		520	1452	25	1282
315M																									1503		1333

注：1. 圆锥形轴伸按 GB/T 1570—2005 的规定检查。

2. *P* 尺寸为最大极限尺寸。

3. *R* 为凸缘配合面至轴伸肩的距离，其极限偏差包括轴的窜动。

表 9-57　YZR 系列电动机技术参数表

工作方式	S2								S3 6次/h																							
CDF	30/min				60/min				15%				25%				40%								60%				100%			
项目	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	最大转矩/额定转矩	空载电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)
机座号		A				A				A				A				A								A				A		
1500r/min																																
112M1	3.3	8.3	24.5	1370	3.0	7.6	20.3	1385	4.0	10.0	30.0	1327	3.3	8.3	24.5	1370	3.0	7.6	20.3	2.5	4.0	1385	76	0.79	2.6	6.7	17.8	1403	2.0	5.9	13.3	1426
112M2	4.0	9.6	21.0	1390	3.7	9.0	18.6	1399	5.0	12.07	28.6	1350	4.0	9.6	21.0	1390	3.7	9.0	18.6	2.5	4.5	1399	79	0.79	3.2	7.9	18.0	1415	2.5	6.7	12.3	1435
132M1	6.3	13.9	31.0	1391	5.5	12.1	25.9	1409	7.5	16.9	40.4	1360	6.3	13.9	31.0	1391	5.5	12.1	25.9	2.5	4.9	1409	83	0.83	4.8	10.7	22.5	1422	4.0	9.2	18.5	1437
132M2	7.0	15.4	30.0	1398	6.3	14.0	26.1	1410	9.0	20.3	40.5	1354	7.0	15.4	30.0	1398	6.3	14.0	26.1	2.5	6.0	1410	83	0.82	5.3	11.9	21.6	1426	4.8	11.3	19.9	1434
160M1	8.5	18.5	34.0	1403	7.5	16.3	28.8	1417	10.0	22.1	42.5	1380	8.5	18.5	34.0	1403	7.5	16.3	28.8	2.8	6.8	1417	82	0.85	6.3	14.2	25.2	1432	5.0	11.8	19.1	1447
160M2	13.0	27.3	49.2	1413	11.0	23.6	40.5	1429	14.0	29.8	53.5	1404	13.0	27.3	49.2	1413	11.0	23.6	40.5	2.8	9.2	1429	83	0.85	9.5	20.7	35.0	1440	8.8	19.4	32.5	1445
160L	17.0	35.5	45.0	1428	15.0	31.5	38.8	1438	20.0	41.6	55.7	1413	17.0	35.5	45.0	1428	15.0	31.5	38.8	2.8	12.4	1438	85	0.85	13.0	27.6	35.5	1447	11.0	24.6	28.5	1456
180L	25.0	51.3	62.6	1429	22.0	45.1	53.1	1439	29.0	59.6	73.9	1415	25.0	51.3	62.6	1429	22.0	45.1	53.1	2.8	16.4	1439	86	0.86	19.0	40.2	46.9	1449	16.0	34.9	39.5	1457
200L	35.0	66.7	83.2	1447	30.0	58.5	71.6	1455	39.0	76.5	96.8	1438	35.0	66.7	83.2	1447	30.0	58.5	71.6	2.8	18.4	1455	88	0.88	26.0	51.59	63.7	1461	22.0	44.7	51.9	1467
225M	42.0	82.4	87.0	1458	37.0	71.8	75.6	1464	50.0	97.0	106.8	1449	42.0	82.4	87.0	1458	37.0	71.8	75.6	3.0	26.1	1464	89	0.87	32.0	64.2	66.8	1469	27.0	55.6	55.9	1474
250M1	52.0	98.6	188.2	1452	45.0	84.3	160.1	1459	60.0	113.8	220.3	1443	52.0	98.6	188.2	1452	45.0	84.3	160.1	3.0	23.1	1459	88	0.91	39.0	74.8	139.0	1465	33.0	63.3	117.3	1471
250M2	63.0	118.1	181.0	1459	55.0	104.3	154.1	1465	75.0	140.7	217.6	1450	63.0	118.1	181.0	1459	55.0	104.3	154.1	3.0	29.0	1465	89	0.90	47.0	89.1	133.7	1470	40.0	77.6	114.8	1475
280S1	70.0	139.1	202.0	1461	63.0	116.8	165.5	1468	95.0	178.2	260.2	1448	70.0	139.1	202.0	1461	63.0	116.8	165.5	3.0	32.1	1468	91	0.90	55.0	102.0	146.8	1472	48.0	91.1	127.1	1476
280S2	85.0	165.3	248.2	1460	75.0	139.1	203.6	1468	115.0	215.7	326.5	1447	85.0	165.3	248.2	1460	75.0	139.1	203.6	3.0	36.0	1468	91	0.90	63.0	116.9	173.9	1475	55.0	103.2	149.9	1479
280M	100.0	183.5	200.0	1465	90.0	165.1	183.8	1468	120.0	274.1	251.8	1457	100.0	183.5	200.0	1465	90.0	165.1	183.8	3.0	42.3	1468	92	0.90	75.0	139.1	155.4	1474	65.0	122.0	13.05	1478
315S	125.0	226.0	289.0	1456	110.0	196.2	246.5	1462	140.0	259.0	328.0	1449	125.0	226.0	289.0	1456	110.0	196.2	246.5	2.5	34.5	1462	91	0.93	92.0	166.9	209.7	1469	80.0	143.6	180.0	1473
315M	155.0	278.0	261.6	1467	132.0	232.5	217.5	1472	190.0	344.0	325.0	1458	155.0	278.0	261.6	1467	132.0	232.5	217.5	3.0	48.5	1472	92	0.93	110.0	197.4	183.0	1477	75.0	170.0	159.1	1480
1000r/min																																
112M1	1.7	4.9	13.9	881	1.5	4.5	12	899	2.2	6.57	20.1	819	1.7	4.9	13.9	881	1.5	4.5	12.0	2.8	3.0	899	71	0.71	1.3	4.1	9.8	915	1.1	3.8	8.3	928
112M2	2.5	7.0	14.9	888	2.2	6.3	12.8	905	3.0	8.5	19.4	852	2.5	7.0	14.9	888	2.2	6.3	12.8	2.8	5.0	905	73	0.72	1.8	5.6	10.4	924	1.5	5.2	8.6	937
132M1	3.3	8.9	22.4	917	3.0	8.2	19.1	926	4.0	10.5	27.3	893	3.3	8.9	22.4	917	3.0	8.2	19.1	2.8	5.0	926	77	0.72	2.6	7.4	17.2	937	2.0	6.8	14.1	947

（续）

工作方式	S2								S3																							
									6 次/h																							
CDF	30/min				60/min				15%				25%				40%								60%				100%			
项目	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	最大转矩/额定转矩	空载电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n
机座号		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流							定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)
		A				A				A				A				A								A				A		
1000r/min																																
132M2	4.0	10.2	15.4	913	3.7	9.6	14.1	920	5.0	13.04	21.3	877	4.0	10.2	15.4	913	3.7	9.6	14.1	2.5	5.0	920	77	0.76	3.2	8.6	11.6	937	2.5	7.3	9.2	949
160M1	6.3	15.1	33.6	928	5.5	13.7	29.2	939	7.5	18.5	42.4	907	6.3	15.1	33.6	928	5.5	13.7	29.2	2.5	6.7	939	78	0.78	4.8	13.9	24.4	948	4.0	11.0	20.7	958
160M2	8.5	19.7	32.8	935	7.5	17.3	27.7	945	10.0	23.2	39.7	919	8.5	19.7	32.8	935	7.5	17.3	27.7	2.5	7.5	945	81	0.81	6.3	15.1	23.1	955	5.5	13.9	20.4	961
160L	13.0	29.7	36.6	944	11.0	25.8	30.2	954	15.0	33.9	43.1	933	13.0	29.7	36.6	944	11.0	25.8	30.2	2.8	12.5	954	83	0.78	9.0	22.5	24.1	963	7.5	19.9	20.4	970
180L	17.0	37.9	55.9	948	15.0	33.1	47.9	956	20.0	44.1	68.5	935	17.0	37.9	55.9	948	15.0	33.08	47.9	2.5	13.0	956	83	0.83	13.0	29.3	41.2	962	11.0	24.8	34.2	969
200L	25.0	50.7	87.4	957	22.0	44.6	75.6	963	31.0	64.5	113.2	943	25.0	50.7	87.4	957	22.0	44.6	75.6	2.8	15.1	963	86	0.87	19.0	39.0	64.8	969	16.0	34.1	54.2	974
225M	35.0	71.0	92.1	965	30.0	61.6	79.2	971	40.0	80.3	109.5	959	35.0	71.0	92.1	965	30.0	61.6	79.2	3.0	24.2	971	87	0.85	25.0	52.6	65.1	976	22.0	48.1	58.3	979
250M1	42.0	82.4	113.3	962	37.0	72.1	98.2	967	50.0	100.5	140.3	953	42.0	82.4	113.3	962	37.0	72.1	98.2	2.8	21.5	967	87	0.89	32.0	62.7	84.2	972	27.0	54.2	70.8	977
250M2	52.0	102.0	121.7	970	45.0	88.3	102.2	975	63.0	123.6	149.5	963	52.0	102.0	121.7	970	45.0	88.3	102.2	3.0	32.2	975	88	0.87	39.0	77.3	88.9	978	33.0	68.7	75.2	981
280S1	63.0	123.6	146.5	968	55.0	110.4	124.2	972	75.0	147.1	178.6	960	63.0	123.6	146.5	968	55.0	110.4	124.2	3.0	41.2	972	89	0.85	48.0	76.9	108.9	976	40.0	84.4	90.7	980
280S2	70.0	139.0	147.0	974	63.0	126.6	129.5	979	85.0	166.7	178.9	968	70.0	139.0	147.0	974	63.0	126.6	129.5	3.0	52.5	979	90	0.84	53.0	112.5	119.2	980	46.0	99.8	92.8	984
280M	85.0	163.0	173.1	972	75.0	145.5	149.1	975	100.0	191.8	208.7	965	85.0	163.0	173.1	972	75.0	145.5	149.1	3.0	47.9	975	90	0.87	63.0	123.7	123.6	980	55.0	113.2	107.0	982
315S	103.0	195.0	246.7	976	90.0	169.2	214.5	979	120.0	225	294.6	971	103.0	195.0	246.7	976	90.0	169.2	214.5	3.0	56.3	979	91	0.88	75.0	145.6	179.4	983	65.0	129.1	151.0	986
315M	125.0	234.4	255.6	976	110.0	203.5	224.5	979	155.0	294	328.5	969	125.0	234.4	255.6	976	110.0	203.5	224.5	3.0	57.8	979	91	0.89	92.0	174.7	187.1	983	80.0	157.0	161.0	986
750r/min																																
160L	8.5	23.3	29.5	705	7.5	21.8	25.2	711	11.0	29.3	40.2	687	8.5	23.3	29.5	705	7.5	21.8	25.2	2.8	13.4	711	79	0.66	6.3	19.2	21.5	718	5.5	17.5	16.9	724
180L	13.0	32.5	53.8	709	11.0	27.8	43.6	712	15.0	36.9	63.8	693	13.0	32.5	53.8	709	11.0	27.8	43.6	2.5	14.9	712	81	0.74	9.5	25.4	36.4	718	8.0	23.0	31.2	723
200L	17.0	41.8	68.0	725	15.0	34.3	58.2	719	22.0	49.7	91.5	698	17.0	41.8	68	725	15.0	34.3	58.2	2.8	16.3	719	84	0.79	13.0	30.5	49.6	724	11.0	27.3	42.7	727
225M	26.0	58.7	78.1	714	22.0	49.7	62.5	721	30.0	66.9	89.7	707	26.0	58.7	78.1	714	22.0	49.7	62.5	2.8	23.5	721	85	0.79	19.0	45.3	52.4	725	16.0	39.8	44.6	729
250M1	36.0	78.4	86.2	720	30.0	66.5	71.5	725	42.0	90.4	106.5	707	36.0	78.4	86.2	720	30.0	66.5	71.5	3.0	32.5	725	86	0.79	26.0	59.7	62.5	729	22.0	53.3	51.9	732
250M2	42.0	89.4	86.5	723	37.0	79.7	73.8	726	52.0	109.3	109.4	714	42.0	89.4	86.5	723	37.0	79.7	73.8	3.0	34.5	726	87	0.81	32.0	69.0	62.5	730	27.0	62.1	53.5	733

（续）

工作方式	S2								S3																							
									6 次/h																							
CDF	30/min				60/min				15%				25%				40%								60%				100%			
项目	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	最大转矩/额定转矩	空载电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数 cosφ	额定功率/kW	I_1	I_2	n	额定功率/kW	I_1	I_2	n
机座号		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流							定子电流	转子电流	转速/(r/min)		定子电流	转子电流	转速/(r/min)
		A				A				A				A				A								A				A		
750r/min																																
280S1	52.0	110.8	104.2	725	45.0	96.2	86.7	729	60.0	126.2	119.2	720	52.0	110.8	104.2	725	45.0	96.2	86.7	3.0	45.1	729	89	0.79	39.0	87.6	74.7	732	33.0	78.2	63.9	733
280M	63.0	132.7	118.2	728	55.0	120.3	101.7	731	75.0	156.0	143.6	723	63.0	132.7	118.2	728	55.0	120.3	101.7	3.0	56.8	731	89	0.78	47.0	105.4	85.6	734	40.0	95.1	75.7	736
315S1	70.0	139.0	178.0	728	63.0	128.1	160.3	731	84.0	166.7	219.6	723	70.0	139.0	178	728	63.0	128.1	160.3	3.0	52.5	731	90	0.83	53.0	111.8	131.7	734	46.0	98.4	115.5	736
315S2	85.0	170.8	190.5	729	75.0	152.4	164.2	731	100.0	200.0	226.0	723	85.0	170.8	190.5	729	75.0	152.4	164.2	3.0	63.5	731	90	0.82	63.0	133.1	139.0	735	55.0	120.8	123.4	737
315M1	100.0	200.9	192.5	730	90.0	182.2	171.5	731	125.0	245.3	243.2	724	100.0	200.9	192.5	730	90.0	182.2	171.5	3.0	75.7	731	90	0.82	75.0	156.0	140.6	736	65.0	140.3	121.0	738
355M2	125.0	254.0	285.7	732	110.0	226.4	246.7	735	155.0	311.0	360.3	727	125.0	254.0	285.7	732	110.0	226.4	246.7	3.0	95.5	735	90	0.82	92.0	194.2	205.6	737	80.0	177.0	182.7	739
355L1	150.0	304.6	296.5	732	132.0	265.2	259.4	735	190.0	377.0	385.9	727	150.0	304.6	296.5	732	132.0	265.2	259.4	3.0	107.2	735	90	0.84	110.0	232.4	211.3	737	95.0	208.2	186.0	739
355L2	185.0	363.2	310.5	733	160.0	321.5	321.5	736	225.0	441.0	392.1	729	185.0	363.2	310.5	733	160.0	321.5	321.5	3.0	126.2	736	90	0.84	132.0	278.2	219.5	738	115.0	246.0	196.4	740
400L1	230.0	441.0	372.0	738	200.0	388.5	319.4	740	280.0	537.4	462.4	735	230.0	441.0	372	738	200.0	388.5	319.4	3.0	138.1	740	92	0.85	170.0	334.6	270.5	741	145.0	296.0	230.5	742
400L2	300.0	569.5	405.6	738	250.0	480	333.8	740	350.0	664.3	478.1	735	300.0	569.5	405.6	738	250.0	480	333.8	3.0	163.5	740	92	0.86	210.0	408.4	281.6	741	180.0	363.0	241.8	743
600r/min																																
280S	42.0	93.9	180.1	576	37.0	84.8	155.0	579	55.0	121.3	246.5	565	42.0	93.9	180.1	576	37.0	84.8	155.0	2.8	42.5	579	86	0.77	32.0	76.5	135.1	582	27.0	69.3	113.8	585
280M	52.0	119.3	205.9	579	45.0	106.2	172.8	583	63.0	137.4	251.9	575	52.0	119.3	205.9	579	45.0	106.2	172.8	3.0	58.5	583	87	0.74	39.0	96.1	151.3	585	33.0	87.6	128.6	587
315S1	63.0	134.2	179.5	578	55.0	120.2	155.4	583	75.0	157.8	219	576	63.0	134.2	179.5	578	55.0	120.2	155.4	3.0	55.4	583	88	0.79	47.0	105.3	133.5	586	40.0	93.5	112.1	588
315S2	70.0	148.3	179.7	581	63.0	136.1	162.2	584	84.0	176.7	220.9	577	70.0	148.3	179.7	581	63.0	136.1	162.2	3.0	62.5	584	89	0.79	53.0	120.3	134.2	586	46.0	109	116.8	588
315M1	85.0	178.9	194.5	580	75.0	158.0	169.7	584	100.0	207.9	234.2	576	85.0	178.9	194.5	580	75.0	158.0	169.7	2.8	67.2	584	89	0.81	63.0	136.1	142.0	586	55.0	123.6	122.5	588
355M2	100.0	203.3	194.5	585	90.0	187.5	175.7	588	132.0	265	263.1	581	100.0	203.3	194.5	585	90.0	187.5	175.7	3.0	84.4	588	90	0.81	75.0	164.4	145.3	590	65.0	150.3	124.3	591
355L1	125.0	251.2	208.8	586	110.0	226.4	183.6	588	160.0	321.0	269.9	582	125.0	251.2	208.8	586	110.0	226.4	183.6	3.0	97.8	588	90	0.82	92.0	199.1	150.9	590	80.0	181.0	132.4	592
355L2	150.0	301.4	210.2	587	132.0	268.7	202.0	589	185.0	359.1	259.9	584	150.0	301.4	210.2	587	132.0	268.7	202.0	3.0	118.3	589	91	0.82	110.0	235.4	151.0	591	95.0	213.8	130.9	592
400L1	185.0	385.3	285.2	591	160.0	342.4	246.5	593	236.0	474.7	371.6	589	185.0	385.3	285.2	591	160.0	342.4	246.5	3.0	158.3	593	91	0.78	132.0	297.2	203.6	594	115.0	269.5	177.5	595
400L2	230.0	462.7	314.5	591	200.0	417.4	269.4	592	270.0	536.6	370.1	589	230.0	462.7	314.5	591	200.0	417.4	269.4	2.8	167.5	592	91	0.8	170.0	358.3	227.5	594	145.0	319.2	194.2	594

（续）

工作方式	S4 及 S5																								转子电压/V	转动惯量/(kg·m²)	质量/kg
	150 次/h												300 次/h								600 次/h						
CDF	25%				40%				60%				40%				60%				60%						
项目	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)			
机座号		A				A				A				A				A				A					
1500r/min																											
112M1	3.0	7.6	20.3	1385	2.8	7.17	19.1	1392	2.2	6.2	14.9	1419	2.2	6.2	14.9	1419	2.0	5.9	13.3	1426	1.8	5.6	13.7	1433	110.0	0.042	66
112M2	3.7	9.0	18.6	1399	3.5	8.6	17.6	1406	2.8	7.2	13.6	1427	3.3	8.1	16.3	1412	2.8	7.29	13.6	1427	2.3	6.6	12.0	1440	145.0	0.047	69
132M1	5.8	13.7	27.3	1402	5.0	11.02	23.5	1419	4.8	10.7	22.5	1423	4.8	10.7	22.5	1423	4.5	10.1	21.4	1478	3.8	8.9	17.8	1440	140.0	0.064	84
132M2	6.6	14.5	27.8	1405	5.7	12.8	23.5	1420	5.4	12.3	22.7	1425	5.4	12.3	22.7	1425	5.1	11.7	21.3	1430	4.3	10.4	18.0	1441	170.0	0.064	88
160M1	7.5	16.3	26.1	1410	7.0	15.4	27.3	1424	6.0	13.7	24.0	1436	6.0	13.7	24.0	1436	5.5	12.7	20.9	1442	4.0	10.5	15.0	1458	180.0	0.12	152
160M2	10.0	21.5	36.9	1436	9.0	19.6	33.5	1444	8.0	18.1	29.3	1450	8.0	18.1	29.3	1450	7.0	16.3	25.6	1457	5.9	14.9	21.7	1464	180.0	0.14	158
160L	14.0	29.8	38.0	1443	13.0	27.7	35.2	1447	11.0	24.6	28.3	1456	11.0	24.6	28.5	1456	10.0	22.7	26.0	1460	9.0	21.2	23.7	1464	260.0	0.18	190
180L	20.0	41.5	50.4	1446	18.0	38.1	44.4	1451	17.0	36.2	41.9	1435	17.0	36.2	41.9	1455	15.0	33.5	38.0	1460	11.0	27.4	26.2	1471	270.0	0.3	241
200L	28.0	55.5	69.6	1458	25.0	50.0	60.0	1463	22.0	44.2	52.0	1468	22.0	44.2	52.0	1468	20.0	41.6	50.2	1471	15.0	33.7	42.0	1478	270.0	0.54	302
225M	34.0	67.5	70.0	1467	33.0	66.2	69.9	1468.2	30.0	61.0	63.0	1471	28.0	57.5	58.6	1473	26.0	54.1	55.5	1475	20.0	45.0	96.9	1481	325.0	0.64	337
250M1	42.0	79.6	150.1	1462	37.0	71.0	132.7	1467	36.0	67.9	125.0	1470	33.0	62.3	118.3	1471	33.0	63.3	118.3	1471	27.0	53.6	100.0	1476	185.0	1.08	424
250M2	55.0	104.3	154.1	1465	47.0	89.1	133.7	1465	42.0	80.5	118.4	1474	42.0	80.5	118.4	1474	40.0	77.6	115.8	1475	35.0	69.5	118.2	1478	230.0	1.22	519
280S1	63.0	116.0	165.5	1468	60.0	112.5	160.3	1469	55.0	102.0	146.8	1472	50.0	73.8	134.4	1475	45.0	86.4	118.3	1477	45.0	86.4	136.4	1477	230.0	2.23	755
280S2	75.0	139.1	203.6	1468	70.0	128.0	193.0	1470	65.0	121.0	179.5	1472	55.0	103.2	149.9	1479	50.0	94.9	136.4	1479	50.0	94.9	126.8	1479	240.0	2.38	785
280M	85.0	155.9	176.2	1470	80.0	146.8	165.0	1472	75.0	139.0	155.0	1474	70.0	129.8	145.1	1476	65.0	122.0	135.9	1478	60.0	113.8	126.0	1479	310.0	2.53	860
315S	102.0	155.1	229.2	1465	90.0	165.0	203.0	1470	80.0	145.0	182.0	1473	75.0	134.0	168.7	1473	68.0	124.7	154.0	1477	55.0	101.0	125.0	1482	290.0	4.87	1100
315M	125.0	226.0	213.4	1474	120.0	220.0	200.0	1475	11.5	217.0	190.0	1476	105.0	190.0	175.7	1478	100.0	179.5	168.4	1479	90.0	163.0	149.8	1482	375.0	5.66	1193
1000r/min																											
112M1	1.6	4.69	12.8	891	1.3	4.15	9.9	915	1.0	3.7	7.6	934	1.2	3.9	9.1	921	0.9	3.58	6.77	940	0.7	3.4	5.5	951	100.0	0.042	66
112M2	2.2	6.3	12.8	905	2.0	5.9	11.5	915	1.7	5.5	9.5	928	1.8	5.6	10.4	924	1.6	5.29	8.99	933	1.3	4.9	7.7	943	132.0	0.047	69
132M1	3.0	8.2	19.1	926	2.8	7.9	18.3	932	2.2	6.8	13.8	947	2.2	6.8	13.8	947	2.1	7.0	15.1	945	1.8	6.3	12.8	956	110.0	0.093	84

（续）

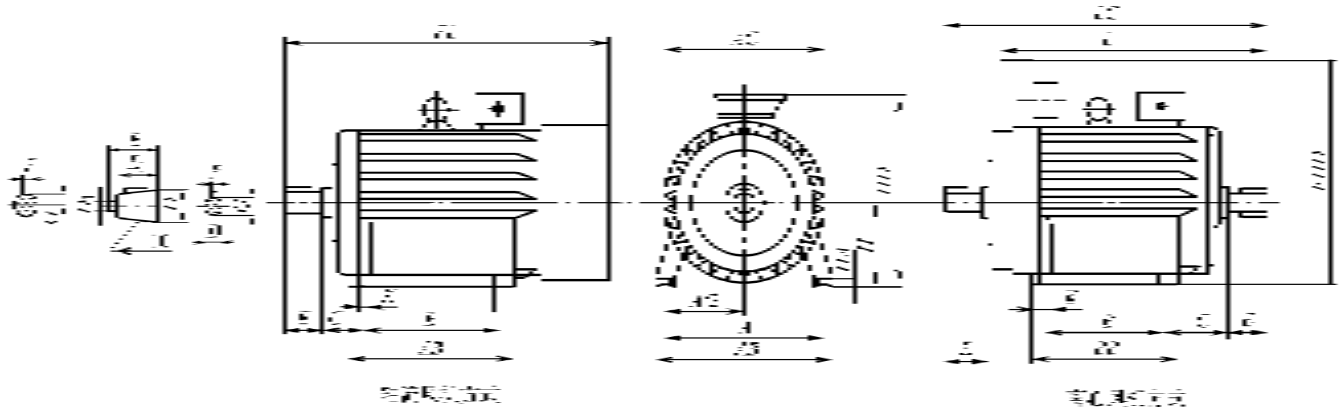
工作方式	S4 及 S5																								转子电压/V	转动惯量/(kg·m²)	质量/kg
	150 次/h												300 次/h								600 次/h						
CDF	25%				40%				60%				40%				60%				60%						
项目	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)			
机座号		A				A				A				A				A				A					
1000r/min																											
132M2	3.7	9.6	14.1	920	3.5	9.2	13.4	926	2.8	7.8	10.4	942	3.3	8.9	12.5	931	2.8	7.8	10.4	942	2.7	7.02	8.5	953	185.0	0.099	93
160M1	5.8	14.1	31.2	935	5.0	12.6	25.9	946	4.8	12.3	24.9	949	4.8	12.3	24.9	949	4.5	11.8	23.5	952	3.8	10.5	10.5	960	138.0	0.161	148
160M2	7.5	17.3	28.4	945	7.0	16.6	26.2	949	6.0	14.6	22.1	957	6.0	14.6	22.1	957	5.5	13.9	20.7	961	4.0	11.4	14.3	972	185.0	0.16	158
160L	11.0	25.8	30.2	954	10.0	24.8	27.5	959	8.0	20.6	21.8	968	8.0	20.6	21.8	968	7.5	20.2	20.5	970	5.9	18.0	16.2	976	250.0	0.23	192
180L	15.0	33.08	47.9	956	13.0	29.3	41.2	962	12.0	27.4	37.8	960	12.0	27.4	37.8	966	11.0	24.8	34.2	969	9.0	22.6	28.3	975	218.0	0.4	247
200L	21.0	43.1	73.0	965	18.5	38.0	64.0	970	17.0	35.7	57.1	972	17.0	35.7	57.1	972	15.0	32.3	51.2	976	11.0	26.0	37.2	982	200.0	0.78	308
225M	28.0	57.5	74.3	973	25.0	52.6	66.2	976	22.0	48.0	58.3	978	22.0	48.1	58.3	978	20.0	45.4	53.1	981	15.0	37.53	39.9	986	250.0	0.93	347
250M1	33.0	64.7	87.5	971	30.0	59.5	79.2	974	28.0	56.2	72.8	976	26.0	52.8	68.8	979	25.0	57.4	65.8	979	17.5	38.8	46.4	985	250.0	1.5	481
250M2	42.0	83.3	95.9	977	37.0	75.1	84.3	979	33.0	68.7	75.2	981	31.0	66.1	71.7	981	30.0	51.3	70.4	984	24.0	55.3	55.1	987	290.0	1.71	577
280S1	52.0	103.2	119.2	973	45.0	92.6	101.0	978	42.0	87.5	95.1	980	40.0	84.4	90.7	980	37.0	64.8	83.9	982	30.0	69.3	69.3	986	280.0	2.57	751
280S2	59.0	121.4	124.6	978	51.0	107.8	109.0	981	48.0	102.7	100.9	983	45.0	98.8	93.8	983	42.0	80.0	86.8	985	34.0	83.1	70.9	988	300.0	2.77	775
280M	70.0	134.0	139.8	977	62.0	121.7	123.6	980	55.0	110.6	109.7	982	52.0	168.0	108.8	983	47.0	98.0	96.0	985	37.0	83.4	74.8	988	370.0	3.16	865
315S	84.0	161.2	203.3	980	74.0	143.6	177.0	983	66.0	129.7	156.8	985	62.0	123.3	147.3	986	56.0	114.1	134.2	987	44.0	96.8	106.3	990	255.0	6.11	1061
315M	102.0	191.3	210.7	980	90.0	168.9	188.0	983	80.0	153.6	165.4	985	75.0	144.0	164.4	985	68.0	133.6	140.1	987.1	53.0	110.8	110.0	990	300.0	7.1	1102
750r/min																											
160L	7.5	21.8	25.2	711	7.0	20.7	24.1	714	5.8	18.6	19.5	721	6.0	18.9	19.9	719	5.5	18.3	18.6	722	3.8	16.4	13.1	730	205.0	0.23	191
180L	11.0	27.8	43.6	712	10.0	26.0	30.5	716	8.0	22.4	31.0	723	8.0	22.4	31.0	723	7.0	21.7	29.2	725	5.8	19.3	22.3	730	172.0	0.39	246
200L	15.0	34.3	58.2	719	13.0	30.5	50.9	723	12.0	28.9	46.4	724	12.0	28.9	46.4	724	11.0	27.3	42.7	727	8.0	23.1	31.2	734	178.0	0.78	305
225M	21.0	48.1	60.3	722	18.5	43.5	52.0	726	17.0	41.7	47.6	728	17.0	41.7	47.6	728	15.0	37.8	41.7	733	11.0	22.9	31.0	736	232.0	0.93	342
250M1	29.0	65.6	70.9	726	25.0	58.2	60.0	730	22.0	53.3	51.9	732	22.0	53.3	51.9	732	20.0	51.3	48.2	754	15.0	45.1	36.7	738	272.0	1.5	481
250M2	33.0	72.9	66.6	729	30.0	67.2	60.5	731	28.0	62.9	54.5	732	26.0	69.8	50.6	734	25.0	59.9	49.6	735	18.5	50.7	37.2	738	290.0	1.71	577

（续）

工作方式	S4 及 S5																								转子电压/V	转动惯量/(kg·m²)	质量/kg
	150 次/h												300 次/h								600 次/h						
CDF	25%				40%				60%				40%				60%				60%						
项目	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)	额定功率/kW	I_1 定子电流	I_2 转子电流	n 转速/(r/min)			
机座号		A				A				A				A				A				A					
750r/min																											
280S	42.0	91.9	82.6	730	37.0	84.2	73.7	732	33.0	78.4	65.8	735	33.0	78.4	65.8	735	30.0	73.4	59.2	736	24.0	66.1	48.0	738.9	325.0	2.77	771
280M	52.0	114.0	98.0	732	45.0	102.6	84.9	735	42.0	98.4	79.3	736	42.0	98.4	79.3	736	27.0	90.5	69.2	737	30.0	81.6	36.7	739.5	340.0	3.16	862
315S1	59.0	122.2	150.8	732	50.0	105.6	126.6	735	48.0	102.7	121.2	736	48.0	102.7	121.32	736	42.0	93.5	107.5	738	34.0	91.9	85.8	740	250.0	6.11	1023
315S2	64.0	133.5	143.3	734	60.0	128.0	132.0	735	56.0	121.4	12.16	736	52.0	115.7	116.0	737	48.0	109.7	108.2	739	38.0	96.1	84.8	735	302.0	6.5	1073
315M1	74.0	156.0	140.6	736	71.0	151.9	135.9	736	65.0	140.3	121.0	738	60.0	135.3	115.4	739	55.0	125.7	106.2	740	41.0	108.0	78.7	742	360.0	7.1	1108
355M2	100.0	208.4	226.7	736	95.0	200.4	214.5	737	82.0	179.8	185.1	739	78.0	175.5	175.2	739	70.0	162	158.6	740	60.0	146.0	135.0	742	285.0	12.2	1465
355L1	115.0	239.6	227.3	737	106.0	223.0	210.5	738	98.0	212.0	195.8	739	95.0	208.0	188.0	739	85.0	193.9	168.8	740	70.0	171.0	139.1	741	325.0	15.7	1590
355L2	140.0	255.0	206.2	739	125.0	267.0	214.0	739	120.0	253.6	204.5	739	110.0	238.0	185.9	740	100.0	225.6	171.5	736	90.0	213.0	156.3	742	380.0	17.4	1665
400L1	195.0	378.0	317.2	740	180.0	353.8	287.7	741	170.0	334.0	275.5	737	150.0	302.0	241.5	742	135.0	279	217.7	743	130.0	127.2	210.9	743	390.0	26.6	2260
400L2	240.0	461.0	325.1	740	220.0	432.0	297.0	741	205.0	407.0	274.9	742	195.0	382.0	259.6	742	180.0	367	240.8	743	170.0	350.0	230.6	743	480.0	30.1	2360
600r/min																											
280S	33.0	77.8	138.4	581	30.0	73.7	124.5	583	28.0	70.86	118.0	584	26.0	67.7	109.6	586	25.0	65.1	104.4	586	17.0	54.9	71.9	590	155.0	3.52	781
280M	42.0	100.7	163.7	584	37.0	93.9	144.0	587	33.0	87.6	128.6	587	31.0	86.3	121.9	588	28.0	80.5	108.6	589	22.0	73.8	85.2	591	160.0	4.1	855
315S1	50.0	110.8	141.7	585	45.0	101.1	126.3	587	42.0	96.8	117.7	588	40.0	93.5	112.1	589	37.0	90.5	103.7	589	30.0	80.0	85.4	591	245.0	7.7	1028
315S2	54.0	121.2	138.3	586	50.0	115.3	128.0	587	46.0	109.1	116.9	588	42.0	102.4	106.8	589	40.0	100.4	101.8	589	31.0	88.2	78.7	592	245.0	8.2	1043
315M1	65.0	140.6	146.6	586	60.0	133.0	136.0	587	55.0	123.8	124.7	588	50.0	115.6	112.5	592	48.0	113.3	106	589	37.0	99.1	83.9	592	320.0	9.08	1117
355M2	80.0	170.9	155.0	589	72.0	159.9	139.5	590	65.0	146.6	126.1	591	60.0	141.1	116.6	592	55.0	129.3	107.2	592	41.0	117.3	81.3	595	320.0	18.0	1440
355L1	100.0	211.2	165.6	589	90.0	192.6	147.9	590	80.0	178.0	132.0	591	75.0	171.5	124.4	593	70.0	164.6	116.3	592	50.0	138.3	84.5	595	388.0	18.0	1580
355L2	120.0	250.4	165.8	590	110.0	235.4	151.0	591	95.0	214.3	130.6	592	90.0	203.1	124.9	595	80.0	190.8	109.5	594	60.0	166.9	84.3	595	460.0	18.2	1650
400L1	145.0	315.0	216.1	593	132.0	294.6	205.0	594	120.0	275.2	185.7	595	110.0	259.5	170.5	595	96.0	243.9	149.5	595	75.0	213.5	116.4	597	395.0	26.2	2260
400L2	185.0	381.9	248.5	593	165.0	349.3	221.2	594	150.0	325.8	201	594	140.0	312.4	187.6	595	120.0	283.1	161.1	595	95.0	249.0	129.5	596	460.0	29.8	2360

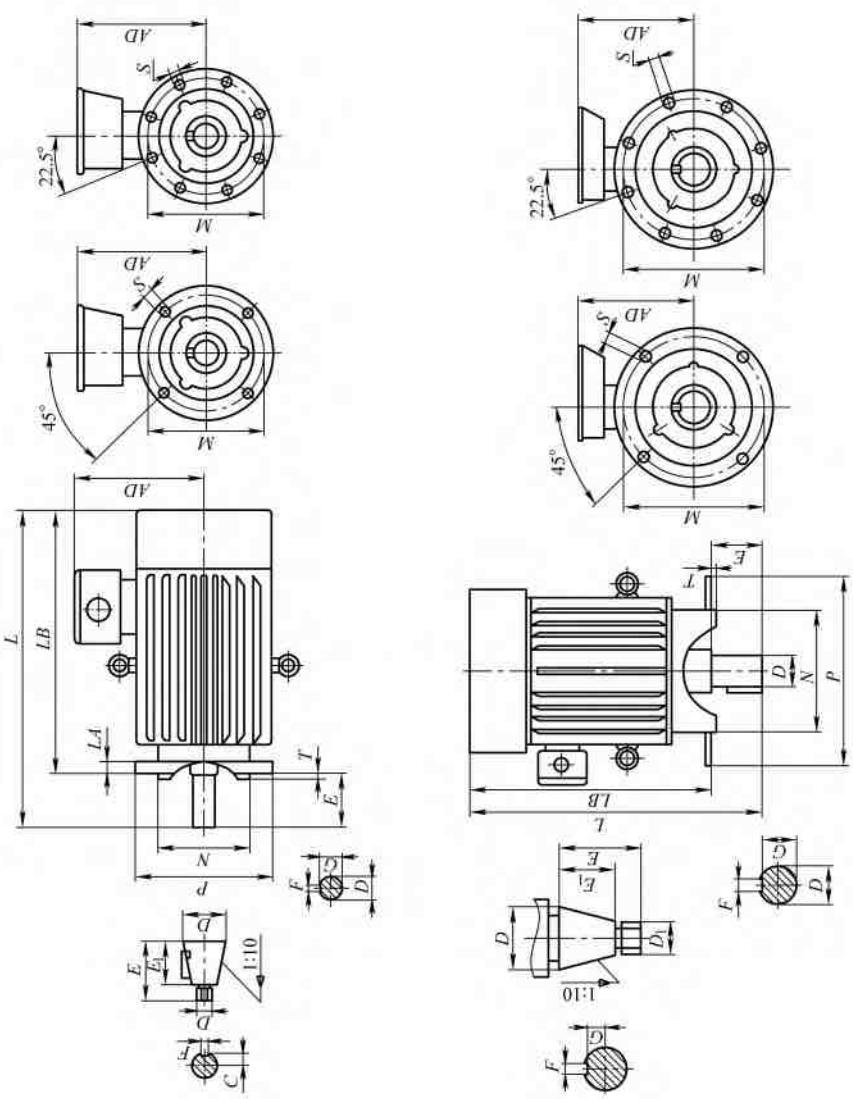
表 9-58　YZP 系列 IM1001、IM1002、IM1003、IM1004 卧式电动机安装及外形尺寸表　（单位：mm）

安装外形尺寸与标注



机座号	安装尺寸及公差																								外形尺寸									
	A	$A/2$		B	C		CA	D		D_1	E		E_1		F		G		H		K			螺栓直径	AB	AC	BB	HA	HD	L	LC	FHD	FL
112M	190	95	±0.50	140	70	±2.0	135	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	112	0 −0.5	12	+0.43 0	φ1.0M	M10	250	245	235	18	335	420	505	550	590
132M	216	108		178	89		150	38									33		132						275	285	260	20	365	495	577	600	645
160M	254	127	±0.75	210	108	±3.0	180	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		160		15		φ1.5M	M12	320	325	290	25	425	608	718	650	758
160L				254	121																						335			650	762	650	800
180L	279	139.5		279			180	55	+0.046 0	M36 ×3			82	0 −0.46			19.9		180						360	360	380		465	685	800	710	870
200L	318	159		305	133	±4.0	210	60		M42 ×3	140	±0.50	105		16		21.4		200		19	+0.52 0	φ2.0M	M16	405	405	400	28	510	780	928	800	975
225M	356	178		311			158	65									23.9		225						455	430	410		545	850	998	860	1050
250M	406	203	±1.0	349	149		295	70		M48 ×3					18		25.4		250		24			M20	515	480	510	30	605	935	1092	910	1195
280S	457	228.5		368			295	85	+0.054 0	M56 ×4	170		130	0 −0.54	20	0 −0.052	31.7		280	0 −1.0					575	535	530	32	665	918	1191	1020	1265
280M				419	168																						580			1068	1242	1020	1315
315S	508	254		406			320	95		M64 ×4					22		35.2		315		28			M24	640	620		35	750	1094	1281	1090	1390
315M				457	190						210																630			1162	1332	1090	1440
355M	610	305		560	216		365	110		M80 ×4			165		25		41.9		355						740	710	730	38	840	1389	1599	1200	1650
355L				630	254																						800			1459	1669	1200	1720
400L	686	343	±1.25	710	280	±4.0	405	130	+0.063 0	M100 ×4	250	±0.58	200	0 −0.6633	28	0 −0.052	50		400		35			M30	855	840	910	45	1085	1645	1890	1700	1865

表 9-59　YZP 系列 IM3001、IM3002、IM3011、IM3013 机座不带底脚、端盖有凸缘电动机安装及外形尺寸表　（单位：mm）



安装尺寸外形与标注

（续）

机座号	安装尺寸及公差																					外形尺寸						
	凸缘号	D		D_1	E		E_1		F		G		M	N		P	R		S			螺栓直径	T 最大	孔数/个	AD	L	LA	LB
112M	FF215	32	+0.018 +0.002	—	80	±0.37	—	—	10	0 −0.036	27	0 −0.2	215	180	+0.014 −0.011	250	0	+2.0 0	15	+0.43 0	ϕ1.5M	M12	4	4	220	505	14	420
132M	FF265	38									33		265	230	+0.016 −0.013	300									230	507		495
160M	FF300	48			110	±0.43			14	0 −0.043	42.5		300	250		350		+3.0 0	19	+0.52 0		M16	5		260	718	18	608
160L																										762		650
180L		55	+0.046 0	M36×3			82	0 −0.46			19.9														280	800		685
200L	FF400	60		M42×3	140	±0.50	105		16		21.4		400	350	+0.018 −0.018	450		+4.0 0						8	320	928	20	780
225M		65									23.9															998		850
250M	FF500	70		M48×3					18		25.4		500	450	+0.20 −0.20	550									355	1092	22	935
280S		85	+0.054 0	M56×4	170		130	0 −0.54	20	0 −0.052	31.7								24						385	1191		918
280M																										1242		1068
315S	FF600	95		M64×4							35.2		600	550	+0.020 −0.020	660					ϕ2.0M	M20	6		435	1281	25	1094
315M									22																	1332		1102

表 9-60　YZP 系列起重及冶金用变频调速三相异步电动机主要技术参数表

型号	标称功率/kW	额定电流/A	额定转矩/(N·m)	3～5Hz 堵转转距/额定转距 倍	50Hz 最大转距/额定转距 倍	转动惯量/(kg·m²)	输出特性	轴流风机 电压/V	轴流风机 功率/kW	质量/kg
YZP112M1-4	3.0	7.7	19.0	1.3～1.8	2.6	0.019	5～50Hz恒转矩 5～100Hz恒功率 电压－频率特性 /V 380 3 50 100/Hz 转矩－频率特性 T(%) 100 50 3 50 100/Hz	380	90	60
112M2-4	4.0	10	25.4	1.3～1.8	2.6	0.028		380	90	71
132M1-4	5.5	13	35	1.3～1.8	2.6	0.052		380	100	82
132M2-4	6.3	15	40	1.3～1.8	2.7	0.063		380	100	93
160M1-4	7.5	16	47.7	1.3～1.8	2.7	0.10		380	100	120
160M2-4	11	22.8	70	1.3～1.8	2.7	0.13		380	100	133
160L-4	15	31	95.5	1.3～1.8	2.8	0.17		380	100	154
180L-4	22	48.5	140	1.3～1.8	2.8	0.31		380	230	208
200L-4	30	66.4	190	1.3～1.8	2.8	0.56		380	230	281
225M-4	37	75	235	1.3～1.8	2.8	0.74		380	300	352
250M1-4	45	89	286	1.3～1.8	2.8	1.28		380	300	472
250M2-4	55	109	350	1.3～1.8	2.8	1.53		380	300	515
280S1-4	63	119	400	1.3～1.8	2.8	1.94		380	370	705
280S2-4	75	142	477	1.3～1.8	2.8	2.19		380	370	740
280M-4	90	176	570	1.3～1.8	2.8	2.42		380	370	780
315S-4	110	204	700	1.3～1.8	2.8	5.78		380	450	1035
315M-4	132	239	840	1.3～1.8	2.8	7.22		380	450	1180
112M1-6	1.5	4.4	14.0	1.3～1.8	2.6	0.019	3～50Hz恒转矩 5～100Hz恒功率 电压－频率特性 /V 380 3 50 100/Hz 转矩－频率特性 T(%) 100 50 3 50 100/Hz	380	90	60
112M2-6	2.2	6.1	21	1.3～1.8	2.6	0.028		380	90	71
132M1-6	3.0	8.1	28.6	1.3～1.8	2.6	0.052		380	100	82
132M2-6	4.0	10	38	1.3～1.8	2.6	0.063		380	100	93
160M1-6	5.5	14.3	52.5	1.3～1.8	2.6	0.10		380	100	120
160M2-6	7.5	18.5	71.5	1.3～1.8	2.6	0.13		380	100	133
160L-6	11	26.6	105	1.3～1.8	2.8	0.17		380	100	154
180L-6	15	35	143	1.3～1.8	2.8	0.31		380	230	208
200L-6	22	46.4	210	1.3～1.8	2.8	0.56		380	230	281
225M-6	30	66	286	1.3～1.8	2.8	0.74		380	300	352
250M1-6	37	72	353	1.3～1.8	2.8	1.28		380	300	472
250M2-6	45	89	429	1.3～1.8	2.8	1.53		380	300	515
280S1-6	55	105	525	1.3～1.8	2.8	1.94		380	370	705
280S2-6	63	120	600	1.3～1.8	2.8	2.19		380	370	740
280M-6	75	143	715	1.3～1.8	2.8	2.42		380	370	780
315S-6	90	167	859	1.3～1.8	2.8	5.78		380	450	1035
315M-6	110	201	1050	1.3～1.8	2.8	7.22		380	450	1180
355M-6	132	245	1260	1.3～1.8	2.8	9.7		380	550	1380
355L1-6	160	287	1528	1.3～1.8	2.8	11.6		380	550	1550
355L2-6	200	363	1910	1.3～1.8	2.8	14.3		380	550	1710

（续）

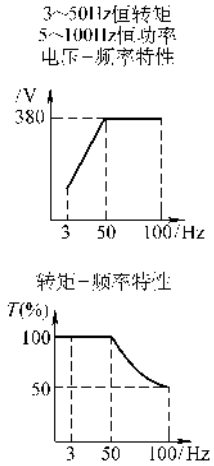
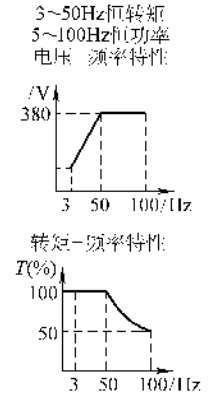
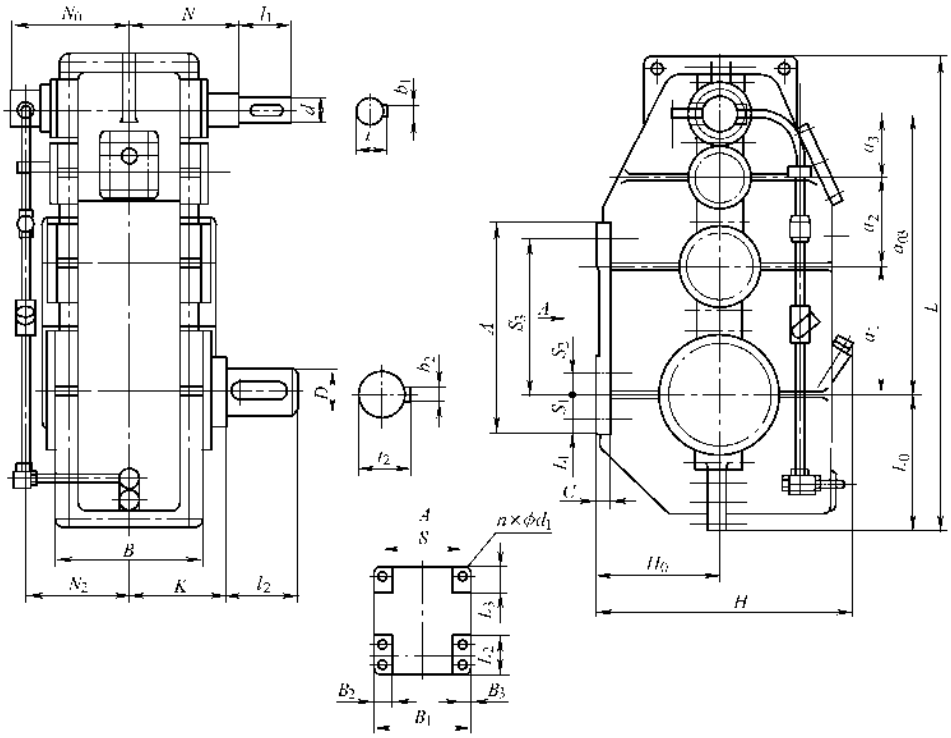
型号	标称功率/kW	额定电流/A	额定转矩/(N·m)	3～5Hz 堵转转距/额定转距 倍	50Hz 最大转距/额定转距 倍	转动惯量/(kg·m²)	输出特性	轴流风机 电压/V	轴流风机 功率/kW	质量/kg
160M2-8	5.5	17.5	70	1.3～1.8	2.6	0.13		380	100	154
160L-8	7.5	24.6	95.5	1.3～1.8	2.6	0.17		380	230	208
180L-8	11	25.8	140	1.3～1.8	2.8	0.31		380	230	281
200L-8	15	36	190	1.3～1.8	2.8	0.56		380	300	352
225M-8	22	51	280	1.3～1.8	2.8	0.74		380	300	472
250M1-8	30	67	380	1.3～1.8	2.8	1.28		380	300	515
250M2-8	37	86	471	1.3～1.8	2.8	1.53		380	370	705
280S-8	45	94	573	1.3～1.8	2.8	1.94		380	370	780
280M-8	55	121	700	1.3～1.8	2.8	2.42		380	450	1035
315S1-8	63	120	802	1.3～1.8	2.8	5.78		380	450	1105
315S2-8	75	142	955	1.3～1.8	2.8	6.50		380	450	1180
315M-8	90	167	1146	1.3～1.8	2.8	7.22		380	550	1380
355M-8	110	213	1400	1.3～1.8	2.8	9.7		380	550	1550
355L1-8	132	256	1680	1.3～1.8	2.8	11.6		380	550	1710
355L2-8	160	310	2037	1.3～1.8	2.8	14.3		380	630	2210
400L1-8	200	417	2545	1.3～1.8	2.8	20.1		380	630	2690
400L2-8	250	516	3180	1.3～1.8	2.8	23.1				
280S-10	37	81	588	1.3～1.8	2.8	1.94		380	370	705
280M-10	45	96	716	1.3～1.8	2.8	2.42		380	370	780
315S1-10	55	116	875	1.3～1.8	2.8	5.78		380	450	1035
315S2-10	63	132	1002	1.3～1.8	2.8	6.50		380	450	1105
315M-10	75	156	1193	1.3～1.8	2.8	7.22		380	450	1180
355M-10	90	187	1432	1.3～1.8	2.8	9.7		380	550	1380
355L1-10	110	225	1750	1.3～1.8	2.8	11.6		380	550	1550
355L2-10	132	269	2100	1.3～1.8	2.8	14.3		380	550	1710
400L1-10	160	330	2545	1.3～1.8	2.8	20.1		380	630	2210
400L2-10	200	410	3180	1.3～1.8	2.8	23.1		380	630	2690

表 9-61　QJ-L 型减速器的外形及安装尺寸表　（单位：mm）

外形及安装尺寸



尺寸 / 型号	中心距				主动轴					转动轴					外形尺寸					
	a_1	a_2	a_3	a_{03}	d	l_1	N	b_1	t_1	D	l_2	K	b_2	t_2	H	B	L	L_0	N_0	N_2
QJ-L140	140	100	71	311	20	50	120	6	22.5	48	82	130	14	51.5	300	190	558	167	103	107
QJ-L170	170	118	85	375	25	50	135	8	28	55	82	150	16	59	355	215	650	192	115	120
QJ-L200	200	140	100	440	28	60	180	8	31	65	105	175	18	69	405	250	747	217	133	137
QJ-L236	236	170	118	524	35	80	210	10	38	80	130	200	22	85	475	300	894	260	158	164
QJ-L280	280	200	140	620	40	110	235	12	43	90	130	220	25	95	557	340	1035	295	277	211
QJ-L335	335	236	170	741	45	110	255	14	48.5	110	165	260	28	116	654	400	1243	357	307	241
QJ-L400	400	280	200	880	55	110	285	16	59	130	200	310	32	137	778	490	1443	412	352	286

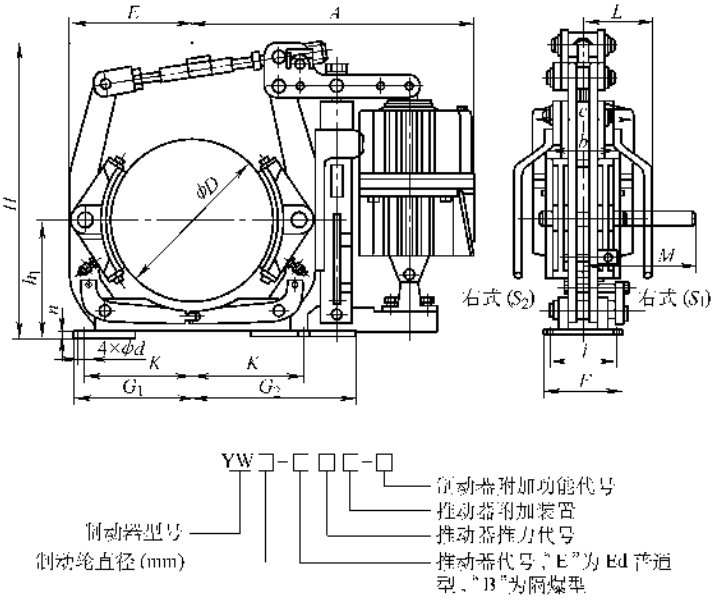
尺寸 / 型号	安装尺寸															质量 /kg
	H_0	A	S	S_1	S_2	S_3	B_1	B_2	B_3	L_1	L_2	L_3	C	d_1	孔数	
QJ-L140	138	260	185	30	0	170	245	60	30	30	80	80	20	21	4	77
QJ-L170	168	290	205	35	0	205	265	60	30	25	110	110	25	21	4	112
QJ-L200	193	340	235	40	0	240	295	60	30	30	120	120	25	21	4	165
QJ-L236	230	405	270	55	55	290	330	60	30	30	180	120	30	21	6	249
QJ-L280	265	480	320	60	60	340	400	80	40	40	195	120	30	25	6	364
QJ-L335	315	550	365	60	60	410	445	80	40	40	200	120	35	25	6	647
QJ-L400	380	680	430	70	70	510	520	90	45	50	240	140	40	31	6	1048

表 9-62 QJ-L 型减速器的传动比

规格 \ 传动比	公称传动比																
	16	18	20	22.4	25	28	31.5	35.5	40	45	50	56	63	71	80	90	100
	实际传动比																
140	15.57	17.92	19.96	23.13	24.46	28.59	32.15	35.83	40.30	45.72	49.26	55.20	63.09	68.25	78.00	90.88	103.87
170	15.82	17.86	19.95	22.64	25.44	27.78	31.45	35.22	39.87	43.34	49.21	56.39	64.04	72.06	81.82	89.92	101.39
200	15.78	18.10	20.22	22.23	24.98	27.57	31.21	35.99	40.75	44.03	49.95	55.73	63.22	68.12	77.28	86.10	97.67
236	15.68	18.07	20.21	22.28	25.09	27.77	31.53	34.37	41.13	43.95	50.21	53.36	64.92	71.00	81.11	85.83	98.05
280	16.51	18.19	20.26	22.39	23.69	27.72	31.18	34.83	39.15	44.41	50.76	53.69	61.36	71.84	82.11	90.04	102.91
335	15.70	17.98	20.20	22.18	25.11	27.64	31.58	35.76	40.00	45.70	48.76	58.43	62.35	72.82	83.19	93.75	100.04
400	15.78	18.10	20.22	22.23	24.98	27.57	31.21	36.00	40.75	44.03	49.95	55.73	63.22	68.12	77.28	86.10	97.67

表 9-63 YW 系列电力液压块式制动器技术参数及外形尺寸表

YW系列电力液压块式制动器外形尺寸图



使用条件：

1. 环境温度：－20～50℃（当低于－20°时，需加装加热器或使用 YH-10 航空液压油）。

2. 周围工作环境中不得有易燃、易爆及腐蚀性气体，空气相对湿度≤90%。

3. 用于三相交流电源：380V、50Hz。

4. 使用地点的海拔符合相关要求。

5. 户外雨雪侵蚀或有腐蚀性气体和介质时应采用防腐型产品。

制动器附加功能表

功能代号	表示意义
M	衬垫磨损补偿装置
K1	开闸限位行程开关
K2	闭闸限位行程开关
K3	衬垫磨损极限限位开关
S1	手动装置（左式）
S2	手动装置（右式）

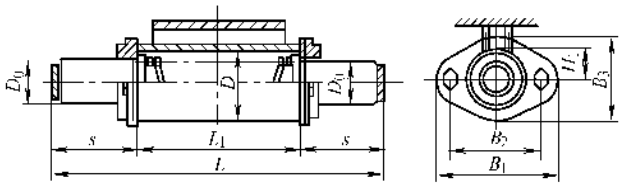
型号		制动力矩/(N·m)	退矩	A	b	c	D	d	E	F	G_1	G_2	H	h_1	i	K	M	n	L	质量/kg
制动器	匹配推动器		mm																	
YW160-E220	Ed23/5	80～160	1	430	65	160	160	14	145	85	145	195	440	132	55	130	125	8	145	32.5
YW200-E220	Ed23/5	100～200	1	470	70	160	200	14	175	90	165	265	500	160	55	145	151	10	150	35
YW200-E300	Ed30/5	150～335																		38
YW250-E220	Ed23/5	125～250	1	530	90	160	250	18	205	110	200	290	585	190	65	180	180	12	180	45
YW250-E300	Ed30/5	180～350		533																48
YW250-E500	Ed50/6	300～550		570		195														53
YW250-E800	Ed80/6	300～970																		56

（续）

型号		制动力矩	退矩	A	b	c	D	d	E	F	G_1	G_2	H	h_1	i	K	M	n	L	质量
制动器	匹配推动器	/（N·m）	mm																	/kg
YW315-E220	Ed23/5	150～320	1.25	590	110	160	315	18	255	115	245	330	585	230	80	220	207	17	170	70
YW315-E300	Ed30/5	200～450				195														
YW315-E500	Ed50/6	315～710		620																75
YW315-E800	Ed80/6	630～1240																		80
YW400-E300	Ed30/5	200～470	1.25	680	140	160	400	22	310	160	310	420	715	280	100	270	248	14	170	138
YW400-E500	Ed50/6	400～800		710		195														
YW400-E800	Ed80/6	630～1250																		140
YW400-E1250	Ed121/6	1000～2240		700		240							775							155
YW500-E500	Ed50/6	450～1235	1.25	810	180	195	500	22	390	180	365	535	815	340	130	325	330	21	180	176
YW500-E800	Ed80/6	800～1600																		176
YW500-E1250	Ed121/6	1250～2500		800		240							845							204
YW500-E2000	Ed201/6	2000～4000																		204
YW630-E1250	Ed121/6	1600～3150	1.6	925	225	240	630	26	470	220	450	600	1025	420	170	400	405	20	185	310
YW630-E2000	Ed201/6	2500～5000																		310
YW630-E3000	Ed301/6	3550～7100																		315
YW710-E1250	Ed121/6	1000～3250	1.6	980	255	240	710	27	530	240	500	650	1135	470	190	450	456	25	220	435
YW710-E2000	Ed201/6	2500～5600																		
YW710-E3000	Ed301/6	4000～8000																		441
YW800-E3000	Ed301/12	12500	2.0	1227	280	240	800	27	600	280	570	830	1360	530	210	520	476	30	240	600

表 9-64　HT 型弹簧缓冲器相关数据表

HT1 型壳体焊接式弹簧缓冲器外形尺寸图

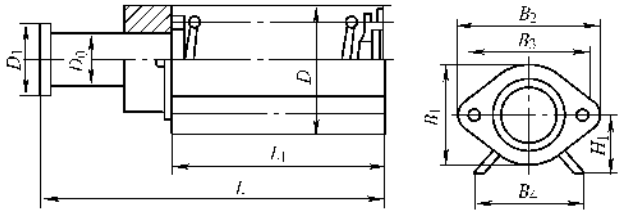


HT1 型壳体焊接式弹簧缓冲器技术参数表

型号	主要尺寸/mm									缓冲容量 W /（kN·m）	缓冲行程 s /mm	缓冲力 F_j /kN	质量 /kg
	L	L_1	B_1	B_2	B_3	H_1	D_0	D	$d_1 \times 1$				
HT1-16	435	220	160	120	85	35	40	70	M20×50	0.16	80	5	≈12.6
HT1-40	720	370	170	130	90	38	45	76	M20×50	0.40	95	8	≈17
HT1-63	850	420	190	145	100	45	45	89	M20×60	0.63	115	11	≈26
HT1-100	880	450	220	170	125	57	55	114	M24×60	1.00	115	18	≈34

（续）

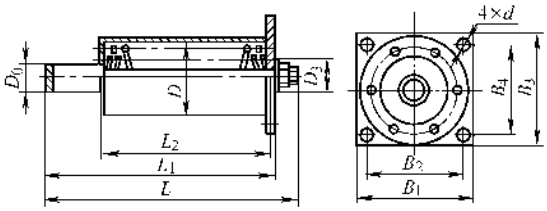
HT2 型底座焊接式弹簧缓冲器外形尺寸图



HT2 型底座焊接式弹簧缓冲器技术参数表

型号	主要尺寸/mm											缓冲容量 W /(kN·m)	缓冲行程 s /mm	缓冲力 F_j /kN	质量 /kg
	L	L_1	B_1	B_2	B_3	B_4	D_0	D	D_1	H_1	$d_1 \times 1$				
HT2-100	630	400	165	265	215	200	70	146	100	90	M20×60	1.00	135	15	≈31.5
HT2-160	750	520	160	265	215	200	70	140	100	90	M20×60	1.60	145	20	≈41.3
HT2-250	800	575	165	265	215	200	80	146	110	90	M20×60	2.50	125	37	≈53.1
HT2-315	820	575	215	320	265	230	80	194	100	115	M20×60	3.15	150	45	≈78.6
HT2-400	710	475	265	375	320	280	100	245	130	140	M24×70	4.00	135	57	≈92.2
HT2-500	860	610	245	345	290	255	100	219	130	135	M24×70	5.00	145	66	≈97.7
HT2-600	870	610	270	375	320	280	100	245	130	140	M24×70	6.30	150	88	≈122.7

HT3 型端部安装式弹簧缓冲器外形尺寸图

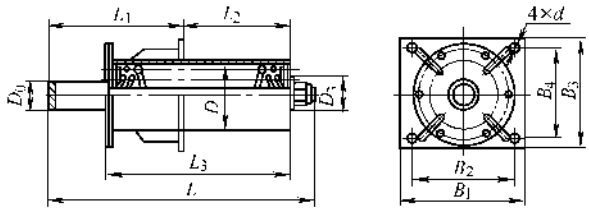


HT3 型端部安装式弹簧缓冲器技术参数表

型号	主要尺寸/mm												缓冲容量 W /(kN·m)	缓冲行程 s /mm	缓冲力 F_j /kN	质量 /kg
	L	L_1	L_2	B_1	B_2	B_3	B_4	D_0	D	D_1	D_3	d				
HT3-630	885	810	615	420	350	375	305	90	345	305	105	35	6.3	150	88	≈145.8
HT3-800	900	820	620	520	450	380	310	110	273	345	135	35	8.0	143	108	≈176.9
HT3-1000	830	750	560	520	450	450	390	120	325	395	135	35	10.0	135	130	≈204.6
HT3-1250	830	750	560	520	450	450	390	120	325	395	135	42	12.5	135	165	≈231.3
HT3-1600	980	900	730	780	700	480	400	120	325	395	135	42	16.0	120	273	≈338.0
HT3-2000	1140	1050	820	780	700	480	400	120	325	395	135	42	20.0	150	293	≈393.8

（续）

HT4 型中部安装式弹簧缓冲器外形尺寸图

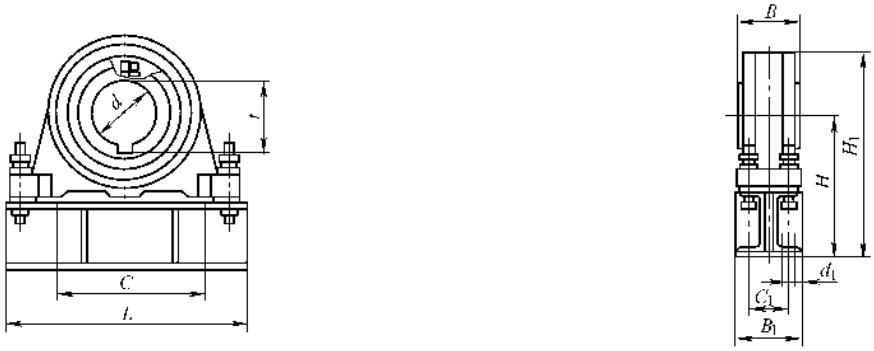


HT4 型中部安装式缓冲器技术参数表

型号	主要尺寸/mm													缓冲容量 W /（kN·m）	缓冲行程 s /mm	缓冲力 F_j /kN	质量 /kg
	L	L_1	L_2	L_3	B_1	B_2	B_3	B_4	D_0	D	D_1	D_3	d				
HT4-800	910	400	430	640	520	450	380	310	110	273	313	135	35	8.0	143	108	≈180.9
HT4-1000	840	400	360	580	520	450	450	390	120	325	365	135	35	10.0	135	131	≈208.6
HT4-1250	840	400	360	580	520	450	450	390	120	325	365	135	42	12.5	135	165	≈235.3
HT4-1600	1010	400	530	750	780	700	480	400	120	325	365	135	42	16.0	120	273	≈342.0
HT4-2000	1140	450	600	840	780	700	480	400	120	325	365	135	42	20.0	150	293	≈397.8

表 9-65　GN 型滚柱逆止器相关数据表　（单位：mm）

外形尺寸及标注

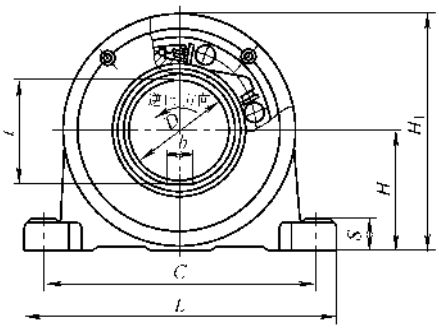


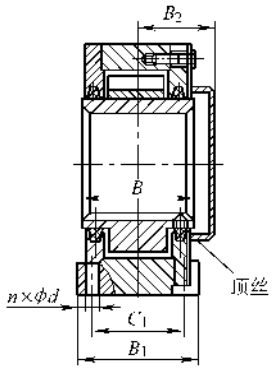
型号	最大制动力矩 /（N·m）	dH7	bH8	tH8	C	L	B	C_1	B_1	H	H_1	d_1	最大质量 /kg	配用减速器型号
GN110	6900	110	36	116.7	300	460	140	90	140	320	470	22	104	ZQ^{65}_{75}
GN130	13900	130	36	137.4	330	490	170	120	180	400	565	22	147	ZQ85
GN140	13900	140	36	147.4	330	500	170	120	190	550	715	22	172	ZL85
GN150	23300	150	40	158.7	410	590	190	170	230	400	605	26	206	ZQ100
GN170	23300	170	40	178.7	510	590	190	170	250	650	855	26	246	ZL100
GN200	48500	200	45	209.9	590	670	220	210	290	750	1015	32	349	ZL115
GN220	48500	220	50	231.2	590	670	220	210	290	850	1115	32	348	ZL130

注：键槽尺寸及公差按 GB/T 1095—2003 标准执行，若按上表尺寸订货时，请在合同中注明。

表 9-66 DTⅡN_1 型滚柱逆止器相关数据表 （单位：mm）

外形尺寸及标注



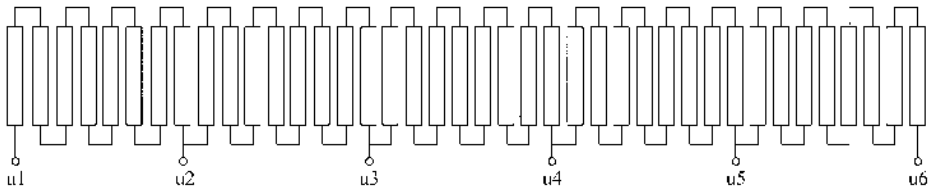


逆止器规格	最大制动力矩/（N·m）	D	B	B_1	B_2	C	L	C_1	H	H_1	S	b	t	$n\times\phi d$	最大质量/kg	配用减速器型号
DTⅡN_1-9	6900	90	140	140	175	400	450	90	160	310	48	25	95.4	$4\times\phi21$	92.8	DCY200
DTⅡN_1-10	6900	100	140	140	175	400	450	90	160	310	48	28	106.4	$4\times\phi21$	91.2	DCY224
DTⅡN_1-11	6900	110	140	140	175	400	450	90	160	310	48	28	116.4	$4\times\phi21$	89.4	DCY250 DBY250
DTⅡN_1-12	13900	120	170	170	160	430	480	120	175	340	48	32	127.4	$4\times\phi21$	123.0	DCY280 DBY280
DTⅡN_1-14	23300	140	230	230	220	510	580	170	215	420	53	36	148.4	$4\times\phi26$	192.0	DCY315 DBY315

注：顶丝螺孔在逆止器与减速器安装后配作，供货时不带顶丝。

表 9-67 ZX18V 系列条形电阻器相关数据表

接线图



型号	额定工作电流/A	电阻值/Ω						电阻元件		替代原电阻器系列
		总的电阻值/Ω	各级电阻					序号	数量	
			1	2	3	4	5			
ZX18V-0.072	313	0.072	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	ZX18V-1-1	40	ZX1 ZX9 ZX12 ZX15 ZX18 ZX22 ZX25 等
ZX18V-0.08	291	0.08	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	ZX18V-1-2		
ZX18V-0.088	269	0.088	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	0.0176	ZX18V-1-3		
ZX18V-0.096	247	0.096	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192	ZX18V-1-4		
ZX18V-0.104	225	0.104	0.0208	0.0208	0.0208	0.0208	0.0208	ZX18V-1-5		
ZX18V-0.116	202	0.116	0.0232	0.0232	0.0232	0.0232	0.0232	ZX18V-1-6		
ZX18V-0.128	180	0.128	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	ZX18V-1-7		
ZX18V-0.148	158	0.148	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	0.0296	ZX18V-1-8		

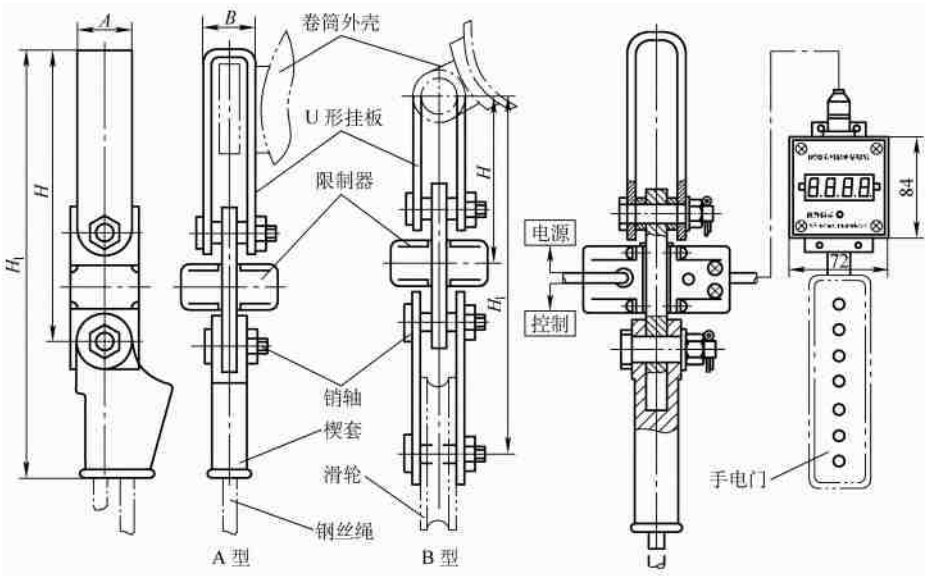
（续）

型号	额定工作电流/A	电阻值/Ω						电阻元件		替代原电阻器系列
		总的电阻值/Ω	各级电阻					序号	数量	
			1	2	3	4	5			
ZX18V-0.172	136	0.172	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344	ZX18V-1-9	40	ZX1 ZX9 ZX12 ZX15 ZX22 ZX25 ZX18 等
ZX18V-0.112	241	0.112	0.0224	0.0224	0.0224	0.0224	0.0224	ZX18V-2-1		
ZX18V-0.12	224	0.12	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	ZX18V-2-2		
ZX18V-0.128	212	0.128	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	ZX18V-2-3		
ZX18V-0.14	189	0.14	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	ZX18V-2-4		
ZX18V-0.156	182	0.156	0.0312	0.0312	0.0312	0.0312	0.0312	ZX18V-2-5		
ZX18V-0.172	164	0.172	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344	0.0344	ZX18V-2-6		
ZX18V-0.192	146	0.192	0.0384	0.0384	0.0384	0.0384	0.0384	ZX18V-2-7		
ZX18V-0.224	128	0.224	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	0.0448	ZX18V-2-8		
ZX18V-0.26	110	0.26	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	ZX18V-2-9		

注：电阻器每箱可装二层，40 片是指一层组装数。

表 9-68　DCQ 型限制器相关数据表

安装示意图



DCQ 型限制器标准系列尺寸表

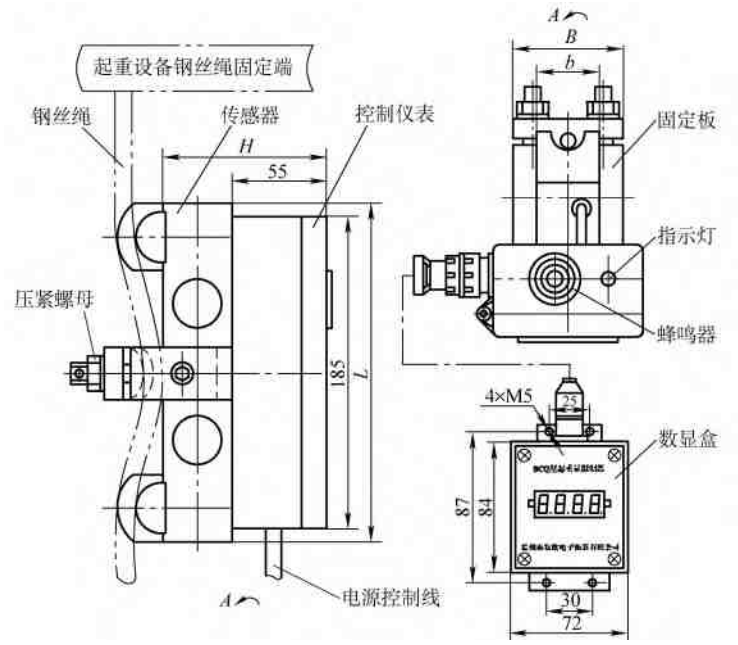
型号规格	额定起重量/t	倍率	传感器容量/t	H	H_1	A	B	型式
				mm				
DCQ-2/1-1t	1	2/1	0.5	237	367	46	40	A
DCQ-2/1-2t	2	2/1	1	237	367	46	40	A
DCQ-2/1-3t	3	2/1	1.5	325	475	60	56	A
DCQ-2/1-5t	5	2/1	2.5	325	475	60	56	A

（续）

型号规格	额定起重量/t	倍率	传感器容量/t	H	H_1	A	B	型式
				mm				
DCQ-2/1-10t	10	2/1	5	310	490	80	80	A
DCQ-4/2-10t	10	4/2	5	270	430	80	80	B
DCQ-8/2-20t	20	8/2	5	270	430	80	80	B
DCQ-10/1-63t	63	8/1	10	310	490	80	80	A

表 9-69　BCQ 型重量限制器标准系列尺寸表　（单位：mm）

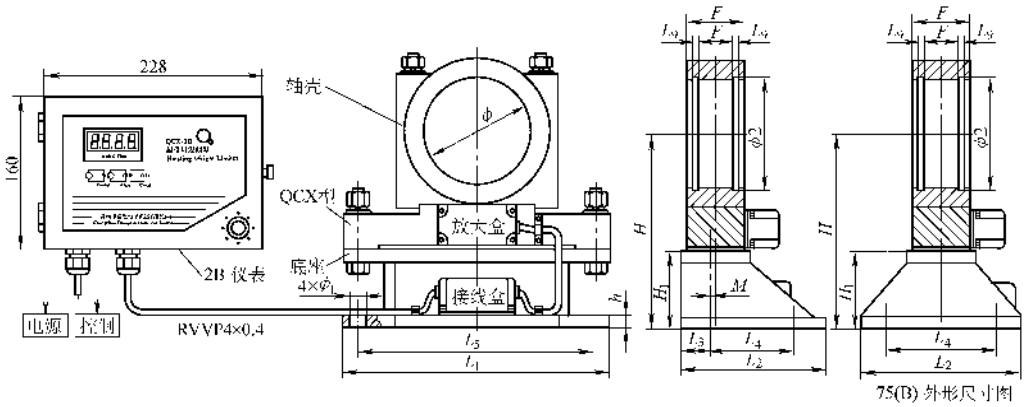
安装示意图



钢丝绳拉力	传感器容量	钢丝绳直径	L	H	B	b
t		mm				
1	1	$\phi6\sim\phi14$	180	100	60	35
2	1	$\phi10\sim\phi18$	180	100	60	35
5	2	$\phi16\sim\phi26$	200	105	75	40
10	5	$\phi24\sim\phi36$	260	115	110	45

表 9-70　QCX-2B 型重量限制器相关数据表

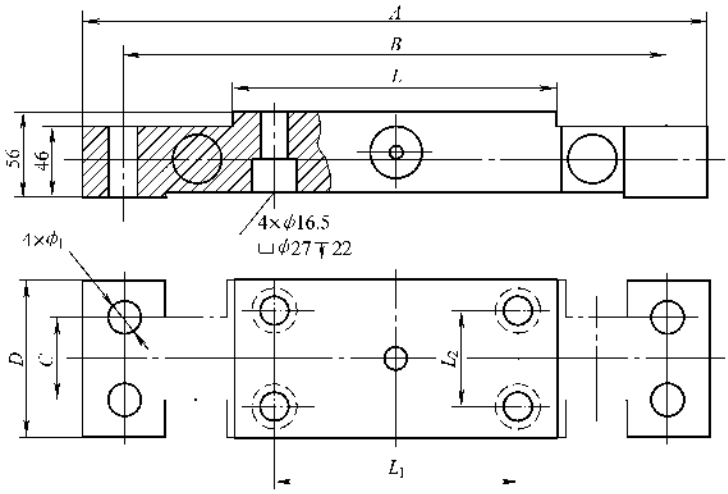
安装示意及尺寸



（续）

起重量/t	滑轮倍率	传感器规格	ϕ	H	H_1	L_4	L_5	L_1	L_2	L_3	M	h	ϕ_1	ϕ_2	E	F	L_9
			mm														
常规标准系列尺寸表																	
5，10	2，3	1.5	140	300	149	140	300	355	220	55	0	16	22	148	75	45	7
16，20	3，4	2.5	170	320	144	210	355	420	300	55	0	18	22	178	100	70	7
32	4	4	200	400	204	200	410	490	300	65	0	18	22	208	100	70	7
50	5	5	200	460	264	200	460	520	300	65	0	18	22	208	100	70	7
75	5	7.5	200	400	204	200	410	490	300	65	0	18	22	208	100	70	7
75（B）	5	7.5	200	320	124	200	300	420	300	—	—	22	37	212	100	66	10
八五标准系列尺寸表																	
5，10	2，3	1.5	140	210	59	120	300	360	180	30	30	25	22	148	75	45	7
16，20	3，4	2.5	170	260	84	140	350	410	200	30	30	30	22	178	100	70	7
32	4	4	200	360	164	160	400	470	230	35	35	18	22	208	100	70	7
50	5	5	200	420	224	180	450	520	250	35	35	18	26	208	100	70	7

配用传感器标准系列外形尺寸表　（单位：mm）



代号 \ 规格	1.5t	2.5t	4～10t
A	350	410	410
B	310	355	355
C	38	50	50
D	75	100	100
L	152	182	212
L_1	100	130	160
L_2	40	60	60
ϕ_1	ϕ17	ϕ21	ϕ21

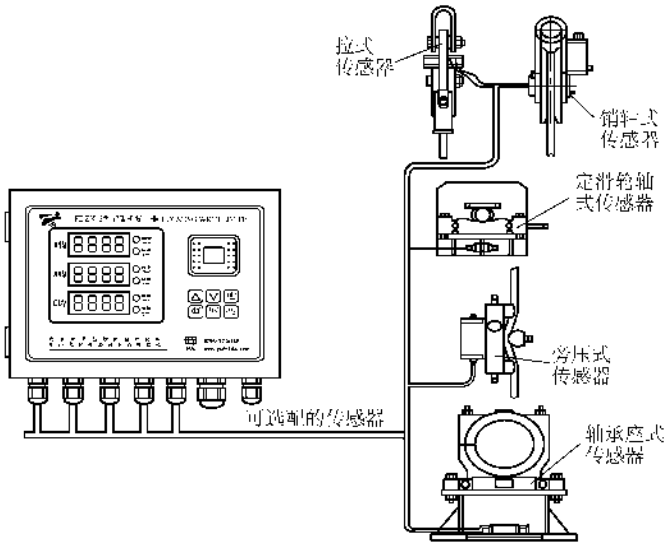
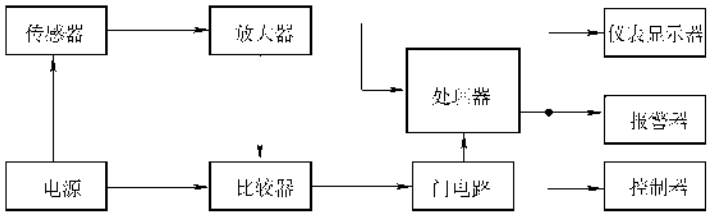
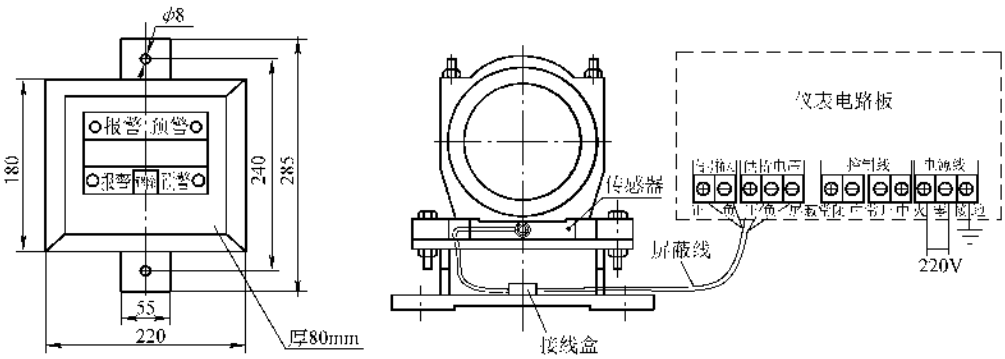


图 9-72 FDZX 型起重量限制器结构示意图



a)



b)

图 9-73 TYQCB 智能超载限制器示意图

a）工作原理框图 b）仪表接线图

表 9-71　型钢滑接线支架制作及安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
支架及滑接线制作	型钢检查	规格	主要	按设计规定	对照图纸检查
		型钢平直度		≤0.1%且型钢长度不大于10m	拉线检查
		中心误差		≤10mm	
		滑接面外观	主要	光滑、平整	观察检查
		锈迹清理		干净，无浮锈	
		底漆涂刷		均匀，无漏刷	
	螺孔尺寸	同相各孔间中心误差		≤1mm	用尺检查
		三相间中心误差	主要	≤2mm	
		孔径与螺栓配合		1mm	用螺栓检查
支架安装	支架位置	间距	主要	按设计规定	对照图样检查
		与滑线伸缩缝两侧距离		≤150mm	用尺检查
	各支架与滑线走向的垂直度误差			≤5mm	拉线或吊线检查
	成列支架横向中心线与轨道中心线平行度误差		主要	<10mm	拉线检查
	支架固定		主要	牢固，可靠	扳动检查
	支架接地		主要	可靠	
绝缘子安装	绝缘子检查	瓷件外观	主要	清洁，无裂纹	观察检查
		铁瓷胶合处		粘合牢固	
	绝缘套外形			完好、清洁	观察检查
	绝缘子两侧软垫配置			齐全、完好	
	安装固定			紧固	用扳手检查

表 9-72　型钢滑接线安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
滑接线安装	滑线焊接		主要	牢固，无变形	观察检查
	安装固定			牢固，且能自由伸缩	扳动检查
	接头接触面	接缝表面	主要	平整、光滑	观察检查
		两侧高低差	主要	≤0.5mm	用尺检查
	伸缩缝	间隙大小		20mm	用尺检查
		滑接面两端高低差	主要	≤1mm	
	伸缩缝跨接线	材料		软铜线	观察检查
		截面	主要	不小于电源导线容许载流量	用千分尺检查
		长度		有伸缩余量	观察检查
	补偿器设置			滑线长大于50m或跨越建筑物伸缩缝处	观察检查
	与导线连接处导电镀层			完整	

（续）

工序	检验项目			性质	质量标准	检验方法及器具
滑接线安装	相邻导电体间及导电体对地净距			主要	≥30mm	用尺检查
	分段供电滑线	分段间隙	允许并联运行时	主要	20mm	用尺检查
			不允许并联运行时	主要	大于滑接器接触长度 40mm	
		间隙绝缘托板			完好、平滑	观察检查
		间隙两侧电源相位		主要	一致	用电压表检查
	均压线连接距离				≤12m	用尺检查
	滑线末端与终端支架距离				≤800mm	
	相色标志				齐全、正确	观察检查
	支架油漆				完整，无漏刷	
	滑接面防氧化涂层				完整（薄涂中性凡士林）	触摸检查
	滑线中心线与起重机轨道中心线平行度误差			主要	<10mm	用尺检查
	滑线相间平行度误差					
整体检查	外形				平直	观察检查
	末端余长				≥200mm	起重机在终端位置时用尺检查
	整体绝缘电阻			主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	安全防护装置装设				按设计规定	对照图样检查

表 9-73　圆形滑接线安装

工序	检验项目			性质	质量标准	检验方法及器具
滑接线安装	滑线外观检查			主要	无扭曲、变形	观察检查
	接头接触面	接缝外形		主要	平整、光滑	观察及触摸
		两侧高低误差		主要	≤0.5mm	用尺检查
	与导线连接处导电镀层				完整	观察检查
	相邻导体间及导电体对地净距				≥30mm	用尺检查
	夹线器及与滑线连接				牢固，可靠	扳动检查
	自由悬吊滑接线	终端拉紧装置			按设计规定	对照图样检查
		拉紧装置调节余量	滑线长≤25m		≥0.1m	用尺检查
			滑线长>25m		≥0.2m	
		相间弛度误差			≤20mm	拉线后用尺检查
		各档距间弛度误差				
	滑线中心线与起重机轨道中心线平行度误差			主要	<10mm	用尺检查
	滑线相间平行度误差					

（续）

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
整体检查	外形		平直	观察检查
	末端余长		≥200mm	起重机在终端位置时用尺检查
	支架油漆		完好	观察检查
	相色标志		齐全、正确	
	整体绝缘电阻值	主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
	安全防护装置装设		按设计规定	对照图样检查

表 9-74　滑动及卷筒型软电缆安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
电缆	外观检查	主要	无机械性损伤	观察检查
卷筒型软电缆	电缆与卷筒间拉力		适当（起重机停止时卷筒不能自由转动）	扳动检查
	卷筒电缆的收、放速度	主要	与起重机移动速度一致	观察检查
	调节用重砣行程		与电缆长度适应	
	电缆线芯应力检查		在全行程中线芯无应力	
	集电环及刷架固定		牢固	扳动检查
	电刷接触压力	主要	压力适当，接触良好	
	电刷与刷握间	主要	能上下自由移动	
	刷握与集电环间隙		2mm～4mm	用尺检查
悬吊式软电缆	吊索拉紧装置调节余量：吊索长度≤25m		≥0.1m	用尺检查
	吊索拉紧装置调节余量：吊索长度＞25m		≥0.2m	
	吊索弛度		按制造厂商规定	拉线检查
	型钢滑道：滑接面外观	主要	平直，光滑	观察检查
	型钢滑道：接缝检查：两侧高低误差	主要	≤0.5mm	用尺检查
	型钢滑道：接缝检查：两侧横向误差			
	吊索（或滑道）固定连接		牢固	扳动检查
	电缆悬挂装置动作	主要	灵活无跳动、卡阻	操动试验
	电缆与电缆夹固定连接		可靠	扳动检查
	电缆夹间距		≤5m	用尺检查
	软电缆移动段长度		大于15%～20%起重机移动距离	
	软电缆两端与起重机、钢索连接		可靠，牢固	扳动检查
	钢索牵引的电缆受力检查	主要	无外加应力	观察检查

表 9-75 安全滑接线的安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
安全滑接线安装	悬吊夹间滑接线固定	有供电器或连接装置时		不装设固定夹	观察检查
		无供电器或连接装置时		装一个加强固定夹	
	悬吊夹固定		主要	牢固	扳动检查
	热膨胀伸缩装置设置			按制造厂商规定	对照厂家图检查
	膨胀点补偿间隙				
	滑接线接头电气连接			可靠，导通良好	通灯试验
	滑线中心线与轨道中心线平行度误差		主要	<10mm	拉线检查
	滑线间平行度误差				
整体检查	外形			无变形，无掉漆	观察检查
	滑线余留长度			≥200mm	起重机终端位置用尺检查
	整体绝缘电阻		主要	≥0.5MΩ	用兆欧表检查
	安全防护装置安装			按制造厂规定	对照厂家规定检查

表 9-76 起重机控制设备安装及调整

工序	检验项目			性质	质量标准	检验方法及器具
电阻器安装	电阻箱叠装高度	直接叠装			≤4 箱	观察检查
		支架固定			≤6 箱	
	轿厢及电器室外的电阻器防护措施				有防护罩	观察检查
控制器安装	操作手柄至操作室地面高度				1～1.2m	用尺检查
	控制器相互间及与操作室墙壁间距离				>150mm	
配线	电线管、线槽敷设安装				按 GB 50303—2002 规定	对照规范检查
	电缆敷设	易受机械损伤处；有油质浸蚀部位；穿钢结构孔洞处			有保护措施	观察检查
		规格及型号			按制造厂规定	对照厂家规定检查
		排列			整齐	观察检查
		固定			牢靠，非铠装电缆有软垫保护	
		支点距离			≤1m，且均匀	
		弯曲半径	固定电缆	主要	≥5 倍电缆直径	用尺检查
			移动电缆	主要	≥8 倍电缆直径	
	其他	电缆头制作及接引			按 GB 50168—2006 规定	对照规范检查
		回路检查			正确	试灯或操动检查

（续）

工序	检验项目			性质	质量标准	检验方法及器具
调整	电磁制动装置	动作检查		主要	迅速、准确	操动检查
		闸带或闸瓦与闸轮间隙（非制动状态时）			无摩擦，且均匀	观察检查
		两侧独立行走机构动作时间			一致	操动检查
		制动距离误差			按制造厂规定	对照厂家规定检查
	行程开关动作检查			主要	正确、可靠	操动检查
	行程开关	额定速度下被控机构停车点离行程末端距离	吊钩、抓斗及起重臂		≥100mm	用尺检查
			桥架及小车		≥200mm	
			两台起重机间		≥400mm	
其他	两侧独立行走机构的联锁保护			主要	灵敏、可靠	操动检查
	音响信号				清晰	
	照明				专用中性线或隔离变压器	观察检查
接地	每条轨道及轿厢接地点数				均不少于两点	观察检查
	跨线连接			主要	牢固，导通良好	扳动及导通检查
	轨道接地线截面积/mm^2				按设计规定	用尺检查
	轿厢接地线	铜编织软线			≥16mm^2	用尺检查
		扁钢截面积			≥40×4mm^2	
		圆钢直径			≥12mm	
	接地线安装				牢固，导通良好	扳动并导通检查

表 9-77　滑接器及撞杆安装

工序	检验项目		性质	质量标准	检验方法及器具
滑接器检查	绝缘子及绝缘套外观		主要	无裂纹、破损	观察检查
	滑接面			光滑，无尖锐边棱	
	导电部分对地绝缘电阻		主要	≥0.5MΩ	用绝缘电阻表检查
滑接器安装	固定连接			牢固	扳动检查
	滑接器沿滑线全长接触		主要	紧密可靠	操动检查
	沿滑线全长滑动			无卡阻	
	平面滑接器中心线与滑线中心线偏移	单轨吊		≤6mm	操动检查
		桥吊		≤15mm	
	槽形滑接器与可调滑杆间配合			移动灵活	操动检查
	自由悬吊滑线的轮型滑接器安装高度			高于滑线中间托架不少于 10mm	用尺检查

（续）

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
撞杆安装	撞杆及支架固定连接		牢固	扳动检查
	撞杆安装位置		在开关滚轮或推杆轴线上	观察检查
	对开关的作用力		无冲击	
	对开关的动行程	主要	小于开关允许值	操动检查
	撞杆宽度	主要	大于机械横向窜动值	
	撞杆长度	主要	大于机械惰走量	
	可调撞杆防松件检查		齐全、紧固	用扳手检查

表 9-78 （分部工程名称）起重机电气装置带电试运签证

起重机型式		规格		控制方式	
制造厂商		出厂编号		出厂日期	

带电前设备及系统检查

检验项目	检验结果	检验项目	检验结果
电源箱标识		轨道、电气盘、箱、接地	
盘、箱内封堵		盘、箱内有无杂物	
电动机有未经过抽芯检查		电缆挂牌	
一次回路接线		二次回路接线	
一次回路绝缘最低值	MΩ（环境温度：　　℃，湿度：　　%）		
二次回路绝缘最低值	MΩ（环境温度：　　℃，湿度：　　%）		
一次设备电气试验		保护整定	
照明系统投入检查		电动机是否经过 2h 空转	

带电后运行状态检查

检验项目	检验结果	检验项目	检验结果
大车限位开关灵敏度		小车限位开关灵敏度	
其他限位开关灵敏度		力矩开关灵敏度	
音响信号试验		紧急停车试验	
控制器操作与大车行走方向		控制器操作与小车行走方向	
控制器操作与大钩升降		控制器操作与小钩升降	
电气联锁试验			

第十章　架空线路及室外变压器台、箱变的安装

架空线路是指室外架空导线借助于杆塔输送电能装置的总称，我们常把 35～550kV 的架空线路叫做输电线路或送电线路，是专用于输送电能的；把 220/380V～10kV 的架空线路叫做配电线路，是用于分配电能的。有时把送电线路称为高压电力线路，把 6kV、10kV 的配电线路称为高压线路，而把 220/380V 的配电线路称为低压线路。电压等级的高低决定了架空线路的杆型结构、送电的距离、档距、基础、弧垂、导线、金具、绝缘子、安全要求等。无论哪种架空线路，安装的工艺方法及工序是基本相同的，本文只介绍 110kV、35kV 及以下的架空线路的安装及 10kV 小型变压器在杆上的安装和箱变的安装。

架空线路的安装主要包括测量定位、基础工程、运送器材、杆塔组装、立杆立塔、放线紧线、接地工程、测试运行等。

架空线路及室外变台的安装应符合电气装置施工及验收规范的要求，标准号：GB 50173—1992、GB 50233—2005、GB 50147—2010、GB 50148—2010、GB 50150—2006、GB 50303—2011。

第一节　概述及总体要求、开工条件

架空线路是保证供电安全、供电质量，合理分配电能的重要设施。由于它处于室外、野外安装，因此给安装带来了很多的不便，特别是对非专业安装队伍，机械化安装程度低、装备简陋，困难会更大。这样就要求电气技术人员不仅要具备电气专业技术，还要精通运输、吊装、机械、测量等方面的专业技术。同时在组织安装中，能合理调配劳力和机具，节约工时，提高效率。此外，还要关心安装人员的疾苦，风餐露宿之中，要使人们吃到可口的饭菜，有一个能休息好的营地。交通工具车（送饭、医疗）是必备而不可缺少的，甚至要有必要的文化娱乐等，只有这样，也必须这样，才能很好地完成线路的安装。目前，随着技术的进度和安装企业的发展，架空线路的安装已向机械化、专业化方面发展，给安装带来了更大的安全性，可靠性和工艺的简化，这里除机械化，专业化安装外，主要介绍半机械化和人力安装。

综上所述，架空线路的安装不仅是一项技术及管理工作，而是一项系统工程，在空旷的野外施工，营地就是一个小社会，对这些必须有一个明确的认识和高度的重视。

一、架空线路的构成部件

1. 杆塔

杆以水泥杆为主，并逐步推广使用预应力水泥杆，其等径杆可节约钢材 40%，拔梢杆可节约钢材 20%，为运输和立杆带来了方便。跨度较大、线路较高的常采用分段水泥杆，并在现场焊接成所需要的高度。有条件的在厂区及市区内有时采用钢管杆，各方面优于水泥杆，但价格昂贵。木杆已被淘汰，有时只用在低压线路上。常与水泥杆配套使用的附件有卡盘及底盘。近几年来有钢制筒式电杆进入市场，常用在市区内线路上。

塔即由型钢焊接或铆接而成，牢固可靠，运输方便（现场组装），安装不受地形限制，耐张塔、跨越塔、转角塔都不需要拉线，占地面积小。但基础处理需浇注水泥，总体上造价高，钢材又容易腐蚀，只用在 35kV 以上长距离、大跨距、大跨越的线路上。

现将常用的水泥电杆及附件的数据列出，供大家参考，见表 10-1。

2. 导线

表 10-1　水泥电杆及附件参考数据表

材料名称	规格/mm（梢径×壁厚×杆长）	参考质量/kg
预应力水泥电杆	150×40×6000	300
	150×40×7000	350
	150×40×8000	392
	150×40×10000	620
	170×40×8000	415
	170×40×9000	500
	170×40×10000	700
	190×40×10000	720
	190×40×12000	820
	190×50×15000	1250
	等径杆上 300×50×6000	
	等径杆中 300×50×6000	
	等径杆下 300×50×6000	
	等径杆上 300×50×9000	
	等径杆下 300×50×9000	

（续）

材料名称	长度/mm	参考质量/kg
方电杆	9000	500
	8000	420
	7000	350
	6500	320
	5000	300
电杆拉盘	1200	
	1000	
	800	
	600	
	500	
电杆底盘	1000	
	800	
	600	
	500	

高压线路常用的导线为钢芯铝绞线，型号 LGJ；低压线路常用的导线为铝绞线；型号 LJ；架空地线常用镀锌钢绞线，型号 GJ；跨距较大的高压线路有时也采用轻型钢芯铝绞线，型号 LGJQ，或采用加强型钢芯铝绞线，型号 LGJJ。只有在有特殊要求的场所，才使用铜绞线，型号 TJ。

现将常用的导线及数据列出，供大家参考，见表 10-2～表 10-9。

表 10-2　型号及截面积范围

型号	名称	截面积范围/mm^2	备注
LJ	铝绞线	10～600	根据需要，可用各型号钢芯铝绞线的防腐电线
LGJ	钢芯铝绞线	10～400	
LGJQ	轻型钢芯铝绞线	150～700	
LGJJ	加强型钢芯铝绞线	150～400	

表 10-3　铝绞线技术规范

型号及标称截面积/mm^2	股数及股线直径/mm	计算截面积/mm^2	电线直径/mm	直流电阻（温度 20℃时，Ω/km）不大于	拉断力/N	单位质量/（kg/km）	制造长度不小于/m
LJ-10	3×2.07	10.10	4.46	—	—	27.6	4500
LJ-16	7×1.70	15.90	5.10	1.98	2150	44	4500
LJ-25	7×2.12	24.70	6.40	1.28	3550	68	4000
LJ-35	7×2.50	34.40	7.50	0.92	4650	95	4000
LJ-50	7×3.00	49.50	9.00	0.64	6700	136	3500
LJ-70	7×3.55	69.30	10.70	0.46	9300	191	2500
LJ-95	7×4.12	93.30	12.40	0.34	12600	257	2000
LJ-120	19×2.80	117.00	14.00	0.27	16000	322	1500
LJ-150	19×3.15	148.00	15.80	0.21	20000	407	1250
LJ-185	19×3.50	183.00	17.50	0.17	24500	503	1000
LJ-240	19×4.00	239.00	20.00	0.132	32000	656	1000
LJ-300	37×3.20	298.00	22.40	0.106	40000	817	1000
LJ-400	37×3.69	369.00	25.80	0.080	53500	1087	800
LJ-500	37×4.15	501.00	29.10	0.063	69000	1376	600
LJ-600	61×3.55	604.00	32.00	0.052	80100	1658	500

表 10-4　各种导线允许载流量（25℃）

导线型号	允许载流量/A	导线型号	允许载流量/A	导线型号	允许载流量/A	导线型号	允许载流量/A
TJ-4	50	LJ-10	75	LGJ-16	105	G-ϕ4	35
TJ-6	70	LJ-16	105	LGJ-25	135	G-ϕ5	40
TJ-10	95	LJ-25	135	LGJ-35	170	G-ϕ6	60
TJ-16	130	LJ-35	170	LGJ-50	220	GJ-25	68
TJ-25	180	LJ-50	215	LGJ-70	275	GJ-35	75
TJ-35	220	LJ-70	265	LGJ-95	335	GJ-50	90
TJ-50	270	LJ-95	325	LGJ-120	380	GJ-70	125
TJ-70	340	LJ-120	375	LGJ-150	445	GJ-95	140
TJ-95	415	LJ-150	440	LGJ-185	515	GJ-120	175
TJ-120	485	LJ-185	500	LGJ-240	610		
TJ-150	570						
TJ-185	645						

注：在实际空气温度不是 +25℃的地方，允许载流量应乘以表 10-5 中所列的温度校正系数。实际空气温度是指最热月份每日最高温度的平均值。

表 10-5　裸导线载流量温度校正系数

空气温度/℃	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
校正系数	1.29	1.24	1.2	1.15	1.11	1.05	1.0	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

表 10-6　钢芯铝绞线技术规范

型号及标称截面积/mm^2	股数及股线直径/mm		计算截面积/mm^2			计算直径/mm	直流电阻(温度 20℃时,Ω/km)不大于	拉断力/N	铝钢截面比	单位质量/(kg/km)
	铝股	钢股	铝股	钢股	整个导线					
LGJ-10	5×1.60	1×1.20	10.10	1.13	11.23	4.40	3.12	2800	8.94	36
LGJ-16	6×1.80	1×1.80	15.30	2.50	17.80	5.40	2.04	4450	6.12	62
LGJ-25	6×2.20	1×2.20	22.80	3.80	26.60	6.60	1.38	6650	6.00	92
LGJ-35	6×2.80	1×2.80	36.90	6.20	43.10	8.40	0.85	10800	5.95	150
LGJ-50	6×3.20	1×3.2 或 7×1.1	48.30	8.00	56.30	9.60	0.65	14000	6.04	196
LGJ-70	6×3.80	1×3.8 或 7×1.3	68.00	11.30	79.30	11.40	0.46	19800	6.02	275
LGJ-95	28×2.08	7×1.80	95.20	17.80	113.00	13.70	0.33	32000	5.35	404
LGJ-120	28×2.29	7×2.00	115.00	22.00	137.00	15.20	0.27	39800	5.23	492
LGJ-150	28×2.59	7×2.20	148.00	26.60	174.60	17.00	0.21	50500	5.57	617
LGJ-185	28×2.87	7×2.50	181.00	34.40	215.40	19.00	0.17	62500	5.26	771
LGJ-240	28×3.29	7×2.80	238.00	43.10	281.10	21.60	0.132	81500	5.52	997
LGJ-300	28×3.66	7×3.20	295.00	56.30	351.30	24.20	0.107	102000	5.24	1257
LGJ-400	28×4.24	19×2.20	395.00	72.20	467.20	28.00	0.080	136000	5.47	1660

表 10-7　新型钢芯铝绞线技术规范

型号及标称截面积/mm^2	股数及股线直径/mm		计算截面积/mm^2			计算直径/mm	直流电阻(温度 20℃时,Ω/km)不大于	拉断力/N	铝钢截面比	单位质量/(kg/km)
	铝股	钢股	铝股	钢股	整个导线					
LGJJ-120	30×2.22	7×2.20	116	26.60	142.60	15.50	0.280	44300	4.36	530
LGJJ-150	30×2.50	7×2.50	147	34.40	181.40	17.50	0.210	56200	4.27	678
LGJJ-185	30×2.80	7×2.80	185	43.10	228.10	19.60	0.170	71000	4.29	850
LGJJ-240	30×3.20	7×3.20	241	56.30	297.30	22.40	0.131	92000	4.28	1111
LGJJ-300	30×3.55	19×2.20	297	72.20	369.20	25.20	0.106	115000	4.12	1390
LGJJ-400	30×4.12	19×2.50	400	93.30	493.30	29.00	0.079	153000	4.29	1840
LGJQ-150	24×2.80	7×1.80	148	17.80	165.80	16.60	0.210	44700	8.32	559
LGJQ-185	24×3.10	7×2.00	181	22.00	203.00	18.40	0.170	54800	8.23	687
LGJQ-240	24×3.59	7×7.40	243	31.70	274.70	21.60	0.130	66700	7.67	937
LGJQ-300	54×2.62	7×2.60	291	37.20	328.20	23.50	0.108	88500	7.82	1098
LGJQ-400	54×3.04	7×3.00	392	49.50	441.50	27.20	0.080	119000	7.92	1501
LGJQ-500	54×3.37	19×2.00	482	59.70	541.70	30.20	0.065	146000	8.07	1836
LGJQ-600	54×3.69	19×2.20	578	72.20	650.20	33.10	0.055	175500	8.02	2206

表 10-8 镀锌钢绞线技术数据

钢丝 1×7=7					钢丝 1×19=19				
钢绞线直径/mm	钢丝直径/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/100m)	钢丝破断拉力不小于/N	钢绞线直径/mm	钢丝直径/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/100m)	钢丝破断拉力不小于/N
4.2	1.4	10.77	9.23	1830	5.0	1.0	14.92	12.70	25300
5.1	1.7	15.88	13.60	26900	6.0	1.2	21.48	18.29	36500
6.0	2.0	21.98	18.82	37300	6.5	1.3	25.21	21.47	42800
6.6	2.2	26.60	22.77	45200	7.0	1.4	29.23	24.92	49600
7.2	2.4	31.65	27.09	53800	9.0	1.8	48.32	41.11	82100
7.8	2.6	37.15	31.82	63100	10.0	2.0	59.66	50.82	101000
9.0	3.0	49.46	42.37	76600	11.0	2.2	72.19	61.50	1225000
9.6	3.2	56.27	48.18	78700	12.0	2.4	35.91	73.15	146000
10.5	3.6	67.31	57.65	84100	13.0	2.6	100.83	85.94	171000
12.0	4.0	87.92	75.33	109900	14.0	2.8	116.93	99.50	181000
					15.0	3.0	134.24	114.40	208000

注:钢丝破断拉力指钢丝破断拉力的总和,表内数据为最大值。

表 10-9 常用镀锌铁线技术数据

直径/mm	直径公差/mm	截面积/mm^2	质量/(kg/km)	20℃时最大电阻/(Ω/km)	抗张力/N	伸长率(%)
1.6	0.05	2.011	15.69	65.95	703.9	7
1.8	0.06	2.545	19.85	52.11	890.3	7
2.0	0.06	3.142	24.51	42.21	110.0	7
2.3	0.06	4.155	32.41	31.92	145.4	7
2.6	0.06	5.309	41.41	24.98	185.8	7
2.9	0.08	6.605	51.52	20.08	231.2	10
3.2	0.08	8.042	62.73	16.49	281.5	10
3.5	0.10	9.621	75.04	13.78	336.7	10
4.0	0.10	12.57	98.05	10.55	440.0	10
4.5	0.10	15.90	124.0	8.341	556.5	10
5.0	0.13	19.64	153.2	6.753	687.4	12
5.5	0.13	23.76	185.3	5.581	831.6	12
6.0	0.13	28.27	220.5	4.691	989.5	12

3. 绝缘子

绝缘子俗称瓷瓶，高压线路常用的有针式、悬式和瓷横担等。针式绝缘子有时也叫直瓶，是按电压等级区分的，有 6kV、10kV、15kV、20kV、35kV 五个等级，它的作用主要是用于直线杆塔支持导线的。悬式绝缘子有时也叫悬垂，安装时是按电压等级决定其片数的，它的作用主要是用于终端、转角、耐张杆塔拉接导线或用于直线杆塔悬吊导线的。悬式绝缘子使用时的片数见表 10-10。瓷横担常用于 10kV、35kV 的线路，代替横担和绝缘子的组合，但机械强度较差，通常用于一般不太重要的线路上。瓷拉棒绝缘子可代替悬式绝缘子而用于 10kV、35kV 的终端、耐张、转角杆塔。

低压线路常用的有针式和蝴蝶式两种，针式用途同上，蝴蝶式又称茶台常用于终端、转角及耐张杆上拉接导线用。

表 10-10 X-4.5 型悬式绝缘子使用片数表

线路电压/kV	10	35	60	110	154	220
绝缘子串片数	2	3	5	7	10	13

注：用于耐张绝缘子串时，应比同型绝缘子串多一片，用于 110kV 及以上耐张绝缘子串应用 2 串并联。

拉紧瓷绝缘子常用于高低压线路中的终端、转角及耐张杆作为平衡电杆所受张力，用作拉线的绝缘和连接用，接电压等级区分。

在 6kV、10kV 线路中有时也用蝶式绝缘子，通常与悬式绝缘子配合使用，用于终端、转角及耐张杆作为拉接导线用，进而简化金具结构。

架空线路常用绝缘子的外形见图 10-1，有关数据见表 10-11 ~ 表 10-23。

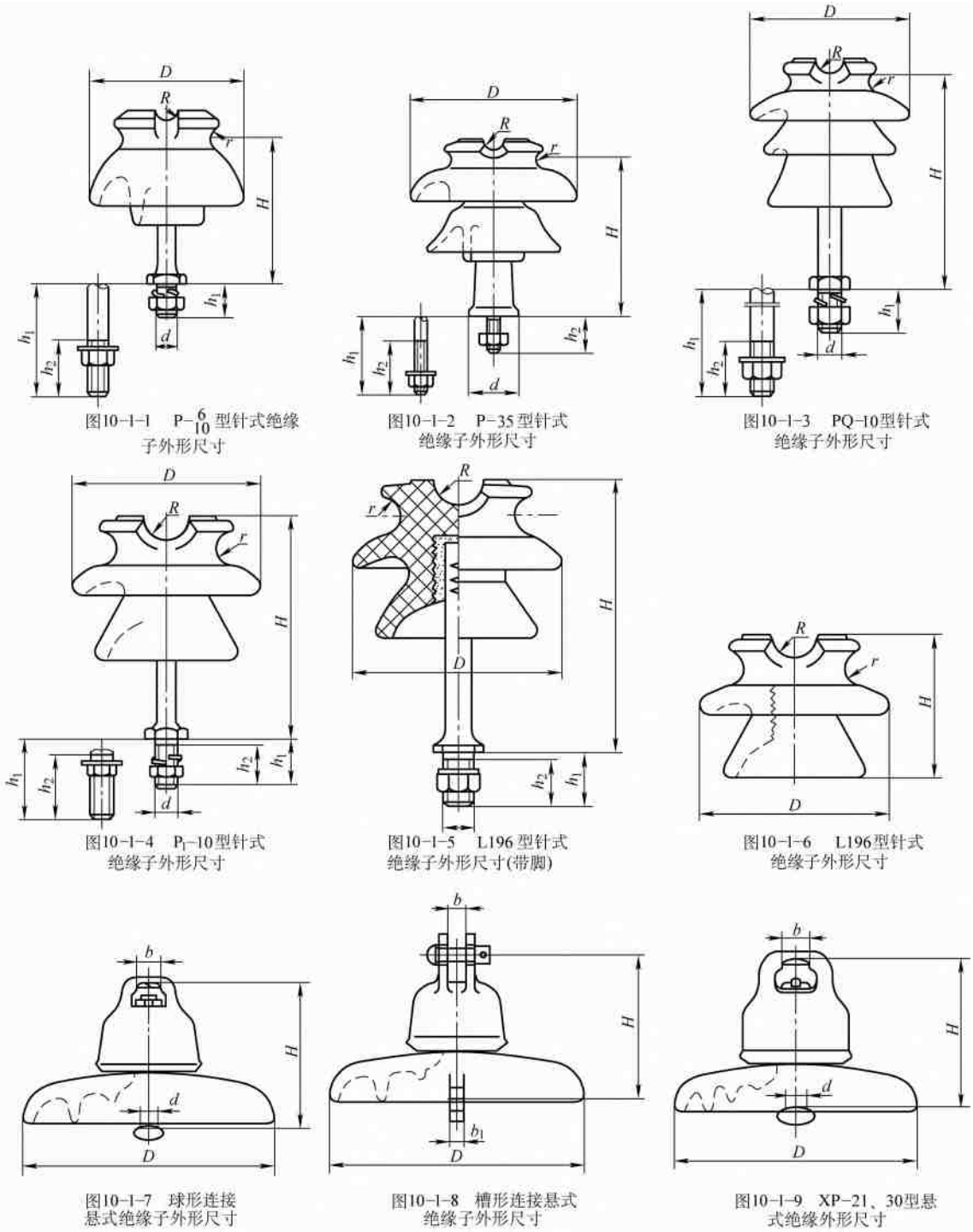


图10-1-1　P-$\frac{6}{10}$型针式绝缘子外形尺寸

图10-1-2　P-35型针式绝缘子外形尺寸

图10-1-3　PQ-10型针式绝缘子外形尺寸

图10-1-4　P_1-10型针式绝缘子外形尺寸

图10-1-5　L196型针式绝缘子外形尺寸(带脚)

图10-1-6　L196型针式绝缘子外形尺寸

图10-1-7　球形连接悬式绝缘子外形尺寸

图10-1-8　槽形连接悬式绝缘子外形尺寸

图10-1-9　XP-21、30型悬式绝缘外形尺寸

图　10-1

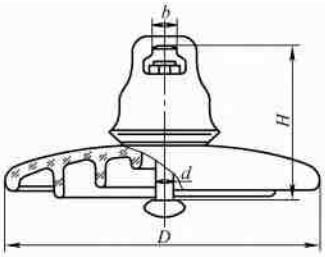


图10-1-10 钢化玻璃悬式绝缘子外形尺寸

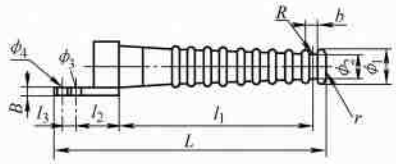


图10-1-11 胶装式瓷横担绝缘子外形尺寸(一)

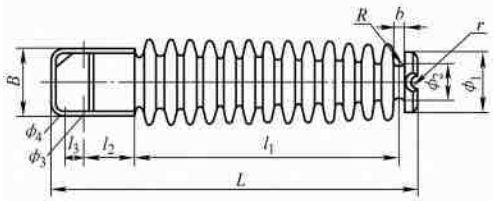


图10-1-12胶装式瓷横担绝缘子外形尺寸(二)

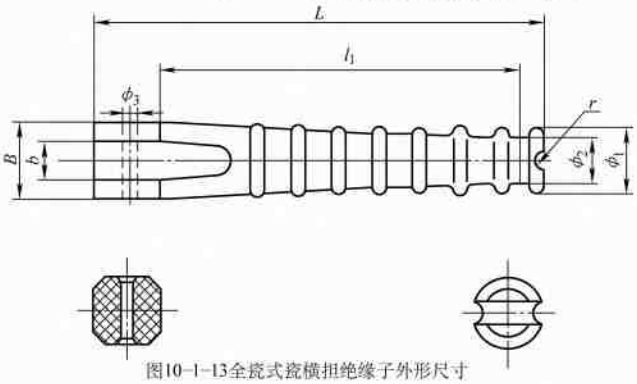


图10-1-13全瓷式瓷横担绝缘子外形尺寸

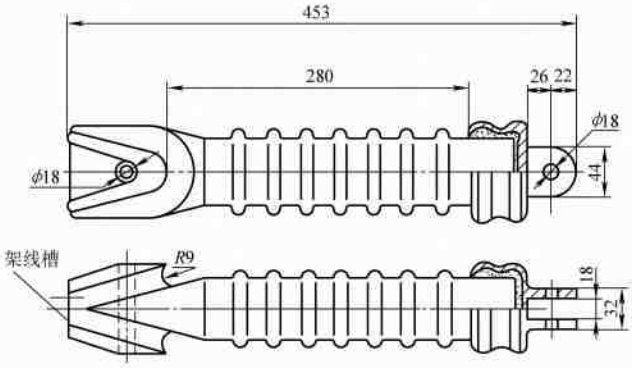


图10-1-14 XS-10/2型瓷拉棒绝缘子外形尺寸

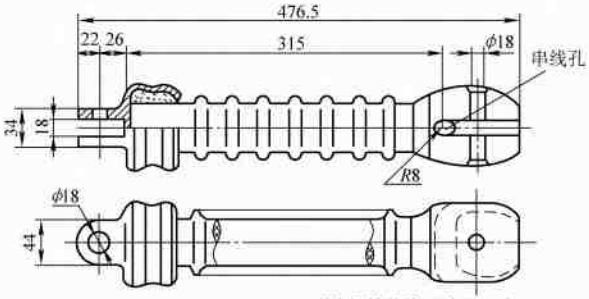


图10-1-15 XS-10/2D型瓷拉棒绝缘子外形尺寸

图 10-1 （续一）

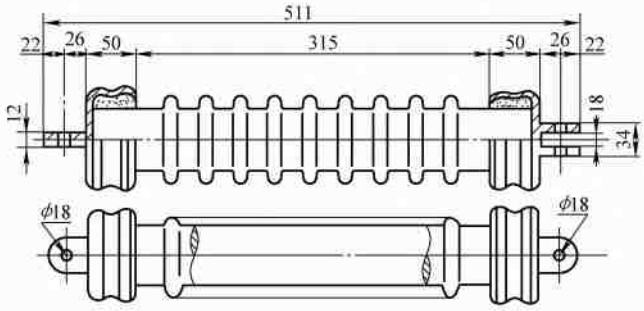


图10-1-16　XS-10/2T型瓷拉棒绝缘子外形尺寸

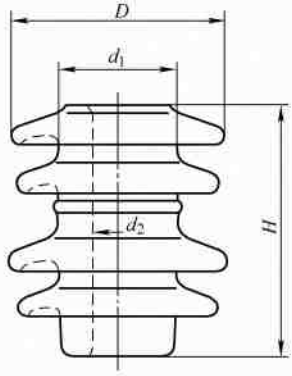


图10-1-17　E-1、2型蝶式瓷绝缘子外形尺寸

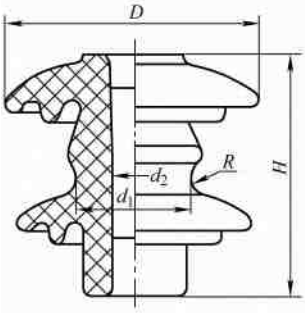


图10-1-18　E-6、10型蝶式瓷绝缘子外形尺寸

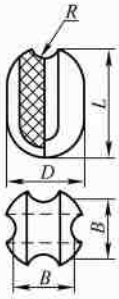


图10-1-19　J-2型拉紧瓷绝缘子外形尺寸

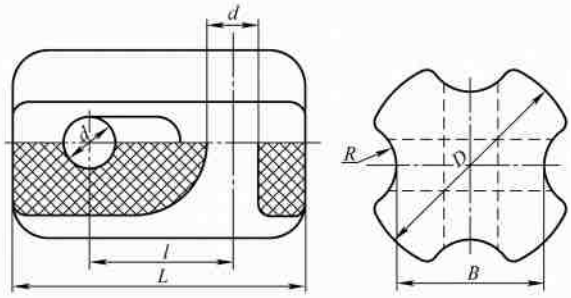


图10-1-20　J-4.5、J-9型拉紧瓷绝缘子外形尺寸

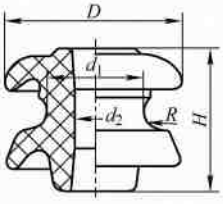


图10-1-21　ED-2B型蝶式绝缘子外形尺寸

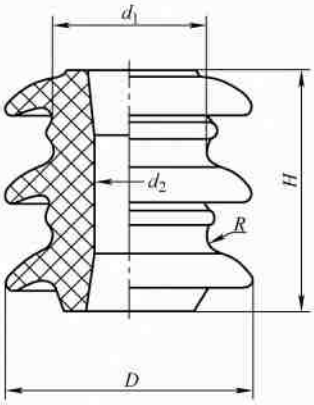


图10-1-22　ED-2C型蝶式绝缘子外形尺寸

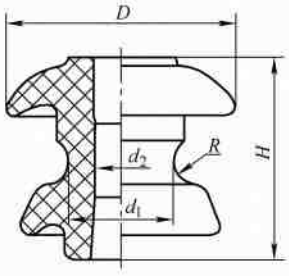


图10-1-23　ED-1、2、3、4,ED-2-1,ED-3-1,ED-3A型蝶式绝缘子外形尺寸

图 10-1　（续二）

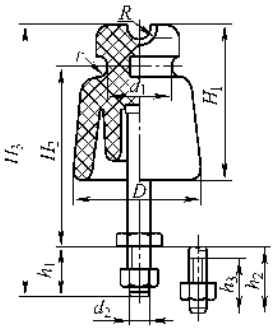


图10-1-24 PD-1、2、3$^{T}_{M}$型低压针式绝缘子外形尺寸

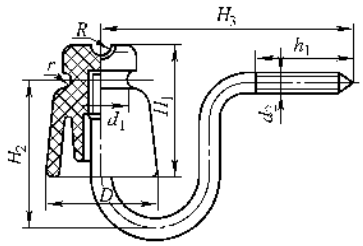


图10-1-25 PD-1、2、3W型低压针式绝缘子外形尺寸

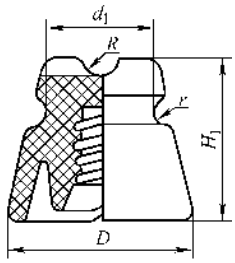


图10-1-26 PD-1、2、3型低压针式绝缘子外形尺寸

图 10-1 （续三）

表 10-11 高压针式瓷绝缘子技术数据

额定电压/kV	泄漏距离不小于/mm	工频试验电压,有效值,不小于/kV			50%全波冲击闪络电压,幅值,不小于/kV	抗弯破坏负荷值不小于/kg
		干闪络	湿闪络	击穿		
6	150	50	28	65	70	1400
10	185	60	32	78	80	1400
10Q	260	70	45	110	110	1080
35	560	120	80	156	175	1350
35Q	630	140	90	185	195	1350

表 10-12 高压针式瓷绝缘子外形尺寸、质量

型号	图号	额定电压/kV	尺寸/mm							质量/kg
			H	h_1	h_2	D	d	R	r	
P-6M	16-1-1	6	157	140	70	125	M16	13	10	1.7
P-6T		6	157	35	30	120	M16	13	10	1.47
P-10M		10	176	140	60	145	M16	11	9	2.45
P-10T		10	176	35	30	145	M16	11	9	2.15
P-10MC	16-1-1	10	176	—	165	145	M16	11	9	2.25
P-35M	16-1-2	35	285	210	76	305	M20	13	13	10.5
P-35T	16-1-2	35	285	45	42	280	M20	13	13	11.2
PQ-10M	16-1-3	10	190	40	50	140	M20	13	9.5	2.7
PQ-10T					—					2.5
P_1-10M	16-1-4	10	169	165	63	145	M16	17	13.5	2.0
P_1-10T				38	33					1.9
L196 带脚	16-1-5	11	185	35	30	140	M16	16	13	1.85
L196	16-1-6	11	110	—	—	145	—	17	13.5	1.2
PQ-35T	16-1-2	35	245	45	42	305	M22	19	13	11.9

注:各制造厂产品的尺寸,互有差异。

表 10-13　悬式绝缘子技术数据

型号	图号	泄漏距离不小于/mm	工频试验电压,有效值,不小于/kV			50% 全波冲击闪络电压,幅值,不小于/kV	机械试验负荷,不小于/kg	
			干闪络	湿闪络	击穿		1h	破坏值
XP-6	16-1-7	290	75	45	110	120	4500	6000
XP-7	16-1-7	300	75	45	110	120	5200	7000
XP-10	16-1-7	300	75	45	110	120	7500	10000
XP-16	16-1-7	310	75	45	110	120	12000	16000
XP-21	16-1-9	340	80	50	120	130	16000	21000
XP-30	16-1-9	380	80	50	120	130	22500	30000
XP-4C	16-1-8	200	60	30	90	100	3000	4000
XP-6C	16-1-8	290	75	45	110	120	4500	6000
XP-7C	16-1-8	300	75	45	110	120	5200	7000
X-3	16-1-7	225	60	30	90	—	3000	4000
X-4.5	16-1-7	300	75	45	110	120	4500	6000
X-7	16-1-7	320	80	50	120	130	7000	9500
X-3C	16-1-8	220	60	30	90	100	3000	4000
X-4.5C	16-1-8	270	75	45	110	120	4500	6000
LXP-6	16-1-10	290	75	45	110	110	4500	6000
LXP-7	16-1-10	290	75	45	110	110	5250	7000
LXP-10	16-1-10	290	75	45	110	110	7500	10000
LXP-12	16-1-10	290	75	45	110	110	9000	12000
LXP-16	16-1-10	330	80	50	120	125	12000	16000
LXP-21	16-1-10	340	80	50	120	125	16000	21000
LXP-30	16-1-10	390	—	—	—	—	22500	30000

表 10-14　悬式绝缘子外形尺寸、质量

型号	图号	尺寸/mm					质量/kg
		H	D	d	b	b_1	
XP-6	16-1-7	146	254	16	19	—	4.5
XP-7	16-1-7	146	254	16	19.5	—	4.6
XP-10	16-1-7	146	254	16	19.5	—	5.4
XP-16	16-1-7	155	254	20	23	—	6.2
XP-21	16-1-9	170	280	24	27.5	—	8.9
XP-30	16-1-9	195	320	24	27.5	—	13.6
XP-4C	16-1-8		190	—	—	—	3.5
XP-6C	16-1-8	146	254	—	—	—	4.7
XP-7C	16-1-8		254	—	19	12.7	4.8
X-3	16-1-7	140	200	14	19	—	5.9
X-4.5	16-1-7	146	254	16	18	—	5.2
X-7	16-1-7	146	254	16	—	—	4.3
X-3C	16-1-8	146	200	—	19	12.7	3.8
X-4.5C	16-1-8	146	254	—	20	17	5.5

（续）

型号	图号	尺寸/mm					质量/kg
		H	D	d	b	b_1	
LXP-6	16-1-10	140	254	16	19	—	4.2
LXP-7		140	254	16	19	—	3.6
LXP-10		146	254	16	19	—	5.3
LXP-12		146	254	16	19	—	5.5
LXP-16		155	280	20	23	—	6.8
LXP-21		170	280	24	27.5	—	7.8
LXP-30		195	320	24	27.5	—	11.2

表 10-15　瓷横担绝缘子技术数据

型号	额定电压/kV	泄漏距离/mm	工频湿闪络电压/kV	50%全波冲击闪络电压/kV	抗弯破坏负荷值/kg	质量/kg
S-185(Z)	10	350	50	185	300	4.5
S-210(Z)	10	380	60	210	300	5.5
S-280(Z)	35	750	100	280	500	11.7
SC-185(Z)	10	350	50	185	300	3.5
SC-210(Z)	10	380	60	210	300	4.5
SC-280(Z)	35	700	100	280	350	10
S-230/250	10	380	60	230	250	5.0
S-200/500	10	380	50	200	500	6.7
S-300/500	35	770	100	300	500	13
S_1-300/500	35	1100	120	300	500	17

表 10-16　瓷横担绝缘子外形尺寸

型号	图号	尺寸/mm											
		L	l_1	l_2	l_3	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	B	b	R	r
S-185(Z)	16-1-11	450	310	80	32	70	46	18	6	14	22	—	11
S-210(Z)	16-1-11	524	360	80	32	70	45	18	6	14	22	—	11
S-280(Z)	16-1-12	679	490	95	35	95	60	22	12	ϕ132	26	—	13
SC-185(Z)	16-1-13	400	315	—	—	70	45	18	—	ϕ80	45	—	11
SC-210(Z)		450	365	—	—	72	45	18	—	ϕ80	45	—	11
SC-280(Z)		605	490	—	—	96	60	22	—	ϕ104	50	—	
S-230/250	16-1-11	510	365	80	30	75	44	18	6.5	10	22	8	10
S-200/500	16-1-12	482	320	75	35	90	55	18	12	112	24	8	13
S-300/500	16-1-12	676	490	98	35	120	64	22	11	134	26	8	13
S_1-300/500	16-1-12	715	524	98	35	120	70	22	11	134	31	8	13

表 10-17　瓷拉棒绝缘子技术数据

型号	额定电压/kV	泄漏距离不小于/mm	工频湿闪络电压/kV	50%全波冲击闪络电压/kV	抗弯破坏负荷值/kg	质量/kg
XS-10/2	10	350	200	60	2000	4.5
XS-10/2D	10	350	200	60	2000	4.5
XS-10/2T	10	380	200	70	2000	5.5
XS-35/2.5T	35	800	320	110	2500	15
—	10	370	185	50	2000	3.9

表 10-18　蝶式瓷绝缘子技术数据

型号	图号	额定电压/kV	泄漏距离，不小于/mm	工频试验电压，有效值不小于/kV			抗弯破坏负荷值/kg	尺寸/mm					质量/kg
				干闪络	湿闪络	击穿		H	D	d_1	d_2	R	
E-1	16-1-17	10	—	45	27	78	2000	180	150	70	26	—	3.3
E-2		6	—	38	23	65		150	130				2.0
E-6	16-1-18	6	135	50	28	65	2000	145	150	68	26	12	2.0
E-10		10	190	60	35	78		175	180	70			3.5

表 10-19　拉紧瓷绝缘子技术数据

型号	图号	工频试验电压，有效值不小于/kV		机械破坏负荷/t	尺寸/mm						质量/kg
		干闪络	湿闪络		L	l	D	B	d	R	
J-2	16-1-19	6	2.8	2	72	—	45	30	—	8	0.25
J-4.5	16-1-20	20	10	4.5	90	42	64	58	16	10	0.5
J-9	16-1-20	30	20	9	173	67	89	60	25	14	2.2

表 10-20　低压蝶式绝缘子技术数据

型号	图号	机械破坏负荷，不小于/kg	尺寸/mm					质量/kg
			H	D	d_1	d_2	R	
ED-1	16-1-23	1200	90	100	50	22	12	0.75
ED-2		1000	75	80	42	20	10	0.65
ED-3	16-1-23	800	65	70	36	16	8	0.25
ED-4	16-1-23	500	50	60	—	16	6	0.14
ED-2B	16-1-21	1300	76	89	48	21	10	0.48
ED-2C	16-1-22	1350	80	80	50	22	6	0.5
ED-2-1	16-1-23	1200	80	90	42	20	10	0.45
ED-3-1	16-1-23	800	51	63	30	16	6	0.15
ED-3A	16-1-23	1350	65	73	—	19	—	—

表 10-21　低压针式绝缘子外形尺寸、质量

型号	图号	机械破坏负荷，不小于/kg	尺寸/mm											质量/kg
			H_1	H_2	H_3	h_1	h_2	h_3	D	d_1	d_2	R	r	
PD-1	16-1-26	1000	66	—	—	—	—	—	ϕ76	ϕ43	—	6	6	0.32
PD-1T	16-1-24			75	131	35	—	—			M12			0.45
PD-1M	16-1-24			75	201	—	105	70			M12			0.55
PD-1W	16-1-25			83	163	60	—	—			M12			0.55
PD-2	16-1-26	600	90	—	—	—	—	—	ϕ71	ϕ40	—	8	5	0.42
PD-2T	16-1-24			105	168	35	—	—			M16			0.69
PD-2M	16-1-24			105	243	—	110	52			M16			0.79
PD-2W	16-1-25			97	182	70	—	—			M16			0.85
PD-3	16-1-26	300	71	—	—	—	—	—	ϕ54	ϕ31	—	6	4	0.27
PD-3T	16-1-24	714	93	—	168	28	—	—	ϕ82	—	M12	12	12	0.7
PD-3M	16-1-24	714	93	—	245	—	105	50	ϕ82	—	M12	12	12	—

表 10-22 绝缘子按用途和结构分类

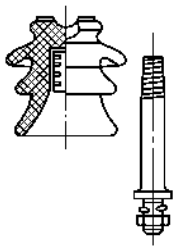
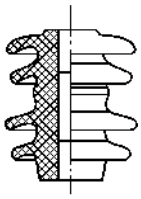
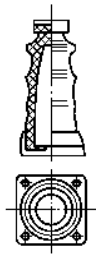
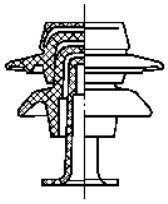
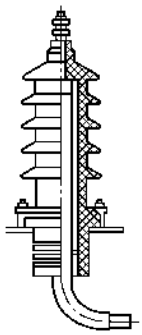
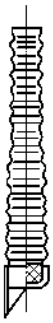
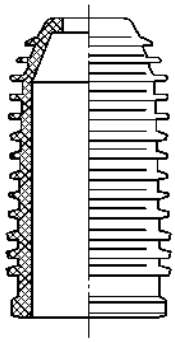
类型	线路绝缘子			电站、电器绝缘子		
用途	架空电力线路、电气化铁道牵引线路			电站和电器		
型式	针式	盘形悬式	蝶式	隔板支柱	针式支柱	套管
可击穿型（B型）						
型式	线路柱式	长棒形	横担	棒型支柱	空心绝缘子	
不可击穿型（A型）						

表 10-23 绝缘子按电压、材料、击穿可能性分类

分类	类　　别
电压种类	交流绝缘子；直流绝缘子
电压高低	高压绝缘子（$U_r > 1kV$）；低压绝缘子（$U_r \leqslant 1kV$）
主绝缘材料	瓷绝缘子：电气机械性能、化学稳定性和耐候性好，原材料丰富、价廉，应用广 玻璃绝缘子：生产周期短、建厂投资少、绝缘子损坏时易于发现，用于制造结构较简单、尺寸较小的绝缘子 有机材料绝缘子：主要是环氧浇注绝缘子，用于制造形状复杂、尺寸小、电场高、耐 SF_6 分解产物的绝缘子 复合材料绝缘子：用于超高电压线路
击穿可能性	A 型绝缘子：$\delta/L_d > 1/2$；（环氧浇注绝缘子：$> 1/3$） B 型绝缘子：$\delta/L_d < 1/2$；（环氧浇注绝缘子：$< 1/3$） 其中，L_d 为绝缘子外部干闪络距离；δ 为固体绝缘内部最短击穿距离

4. 金具

金具是架空线路用于连接、固定、支撑的镀锌铁件的总称。

（1）连接金具　主要有悬垂线夹、释放线夹、耐张线夹、碗头挂板（单联碗头、双联碗头）、球头挂环、直角挂板、U 型挂环、二联板、平行挂板、曲形拉板等。

（2）固定金具　主要有抱箍、穿钉、抱铁、叉梁等。

（3）支撑金具　主要有横担、支撑、斜撑、拉板、铁头（立铁）、双瓶抱箍等。

（4）接续金具　主要指用于连接导线的铝钳接管、钢压接管、并沟线夹等。

（5）保护金具　主要指防振锤、护线条、均压环、铝补修管、补修条等。

（6）拉线金具　主要指用于拉线上的楔形线夹、UT 线夹、钢丝卡子、拉线 U 型环、双拉线联板、花篮螺栓、底把等。

金具有的是机制标准件，有的则是加工件，但都必须有一定的机械强度，并且全部镀锌。

图 10-2 列出部分常用金具，供读者参考。

5. 基础

杆塔的地下装置为基础。水泥杆的基础主要指卡盘、拉盘、底盘等，均为水泥制件。铁塔和钢管杆的基础一般均用混凝土现场浇注。另外，根据不同的施工环境，还有预制基础、砌块基础、爆扩桩基础及钻孔灌注桩基础等。

卡盘、拉盘、底盘见图 10-3。

6. 接地装置

主要指避雷线、避雷器及其接地引线、接地极等。

二、杆型类别及其结构

杆型是由电压等级、档距、地形、导线、气候条件决定的，但同类杆型由于地形的限制其结构也不尽相同，主要有直线杆、耐张杆、转角杆、终端杆、跨越杆、换位杆以及分支杆、轻承力杆等。

1. 直线杆

用于线路直线段的途径中只承受导线自重和风压覆冰荷重的杆即为直线杆，其机械程度要求不高，结构和组装较简单。直线杆有单杆、双杆及铁塔等几种，单杆和铁塔上导线的排列有三角形、上字形，双

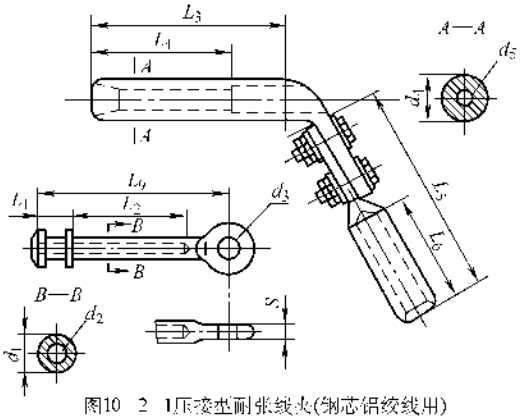


图10-2-1压接型耐张线夹(钢芯铝绞线用)

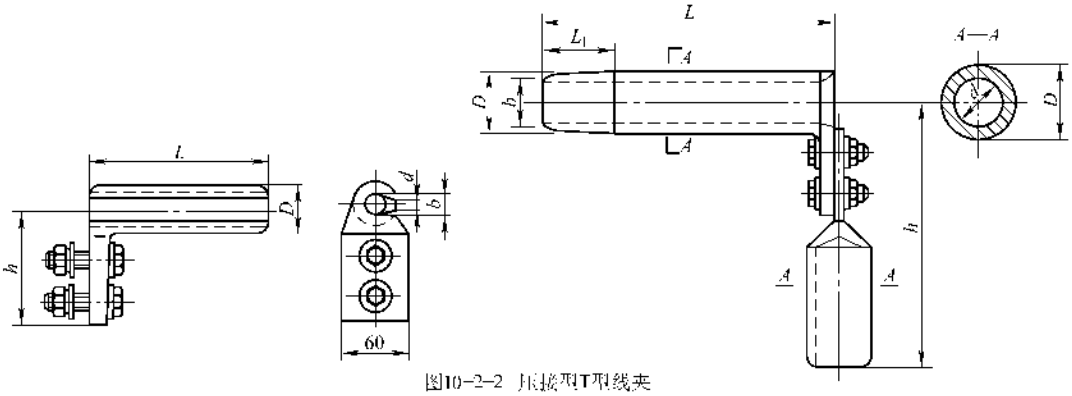


图10-2-2 压接型T型线夹

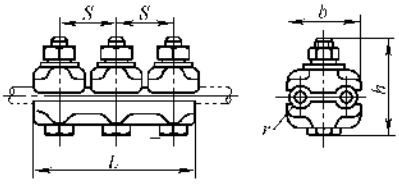


图10-2-3 并沟线夹

图 10-2

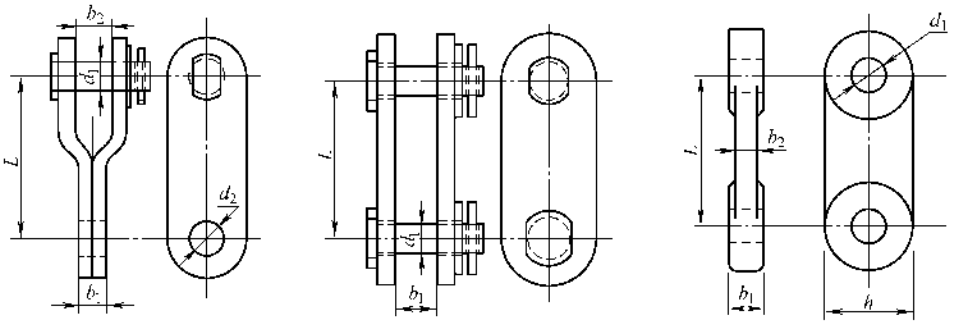


图10-2-4 平行挂板

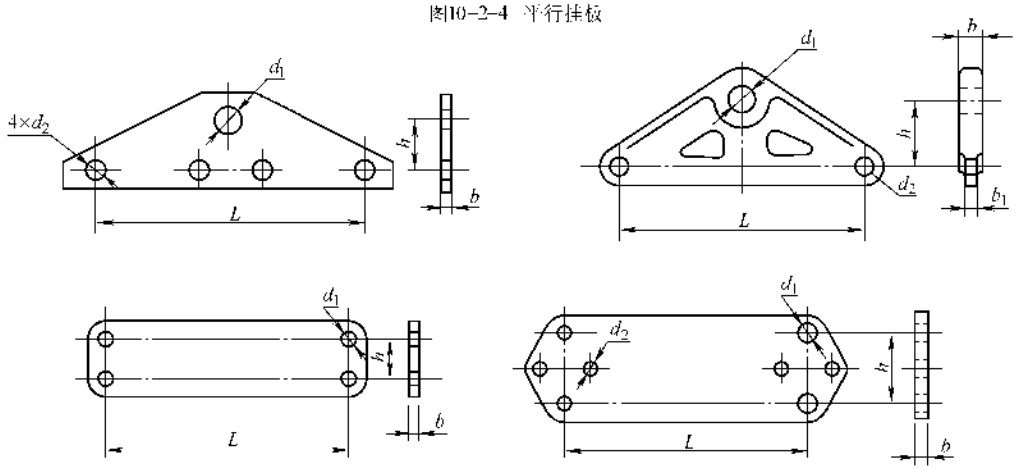


图10-2-5 联板

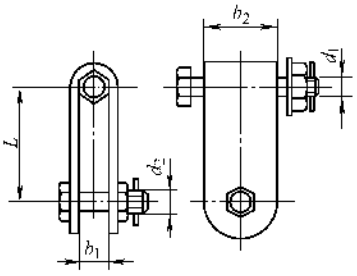


图10-2-6 U型挂板

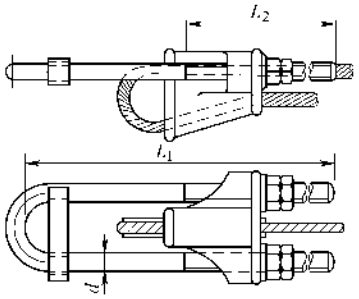


图10-2-7 UT型线夹

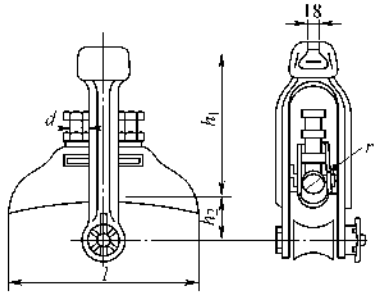


图10-2-8 释方型悬垂线夹

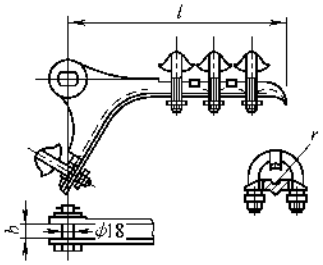


图10-2-9 耐张线夹

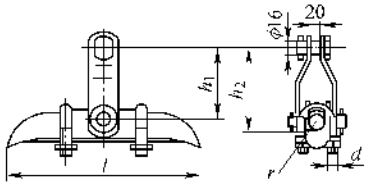


图10-2-10 固定型悬垂线夹

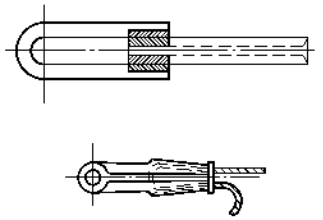


图10-2-11 耐张线夹
a) 避雷线用压缩型
b) 避雷线用楔型

图 10-2 （续一）

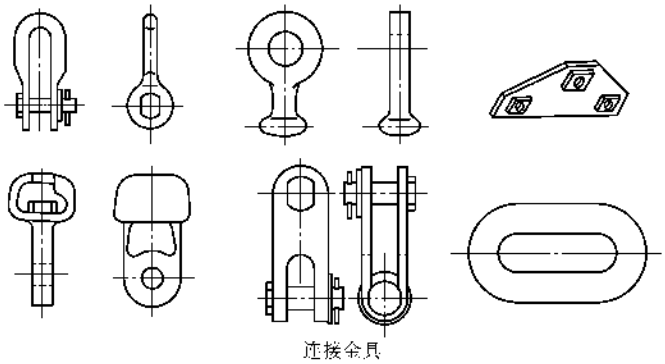


图10-2-12　连接金具

a) U型挂环　b) 单联碗头挂板　c) 球头挂环　d) 直角挂板　e) 二联板　f) 延长环

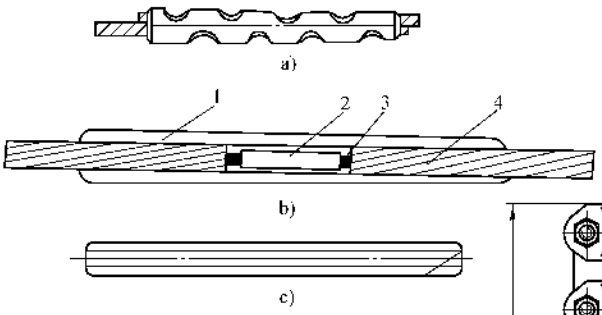


图10-2-13　连续金具

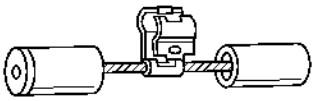


图10-2-14　防振锤

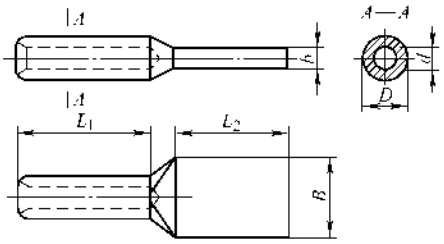


图10-2-15　0°压接型设备线夹

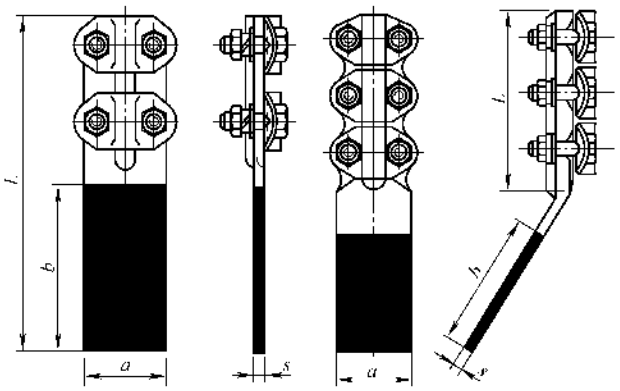


图10-2-16　螺栓型铜铝过渡设备线夹(0°)

图10-2-17　螺栓型铜铝过渡设备线夹(30°)

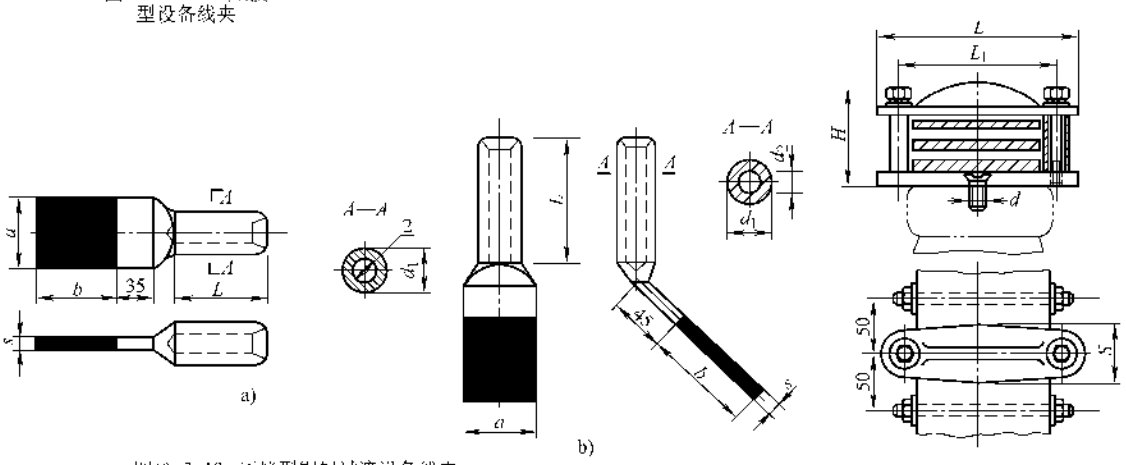


图10-2-18　正接型铜铝过渡设备线夹

图10-2-19　JNP型矩形母线平放固定金具(室内三层)

图 10-2　（续二）

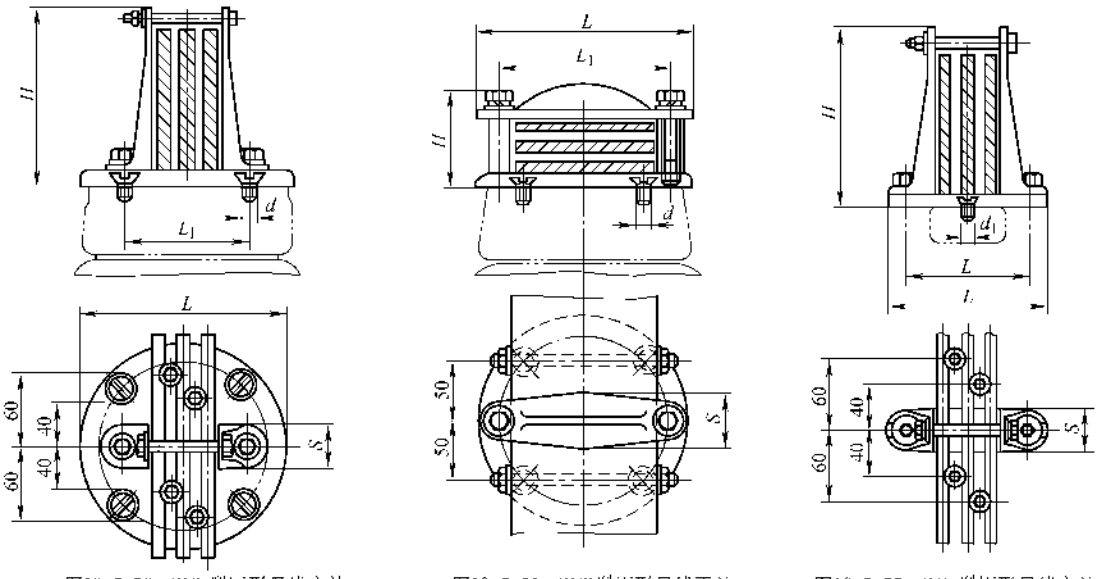


图10-2-20 JWL型矩形母线立放固定金具(屋外三片)

图10-2-21 JWP型矩形母线平放固定金具(屋外三片)

图10-2-22 JNL型矩形母线立放固定金具(屋内三片)

注：图10-2-19～图10-2-22中，一片、二片与图基本相同，只是片数不同。

图 10-2 （续三）

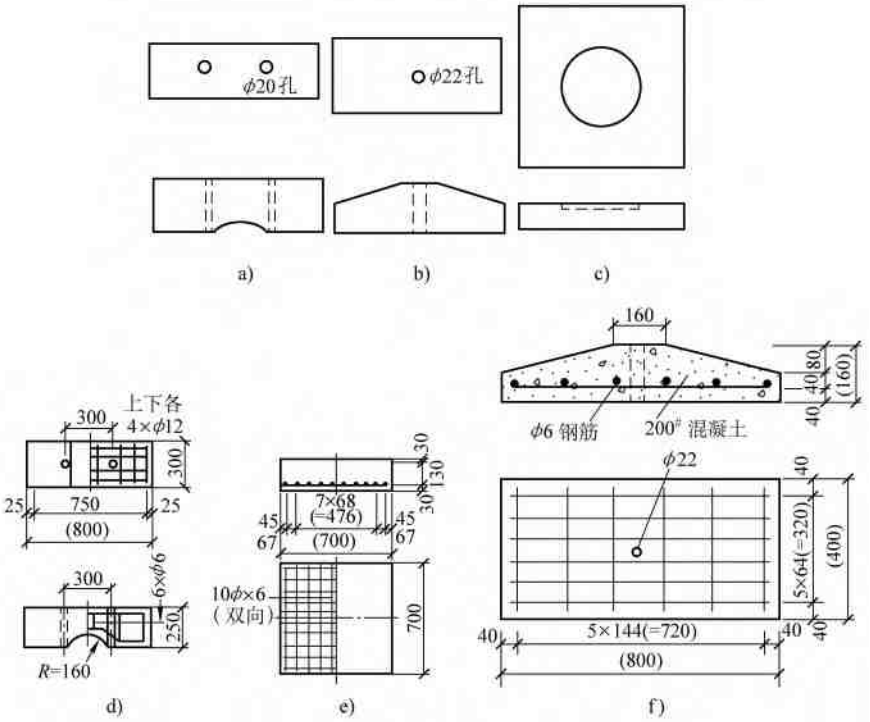


图 10-3 卡盘、拉盘、底盘示意图

a）卡盘 b）拉线盘 c）底盘 d）卡盘加工图 e）底盘加工图 f）拉线底盘加工图

（800×400×160 600×300×120）

杆多为水平排列。直线杆一般不设拉线，只有在线路很长时，才分段设置与线路方向垂直的人字拉线也叫防风拉线。直线段的直线杆又常有直线分支、轻型承力等几种有拉线的杆型。直线杆塔的类型结构见图10-4。

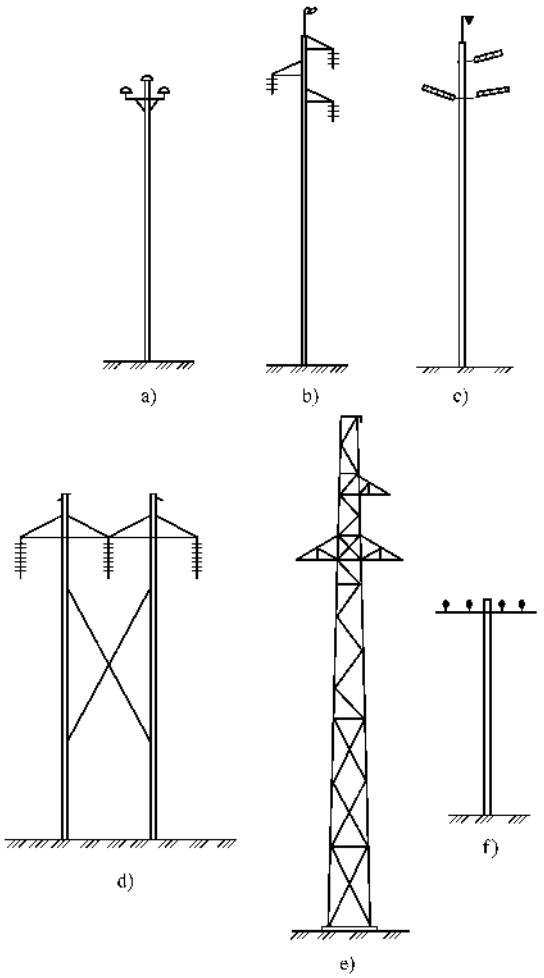


图 10-4　直线杆塔类型

a）10kV 直线杆　b）35kV 三角形排列直线杆　c）35kV 上字形排列瓷横担直线杆　d）110kV 水平排列直线杆　e）直线铁塔　f）低压直线杆

2. 耐张杆

耐张杆又叫承力杆，通常指直线段的耐张杆或小于5°（线路方向与导线方向所成的夹角）的转角杆。耐张杆承受的荷重基本上与直线杆相同，导线的张力在线路的两侧是相互抵消的，只有在事故时才承受非断线侧的拉力。设置耐张杆的目的是为了将线路分段，控制事故的范围，便于安装检修，或者专为承受两侧耐张段不平衡张力而设置的。因此，耐张杆必须设置拉线于杆的两侧。耐张杆塔的结构见图10-5和图10-6（耐张杆与转角杆结构基本相同，但耐张杆设在直线段，线路没有角度）。

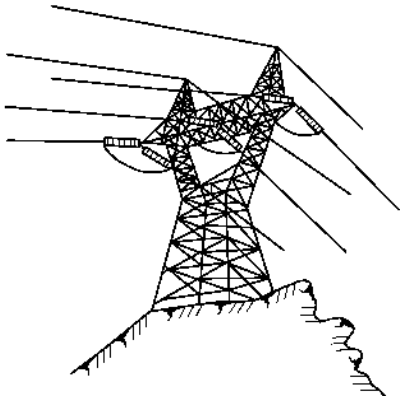


图 10-5　耐张杆塔示意图

3. 转角杆

线路需要改变送电方向于转角处的杆叫做转角杆。转角杆也属于耐张杆，两侧导线的张力呈平衡抵消，但应承受由于转角而产生的内角侧合力的拉力。该力的大小由转角的角度大小而定，为了平衡这个拉力，必须加强转角杆型的机械强度和材料，并在转角的反方向增设拉线，一般转角小于5°时可不设拉线。转角杆结构见图10-6。

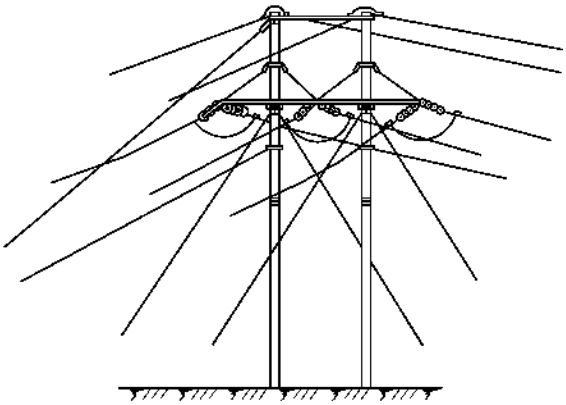


图 10-6　转角杆示意图

4. 终端杆

位于线路进出线两端的第一基杆叫终端杆，实际上也是耐张杆，所不同的是其一侧承受导线的拉力，另侧由拉线的拉力平衡。终端杆承受的拉力很大、杆及金具都必须加强。因此，终端杆一般都采用双杆、双横担或采用三根单杆，一杆一相，有时则采用铁塔，线路中的分支杆也是一种终端杆。

5. 跨越杆

架空线路的途径中若有与通信线路、其他电力线路、公路、铁路、河流、山谷等交叉架设时，位于上

述情形两端的第一基杆塔即为跨越杆，跨越杆必须符合规程规定的跨越要求。跨越杆的高度都比直线杆高，一般都设置拉线，杆型的强度也都加强，除跨距较小时外，跨越杆也是一种耐张杆，必要时要用双杆或铁塔组成。架空电力线路与各种设施交叉跨越的要求见表10-24。

表10-24 架空电力线路与各种工程设施交叉接近时的基本要求

编号	项目		一		二		三		四		五					六	
			铁路		道路		通航河流		弱电线路		电力线路/kV					特殊管道	铁索道
			标准轨距	窄轨	一、二级公路	三、四级公路	主要	次要	一、二级	三级	1以下	6~10	35~110	154~220	330		
1	导线最小面积		10、35kV线路：铝绞线及铝合金线为35mm²，其他导线为16mm²										0.38kV线路：铝绞线为16mm²				
2	导线在跨越档内的接头		不应接头	—	不应接头	—	不应接头	—	不应接头	—	—	—	—	—	—	不应接头	
3	导线支持方式		双固定		双固定	单固定	双固定	单固定	双固定	单固定	单固定	双固定	—	—	—	双固定	
4	最小垂直距离/m	项目 / 线路电压/kV	至轨顶		至路面		至50年一遇洪水位		交叉档有保护		至导线					电力线在上面	
			至承力索或接触线				至最高航行水位的最高船桅顶		交叉档无保护							电力线在下面	电力线在下面时至电力线上的保护设施
		0.38	7.5 3.0	6.0 3.0	6.0		6.0 1.0		1.0 3.0		1	2	3	4	5	1.5 1.5	
		10	7.5 3.0	6.0 3.0	7.0		6.0 1.5		2.0 4.0		2	2	3	4	5	3.0 不允许	2.0 2.0
		35	7.5 3.0	7.5 3.0	7.0		6.0 2.0		3.0 5.0		3	3	3	4	5	4.0 不允许	3.0 3.0
5	最小水平距离/m	项目 / 线路电压/kV	电杆外缘至轨道中心		电杆中心至路面边缘		与拉纤小路平行的线路，边导线至斜坡上缘		在路径受限制地区、两线路边导线间		在路径受限制地区，两线路外边侧导线间					在路径受限制地区至管道索道任何部分	
		0.38	交叉：5.0 平行：杆高加3.0		0.5		最高电杆高度		1.0		2.5	2.5	5.0	7.0	9.0	1.5	
		10	杆高加3.0		0.5		最高电杆高度		2.0		2.5	2.5	5.0	7.0	9.0	2.0	
		35	杆高加3.0		5.0		最高电杆高度		4.0		5.0	5.0	5.0	7.0	9.0	最高杆高	4.0

（续）

编号	项目	一		二		三		四		五					六	
		铁路		道路		通航河流		弱电线路		电力线路/kV					特殊管道	铁索道
		标准轨距	窄轨	一、二级公路	三、四级公路	主要	次要	一、二级	三级	1以下	6～10	35～110	154～220	330		
6	35kV线路邻档断线最小垂直距离/m	至轨顶6.0m		5.0		不验算		1.0		不验算					1.0	
7	备注					开阔地区的最小水平距离不得小于电杆高度		两平行线路在开阔地区的水平距离不应小于电杆高度		两平行线路在开阔地区的水平距离不应小于电杆高度					在路径不受限制地区与管索道的水平距离不应小于电杆高度	

6. 换位杆

由于导线在杆塔上的排列不同，一般会使导线相与相间的距离不尽相同，因此每相导线的感应阻抗、电压降也都不同。为了使其感抗、容抗相等，减小相邻近的平行电力线路的相互影响和对相邻近的平行通信线路的干扰，这就需要换位，也就是从某基杆起，三相中的两相对调一下位置。规程规定，在中性点直接接地的电网中，长度超过100km的线路、导线均应换位。导线换位一般在直线杆塔上进行，架空地线的换位，有时可选在耐张杆上进行。见示意图10-7。

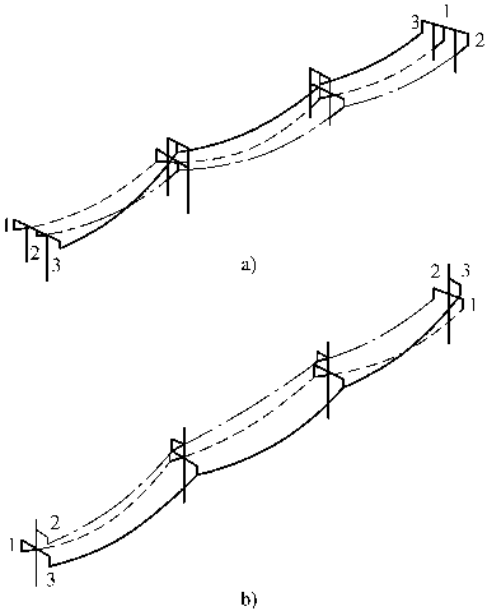


图10-7　换位杆示意图

a）双杆换位　b）单杆换位

7. 接户杆或进户杆

高压线路的终端杆即为接户杆或进户杆，也就是把电源引出或引入的杆塔。对于低压线路，除终端杆为接户或进户杆外，在线路中的任何一基杆都可能成为接户杆或进户杆，这是随用户决定的，接户或进户一般可在直线杆、转角杆、耐张杆上直接进行，有时则需要另加横担、立杆和拉线，这是根据进户的距离、导线的线径或接线的方便与否决定的。

上述不同杆型的区别及用途见表10-25。

表10-25　各种类型电杆的区别

杆型	用途	杆顶结构	有无拉线
直线杆	支持导线、绝缘子、金具等的重量，承受侧面的风力。直线杆占全部电杆数的80%以上	单担，针式绝缘子、或悬式绝缘子、或陶瓷担	无拉线
有拉线的直线杆	除一般直线杆用途外，尚有用于： （1）防止大范围歪杆； （2）用于不太重要的交叉跨越处	同直线杆，悬式绝缘子用固定式线夹	有侧面拉线，或顺档拉线

（续）

杆型	用途	杆顶结构	有无拉线
轻承力杆	防止绝缘子击穿后导线断落，用于一般的交叉跨越处	横担要加强，采用双绝缘子或双陶瓷担固定	有拉线
转角杆	用在线路转角处，承受两侧导线的合力	转角在30°以下，可采用双担双针式绝缘子；45°以上的采用悬式绝缘子耐张线夹；10kV及以下可采用蝶式绝缘子	有拉线反向拉线及反合力方向的拉线
耐张杆	能承受一侧导线的拉力，用于：（1）限制断线事故影响范围；（2）用于架线时紧线	双担、悬式绝缘子、耐张线夹或蝶式绝缘子	有四面拉线
终端杆	承受全部导线的拉力，用于线路的首端或终端	同耐张杆	有拉线反向拉线
分支杆及十字杆	用于10kV及以下由干线向外分支线处。向一侧分支的为丁字型；向两侧分支的为十字型	上下层分别由两种杆型构成	根据需要加拉线

三、术语及名词

1. 基

量词，采用单杆架设导线时，我们称作每一根杆（包括组装好的金具）为一基杆。采用双杆或三杆架设导线时，我们便称作每一组杆（两根或三根，包括组装好的金具）为一基杆。采用铁塔架设导线时，便称做为一个塔（包括组装好的金具）为一基塔。

2. 档距

相邻两基杆塔的水平距离叫档距。同一线路的档距不一定是相同的，不同电压等级的线路的档距参见表10-26。

表10-26 不同电压等级线路的档距

电压等级/kV	档距/m
35	150及以上
6～10	80～120
低压380/220V三相四线	50～60

3. 弧垂

也称垂度或弛度，通常指在平坦地面上，即相邻两基杆塔上导线悬挂点高度相同时，导线最低点与悬挂点间连线的垂直距离，见图10-8。如导线在相邻两基杆塔上的悬挂点高度不同时，基弧垂要分为两个，见图10-8。弧垂是表示导线所受拉力的量，弧垂越小拉力越大，反之拉力越小。弧垂一般由设计给出，但在安装中则常按表10-27中的数值进行调整。垂度是由档距、导线规格、材质、安全要求以及气候条件决定的，是安装架空线路不容忽视的一个重要的参数。

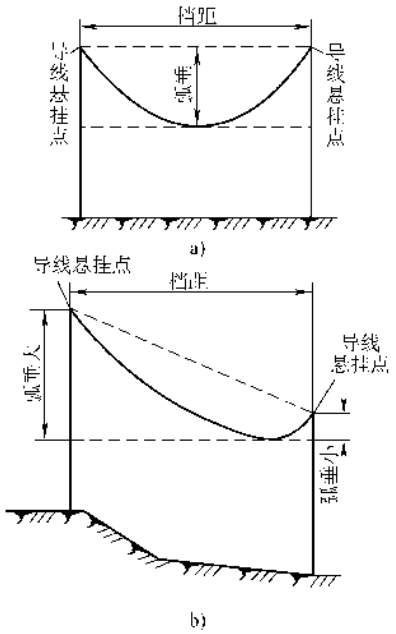


图10-8 导线弧垂示意图

4. 根开

线路采用双杆时，两杆中心轴线在地平位置的间距 d，见图10-9。

5. 迈步

双杆结构时，两杆中心轴面对横线路方向的扭转误差 C，见图10-9。

表 10-27　常用线路垂度表

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
	LJ-25, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
50	0.132	0.168	0.227	0.322	0.455	0.600	0.735
60	0.198	0.253	0.338	0.463	0.620	0.780	0.930
70	0.311	0.405	0.540	0.710	0.890	1.07	1.24
80	0.472	0.613	0.795	0.987	1.18	1.36	1.53
90	0.730	0.924	1.14	1.35	1.56	1.74	1.92
100*	1.70	1.90	2.11	2.29	2.45	2.61	2.76
	LJ-35, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
60	0.191	0.242	0.320	0.440	0.592	0.753	0.905
70	0.265	0.335	0.441	0.590	0.760	0.937	1.11
80	0.387	0.494	0.642	0.823	1.02	1.21	1.39
90	0.557	0.710	0.902	1.11	1.33	1.52	1.71
100	0.783	0.983	1.21	1.43	1.66	1.86	2.06
110	1.09	1.32	1.57	1.81	2.03	2.24	2.45
120*	2.22	2.44	2.66	2.86	3.06	3.24	3.44
	LJ-50, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
50	0.131	0.169	0.228	0.324	0.462	0.593	0.736
60	0.190	0.245	0.313	0.445	0.600	0.755	0.763
70	0.262	0.331	0.431	0.560	0.747	0.923	1.09
80	0.342	0.427	0.552	0.714	0.902	1.09	1.215
90	0.457	0.519	0.726	0.918	1.12	1.33	1.54
100	0.613	0.693	0.984	1.18	1.40	1.62	1.83
110*	1.31	1.55	1.78	2.01	2.22	2.43	2.61
120	1.70	1.95	2.19	2.42	2.65	2.85	3.13
	LJ-70, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
50	0.131	0.169	0.228	0.324	0.458	0.602	0.735
60	0.193	0.244	0.323	0.445	0.600	0.760	0.920
70	0.261	0.326	0.431	0.573	0.744	0.925	1.095
80	0.351	0.425	0.518	0.675	0.897	1.085	1.265
90	0.430	0.526	0.672	0.860	1.07	1.28	1.485
100	0.537	0.615	0.826	1.03	1.26	1.525	1.70
110*	1.04	1.27	1.51	1.75	1.97	2.19	2.39
120	1.35	1.60	1.86	2.10	2.34	2.56	2.78
	LJ-95, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
50	0.137	0.170	0.236	0.320	0.464	0.603	0.735

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
	LJ-95, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
60	0.192	0.242	0.328	0.443	0.586	0.670	0.891
70	0.268	0.345	0.437	0.570	0.754	0.927	1.09
80	0.349	0.446	0.56	0.725	0.911	1.11	1.295
90	0.426	0.527	0.668	0.844	1.18	1.26	1.44
100	0.555	0.670	0.838	1.04	1.26	1.485	1.695
150*	2.11	2.40	2.70	2.97	3.24	3.48	3.73
200	4.47	4.77	5.10	5.38	5.65	5.95	6.22
250	7.50	7.85	8.20	8.50	8.80	9.10	9.35
	LJ-120, $\sigma=6.4kg/mm^2$, $K=2.5$						
70	0.267	0.335	0.440	0.578	0.755	0.925	1.11
80	0.350	0.444	0.556	0.721	0.921	1.14	1.31
90	0.440	0.547	0.690	0.840	1.07	1.29	1.49
100	0.545	0.659	0.835	1.04	1.26	1.49	1.70
120*	1.04	1.26	1.52	1.76	2.06	2.30	2.46
150	1.57	1.85	2.14	2.43	2.71	3.00	3.26
200	4.05	4.40	4.74	5.03	5.35	5.63	5.90
250	7.28	7.65	7.93	8.25	8.55	8.85	9.15

注：1. 各型导线档距栏内，凡 * 号及以下弧垂的 $\sigma=5.34$，$K=3$；

2. 表 10-28 中，σ 表示导线应力，K 表示安全系数。

气象条件	温度/℃	风速/(m/s)
最大风速	-5	25
不覆冰		
最低气温	-20	0
最高气温	+40	0

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
	LGJ-35, $\sigma=9.6kg/mm^2$, $K=2.5$						
60	0.154	0.183	0.222	0.281	0.368	0.482	0.617
70	0.230	0.248	0.299	0.375	0.479	0.616	0.766
80	0.274	0.323	0.390	0.481	0.602	0.756	0.924
90	0.348	0.408	0.426	0.597	0.739	0.907	1.085

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
LGJ-35，$\sigma=9.6\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
100	0.434	0.511	0.611	0.741	0.904	0.109	1.285
120*	1.04	1.20	1.40	1.68	1.76	2.07	2.30
150	2.05	2.30	2.58	2.80	3.06	3.28	3.49
180	3.50	3.80	4.00	4.27	4.50	4.77	4.96
200	4.52	4.80	5.08	5.35	5.60	5.90	6.07
250	7.74	8.00	8.30	8.59	8.78	9.05	9.30
300	11.67	11.93	12.20	12.50	12.70	12.95	13.25
LGJ-50，$\sigma=9.6\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
60	0.157	0.185	0.224	0.284	0.370	0.467	0.622
70	0.215	0.254	0.309	0.386	0.497	0.631	0.781
80	0.283	0.330	0.399	0.493	0.619	0.775	0.940
90	0.358	0.409	0.513	0.592	0.690	0.977	1.13
100	0.437	0.513	0.610	0.743	0.900	1.115	1.275
150*	1.48	1.70	1.98	2.20	2.40	2.70	2.95
200	3.28	3.60	3.89	4.20	4.47	4.70	5.01
250	5.81	6.10	6.45	6.80	7.15	7.30	7.62
300	8.90	9.25	9.60	9.90	10.25	10.55	10.80
LGJ-70，$\sigma=8.3\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
70	0.248	0.290	0.370	0.47	0.60	0.73	0.90
80	0.324	0.370	0.475	0.60	0.75	0.90	1.08
90	0.412	0.465	0.590	0.73	0.90	1.09	1.27
100	0.505	0.565	0.710	0.88	1.08	1.26	1.46
120	0.73	0.80	1.01	1.25	1.48	1.68	1.88
150	1.29	1.50	1.73	1.92	2.25	2.48	2.75
180	1.96	2.25	2.65	2.97	3.20	3.50	3.80
200	2.77	3.08	3.40	3.76	3.93	4.20	4.58
250	4.92	5.08	5.60	5.95	6.05	6.45	6.90
280	6.50	6.89	7.19	7.60	7.80	8.03	8.50
300	7.65	8.00	8.36	8.85	9.10	8.95	9.70
LGJ-95，$\sigma=9.3\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
70	0.246	0.306	0.362	0.427	0.568	0.700	0.830
80	0.320	0.396	0.466	0.550	0.700	0.850	1.020
90	0.406	0.415	0.582	0.687	0.850	1.030	1.190
100	0.502	0.607	0.700	0.830	1.010	1.180	1.370

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
LGJ-95，$\sigma=9.3\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
120	0.720	0.855	0.98	1.15	1.34	1.54	1.68
150	1.130	1.250	1.50	1.70	1.93	2.18	2.40
180	1.785	2.020	2.22	2.52	2.72	3.01	3.30
200	2.260	2.520	2.80	3.14	3.32	3.64	3.99
250	3.930	4.250	4.66	4.95	5.33	5.60	5.92
300	6.120	6.500	6.86	7.24	7.79	7.93	8.30
LGJ-120，$\sigma=9.4\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
70	0.232	0.250	0.344	0.44	0.54	0.69	0.850
80	0.303	0.325	0.445	0.56	0.68	0.83	1.020
90	0.383	0.408	0.555	0.68	0.81	1.00	1.180
100	0.473	0.500	0.670	0.80	0.98	1.16	1.340
120	0.682	0.715	0.91	1.10	1.29	1.50	1.73
150	1.063	1.11	1.39	1.63	1.84	2.10	2.36
180	1.600	1.80	2.03	2.30	2.58	2.82	3.15
200	2.020	2.26	2.54	2.83	3.12	3.40	3.73
250	3.490	3.83	4.18	4.34	4.82	5.20	5.54
300	5.440	5.85	6.20	6.60	6.99	7.35	7.70
350	7.630	8.22	8.67	9.07	9.65	9.86	10.22

注：各型导线档距栏内，凡 * 号及以下弧垂的 $\sigma=7.91$，$K=3$。

气象条件	温度/℃	风速/(m/s)
最大风速	-5	25
不覆冰		
最低气温	-20	0
最高气温	+40	0

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-30	-20	-10	0	10	20	30
LGJ-35，$\sigma=10\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
80	0.40	0.50	0.65	0.70	0.80	0.90	1.15
100	0.45	0.55	0.70	0.80	0.95	1.10	1.30
120	0.60	0.71	0.77	1.03	1.25	1.41	1.65
140	0.93	1.12	1.30	1.50	1.75	1.93	2.15
160	1.50	1.72	1.90	2.14	2.36	2.62	2.78

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-30	-20	-10	0	10	20	30
LGJ-35，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
180	2.20	2.42	2.70	2.90	3.15	3.40	3.62
200	3.05	3.30	3.60	3.80	4.00	4.30	4.50
LGJ-50，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
80	0.35	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20
100	0.45	0.55	0.65	0.75	0.95	1.10	1.30
120	0.60	0.70	0.85	0.98	1.20	1.36	1.58
140	0.84	1.00	1.18	1.32	1.60	1.75	1.98
160	1.24	1.40	1.64	1.85	2.10	2.30	2.58
180	1.80	2.00	2.23	2.55	2.75	3.00	3.25
200	2.50	2.75	3.00	3.30	3.55	3.80	4.05
LGJ-70，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
80	0.35	0.48	0.57	0.65	0.80	0.95	1.10
100	0.40	0.53	0.64	0.75	0.92	1.08	1.25
120	0.55	0.64	0.75	0.95	1.15	1.35	1.50
140	0.74	0.78	1.10	1.24	1.45	1.58	1.85
160	1.05	1.24	1.45	1.65	1.85	2.10	2.30
180	1.46	1.65	1.85	2.10	2.40	2.64	2.90
200	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.30	3.68

气象条件	温度/℃	风速/(m/s)	冰厚/mm
最大风速	-5	30	0
覆冰	-5	10	5
最低气温	-40	0	0
最高气温	+40	0	0

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-30	-20	-10	0	10	20	30
LGJ-35，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
80	0.40	0.50	0.70	0.75	0.90	1.13	1.25
100	0.65	0.83	0.98	1.15	1.30	1.50	1.65
120	1.38	1.58	1.75	1.90	2.10	2.25	2.38
140	2.27	2.50	2.72	2.88	3.02	3.20	3.38
160	3.40	3.60	3.78	3.88	4.10	4.30	4.50

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-30	-20	-10	0	10	20	30
LGJ-35，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
180	4.63	4.85	5.04	5.20	5.40	5.52	5.75
200	6.05	6.25	6.45	6.60			
LGJ-50，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
80	0.43	0.50	0.55	0.65	0.80	0.95	1.10
90	0.48	0.55	0.65	0.75	0.90	1.05	1.20
100	0.55	0.68	0.83	0.95	1.08	1.25	1.40
120	0.95	1.15	1.32	1.50	1.70	1.85	2.00
140	1.70	1.85	2.05	2.25	2.45	2.65	2.77
160	2.50	2.75	2.95	3.15	3.35	3.60	3.75
180	3.60	3.80	4.05	4.25	4.50	4.65	4.85
200	4.75	5.00	5.20	5.40	5.60	5.80	6.00
LGJ-70，$\sigma=10kg/mm^2$，$K=2.5$							
80	0.25	0.30	0.40	0.50	0.65	0.75	0.95
100	0.38	0.45	0.58	0.70	0.87	1.00	1.15
120	0.68	0.76	0.90	1.15	1.27	1.34	1.64
140	1.15	1.30	1.48	1.74	1.90	2.14	2.30
160	1.82	2.02	2.24	2.48	2.70	2.90	3.10
180	2.65	2.85	3.08	3.35	3.55	3.80	3.95
200	3.58	3.85	4.05	4.30	4.52	4.75	4.95
LGJ-95，$\sigma=10.19kg/mm^2$，$K=2.75$							
80	0.30	0.40	0.50	0.65	0.75	0.90	1.05
100	0.42	0.55	0.63	0.75	0.90	1.08	1.25
120	0.65	0.75	0.86	1.00	1.20	1.38	1.60
140	0.90	1.10	1.20	1.35	1.60	1.80	2.03
160	1.35	1.53	1.72	1.86	2.16	2.40	2.65
180	1.95	2.15	2.40	2.55	2.85	3.15	3.38
200	2.68	2.90	3.13	3.35	3.65	3.90	4.13
LGJ-120，$\sigma=10.19kg/mm^2$，$K=2.75$							
80	0.38	0.50	0.60	0.70	0.80	1.00	1.20
100	0.46	0.56	0.68	0.80	1.00	1.15	1.32
120	0.60	0.70	0.80	1.00	1.23	1.43	1.68
140	0.85	1.00	1.14	1.35	1.55	1.78	1.98
160	1.20	1.36	1.58	1.80	2.07	2.27	2.47
180	1.67	1.82	2.22	2.40	2.65	2.90	3.14

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-30	-20	-10	0	10	20	30
LGJ-120，$\sigma=10.19\text{kg/mm}^2$，$K=2.75$							
200	2.29	2.52	2.80	3.12	3.40	3.65	3.90
LGJ-120，$\sigma=9.33\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
80	0.53	0.65	0.78	0.95	1.10	1.20	1.30
100	0.55	0.68	0.80	0.96	1.15	1.29	1.42
120	0.60	0.75	0.95	1.15	1.30	1.50	1.68
140	0.95	1.10	1.30	1.50	1.70	1.90	2.25
160	1.45	1.65	1.85	2.08	2.30	2.50	2.75
180	2.10	2.35	2.55	2.78	3.00	3.25	3.50
200	2.80	3.13	3.35	3.60	3.80	4.05	4.30
LGJ-150，$\sigma=10.19\text{kg/mm}^2$，$K=2.75$							
80	0.45	0.50	0.60	0.70	0.85	0.98	1.10
100	0.50	0.56	0.68	0.80	0.97	1.12	1.27
120	0.58	0.68	0.80	0.95	1.15	1.35	1.55
140	0.75	0.90	1.05	1.25	1.45	1.70	1.88
160	1.05	1.23	1.43	1.65	1.85	2.15	2.40
180	1.45	1.65	1.90	2.10	2.33	2.65	2.85
200	1.98	2.23	2.50	2.75	3.00	3.25	3.55
LGJ-150，$\sigma=9.33\text{kg/mm}^2$，$K=3$							
80	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	1.05	1.20
100	0.55	0.65	0.74	0.86	1.00	1.20	1.35
120	0.68	0.83	0.95	1.18	1.30	1.48	1.70
140	0.95	1.13	1.30	1.53	1.70	1.85	2.12
160	1.32	1.27	1.73	2.00	2.18	2.38	2.68
180	1.80	2.00	2.25	2.55	2.75	2.93	3.20
200	2.40	2.65	2.90	3.20	3.45	3.65	3.90

气象条件	温度/℃	风速/(m/s)	冰厚/mm
最大风速	-5	30	0
覆冰	-5	10	10
最低气温	-40	0	0
最高气温	+40	0	0

（续）

弧垂/m 温度/℃ 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
GJ-35，$\sigma=25\text{kg/mm}^2$，$K=4.8$							
200	1.76	1.91	2.08	2.20	2.30	2.48	2.70
300	4.70	4.90	5.17	5.40	5.65	5.90	6.18
350	6.67	7.08	7.35	7.60	7.80	8.10	8.35
400	9.20	9.50	9.75	10.10	10.35	10.60	
450	10.20	10.60	10.90	11.20	11.50	11.80	
500	12.90	13.20	13.60	13.90	14.20	14.60	
550	15.90	16.30	16.70	17.00	17.30	17.70	
600	19.30	19.60	20.00	20.40	20.80	21.00	
GJ-50，$\sigma=25\text{kg/mm}^2$，$K=4.8$							
200	1.67	1.80	1.95	2.10	2.28	2.42	2.62
300	4.28	4.50	4.75	4.95	5.28	5.50	5.76
350	6.12	6.37	6.70	7.00	7.20	7.47	7.80
400	8.30	8.60	8.95	9.20	9.50	9.75	10.10
450	9.65	9.98	10.30	10.60	10.95	11.25	11.55
500	12.20	12.50	12.80	13.00	13.50	13.90	14.20
550	15.00	15.30	15.70	16.00	16.40	16.70	17.10
600	18.10	18.50	18.90	19.30	19.60	19.90	20.30

气象条件	温度/℃	风速/(m/s)
最大风速	-5	25
不覆冰		
最低气温	-20	0
最高气温	+40	0

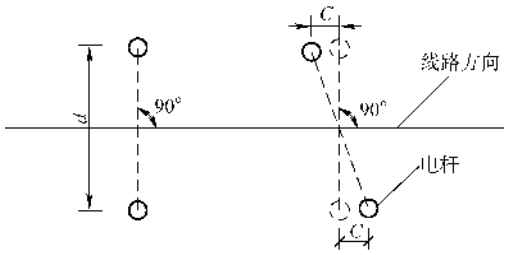


图 10-9 迈步示意图

6. 跨距或跨度

跨越杆间的水平距离。

7. 接引与接引线

线路与电源或与设备连接叫做接引；线路与电源

线的连接或与设备馈线的连接时的引线，叫做接引线，见图 10-10。

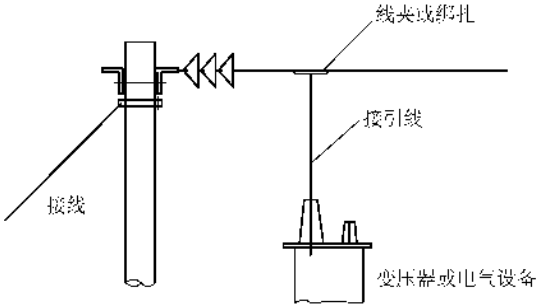


图 10-10　接引线示意图

8. 跨接及跨接线

耐张杆上两侧导线的连接叫做跨接；跨接时的连线叫做跨接线。跨接也叫过引，跨接线也做过引线，见图 10-11。

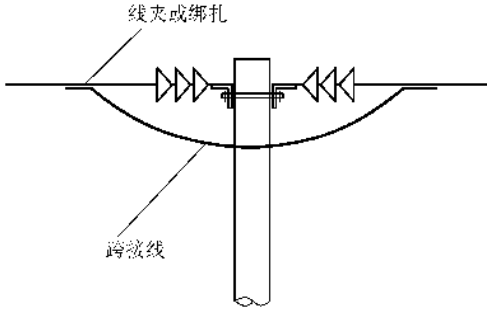


图 10-11　跨接线示意图

接引线和过引线都叫做跳线，跳线的弯曲应成活弯，且对地应有一定的安全距离。

9. 分坑

根据图样标注的尺寸或安装要求，按照主、副桩所表示的位置，在地面上用白灰划出挖坑的范围，交给挖坑人员开挖叫做分坑。

10. 排杆

将准备起立的杆或塔运到基坑并排列在起立的位置处。

四、总体要求

（一）总则

1）为了保证架空线路的安装质量，架空线路及装置的设计必须由具有相应资质的设计单位设计，并由具有相应资质的安装单位进行施工。

2）架空线路工程必须按照批准的设计文件和经相关方面会审的设计施工图施工，当确需变更时，应有设计单位出据的设计变更。

3）架空线路采用的设备、材料、器材应符合国家现行技术标准，有合格证件，生产商应有生产制造许可证，进入现场时应进行检验、试验验收。

4）架空线路的施工除符合规范要求外，尚应符合国家现行有关标准规范的规定，应按相应的电压等级与相应电压等级的规范标准对应。

（二）架空线路及杆上电气设备安装

1）电杆坑、拉线坑、塔基坑的深度允许偏差，应不深于设计坑深 100mm、不浅于设计坑深 50mm。

2）架空导线的弧垂值，允许偏差为设计弧垂值的 ±5%，水平排列的同档导线间弧垂值偏差为 ±50mm。

3）变压器中性点应与接地装置引出干线直接连接，接地装置的接地电阻值必须符合设计要求。

4）杆上变压器和高压绝缘子、高压隔离开关、跌落式熔断器、避雷器等必须按规范 GB 50150—2006 的规定交接试验合格。

5）杆上低压配电箱的电气装置和馈电线路交接试验应符合下列规定：

①　每路配电开关及保护装置的规格、型号，应符合设计要求；

②　相间和相对地间的绝缘电阻值应大于 0.5MΩ；

③　电气装置的交流工频耐压试验电压为 1kV，当绝缘电阻值大于 10MΩ 时，可采用 2500V 绝缘电阻表摇测替代，试验持续时间 1min，无击穿闪络现象。

（三）变压器、箱式变电所安装

1）变压器安装应位置正确，附件齐全，油浸变压器油位正常，无渗油现象。

2）接地装置引出的接地干线与变压器的低压侧中性点直接连接；接地干线与箱式变电所的 N 母线和 PE 母线直接连接；变压器箱体、干式变压器的支架或外壳应接地（PE）。所有连接应可靠，紧固件及防松零件齐全。

3）变压器必须按规范 GB 50150—2006 的规定交接试验合格。

4）箱式变电所及落地式配电箱的基础应高于室外地坪，周围排水通畅。用地脚螺栓固定的螺帽齐全，拧紧牢固；自由安放的应垫平放正。金属箱式变电所及落地式配电箱，箱体应接地（PE）或接零（PEN）可靠，且有标识。

5）箱式变电所的交接试验，必须符合下列规定：

①　由高压成套开关柜、低压成套开关柜和变压器三个独立单元组合成的箱式变电所高压电气设备部分，按规范 GB 50150—2006 规定交接试验合格。

②　高压开关、熔断器等与变压器组合在同一个密闭油箱内的箱式变电所，交接试验按产品提供的技

术文件要求执行。

③ 低压成套配电柜交接试验符合（二）、5）条的规定。

（四）架空线路的安装是一项技术复杂且条件受到多方限制的工程，因此安全性要求很高，这里列出安全要点，供施工参考或引用，见表10-28。

表10-28 架空线路安装安全要点

项目	安全规定
混凝土基础	1. 钢筋加工 （1）人工平直、切垛钢筋时，打锤人应站在扶垛人的侧面，锤柄应楔塞牢固 （2）弯曲钢筋的工作台应设置稳固，扳扣与钢筋应配套 2. 模板施工 （1）模板应用绳索和木杠滑入坑内 （2）模板的支撑应使用槽钢或方木。混凝土预制块做承力支柱时，不应多块叠放 （3）模板支撑应牢固，并应对称布置；高出坑口的加高立柱模板应有防止倾覆的措施 （4）拆除模板应自下而上进行；拆下的模板应集中堆放；木模板外露的铁钉应及时拔掉或打弯 3. 人工搅拌与浇筑 （1）人工搅拌混凝土的平台应搭设稳固、可靠 （2）浇筑混凝土或投放大石块时，必须听从坑内捣固人员的指挥 （3）坑口边缘0.8m以内不得堆放材料和工具 （4）捣固人员不得在模板或撑木上走动 4. 机械使用 （1）机电设备使用前应全面检查，确认机电装置完整、绝缘良好、接地可靠 （2）搅拌机应设置在平整坚实的地基上。装设好后应由前后支架承力，不得以轮胎代替支架 （3）搅拌机在运转时，严禁将工具伸入滚筒内扒料。加料斗升起时，料斗下方不得有人 （4）用手推车运送混凝土时，倒料平台口应设挡车措施；倒料时严禁撤把 5. 养护 （1）基础养护人员不得在模板支撑上或易塌落的坑边走动 （2）使用过氧乙烯塑料薄膜养护基础时，应有防火、防毒措施
预制基础	（1）用人力在坑内安装预制构件，应用滑杆和绳索溜放，不得直接将其翻入坑内。坑内不得有人，严防坑壁滑坡 （2）工器具和预埋吊环在使用前进行检查 （3）抱杆根部视土质情况与坑口保持适当距离，并采取防止抱杆倾倒及坑口塌落的措施 （4）吊件设控制绳。吊件临近坑口时，坑内不得有人 （5）作业人员不得随吊件上下
锚杆基础	（1）钻机和空压机操作人员与作业负责人之间的通信联络应清晰畅通 （2）钻孔前应对设备进行全面检查；进出风管不得有扭动，连接必须良好；注油器及各部螺栓均应紧固可靠 （3）钻机工作中如发生冲击声或机械运转异常时，必须立即停机检查 （4）装拆钻杆时，操作人员站立的位置应避开电动机回转机和滑轮箱 （5）风管控制阀操作架应加装挡风护板，并应设置在上风向 （6）吹气清洗风管时，风管断口严禁对人
桩式基础	1. 基本规定 （1）桩式基础的施工场地应平整，障碍物应清除，地基应满足桩机的荷重 （2）作业前应全面检查机电设备，电气绝缘和制动装置必须良好，传动部分应有防护罩 （3）钻机和打桩机运行时不得进行检修。紧急故障处理，必须断电停机 2. 打桩作业 （1）作业人员应听从统一指挥 （2）起吊速度均匀，被吊桩的下方严禁有人

（续）

项目	安　全　规　定
桩式基础	（3）吊装前应将桩锤提起，并固定牢靠 （4）打桩时如发现异常应停止锤击，将桩锤固定后，再检查处理 （5）停止作业或转移桩架时，应将桩锤放至最低位置 3. 灌注桩施工 （1）潜水钻机的电钻应使用封闭式防水电动机，接入电动机的电缆不得破损、漏电 （2）不得超负荷进站 （3）由专人收放电缆线和进浆胶管 （4）接钻杆时，应先停止电钻转动，后提升钻杆 （5）严禁作业人员进入没有护筒或其他防护设施的钻孔中工作 4. 人力钻孔预埋桩基础施工 （1）人力钻孔和机动绞磨机操作应设专人指挥，并密切配合 （2）提升钻杆时，有防止孔口坍塌的安全措施 （3）移动钻架和抱杆时，设专人指挥；抱杆临时拉线由专人控制 （4）操作时作业人员应注意防滑
杆塔工程 一般规定	（1）组立杆塔应设安全监护人 （2）非施工人员不得进入作业区 （3）组立铁塔时，应及时拧紧塔脚地脚螺栓，其垫片规格必须符合设计规定 （4）组立杆塔过程中，吊件垂直下方严禁有人 （5）作业现场除必要的施工人员外，其他人员应离开杆塔高度的 1.2 倍距离以外 （6）在受力钢丝绳的内角侧严禁有人 （7）使用卧式地锚时，地锚套引出方向应开挖马道，马道与受力方向应一致 （8）不得利用树木或外露岩石作牵引或制动等主要受力锚桩 （9）组立的杆塔不得用临时拉线过夜；需要过夜时，应对临时拉线采取安全措施 （10）临时拉线必须在永久拉线全部安装完毕后方可拆除，拆除时应由现场负责人统一指挥。严禁采用安装一根永久拉线、拆除一根临时拉线的做法 （11）调整杆塔倾斜或弯曲时，应根据需要增设临时拉线；杆塔上有人时，不得调整临时拉线 （12）拆除受力构件必须事先采取补强措施
杆塔工程排杆	（1）排杆处地形不平或土质松软，应先平整或支垫坚实，必要时应用绳索锚固 （2）杆段应支垫两点，支垫处两侧应用木楔掩牢 （3）滚动杆段时应统一行动，滚动前方不得有人；杆段顺向移动时，应随时将支垫处用木楔掩牢 （4）用棍、杠撬拔杆段时，应防止滑脱伤人；不得用铁撬棍插入预埋孔转动杆身
杆塔工程 地面组装	（1）组装场地应平整，障碍物应清除 （2）在成堆的角钢中选料应由上往下搬动，不得强行抽拉 （3）组装断面为宽大的塔身时，在竖立的构件未连接牢固前，应采取临时固定措施 （4）严禁将手指伸入螺孔找正 （5）传递小型工具或材料不得抛掷 （6）分片组装铁塔时，带铁应能自由活动，螺帽应出扣；自由端朝上时，应绑扎牢固

（续）

项目	安 全 规 定
杆塔分解组立	1. 施工准备 （1）吊装方案和现场布置应符合施工技术措施的规定 （2）工器具不得超载作用 （3）钢丝绳与铁件绑扎处应衬垫软物 （4）塔片就位时应先低侧后高侧；主材未全部连接牢固前，不得在吊件上作业 （5）铁件及工具严禁浮搁在杆塔及抱杆上 2. 临时拉线的设置 （1）使用钢丝绳；单杆（塔）不少于4根，双杆（塔）不少于6根 （2）绑扎工作由技术工人担任 （3）一根锚桩上的临时拉线不得超过2根 （4）未绑扎固定前不得登高 （5）钢筋混凝土门型双杆采用单杆起立时，临时拉线的布置不得妨碍另一根的起吊，亦不得妨碍高处组装横担 3. 用外拉线抱杆组立铁塔 （1）升降抱杆必须有统一指挥，四侧临时拉线应均匀放出并由技工操作 （2）抱杆垂直下方不得有人；塔上人员应站在塔身内侧的安全位置上 （3）抱杆根部与塔身绑扎牢固，抱杆倾斜角不宜超过15° （4）起吊和就位过程中，吊件外侧应设控制绳 4. 用悬浮内（外）拉线抱杆组立铁塔 （1）提升抱杆应设置两道腰环；采用单腰环时，抱杆顶部应设临时拉线控制 （2）起吊过程中腰环不得受力，控制绳应随时放松 （3）抱杆拉线应绑扎在塔身节点下方，承托绳应绑扎在节点上方，且紧靠节点处 （4）双面吊装时，两侧荷重、提升速度及摇臂的变幅角度应基本一致 5. 用坐地式摇臂抱杆组立铁塔 （1）抱杆组装应正直，连接螺栓的规格必须符合规定，并应全部拧紧 （2）抱杆应坐落在坚实稳固的基础上 （3）提升抱杆不得少于两道腰环，腰环固定钢丝绳应呈水平并收紧 （4）用两台绞磨时，提升速度应一致 （5）每提升一次、抱杆倒装一段，不得连续接两段 （6）抱杆升降过程中，杆段上不得有人 （7）抱杆吊臂上设保险钢丝绳；停工或过夜时，吊臂应放平 （8）吊装时，抱杆应由专人监视和调整 （9）拆除抱杆应事先采取防止拆除段自由倾倒的措施，然后逐段拆除；严禁提前拧松或拆除部分连接螺栓
杆塔整体组立	1. 施工准备 （1）起吊前，施工负责人必须亲自检查现场布置情况，作业人员应认真检查各自操作项目的现场布置情况 （2）总牵引地锚、制动系统中心、抱杆顶点及杆塔中心四点必须在同一垂直面上，不得偏移 （3）杆塔起立前应挖马道；双杆两个马道的深度和坡度应一致 （4）其他规定同分解组立的施工准备 2. 用人字倒落式抱杆起立杆塔 （1）两根抱杆的根部应保持在同一水平面上，并用钢丝绳相互连接牢固 （2）抱杆支立在松软土质处时，其根部应有防沉措施 （3）抱杆支立在坚硬或冰雪冻结的地面上时，其根部应有防滑措施 （4）受力后发生不均匀沉陷时，抱杆应及时进行调整

（续）

项目	安　全　规　定
杆塔整体组立	（5）起立抱杆用的制动绳锚在杆塔身上时，应在杆塔刚离地时拆除 （6）抱杆脱帽绳应穿过脱帽环由专人控制其脱落 （7）起立过程 （8）起立前杆塔螺栓必须紧固，受力部位不得缺少铁件。无叉梁或无横梁的门形杆塔起立时，应在吊点处进行补强，两侧用临时拉线控制 （9）杆塔顶部吊离地面0.8m时，应暂停牵引，进行冲击试验，全面检查各受力部位，确认无问题后方可继续起吊 （10）杆塔侧面应设专人监视，传递信号必须清晰 （11）采取有效的防风措施 （12）根部监视人应站在杆根侧面，下坑操作时应停止牵引 （13）倒落式抱杆脱帽时，杆塔应及时带上反向临时拉线，随起立速度适当放出 （14）杆塔起立约70°时应减慢牵引速度；约80°时应停止牵引，利用临时拉线将杆塔调正、调直 带拉线的转角杆塔起立后，在安装永久拉线的同时，应在内角侧设置半永久性拉线，该拉线只有在架线结束后方可拆除 （15）用两套倒落式抱杆同时起立门形杆塔时，现场布置和工器具配备应基本相同，两套系统的牵引速度应基本一致
杆塔倒装组立	（1）现场布置和工器具的选用必须按施工技术措施的规定进行。主要设备、工器具和主要受力锚桩除应按计算选用外，还应进行强度和稳定性试验 （2）现场应设统一的指挥系统，指挥信号必须畅通可靠。指挥台应设置能直接切断牵引设备电源的开关 （3）液压提升用的高低压油泵如设在塔身附近时，其上方应搭设保护棚 （4）接装塔段的落地位置应事先测定，并垫实、找平；塔段落地后不得偏移 （5）塔段吊离地面约20cm时，应暂停提升进行调平，使提升段保持正直并位于塔位中心后方可继续提升 （6）提升时的临时拉线，应由绞磨或卷扬机控制、拉力表监视；提升段的倾斜和偏移应由经纬仪监测 （7）提升系统滑车组的规格必须相同，穿绳方式和悬挂方向应对称；接挂时，牵引系统必须封牢 （8）提升合龙时，作业人员应站在塔身外侧，塔材相互碰撞或卡住时，应用撬棍拨正 （9）停工或过夜时，提升段应落地，并收紧操作拉线和保险拉线，封死绞磨。如提升段不能落地时，必须采取可靠的安全技术措施
起重机组塔	（1）司机应参加道路和桥梁的踏勘。施工前应清除障碍物，起重机工作位置的地基必须稳固 （2）起重机作业必须按安全施工技术规定进行；起重臂及吊件下方必须划定安全区，地面应设安全监护人 （3）整体吊装前应对铁塔进行全面检查，螺栓应紧固；起吊速度应均匀，缓提缓放 （4）分段吊装时，上下段连接后，严禁用旋转起重臂的方法进行移位找正 （5）分段分片吊装时，必须使用控制绳进行调整
强力放线准备	（1）牵引设备及张力设备的锚固必须可靠，接地应良好 （2）牵引段内的越线架结构应牢固、可靠 （3）通信联络点不得缺岗 （4）转角杆塔放线滑车的预倾措施和导线上扬处的压线措施必须可靠 （5）交叉、平行或临近带电体的接地措施必须符合安全施工技术规定 （6）导引绳、牵引绳的端头连接部位、旋转连接器及抗弯连接器在使用前应由专人检查；钢丝绳损伤、销子变形、表面裂纹等严禁使用 （7）导引绳、牵引绳的安全系数不得小于3 （8）吊挂绝缘子串前，应检查绝缘子串弹簧销是否齐全、到位。吊挂绝缘子串或放线滑车时，吊件的垂直下方不得有人

（续）

项目	安 全 规 定
强力放线牵引场布设	（1）使用专用的转向滑车，锚固必须可靠 （2）各转向滑车的荷载应均衡，不得超过允许承载力 （3）牵引过程中，各转向滑车围成的区域内侧严禁有人
强力放线牵引过程	（1）转角塔的预倾滑车及上扬处的压线滑车必须设专人监护 （2）牵引过程中，牵引绳进入的主牵引机高速转向滑车与钢丝绳卷车的内角侧严禁有人 （3）张力放线必须具有可靠的通信系统。牵引场、张力场必须设专人指挥 （4）展放的导引绳不得从带电线路下方穿过 （5）牵引时接到任何岗位的停车信号都必须立即停止牵引；张力机必须按现场指挥的指令操作 （6）导线或牵引绳的尾绳在线盘或绳盘上的盘绕圈数均不得少于6圈 （7）导线或牵引绳带张力过夜必须采取临锚安全措施 （8）旋转连接器严禁直接进入牵引轮或卷筒 （9）牵引过程中发生导引绳、牵引绳或导线跳槽、走板翻转或平衡锤搭在导线上等情况时，必须停机处理 （10）导引绳、牵引绳或导线临锚时，其临锚张力不得小于对地距离为5m时的张力，同时应满足对被跨越物距离的要求

五、开工条件、准备工作及施工组织设计

准确地讲，架空线路的安装技术难度较其他电气工程略低一点，但施工难度却远远大于其他电气工程，特别是在高原、山地、寒冷、炎热等自然条件恶劣的地区施工，更给施工带来了难以预料的困难。因此，架空线路的安装对项目经理，技术人员，施工人员的要求不仅是技术、技能，更重要的是人的敬业精神，职业道德水平、组织能力和团结互助的品德。

（一）开工条件

1）基础施工已完毕，并经检验、验收合格。

2）会审图纸已过，对图样中的一些问题三方已达成共识。

3）主要材料、设备已按进度计划到货。

4）路径复测已完毕。

5）与地方，农民用地协议及其他相关协议已签订。

6）庄稼已基本收割完毕。

7）施工组织设计已审批，准备工作已就绪。

8）资金到位。

（二）准备工作

1）主要施工人员，技术人员已确定，陆续进驻现场，并开始进行准备工作。

2）施工用机器、设备已检修到位，并开始运往现场。

3）工艺程序已确定，相关技术问题已解决。

4）部分材料已运到现场，并检验合格。

5）临建已开始搭建，相关的环保、卫生、文化娱乐、食住、饮水问题已基本解决。

6）准备交通工具、通信工具、医疗设施、常用药品、冬季取暖设施，夏季防雨装备等。

7）项目经理、工长、施工班长、技术负责人对路径进行实地观察，收集地形地貌和跨越资料，制定相关施工措施和安全措施。

8）组织施工人员学习、讨论施工方案，施工组织设计、标准规范，施工图样等技术文件，对疑难问题制定相应措施。

9）与建设单位、设计单位、监理单位、地方政府主管部门，村委会接触、沟通，吸纳多方建议和意见，确保顺利施工。

10）其他相关准备工作。

（三）施工组织设计到位情况

施工组织设计到位情况基本同前，详见第六章。但应按线路施工的实际情况落实施工组织设计的各项内容，做到万无一失、滴水不漏、防微杜渐，确保顺利施工。

第二节 架空线路路径的复测（测量）

在前文我们已经讲述了架空线路路径的测量及杆塔定位，同时设计也给出了非常详细的图样，也就是说图样已经标明了线路的路径及塔杆的位置及其杆型，这些图样是按地形标高不同标注的。当接到这些图样除了审核图样外，在开工前必须进行线路路径的复测，一方面是熟悉路径和地形，再一个就是补桩，把那些由于不明原因造成丢失的测量定位木桩重新测

量定位定桩，以利施工，因为木桩是架空线路最基本的依据。其实复测就是重新测量。

一、架空线路路径复测要求

1）组织施工员、技术员、测量工从线路的始点走到终点，不得有遗漏。

2）当原木桩找不到时，不要急于补桩，应极尽全力去找，最后确实找不到时才可以补桩。

3）复测时，使用的仪器、塔尺、标杆其精度应在标准要求范围以内。

4）复测的人员应具备线路测量、仪器使用的技能，并有吃苦耐劳的敬业精神。

5）复测应有完整记录，记录中应注明木桩的具体位置及周围标志性的物体，如树、小丘、巨石、井或泉等，应写明木桩与其距离和角度或偏角、方位，以便查找。

6）架空线路路径复测工作应在确定线路开工日后进行，且应一鼓作气，中间不得间断，最好是后面施工，前面测量，避免再次丢失，前功尽弃。

二、测量仪器及其使用

复测应使用经纬仪、水准仪、塔尺、标杆、半径，钢卷尺、望远镜、有条件的应有激光测距仪、激光水准仪表。

仪器的使用详见第二章相关内容。

三、线路测量及杆塔定位补桩

（一）有设计资料的测量定位

1. 设计资料的内容

设计资料一般给出了线路在地面上的起点、直线段的方位及距离、转角位置角度、交叉跨越的位置跨距以及终点等，同时用木桩表示线路的位置并以100m一个木桩表示线路的途径，也叫百米桩。但有时为了便于寻找，则把百米桩钉在了田埂、路边或有特殊标志便于识别寻找的地方，这样百米桩有时大于百米，而有时则小于百米。在地形高差变化在±0.5m以上时，则在开始变化处增钉木桩；遇交叉跨越其他线路时，则在交叉点处增钉木桩；交叉跨越河流、道路、山谷时，则在两边增钉木桩。木桩上用红漆标注了木桩的功能。地面上的木桩和图样上的桩位是一致的。钉木桩的位置示意图见图10-12。

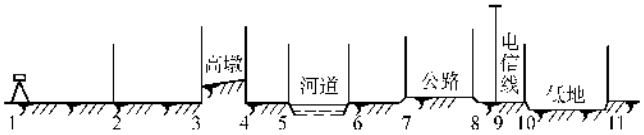


图10-12　钉木桩的位置示意图

有设计资料时，为安装测量带来了很多方便，但是由于木桩的丢失、农田的修整、设计测量的误差以及时间的推移等因素，有时在安装测量上也有很多麻烦。

因此，对于线路较长、地形复杂、交叉跨越较多的线路一般先派出一组人员，携带图样、木桩、大锤、布话机、罗盘、米绳、红漆毛笔等用具，从路线的起点开始，按线路路径一一复查木桩，凡丢失或移位的要进行补桩并标注功能，一直作到终点。在复查开始一天以后，测量及定位应立即开始。

2. 测量定位的方法

1）根据设计资料找到起点的木桩，有时为了测量的方便或进度，从某一直线段或耐张段的终点或始点开始测量。

在木桩的中心钉一小钉，同时安装经纬仪，以小钉为中心将经纬仪对中、整平。

2）用双筒望远镜搜寻线路方向500m左右的持杆员，令其将标杆直立于该处的百米木桩中心上，用杆尖在上面扎一小坑。在这以前持杆员应找到木桩。如原桩或补桩均已丢失，可向前或向后600m或400m处寻找其他木桩并将标杆直立于上面。

3）用经纬仪瞄准标杆，并指挥持杆员将标杆垂直立于木桩中心并保持稳定。

4）根据线路规定或设计给出的档距，用米绳测出第一基杆塔的大约位置（也可用百米桩加减距离测出），如该处不利于立杆，可向前向后移动，一般不超过5m，由持杆员将第二根标杆直立于大约位置上，然后用经纬仪瞄准并指挥其垂直立于第一根标杆与经纬仪中心所成的并已测好的直线上；准确无误后，即可在第二根标杆垂直立于地面上的点上垂直钉入一木桩，然后再将标杆垂直立于该木桩中心，重新用经纬仪观察，二根标杆应重合。

5）把标杆取下，在第一基杆塔的木桩中心（已由标杆铁尖扎上小坑）钉上一只小钉，并用红漆写上编号并标注功能符号。

6）用同样的方法再用另外一根标杆，在线路方向上钉上两只副桩，距离可用钢卷尺测出，见图10-13。

7）用上述方法可连续测出几基杆塔位置，当剩下距离不够一档距时，应将经纬仪前移至该段最末一

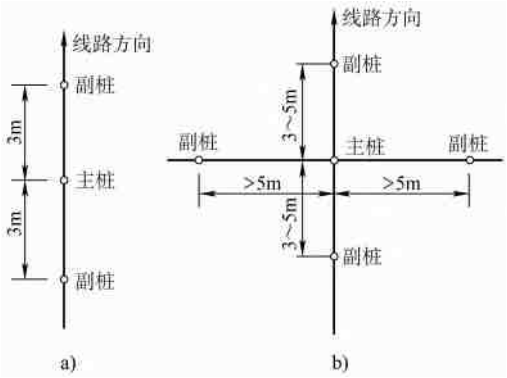


图 10-13 杆塔定位示意图

a）直线单杆定位图 b）直线双杆或直线塔定位图

基后 20～30m 处，以最末一基为准用经纬仪再测出第二个 500m 左右的百米桩，这样做能使第二个 500m 与第一个 500m 在同一直线上，见图 10-14。这时同样指挥第二个 500m 远处的持杆员，使标杆与第一个 500m 最末一基上的标杆重合，然后再进行定位测量，直到转角、耐张或终端。

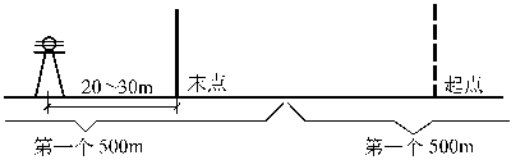


图 10-14 连续定位示意图

这里要说明一点，一个耐张段内各基杆塔的档距（除跨越外）应基本保持一致，一般误差为 ±5m。因此在定位前要按直线段的距离计算好标准档距。

3. 转角杆塔的测量定位

先将仪器安装在转角中心桩 A 处，瞄准转角前线路方向钉好副桩 B 和顺线桩 C，然后根据设计给出的转角度数及方位，转动经纬仪瞄准转角后线路方向钉好副桩 D 和顺线桩 E。这时应先在转角 A 处测出转角后 500m 处的标杆，如不到 500m 处有转角，应瞄准到转角标杆，再确定 D 和 E。最后平分内侧角，钉出转角内侧合力方向的下风桩 L 和转角外侧合张力方向上风桩 G 及副桩 F 和 H，见图 10-15。转角度数应与设计相符，如已超过 30′，则应根据前后各两个以上直线桩重新交角，重钉中心桩，并将其标注在原图上。转角的中心桩确定后不允许有任何移动。图中的数值可参考表 10-29。

（二）无设计资料的测量定位

线路较短、地势平坦、交叉跨越不多的条件下，可在无设计资料的情况下，一次性完成测量定位。

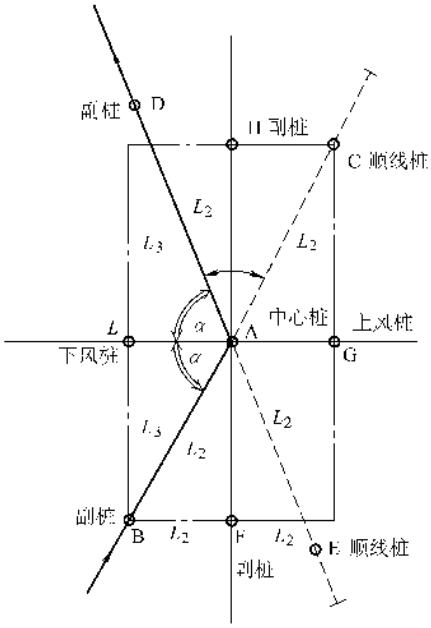


图 10-15 转角杆塔定位示意图

表 10-29 转角杆塔定位桩的距离

（单位：m）

杆塔种类		L_1	L_2	L_3
10kV	单、双杆	5	3	
	铁塔	8	5	5
35kV	单杆	5	3	
	双杆	10	5	5
	铁塔	15	5	5

1）根据掌握的地理资料及当地农民提供的现场条件资料，派出人员从确定的起点开始沿计划的路线大约行至 500m 处，并在这段内的转角处、交叉跨越处直至终点，分别插上标杆并在杆顶悬挂不同颜色的小旗，以示区别。一般只插到当天能测量完的地段，并由人看管，并用米绳测出距离，通知测量人员。

2）当第一根标杆竖起时，测量人员即开始计算挡距并用前述方法开始测量定位，直至将插好的标杆地段测完，然后继续插杆测量定位，直到全线测完。

（三）人工测量定位

10kV 及以下低压线路，耐张段、档距较小，杆型简单，单杆架设、在地理环境平坦的条件下可人工测量定位。

先将一标杆直立于被测直线段的起点上，另一标杆直立于被测直线段上距起点约 150m 的一点上，这两点和终点要保持在一条直线上。终点应是一面红旗，使其目标较大，而便于观察，与起点的距离由现

场条件而定，空旷平坦的路径时可远一点，地形复杂可近一点。然后按档距分别把其他标杆直立于150m段上，测量者可用肉眼或单筒望远镜观察并指挥持杆员，使其他标杆直立于150m段的直线上。这样即可在标杆直立处钉下木桩，可不钉副桩。

这第一150m段测完后，可将其他标杆移至前面约150m处，原150m处的标杆不动，使这两处的标杆与终点成线，然后即可用上述方法，在第二150m段上直立标杆进行定位。

转角处测量定位应在转角点A直立标杆，并在原线路上测出顺线桩C，然后在A点遥看转角处的终点M，并在其直线立标杆B，从B和A的直线上可定出顺线桩D，用钢卷尺测量使 $AD = AC$，把钢卷尺的两端固定在C点和D点，拉紧钢卷尺的中点E，E则为上风桩。同样用E、A直线可定出下风桩F。见示意图10-16。

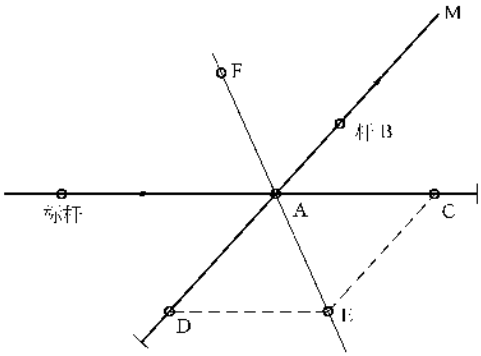


图10-16　人工转角定位

无论是仪器测量还是人工测量都要用到几何学里的知识，测量定位时可根据现场的实际情况，利用几何中平移、延长线、对顶角等知识，是可以圆满完成测量定位工作的。

第三节　基础工程

基础是指杆埋于地下部分的结构及铁塔立于地面时位于地下支撑部分的结构。其作用是使杆塔在运行中不下沉，不倾斜、不变形。水泥杆的基础包括杆坑、底盘、卡盘、堆土及拉线盘等。但在特殊的环境中上述的结构就不能满足需要，如泥塘、沼泽地、沙丘等，这样就要进行石方水泥加固处理。铁塔的基础一般为钢筋混凝土基础（现浇、预制）、金属基础或爆扩灌注式基础等。

水泥杆的基础工程是分两步进行的，先是在杆位、拉线位挖坑，然后在立杆时装设底盘、卡盘、拉线盘并填土完成基础。

铁塔和钢管杆的基础是在立塔前一次性完成的，包括挖土、支模板、浇注或水泥制件安装、填土而完成基础。

基础示意见图10-17。

一、土方工程

土方工程包括两个工序，划线和挖土。

1. 划线　也叫分坑，是根据定位的中心桩位和规定的挖坑尺寸，用白灰在地面上标出挖坑的范围，如不立即开挖还应沿白线挖出小沟以示开挖范围。

（1）单杆直线坑分坑　单杆直线坑分坑一般可用皮尺分坑，先将主、副桩用细铅丝连接起来并使其撑紧，在距主桩100～150mm处选择A点，将坑竖向宽度（给定尺寸）分为8等份，取其3份在铅丝连线上选择量出O点。然后将皮尺连续量出4份和5份，并把4份的起点固定在A点，5份的终点固定在O点，在4份终点处将其撑紧（利用勾股定理）即可定出B

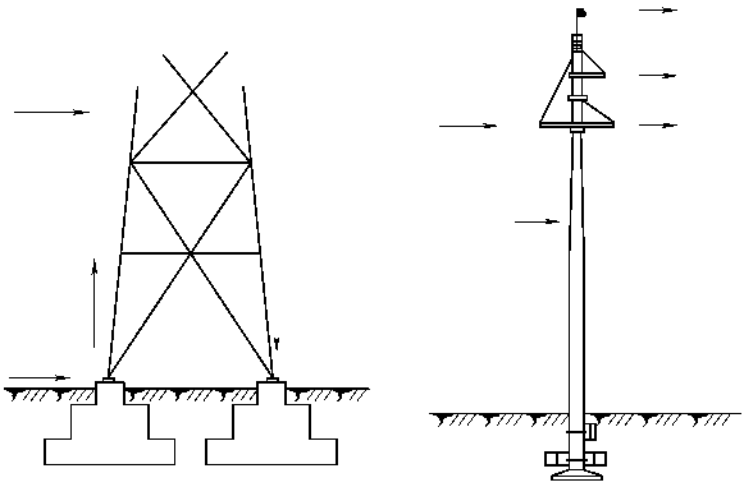


图10-17　塔杆基础及受力示意图

点，同样可定出 C 点，显然 BC 是垂直于 OA 的。用同样的方法即可定出 EF，所不同的是在定 E、F 时应根据坑的纵向长度将 O 点移至 O′，见图 10-18。同样方法可测出马道 MPRN。

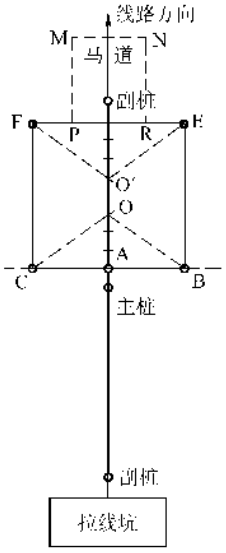


图 10-18　直线单杆的分坑示意图

如果有拉线坑，亦可将拉线桩与主桩用细铅丝拉紧，用皮尺测出拉线坑的距离（一般为杆长减去埋深，拉线与地面成 45°角），用上述方法即可进行分坑。这里要强调一点，用尺子分坑其必须撑紧撑直，尺寸必须保证准确，以减少误差。

（2）单杆转角坑的分坑　单杆转角坑的分坑要注意立杆的方向，要避开不利于立杆的方位，图 10-19 给出了示意图，方法基本同上。所不同的是主桩应位于坑的中心，为了立杆时观测的方便，可在坑边 100～150mm 以外线路的直线方向上钉两个立杆，便于观察的观测桩 A 和 B。再者转角杆有两个卡盘，其坑的尺寸要大一点。拉坑中心在顺线桩与主桩的连线上。

转角若为不对称横担，要按照规定先将原转角中心桩沿内侧角二等分线，向下风侧位移偏心距 a，然后将新中心桩当作主桩进行分坑，见图 10-20。偏心距 a 可按下式进行计算：

$$a=\frac{L-l}{2} \tag{10-1}$$

式中　a——偏心距（cm）；

L——横担长端悬挂导线中心线到杆中心（单杆）或双杆中心距离（cm）；

l——横担短端悬挂导线中心线到杆中心（单杆）或双杆中心距离（cm）。

（3）单杆分支坑的分坑　单杆分支坑（或直角

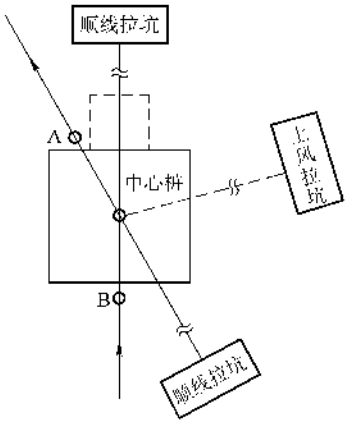


图 10-19　单杆转角坑的分坑

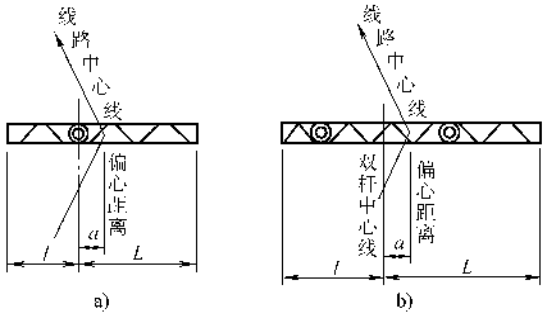


图 10-20　不对称横担转角杆中心桩的偏移

a）转角单杆　b）转角双杆

转角杆）的分坑基本同转角杆坑，同样应在原线路直线方向或拉线方向上钉两个立杆观测桩，见示意图 10-21。

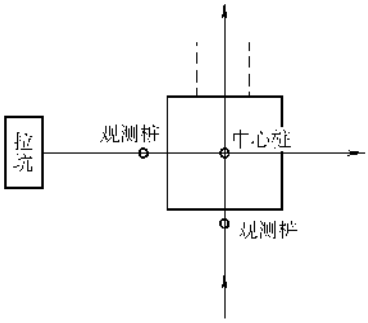


图 10-21　单杆分支坑或直角转角杆的分坑示意图

（4）双杆直线坑的分坑　双杆直线坑的分坑一般用皮尺进行，必要时可由经纬仪进行。先将顺线桩、中心桩及主坑中心、副桩连接细丝撑紧。设坑横向宽为 a，根开为 L，从中心桩向两侧分别量出 $\frac{L-a}{2}$ 和 $\frac{L+a}{2}$ 即可得 A、B、C、D 四点。将 a 分成 4 等份，取

其3份和5份的连续线按单杆分坑的方法即可定出MNHG四点，同理可定出M′N′H′G′四点。这时应在NH中点及N′H′中点外100～150mm处钉观测桩F和E、见图10-13和图10-22。

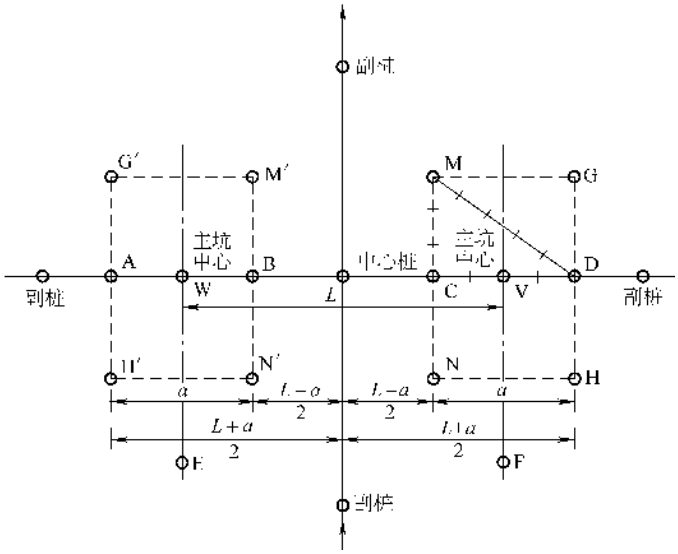


图10-22　双杆直线杆分坑示意图

（5）双杆转角坑的分坑　基本同双杆直线坑，但应以上风桩、中心主桩、下风桩的连线为中心线，按直线杆的方法从中心桩向两侧分别测量即可。见图10-15和图10-23。上风拉坑的中心在上风桩与中心桩的连线上。顺线拉坑的中心可用圆弧交叉法确定，见图10-23。先在中心桩“O”与顺线桩的连线上量出拉坑的距离，并确定A点，同时以A点为圆心，$L/2$为半径在顺线方向的两侧各画一段小圆弧。然后再分别以主坑中心为圆心，以OA为半径，在顺线方向上再画两个大圆弧分别与小圆弧相交于M、N，即为顺线拉坑的中心桩。所注意的是要把皮尺撑紧，中心固定牢固，地势凸起或有障碍物时应略加平整。

上述方法不能满足需要时，应用经纬仪进行分坑。将经纬仪安置在O点，瞄准主坑中心桩及上风副桩G，然后分别向左右转动α角度，即可瞄准顺线桩C和E，并根据拉线长度确定A′和A。再将经纬仪移至主坑中心，用上述的方法即可确定M、N、M′、N′点，这样即可确定拉坑位置，见图10-24。

（6）双杆终端坑的分坑　主坑基本与双杆直线相同，拉坑部分决定拉线的方式。

Y形拉线的拉坑在线路的中心线上即副桩、中心桩、副桩的连线上，见图10-22，按拉线长度量出主坑中心W、V到其连线的交点A即可，见图10-25。

π形拉线的拉坑一般可用皮尺测定，由图10-26可知，WO为$L/2$，WC设计给定，则$OC=\sqrt{WO^2+WC^2}$，

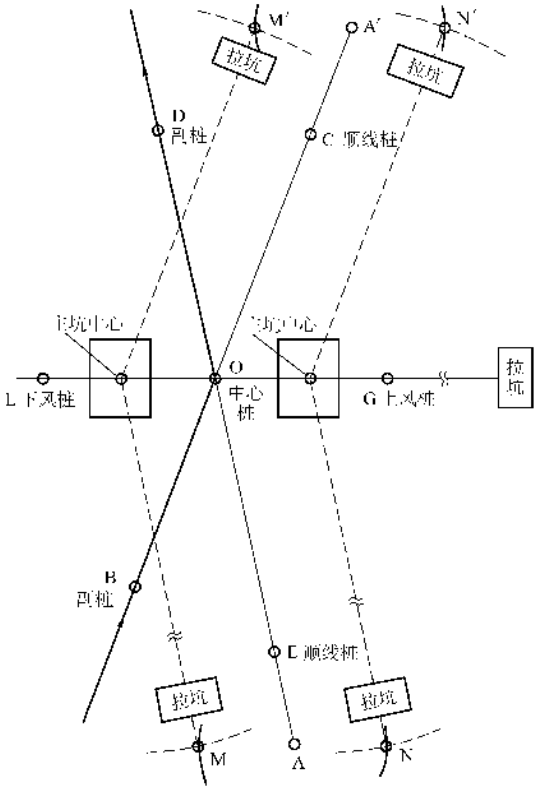


图10-23　双杆转角坑的定位示意图

这样利用勾股定理可定出 C 点和 D 点。

如有困难或障碍则可用经纬仪安置于 W 点、V 点，瞄准 WOV 直线后转动 90°，即可测定出 C 点、D 点。

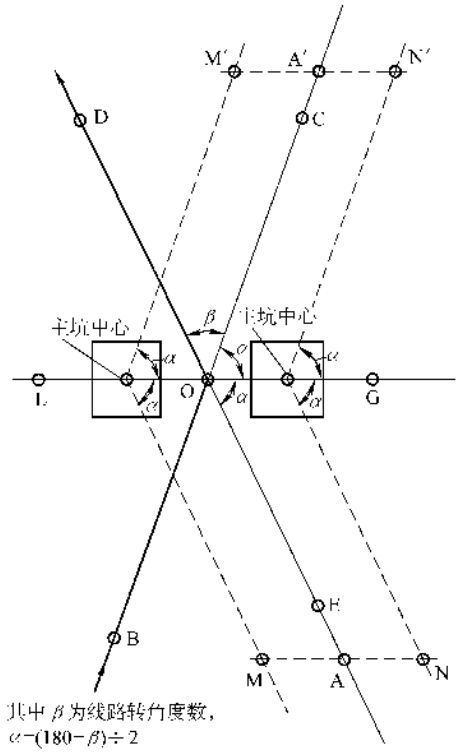


图 10-24 经纬仪的双杆转角的定位示意图

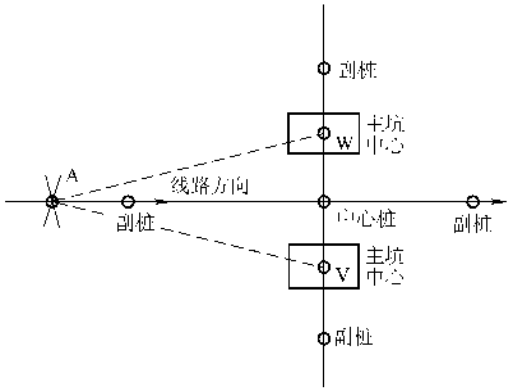


图 10-25 Y 形拉线坑的定位示意图

X 形拉线即交叉拉线，见图 10-27，先将顺线副桩、中心桩用细丝撑紧，量 OA = L，定出 A 点，AB = 给定值 − L。这样△WOA 和△CBA 相似，即有 $\frac{WO}{AO} = \frac{CB}{AB}$ 可求 $CB = \frac{WO \cdot AB}{AO} = \frac{L/2 \cdot (\text{定值} - L)}{L} = \frac{\text{定值} - L}{2}$，这样用勾股定理可决定 C 点和 D 点。如用经纬仪置于两个主坑中心 W、V 转动 arctan$L/L/2$ = arctan2 角度，也可定出 C 点和 D 点。

（7）方形铁塔基础分坑　铁塔基础分坑一般用经纬仪，同时测出四点的高差找平，见图 10-28。设基坑中心距离为 x，基坑边长为 a。

1）将经纬仪置于中心桩 O 点，先瞄准线路方向并测出垂直线路方向的副桩方向。

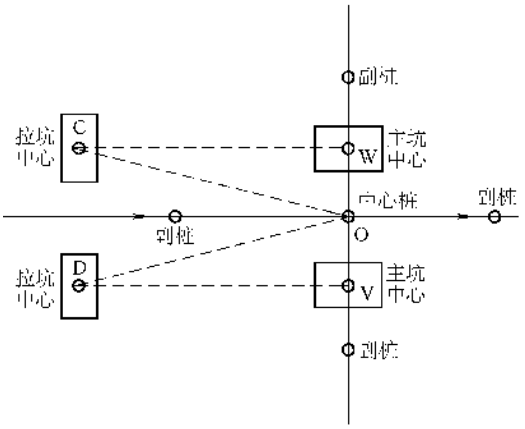


图 10-26 π 形拉线坑的定位示意图

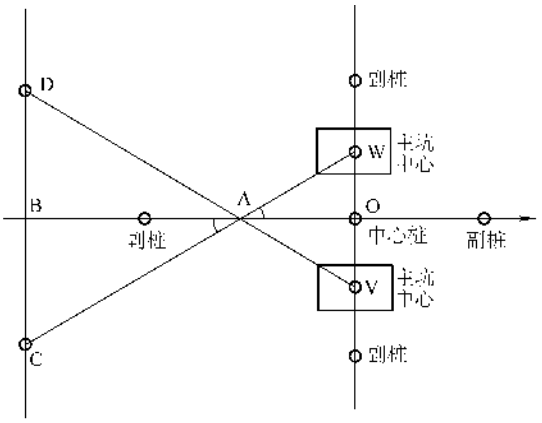


图 10-27 X 形拉线坑的定位示意图

2）将仪器转动 45°并钉上副桩 C，在 OC 上取 ON = 0.707（$x - a$），OM = 0.707（$x + a$）即可得 M、N 点。其中系数 0.707 是根据等腰直角三角形计算出来的。

3）用皮尺取 $2a$ 长，两端分别固定在 M、N 点，拉紧中点即可定出 P 点，同理得 Q 点，正方形 NQMP 即为一个基坑，同理可以定出其他三个基坑。

有时平坦地面处也可用皮尺直接分坑，见图 10-29。

先将中心桩和原线路副桩用细铅丝连起撑紧，以 O 为圆心，0.707（$x + a$）为半径画一圆。在细丝上

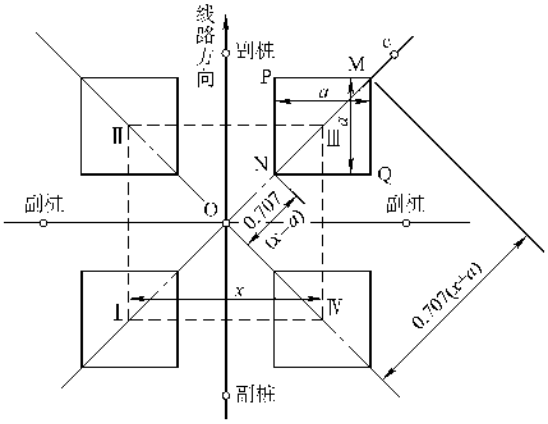


图 10-28　方形铁塔基础分坑示意图

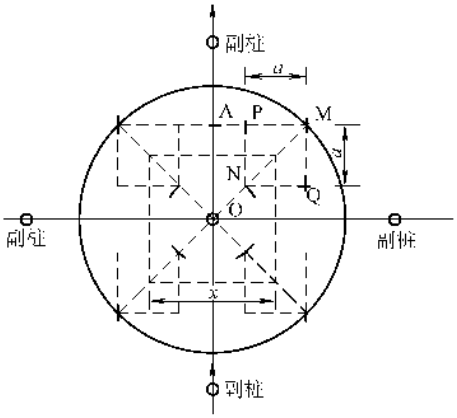


图 10-29　方形铁塔基础用皮尺分坑示意图

截取 OA 为 $a+\frac{x-a}{2}$，以其为半径、A 为圆心画弧交于圆周于 M，并连接 OM。然后在 OM 上截取 ON = 0.707（$x-a$），再用勾股方法定出 Q 和 P，其他同上。或者以 M 为圆心，a 为半径画弧，可在 MA 上取得 P，再分别以 M、N 为圆心，a 为半径画弧相交后得 Q。

为了基础的找平，顺便在每基坑的外侧定一标高木桩，木桩出地面约 300mm，用经纬仪找出水平线，然后用红漆标出，供支模板时使用。

（8）矩形铁塔基础分坑　设基坑边长为 a，基坑中心距为 x 和 y，见图 10-30。将经纬仪置于 O 点测出 AOB 和 COD 两条直线，并取 AO = BO = CD = DO = $\frac{1}{2}$（$x+y$）。将经纬仪置于 A 点测出 AD 并在上面截取 PD = 0.707（$y+a$），QD = 0.707（$y-a$），然后用勾股定理即可测得出基坑 NPMQ。同理可测得其他三坑。同样应测出标高。

如用皮尺分坑时先将 AOB 用细丝撑紧，并使 AO = BO = $\frac{1}{2}$（$x+y$）；然后取 1.414（$x+y$）并使其起点和终点固定在 A、B 点，撑紧其中点即得 D、反之得 C；再用细丝撑紧 AD、DB、BC 和 CA，尔后在 AD 上划弧截取 DQ = 0.707（$y-a$），DP = 0.707（$y+a$），可得 Q、P 点。再用勾股法或圆弧相交法可得 MN，见图 10-31。

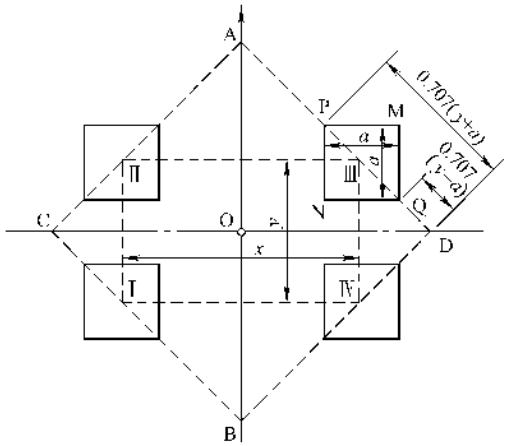


图 10-30　矩形铁塔基础分坑示意图

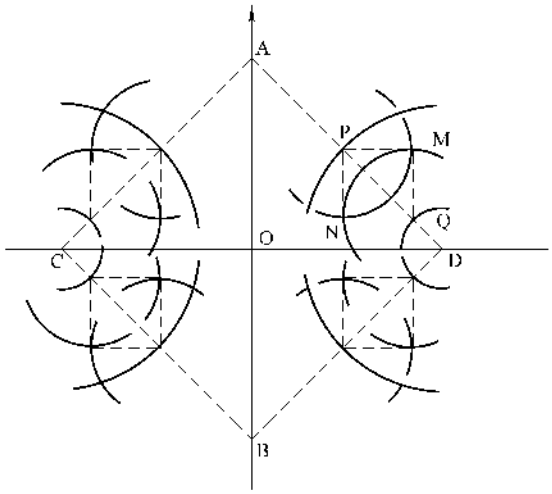


图 10-31　矩形铁塔基础用皮尺分坑示意图

铁塔基础除现场画线外，还应有基础工程施工图样，由电气人员提出，交土建专业设计绘制。

2. 挖土

挖土就是按照测定好的位置在画线的基础上把坑挖好，为立杆和支模浇注基础做好准备。

（1）挖土的注意事项

1）挖土最好在画线完后立即进行，避免误贻。

2）混凝土杆坑挖土前应根据立杆的方法确定有无马道及马道的方位。一般情况下，人工立杆、抱杆

滑轮组的半机械立杆应在杆体起立方向上由杆坑边挖出马道；吊车、汽车吊可不挖马道，但起吊高度应满足要求。

3）挖坑前应向挖坑的民工说明深度、宽度、长度、马道位置及尺寸，拉线底把位置、拉线底把沟的挖法、堆土位置及其技术要求等。有些安装者不注意这项工作，因而造成挖坑不符合要求，浪费工时及延误工期等。

4）挖坑人应按要求挖坑，不得随意更改尺寸和位置，不得挪动木桩。

5）直线杆坑顺线路方向的位移35kV线路不应超过设计档距的1%；10kV及以下线路不超过设计档距的3%；垂直线路方向不得超过50mm。转角杆坑的位移不得超过50mm。

双杆坑中心根开误差不得超过±30mm，坑深高差不得超过20mm。迈步误差小于±30mm。

6）坑深（电杆埋深）在设计无规定时应按表10-30中的数据选取。允许偏差为+100mm、-50mm。

表10-30 电杆埋设深度表

杆长/m	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	15.0
埋深/m	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.3

注：遇有土质松软、流沙、地下水位较高等情况时，应做特殊处理。

7）铁塔基础的几何尺寸应按设计给出的数据挖土，拉线基础的坑深，如设计未提出施工平面时，一般应以拉线基础中心的地面标高为基准。基础坑深允许误差为+100mm、-50mm、坑底应平整，双杆或铁塔同基基础坑在允许范围内按最深一坑操平。

8）拉线基础坑，深度不允许有负偏差，如超深后对拉线盘的安装位置与方向有影响时，其超深部分应填土夯实处理，以保证拉线对地夹角。

9）杆塔基础坑深与设计坑深偏差大于+100mm时，应按以下规定处理：

① 铁塔现浇基础坑，其超深部分应铺石灌浆；

② 混凝土电杆基础、铁塔预制基础、铁塔金属基础等，其超深在+100～+300mm时，应采用填土或砂、石夯实处理，每层厚度不宜超过100mm；遇到泥水坑时，应先清除坑内泥水后再铺石灌浆。当不能以填土或砂、石夯实处理时，其超深部分按设计要求处理，设计无具体要求时按铺石灌浆处理。坑深超过规定值+300mm以上时应采用铺石灌浆处理。城区外10kV及以下线路每层填土500mm并夯至原土密度，否则应铲去回填土，用铺石灌浆处理。回填后应在杆根培土，高度应高于地面300mm，且大于坑口面积。

10）对因丢失木桩、基坑误差相差较大的要进行重新测量定位。对土质不好且难以支固杆体的砂丘泥塘中的基坑，要备以石料、水泥砂子，进行混凝土灌浆加固处理。

（2）机械立杆坑型及几何尺寸 见图10-32。

以上尺寸为最小尺寸，a/b视土质而定，坚硬土壤为1.1，疏砂土为1.5以上。

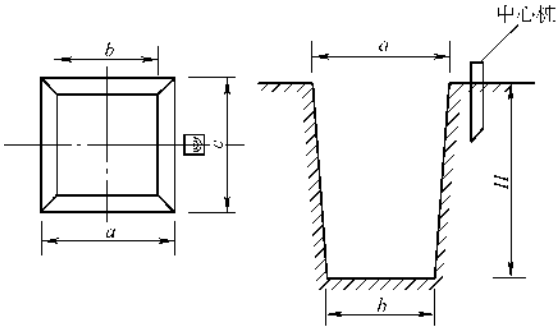


图10-32 机械立杆坑型示意图

a——坑口宽度≥卡盘长度+200mm；

b——坑底边长=底盘边长+200mm；

c——坑口长度≥2卡盘宽度+200mm；

H——坑深，见表10-31或由设计定。

（3）人工或半机械立杆坑型及几何尺寸见图10-33。

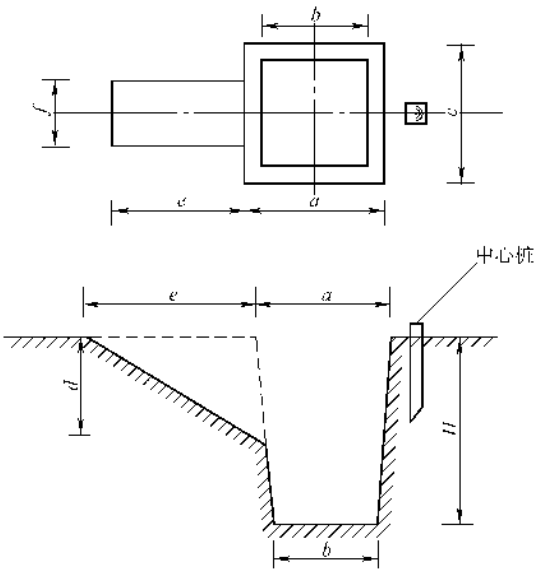


图10-33 人工或半机械立杆坑型示意图

a——坑口宽度≥卡盘长度+200mm；

b——坑底边长=底盘边长+200mm；

c——坑口长度≥2卡盘宽度+200mm；

H——坑深，见表 10-31 或由设计定；

d——马道深度，一般为 2/3H；

e——马道长度，一般为 1.0～1.5m；

f——马道宽度，一般稍大于杆径对准木桩即可；a/b 同机械立杆。

（4）拉线坑型及几何尺寸　见图 10-34。

水平拉线坑的尺寸由现场而定。

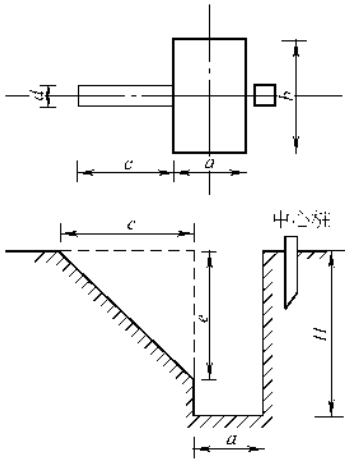


图 10-34　拉线坑型示意图

a——坑口宽度≥拉线盘宽度 +100mm；

b——坑口长度≥拉线盘长度 +100mm；

c——底把沟长，一般为 1.0～1.5m；

d——底把沟宽，≤150mm，对正木桩；

e——底把沟深≥$\frac{4}{5}H$；

H——坑深≥2.0～2.5m，由杆长而定；

二、铁塔及钢管杆基础的施工及验收

铁塔及钢管杆基础的施工一般由土建专业施工队完成，并执行《钢筋混凝土工程施工及验收规范》。

1. 现场浇制基础应注意以下几点：

1）模板内表面应平整，接缝应严密，不用模板进行浇制时，必须有防止泥土等杂物混入混凝土中的措施。支模时必须保护基础的设计尺寸。

2）地脚螺栓及预埋件的安装应牢固、位置准确，安装前应除去浮锈、螺纹部分涂裹黄油，并有防止碰撞螺纹的措施。一般常用稍大于螺纹直径的管套入，上面用螺母紧固好。

3）主角钢插入式基础的塔腿主角钢，应连同铁塔最下段结构组装找正，并加以临时固定，然后进行浇制，在浇制过程中应随时检查其位置。

4）混凝土的配比一般要根据材料来源及现场实际条件试验后确定，并应增加 15%～20% 的强度余量。

5）混凝土浇制必须保证质量，质量检查应符合下列规定：

①　坍落度：每班日或每个基础至少检查两次，其数值不得大于配合比设计的规定值；

②　配合比：材料用量每班日或每基基础至少检查两次，误差应控制在施工措施规定的范围以内，同时应严格控制水灰比；

③　强度：检查混凝土是否达到设计强度，要以试块为依据，试块的制作应符合下面的规定：

试块应在浇制现场制作，其养护条件与基础相同；试块的数量要按不同塔型、原料变化情况决定。

转角、耐张、终端和换位塔及直线转角基础，每基取一组；直线塔基础，同一施工班组每 5 基或不满 5 基取一组；单基或连续浇筑混凝土量超过 100m^3 时亦应取一组；原材料变化、配合比变更时，应另外制作一组。大跨超直线塔基础及拉线基础，每脚应取一组，当混凝土量不超过同一工程中大转角或终端塔基时，每基取一组。

6）混凝土养护应符合下列规定：

①　自浇注完后 12h 内，开始浇水养护，炎热、干燥有风天气为 3h 内开始养护。养护时应在基础表面加草袋遮盖，浇水的次数以保持混凝土表面湿润为宜。

②　一般养护时间为 7 昼夜，在特别炎热、干燥的地区应延长至 10 昼夜以上。一般条件下，应有一个月以后才能进行安装。

③　基础拆模后应立即回填土，并在地平外露部分加草袋，按规定期限继续浇水养护。如采用养护剂，必须在拆模后立即涂刷，涂刷后可不再养护。日均气温低于 5℃时不得浇水养护。

7）拆模时，应保证混凝土表面及棱角不受损坏，且强度不低于 2.5MPa。

8）浇制塔基尺寸的误差应不超过下列规定：

①　保护层厚度　－5mm

②　立柱断面尺寸　－1%

③　地脚螺栓偏移（对立中心）　≤10mm

④　地脚螺栓露出混凝土面高度　+10mm

9）浇制拉线基尺寸的误差应不超过下列规定：

①　断面尺寸　－1%

②　拉环中心在拉线方向的前后左右的偏移　1% L

L 为拉环中心至杆塔拉线圆点的水平距离。

③　拉环中心在基础上与设计位置的偏移 20mm。

10）铁塔基在填土夯实后，尺寸的误差不应超过表 10-31 的规定。

11）浇灌前要再次检查各部尺寸，对底脚螺栓相对尺寸要严格检查，浇灌中及结束后要复测螺栓间距，移动应在误差之内。

12）拆除模板后若有蜂窝或麻面应及时处理，先用清水冲洗表面，凿去摇动的石子并打毛表面，再用高一级标号的混凝土填入或用高一级标号的水泥砂浆抹补，然后要进行养护。

13）现场浇制混凝土一般不在冬季进行。

14）铁塔基础施工混凝土的标号一般为150～200号。

表10-31 整基铁塔基础尺寸允许偏差

误差项目		地脚螺栓式		主角铁插入式		高塔基础	拉线高塔基础
		直线	转角	直线	转角		
整基基础中心与中心桩间之位移	横线路方向/mm	30	30	30	30	30	30
	顺线路方向/mm	—	30	—	30	—	—
基础根开及对角线尺寸		±2‰		±1‰		±0.7‰	—
基础顶面间或主角钢操平印记间的相对高差/mm		5		5		5	—
整基基础的扭转/′		10		10		5	—

注：1. 转角塔基础的横线路方向系指内角平分线方向；顺线路方向系指转角平分线方向。

2. 基础根开系指同组地脚螺栓中心之间以及塔腿主角铁准线之间的距离。

3. 转角或终端塔的基础顶面在操平时，应使受压侧较高或按照设计要求。

4. 相对高差指地脚螺栓基础抹面后的相对高差或插入式基础的操平印记相对高差。转角/终端塔有预偏时，基础顶面相对高差不受5mm限制。

5. 高低腿基础顶面标高差指与设计标高之比。

6. 高塔指100m以上的铁塔。

2. 装配式预制基础安装时应注意以下几点：

1）底座与立柱连接的螺栓、铁件及找正用的垫铁，必须采取防腐措施。若采用浇制水泥砂浆防腐，应与现场浇制基础同样养护。电焊连接的铁件，焊好后应用沥青漆刷涂防腐。回填土前其接缝处应用防水涂料涂刷。

2）立柱顶部与塔脚连接部分需二次灌浆抹面垫平者，其砂浆强度应不低于立柱的混凝土强度，厚度不小于200mm并按规定进行浇制及养护。

3）钢筋混凝土枕条框架底座、薄壳底座及底盘底座等柱式预制基础安装时，应符合下列规定：

① 底座、枕条应安装平整，四周填土或碎石要夯实，并予以嵌固；

② 钢筋混凝土制件组装时不得敲打、不得强行组装；

③ 立柱倾斜允许用热镀锌垫铁调正，但每处不超过两片，总厚度一般不超过5mm，调平后立柱倾斜不应超过立柱高的1%。

④ 整基基础安装，在填土夯实后要按表10-32进行检查，并符合下列规定：

立柱倾斜不超过 1%

整基基础扭转不超过 10′

3. 金属基础及爆扩灌注式基础应按其施工验收规范进行施工

4. 混凝土杆基础安装、拉线坑基础安装见“立杆立塔及拉线组装”一节

5. 基础施工时有关接地装置安装的几点要求：

1）基础施工时应同时敷设接地装置，并随着基础的施工将接地极的接地引线引出至地平。

2）绑扎基础钢筋时，应在基础坑内距塔杆中心3～5m处将标地极打入地下，并出坑底100mm，然后测量其接地电阻，如果小于10Ω，则立即焊接镀锌扁钢，并将其伸出地平；如果大于10Ω，则应再打入第一支接地极，然后测量接地电阻，这两支接地极接地电阻值的并联值则是接地电阻，如果合格将引线引上即可。如果仍不合格应继续打入第三支，第四支…，直到合格为止。并联电阻可用下式计算：

$$\frac{1}{R_{并}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots+\frac{1}{R_n}$$

3）接地极，接地引线必须用镀锌产品，焊接处应涂沥清漆防腐。

4）接地极也可用基础主筋代替，但是这样做只有在基础浇注完毕且回填土全部夯实后才能测量。如果不合格，则应在基础处3m处挖沟，挖坑800mm深，重新布置接地极，然后用上述方法，直至接地电阻合格后，即可回填土夯实。最后将接地引线引出地面部分做好标记并要防护好，待立杆后再引至杆顶或直接与塔身、钢杆体连接。

6. 基础施工要点

（1）钻孔灌注桩基础

1）钻孔应符合下列规定：

① 孔径允许偏差： －50mm；

② 孔垂直度允许偏差：　<桩长1%；

③ 孔深　>设计深度。

2）钢筋骨架应符合设计要求，其制作允许偏差应符合下列规定：

① 主筋间距：　±10mm；

② 箍筋间距：　±20mm；

③ 钢筋骨架直径：　±10mm；

④ 钢筋骨架长度：　±50mm。

3）钢筋骨架安装前应设置定位钢环、混凝土垫块以保证保护层厚度。安装钢筋骨架时应避免碰撞孔壁，符合要求后应立即固定。当钢筋骨架重量较大时，应采取措施防止吊装变形。

4）水下灌注的混凝土必须具有良好的和易性，坍落度一般采用180～220mm。混凝土配合比应经过试验确定。

5）开始灌注混凝土时，导管内的隔水球位置应临近水面，首次灌注时导管内的混凝土应能保证将隔水球从导管内顺利排出并将导管埋入混凝土中0.8～1.2m。

6）随着混凝土的灌注，应适当提升和拆卸导管，导管底端应保持埋入混凝土1.5～2m，严禁把导管底端提出混凝土面。

7）水下混凝土的灌注应连续进行，不得中断。

8）混凝土灌注到地面后应清除桩顶部浮浆层，单桩基础可安装桩头模板，找正和安装地脚螺栓，灌注桩头混凝土。桩头模板与灌注桩直径应相吻合，严禁出现凹凸现象。地面以上桩基础应达到表面光滑、工艺美观。群桩基础的承台应在桩质量验收合格后施工。

9）灌注桩应按设计要求验桩。灌注桩基础混凝土强度检验应以试块为依据。试块的制作应每根桩取一组，承台及连梁应每基取一组。灌注桩基础整基尺寸的施工允许偏差，应符合表10-31的规定。

10）上述未作规定的应符合国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

（2）混凝土电杆基础及预制基础

1）混凝土电杆底盘的安装，应在基坑检验合格后进行。底盘安装后，其圆槽面应与电杆轴线垂直，找正后应填土夯实至底盘表面。其安装允许偏差应保证电杆组立后符合表10-48的规定。

2）混凝土电杆卡盘安装前应先将其下部回填土夯实，安装位置与方向应符合图纸规定，其深度允许偏差不应超过±50mm，卡盘抱箍的螺母应紧固，卡盘弧面与电杆接触处应紧密。

3）拉线盘的埋设方向应符合设计规定。其安装位置允许偏差应满足下列要求

① 沿拉线方向的左、右偏差不应超过拉线盘中心至相对应电杆中心水平距离的1%；

② 沿拉线安装方向，其前后允许位移值：当拉线安装后其对地夹角值与设计值之差不应超过1°，个别特殊地形需超过1°时，应由设计提出具体规定；

③ X型拉线的拉线盘安装位置，应满足拉线交叉处不得相互磨碰。

4）混凝土电杆基础设计为套筒时，应按设计图纸要求安装。其安装允许偏差应保证电杆组立后符合表10-48规定。

5）装配式预制基础的底座与立柱连接的螺栓、铁件及找平用的垫铁，必须采取有效的防锈措施。当采用浇灌水泥砂浆时，应与现场浇筑基础同样养护，回填土前应将接缝处以热沥青或其他有效的防水涂料涂刷。

6）立柱顶部与塔脚板连接部分须用砂浆抹面垫平时，其砂浆或细骨料混凝土强度不应低于立柱混凝土强度，厚度不应小于20mm，并应按规定进行养护。现场浇筑基础二次抹面厚度应符合本条规定。

7）钢筋混凝土枕条、框架底座、薄壳基础及底盘底座等与柱式框架的安装

① 底座、枕条应安装平整，四周应填土或砂、石夯实；

② 钢筋混凝土底座、枕条、立柱等在组装时不得敲打和强行组装；

③ 立柱倾斜时宜用热浸镀锌垫铁垫平，每处镀锌垫铁不得超过两块，总厚度不应超过5mm，调平后立柱倾斜不应超过立柱高的1%。设计本身有倾斜的立柱，其立柱倾斜允许偏差值是指与原倾斜值相比。

（3）岩石基础

1）岩石基础施工时，应根据设计资料逐基核查覆盖土层厚度及岩石质量，当实际情况与设计不符时，应由设计单位提出处理方案。

2）岩石基础的开挖或钻孔

① 岩石构造的整体性不受破坏；

② 孔洞中的石粉、浮土及孔壁松散的活石应清除干净；

③ 软质岩成孔后应立即安装锚筋或地脚螺栓，并浇灌混凝土，以防孔壁风化。

3）岩石基础锚筋或地脚螺栓的埋入深度不得小于设计值，安装后应有临时固定措施。

4）混凝土或砂浆的浇灌

① 浇灌混凝土或砂浆时，应分层浇捣密实，并应按现场浇筑基础混凝土的规定进行养护；

② 孔洞中浇灌混凝土或砂浆的数量不得少于施工技术设计的规定值；

③ 对浇灌混凝土或砂浆的强度检验应以试块为依据，试块的制作应每基取一组；

④ 对浇灌钻孔式岩石基础，应采取措施减少混凝土收缩量。

5）岩石基础的施工允许偏差

① 成孔深度不应小于设计值；

② 成孔尺寸：

对嵌固式应大于设计值，且应保证设计锥度；

对钻孔式的孔径允许偏差：$^{+20\text{mm}}_{0}$。

③ 整基基础的施工允许偏差应符合表 10-31 规定。

（4）冬期施工

1）当连续 5 天室外平均气温低于 5℃时，混凝土基础工程应采取冬期施工措施，并应及时采取气温突然下降的防冻措施。

2）冬期施工应符合国家现行标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ 104 的规定。

3）冬期钢筋焊接，宜在室内进行，当必须在室外焊接时，其最低气温不宜低于 -20℃，并应符合国家现行标准《钢筋焊接及验收规范》JGJ 18 的规定。焊后的接头严禁立即碰到冰雪。

4）配制冬期施工的混凝土，应优先选用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。水泥强度等级不应低于 42.5，浇筑 C15 强度等级混凝土时，最小水泥用量不宜少于 300kg/m^3，水灰比不应大于 0.6。

5）冬期拌制混凝土时应优先采用加热水的方法，水及骨料的加热温度不得超过表 10-32 的规定。

表 10-32 拌合水及骨料最高温度（℃）

项　　目	拌合水	骨料
强度等级小于 52.5 普通硅酸盐水泥	80	60
强度等级等于及大于 52.5 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥	60	40

注：当骨料不加热时，水可以加热到 100℃，但水泥不应与 80℃以上的水直接接触，投料顺序为先投入骨料和已加热的水，然后再投入水泥。

6）水泥不应直接加热，宜在使用前运入暖棚内存放。混凝土拌合物的入模温度不得低于 5℃。

7）冬期施工不得在已冻结的基坑底面浇筑混凝土，已开挖的基坑底面应有防冻措施。

8）拌制混凝土的最短时间应符合表 10-33 的规定。

9）冬期混凝土养护宜选用覆盖法、暖棚法、蒸汽法或负温养护法。当采用暖棚法养护混凝土时，混凝土养护温度不应低于 5℃，并应保持混凝土表面湿润。

表 10-33 搅拌混凝土的最短时间（s）

混凝土塌落度/cm	搅拌机机型	搅拌机容积		
		<250	250～650	>650
≤3	自落式	135	180	225
	强制式	90	135	180
>3	自落式	135	135	180
	强制式	90	90	135

注：表中搅拌机容积为出料容积。

10）掺用防冻剂混凝土养护

① 在负温条件下养护时，严禁浇水，外露表面必须覆盖；

② 混凝土的初期养护温度，不得低于防冻剂的规定温度；

③ 模板和保温层在混凝土达到要求并冷却到 5℃后方可拆除，当拆模后混凝土表面温度与环境温度之差大于 15℃时，应对混凝土采用保温材料覆盖养护。

11）冬期施工混凝土基础拆模检查合格后应立即回填土。采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥配制的混凝土，在受冻前抗压强度不应低于混凝土强度设计值的 30%。

三、基础质量控制及验收

基础为隐蔽工程，施工时必须做好施工过程的质量控制，并随时纠正出现的不合格之处，并由质检员和监理检验，合格后才能进行下一步施工。基础质量控制主要有以下几点：

1）钢筋的规格，材质必须由检测部门出据的合格证明及检验化验报告。

2）水泥的规格，标号及砂、石、水必须由质检员和监理工程师认可签证。

3）混凝土必须做试块检验试验，并由检验部门出据合格证明及检验化验报告。

4）混凝土浇注质检员或监理应在场，混凝土振捣应符合要求。

5）基础一般应连续浇注，有条件的应使用商品混凝土，一般不采用现场搅拌。

6）基础浇注应及时回填夯实，回填夯实应有质检人员或监理在场。

7）养护过程应有质检员或监理监督。

8）安装前应进行总体验收。

基础浇注及施工质量控制监理要点见表 10-34。

表 10-34　基础通用项目施工监理要点一览表

分部（项）工程	监理作业项目		监理要点	监理方式
施工测量和定位放线	施工测量	测桩设置	埋设	停工待检与现场见证
		测桩测量	桩位坐标、高程	停工待检与旁站见证
	定位放线	龙门板设置	设置的稳定	停工待检，现场见证与旁站见证
		平面控制桩	准确性	
		高程控制桩	准确性	
	厂外测桩控制	管线控制桩	桩位、标高、高程	停工待检、旁站见证
		灰场控制桩		
		道路控制桩		
		国家大地控制桩资料	验证来源	旁站见证
土石方及爆破工程	一般项目	定位桩设置测量	定位高程、坐标	停工待检、现场见证及旁站见证
		挖方	验槽	停工待检、旁站见证
		填方	密实度	现场见证与旁站见证
		爆破	按方案	停工待检
	挡土墙	定位及高程控制	定位、坐标、高程	停工待检与旁站见证
		挖方	验槽	停工待检与旁站见证
		填方	密实度	停工待检
		基础	工序、材料、质量	停工待检与现场见证
		上部结构	材料质量、砂浆、密实	现场见证
	防洪堤沟	定位及高程控制	定位高程	停工待检与旁站见证
		挖方	验槽、坡度	停工待检
		填方	密实度	现场见证
		砌体	材料、砂浆、密实	现场见证
地基与基础工程	定位及高程控制		定位、高程	停工待检
	挖方		验槽	
	填方		密实度	
	灰土地基		材料、工艺	现场见证
	砂和砂石地基			
	旋喷地基			
	重锤夯实地基		工序	
	强夯地基			
	振冲地基			
	砌体地基		工艺、材料	
	砌石地基			
	钢管桩	制作	材料、尺寸	
		打桩		

（续）

分部（项）工程	监理作业项目		监理要点	监理方式
地基与基础工程	混凝土灌注桩	成孔	验孔	文件签证与旁站见证
		钢筋	符合图纸要求	停工待检与文件签证
		混凝土	工序、配合比	现场见证与旁站见证
	混凝土控制桩	模板	材料、偏差	现场见证
		钢筋	符合图纸要求	停工待检与文件签证
		混凝土	工序、配合比	旁站见证
		打桩	偏差控制	旁站见证
地下防水混凝土	地下防水层	水泥掺和防水剂、粉	工序、材料	现场见证与旁站见证
		卷材类、橡胶类、沥青类	工序、材料	
	防水混凝土	掺和料	材料	
		浇注	配合比、工序	
砌体工程	砂浆		配合比、原材料	现场见证
	砌筑		搭接、插筋、留孔、工序	
混凝土工程	模板	模板	尺寸、标高、轴线	
		支撑	牢固	停工待检、文件签证与旁站见证
	钢筋		材料、规格、排列	
	混凝土		配合比、材料、工序	旁站见证
钢结构工程	钢构件制作	单层钢柱	材料、尺寸、焊接	停工待检、文件签证与旁站见证
		焊接实腹梁		
		桁架		
		墙架、联结构件		
		平台、梯、栏杆		
		网架		停工待检与文件签证
		金属压型板		

第四节　运送器材

架空线路器材的运输是一项复杂的系统工程，特别是在线路距离较长、电压等级较高、气候条件恶劣、地理环境复杂的条件下，在整个工程中占有很重要的地位。运送器材必须做到，质量的可靠、数量的准确、时间的及时，运输的安全，型号规格与设计相符等。运送器材主要包括器材的检查、运输装卸、分发、保管等内容。

一、器材的检查、验收及组织管理

（一）特点

（1）重量大　水泥杆单体重量最大为1t多，每轴导线单体重量最大为几吨重；线路较长时35kV线路的运输量达几百吨上千吨。这给车辆、道路、安全、运输方法等方面都提出了重要的课题。

（2）种类多　据不完全统计，35kV线路使用的器材达百余种，且部件有大有小，同类器材规格不同，又有易碎的电瓷件，分发保管具有一定的难度。

（3）时间性强　器材的运输要根据工程的进度进行，应在不同的时间内分别按安装使用的先后次序运到指定杆基，要避免混淆、损坏和丢失。

（4）分散性大　器材运输总体上呈线性运输，但

从集散站到每个坑位又为放射性运输，又要根据当地的道路情况，尽量走捷径，见图 10-35。

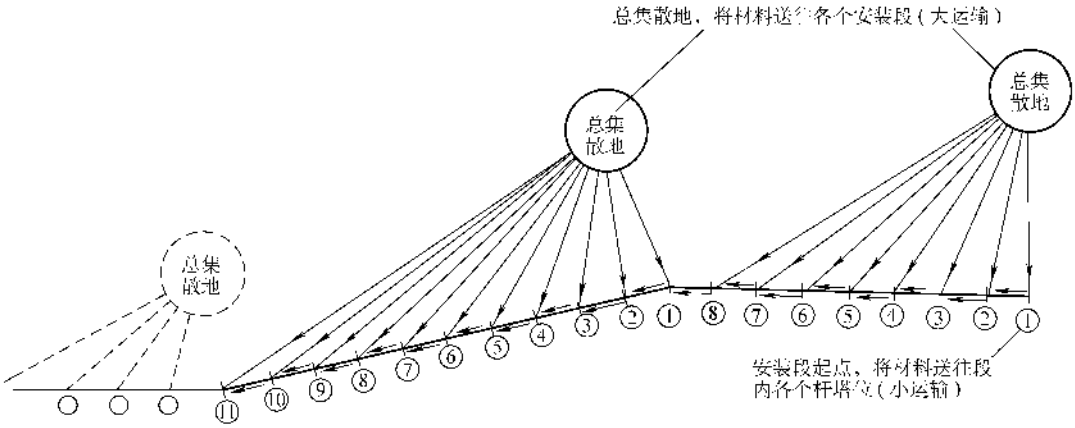


图 10-35　器材运输道路选择示意图

（二）器材运输的管理

1. 组织机构

根据线路工程的大小情况设专门机构（供应处、器材料）或专人（材料员 1～数人）负责器材的运输及分发、保管。器材运输的负责人一般应由退下来的有经验的责任心很强的电工担任，其人应沿线勘测，选择几个适当的集散地点作为器材集散站。

（1）器材集散站应具备的条件

1）距离安装线路较近，距安装段内各基距离较均匀，道路可行车，装卸便利。

2）地势偏高，雨天无积水，并有足够的平整场地，可堆放器材。

3）尽量不用或少用农田。

4）尽量能借租民房，作为零星件、贵重件的仓库，同时安装通信设施，亦可作为休息住宿的场所。

5）搞好工民关系，将损失减到最小并作好防盗工作。

（2）器材管理人员应熟悉的业务范围

1）根据杆塔明细表、杆塔一览图、组装图有关设计资料，统计各段内各杆塔所需要的各种材料的数量、规格、型号，直至每个螺母、螺钉、垫圈、弹垫等。

2）统计器材中有无可就地加工的部件，落实加工的场所、设备、技术状况、签订合同、确定交货时间。在同质同价的条件下，应尽量减小运输量。

3）掌握并熟悉各分段内运输道路的情况，能否通车及运输条件，特别是对大件（轴线、杆、变压器等）如何运输，要心中有数。所有行车的道路必须亲临实地考察。

4）确定是否需要当地运输单位或民工协助运输，应了解其装备力量，能否胜任大件运输要实地考察。雇用运输车辆时要签订协议，保证供货时间及供货的质量。

5）熟悉各类器材的规格、型号，准确收料发料，避免错发漏发，凡代用的材料应经技术部门同意且通知安装人员。材料应分类堆放并有标牌，便于识别。

6）掌握安装工序和工程进度，将器材陆续运到现场。绝缘子、金具紧固件等零散件应提前按杆塔号分类装袋包装，既要保证按时，又要保证不损不失。电磁件的运输包装必须防止撞击，轻拿轻放。

7）运输要保证安全，一是人身安全，二是器材设备的安全，特别是重件大件要有安全措施和运输方案。

8）掌握各类器材的完好标准和质量标准，从供货单位提贷时要检查其外观和质量，运到现场后同样要检查外观和质量，严禁伪劣、假冒产品混入工程之中。

2. 器材的检查和验收

1）架空线路工程使用的器材，必须具有符合国家或有关部委现行标准及出厂质量证明，对于导线、杆塔、绝缘子、机制金具紧固件应有生产制造许可证的复印或影印件。如无出厂质量证明或资料不全，必须按有关现行规定进行检验，不合格者严禁使用。其中绝缘子、电磁件无论有否证件，安装前必须进行规定的耐压试验，试验电压标准需按表 5-15 中的规定执行，不得抽样试验。

2）所用器材具有下列情况之一者，应重作试验：

①　超过规定的保管期限；

②　因保管、运输不当等原因有变质损坏的可能者；

③　对试验结果有怀疑或者试样代表性不全面者。

3）尚无专业标准的新型器材，必须取得有关部委的技术鉴定或者经权威部门试验合格并有有关单位共同鉴定的证明书。

4）线路使用的钢材除进行外观质量检查外，必须具有出厂合格证及生产日期、批号，否则必须按设计要求进行检验：

机械强度试验包括抗拉强度、屈服点、延伸率、弯曲。

化学分析包括碳、硫、锰、硅、磷的含量。

设计要求的其他试验。

5）钢筋混凝土预制件的尺寸误差，应不超过表10-35的规定。其中预应力制件不得有纵向横向裂纹，普通制件应放置地面检查，不得有纵向裂纹，横向裂纹宽度不得超过0.05mm。不应有蜂窝、露筋现象。

6）使用的线材（包括导线、拉线、避雷线）不应有松股、交叉、折叠、断股及破损等缺陷；裸铝绞线不应有严重腐蚀现象；钢绞线、镀锌铁线表面应镀锌良好，不应有锈蚀，表面平整、光滑、亮泽一致；绝缘导线的绝缘层应紧密良好，其端部有密封措施。

7）金具表面应光洁、无裂纹、毛刺、飞边、砂眼、气泡等缺陷，焊缝良好；线夹压板与导线触面应光滑；金具镀锌良好且应全部镀锌，局部锌皮剥落者，应先除锈再涂防腐漆及银灰色漆。和金具配套使用的钢制金具零件应全部镀锌处理，并符合金具的要求，线夹转动灵活。

8）钢管杆必须是具有相应资质定点生产厂的产品，有产品合格证，严禁粗制滥造。

表10-35 线路用混凝土构件各部尺寸允许偏差表

次序	偏差名称			允许偏差值/mm	备注
1	构件长度偏差		9m以下	5	主要指接长杆段
			9～15m	10	
2	构件椭圆度偏差			4	也不得超过构件直径的1.5%
3	构件壁厚偏差	等径杆	壁厚40mm	+5	
			壁厚40mm以上	+5，-3	
		拔梢杆	直径250mm以上	+5，-3	
			直径250mm以下者	+10，-3	
4	构件弯曲度偏差		电压35kV及以上的杆段不超过杆件长度的	1/1000	
			电压10kV及以下的杆段不超过杆件长度的	1/800	
5	构件端面与构件外表面水平垂直偏差	钢板圈		3	
		法兰盘		2	
		杆底	电压35kV及以上杆段	5	
			电压10kV及以下杆段	10	
6	预埋件偏差	钢管偏差	纵向两管距	5	
			横向无角及交角90°者	3	
			横向交角非90°者	5	
		脚钉螺母偏差	纵向两螺距	15	
			横向偏差为杆段外直径的	1/10	

9）螺栓应全部镀锌，表面不得有裂纹、砂眼、锌皮脱落及锈蚀，螺纹与螺母应配合良好，应配套装袋一一检查。联结螺栓应有防松装置且镀锌良好，弹力适中、厚度合适。

10）绝缘子的瓷件与铁件应紧密结合，铁件镀锌良好；瓷釉光滑、无裂纹、缺陷、斑点、烧痕、气泡或瓷釉烧坏等；严禁使用硫磺浇灌的绝缘子。悬式绝缘子应每批按10%的抽样进行拉伸试验，拉力为所

建线路导线计算最大拉力的 2 倍。

11）水泥杆表面光洁平整，内外壁厚均匀，不得有露筋跑浆现象；按规定支点放置检查时，不应有纵向裂纹，横向裂纹的宽度不应超过 0.1mm，长度不应超过 1/3 周长；杆身弯曲不应超过杆长的 1‰。预应力水泥杆不应有纵向、横向的裂纹。

12）运到现场的器材其规格、型号、数量应和图样相符、如有变更应有设计变更及说明。

13）铁塔的构件应齐全完整不缺件，无锈蚀、漆皮脱落，几何尺寸符合图纸要求，组装螺栓必须热镀锌，螺纹螺母配套，所有部件应规则无变形扭曲，开孔适中，同时按现行的铁塔制造标准及设计要求进行检验。

14）运至基坑的钢结构和铁附件，其角钢弯曲不应超过对应长度的 2‰，且最大弯曲变形量不应超过 5mm。若变形超过上述允许范围而未超出表 10-36 的变形限度时，容许采用冷矫正法进行矫正，矫正后严禁出现裂纹。

表 10-36　采用冷矫正法的角钢变形限度

角钢宽度/mm	变形限度（‰）	角钢宽度/mm	变形限度（‰）
40	35	90	15
45	31	100	14
50	28	110	12.7
56	25	125	11
63	22	140	10
70	20	160	9
75	19	180	8
80	17	200	7

注：不等边角钢系指窄肢的宽度。

3. 运输方案的确定

器材的运输与货源、集散地、线路、道路及距离、车辆人力及其他运输设备、工程进度及工期要求、仓库容量、气候条件等因素有关。运输方案应基本保证大件无二次搬运、节时省力，安全可靠；材料供应应超前于安装，保证工期及进度的要求。

运输方案的制定一般应注意以下内容：

（1）器材运输的顺序、期限及保管

1）混凝土杆、钢管杆、底盘、卡盘、拉线盘、铁塔预制水泥基础件等水泥制件应在组装前从车站、制造厂仓库直接运至线路上，并按基坑要求的数量及品种一次到位。卸车的具体要求是要把水泥制件卸在基坑边、杆要卸在立杆的方向上并与线路方向平行、杆的根部应置于马道上。基坑卸车的品种及数量见表 10-37。

表 10-37　基坑卸车品种数量表

杆型		水泥杆	底盘	卡盘	拉线盘	备　注
直线杆	单	1	1	1	(2)	拉线盘按规定的位置卸车，数量按图要求
	双	2	2	2	(2)	
转角杆	单	1	1	2	2(3)	（　）内数据为有上风拉坑者
	双	2	2	4	4(5)	
终端杆	单	1	1	1(2)	1(2)	（　）内数据为有特殊要求或双拉线者
	双	2	2	2(4)	2(4)	
跨越杆	单	1	1	2(3)	1(2)	（　）内数据为有特殊要求或双拉线者
	双	2	2	4(6)	2(4)	
耐张杆	单	1	1	1(2)	1(2)	（　）内数据为有特殊要求或双拉线者
	双	2	2	2(4)	2(4)	
铁塔	预制	每基按设计卸一组预件水泥杆				
	现浇	每基按设计卸水泥、石子、砂子、钢筋				

表中铁塔卸车的水泥、钢筋应在基础施工的当天运到并与水源和其他施工机具、措施同步进行，必要时要有人保管。

2）横担、绝缘子、金具（连接、固定、支撑类）等杆型结构件应在组装前一天从集散地运至线路，并根据组装图按基坑一一分发。如在立杆后组装则应在立杆后组装的前一天运到。

3）拉线金具及钢绞线应在立杆的当天运至现场。

4）导线、接续金具、保护金具应在架线前一天运到现场，其中金具应在架线当天分发。运到现场的导线金具应派人看管。

5）铁塔的金属构件、金具、绝缘子等装塔材料应在组装前一天运到现场，并由专人看管。起重机械应在组装的第一天运到现场。

6）每个工序安装完后应立即进行该工序器材清理工作。

（2）运输设备的确定　运输设备或运输方式是根据器材的单体重量和道路状况决定的，一般能走机动车的道路都采用汽车（平板）或拖拉机运输，吊车或汽车吊装卸加插人工卸车；无条件时也可用大板车运输；不能走机动车的道路都采用大板车（人力或畜力）或自制水泥杆专用车且为人力卸车等；只有人或畜才能行走的羊肠小道常采用人力搬运或畜力搬运的方式；人畜都无法行走时常采用高空索道或直升飞机运输的方式等。一般情况下运输方案都是由上述几种方法组合起来的，根据道路的情况分段运输。

无论哪种方式，保证人身、杆体、设备的安全是

头等重要的，这必须引起高度的重视。表 10-38 ~ 表 10-44 列出了常用杆体及水泥制件的单体质量、供大家参考。

表 10-38 线路常用混凝土制件及石块拉盘规格和质量

名　称	规格/mm	质量/kg
水泥底盘	700 × 700	200
水泥底盘	1000 × 1000	320
水泥底盘	1200 × 1200	420
水泥卡盘	长 1100	200
水泥卡盘	长 1800	285
水泥套筒	长 3600	180
水泥拉盘	750 × 250	50
水泥拉盘	100 × 500	220
水泥拉盘	1200 × 400	210
水泥拉盘	1500 × 500	300
水泥拉盘	1400 × 700	420
块石拉盘	1700 × 700 × 250	740
块石拉盘	1500 × 600 × 250	560
块石拉盘	1000 × 400 × 200	200

表 10-39 预应力圆锥形水泥杆的规格和质量

长度/m	配筋/根-mm	直径/mm 梢径	直径/mm 根径	壁厚/mm	离杆根距离/m / 允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
8	10-ϕ6	150	257	25	$M_{6.2}=1260$	297
9	10-ϕ6	150	270	25	$M_7=1350$	347
10	28-ϕ4	190	323	25	$M_8=1350$	474
10	10-ϕ6	150	283	30	$M_8=1420$	464
11	10-ϕ6	150	297	25	$M_9=1520$	456
11	20-ϕ6	190	337	30	$M_9=2170$	641
13	24-ϕ6	190	364	30	$M_{11}=2820$	800
13	28-ϕ4.5 高强	190	364	30	$M_{11}=3800$	800
15	28-ϕ5 + 7-ϕ10	190	390	35	$M_{12.4}=5400$	1115

表 10-40 ϕ300 等径水泥杆(非预应力)的规格和质量

长　度/m	配　筋/根·mm	壁　厚/mm	允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
4.5	12-ϕ12	50	2200	470
4.5	14-ϕ16	50	4240	470
6	12-ϕ12	50	2200	625
6	10-ϕ12	50	2940	625
6	14-ϕ16	50	4240	625
9	12-ϕ12	50	2200	940
9	10-ϕ12	50	2940	940
9	14-ϕ16	50	4240	940

表 10-41 ϕ300 等径水泥杆(预应力)的规格和质量

长　度/m	配　筋/根·mm	壁　厚/mm	允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
9	24-ϕ6	50	2075	910
9	30-ϕ6	50	2500	920
9	22-ϕ8	50	3110	940
9	18-ϕ6	50	2025	900
9	24-ϕ6	50	2540	910
9	30-ϕ6	50	3010	920

表 10-42 ϕ400 等径水泥杆(非预应力)的规格和质量

长　度/m	配筋面积/cm^2	壁　厚/mm	允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
6	10	50	2400	860
6	15	50	3500	880
6	20	50	4500	900

表 10-43 ϕ400 等径水泥杆(预应力)的规格和质量

长　度/m	配　筋/根·mm	壁　厚/mm	允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
6	34-ϕ6	50	4005	855
6	40-ϕ6	50	4600	863
6	30-ϕ8	50	5850	880
6	26-ϕ6	50	3955	845
6	30-ϕ6	50	4475	850
6	40-ϕ6	50	5575	863

表 10-44 非预应力锥形水泥杆的规格和质量

长度/m	配筋/根·mm	直径/mm 梢径	直径/mm 根径	壁厚/mm	离杆顶距离/m / 允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
8	20-ϕ5.5	150	257	30		347
8	12-ϕ10	150	257	40		435
8	14-ϕ14	190	297	50	$M_6=2900$	645
8	14-ϕ16	190	297	50	$M_6=3680$	645
9	10-ϕ9	190	310	40	$M_7=1300$	630
9	12-ϕ9	150	270	40	$M_7=1300$	510
9	14-ϕ10	150	270	40	$M_7=1430$	500
9	12-ϕ10	190	310	40	$M_7=1530$	692
10	28-ϕ5.5	150	283	30	$M_8=1500$	467
10	20-ϕ6	150	283	30	$M_8=1300$	467
10	14-ϕ10	150	283	40	$M_{8.2}=1550$	580
10	12-ϕ12	190	323	40	$M_8=2200$	772
11	12-ϕ12	190	337	40	$M_9=2300$	897
11	14-ϕ12	190	337	50	$M_{9.2}=2700$	978
12	10-ϕ12	190	350	40	$M_{10}=3200$	1010

（续）

长度/m	配筋/根·mm	直径/mm 梢径	直径/mm 根径	壁厚/mm	离杆顶距离/m / 允许弯矩 $K=2$(kg·m)	质量/kg
13	12-ϕ12	190	364	40	$M_{11}=2500$	1129
13	14-ϕ16	190	364	50	$M_{11}=4700$	1222
13	14-ϕ14	190	364	50	$M_{11}=3900$	1222
15	14-ϕ16	190	390	50	$M_{12.4}=5330$	1500
15	10-ϕ16	190	390	50	$M_{12.5}=6030$	1500
15	18-ϕ16	190	390	50	$M_{12.5}=6030$	1500
18	上 10 下 8	上 18-ϕ14 下 21-ϕ14	230	470	50	$M_{16.4}=10600$	上 1030 下 1220

注：ϕ 为 3 号碳素钢；Φ 为锰钢；K 为安全系数。

二、水泥杆、钢管杆的运输

水泥杆是细而长、笨重且怕剧烈颤动的水泥构件。用汽车平板或拖拉机平板运输，只要装车合适，绑扎牢固，是最安全有效的办法。但是由于受道路的限制，通常在不能走机动车的道路上可采用畜力、人力运输。钢管杆的运输与水泥杆基本相同。

（一）运输方法

1）单车运输示意见图 10-36。

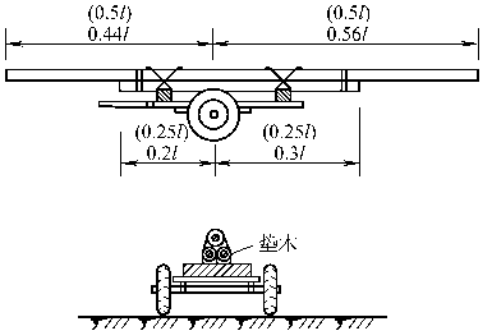


图 10-36　单车运输电杆示意图

适用于道路狭窄、行走困难、机械及畜力车难以到达的山地、丘陵、沼泽等运输条件极其困难的地方。

2）双车运输示意见图 10-37，适用于杆体较重或双杆的情况，前面的一辆车是转盘车体，可转动 200°。

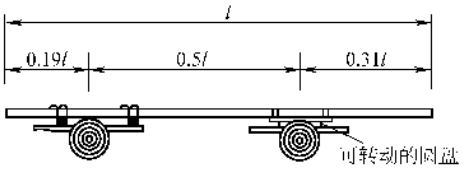


图 10-37　双车运输电杆示意图

3）人力肩抬见图 10-38。可根据杆的质量分配人的多少，尽量使人体的身高一致，移动时应喊号子，以便步调一致。

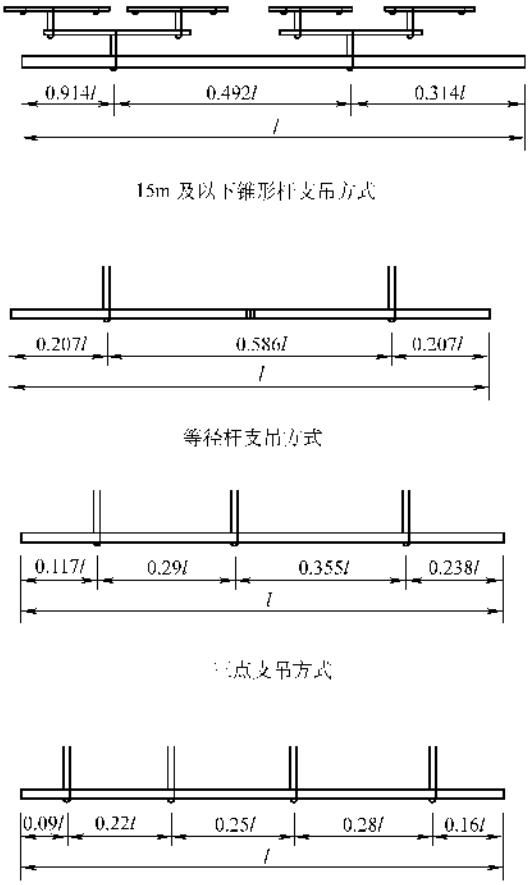


图 10-38　人力肩抬支点分配示意图

（二）装卸方法

1）吊车装卸法。非等径杆要注意吊点的分配，钢索要系牢，各类杆型的重心可参照图 10-38 所示。吊装时一般要让重心往下一点，使杆体斜着起吊，见图 10-39。

2）三木搭和手拉葫芦装卸，见图 10-40。一般是先将杆吊起一定高度，然后再将车倒入到杆下。

3）斜面装卸车见图 10-41，非等径杆移动的速度大头要慢一点，小头要快一点，尽量保持位移的一致。支持斜面的木板强度要大且要支稳。要设置制动绳。

（三）注意事项

1）运输的支点、起吊的吊点和存放的支点必须适当选择。一般要求在满足自重的条件下，其他部位承受的弯曲力矩，不得超过规定数值，各点的反力应

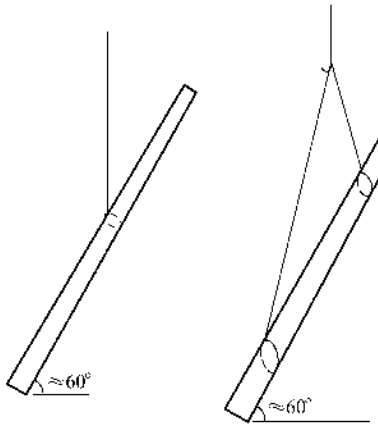


图 10-39 吊点的设置

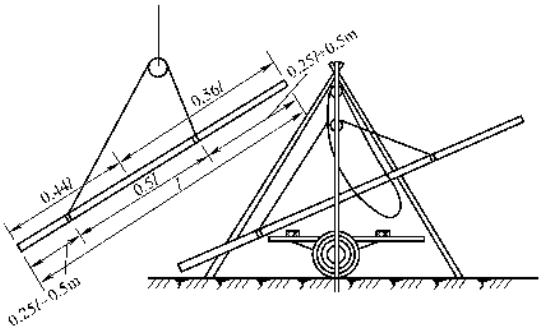


图 10-40 用三木搭和手拉葫芦装卸示意图

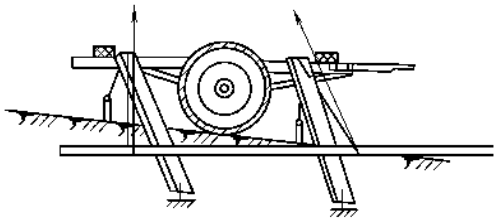


图 10-41 斜面人力装卸示意图

相等或接近相等。

2）运输途中应在杆的两侧用木楔塞好，至少每侧两处，木楔应与垫木钉死。

3）公路运输时应有安全标志，一般在至高点悬挂小红三角旗，转弯时要前后观察。

4）在基坑旁卸杆时要核对杆型、杆长，非等径杆小头指线路方向，大头置于坑口马道上；等径杆卸车要按焊接组对杆长的要求；有预留穿钉孔的杆必须与图样相符；双杆线路应径调换保证杆长相等，如有穿钉孔必须使其标高一致。

5）杆卸在地面上要保证杆体受力均匀，地面要平整，尽力减少二次搬运。

6）采用斜面卸车时必须使绳子在车上系牢，放绳必须有施动之处，滚落方向前面不得有人停留。

7）装卸及人工抬运时，应有一经验丰富的人统一指挥，步调要一致。

8）钢管杆结构复杂，笨重，一般都是单杆平板汽车运输，装卸必须用吊车进行，全部过程中应避免撞击。

9）器材管理人员要向装运人员交待清楚有关安全、卸车及注意事项，避免发生差错，必要时要亲临现场指导。

三、线材的运输

线材都用线轴包装，其体积小但重量大，截面较小者一般轴重 1t，截面较大者一般轴重几吨，运输困难，采用的车辆其强度必须能克服线轴两侧的压力，见图 10-42，因为线轴在任何时候都必须保持立放的形式而不得采用平放的形式。采用车辆运输时应将其装于车辆的重心左右，无机械吊装时一般可采用滚动方式装卸，但滚动的方向应和导线缠绕的方向相同，见图 10-43。

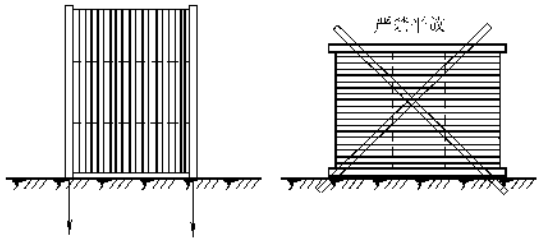


图 10-42 线轴的正确放置方法

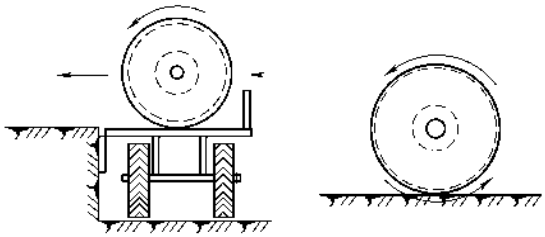


图 10-43 线轴的正确滚动方法

线材运输应注意以下几点：

1）运输前要核对导线的材质、规格、重量或长度，应与计划到达地点相同。

2）运输过程中要将线轴固定牢固，防止在车上滚动。

3）卸车应卸在计划放线的基坑旁，卸车的盘数一般应按架空线路的相数或架设导线的根数卸车。卸车严禁从车上滚动而摔下车。第二个卸车点要按导线

长度计划好。

4）线轴允许短距离滚动，但必须保证线轴密封，导线外有坚固的防护板或两侧夹板高于线轴最外层导线100mm以上，滚动的途径不得有石块，以免碰伤导线。滚动时应按轴上箭头方向即顺导线缠绕方向，以免导线散开或松动。

5）采用斜面卸车同电杆卸车，木板较长时应在中间有支点，移动应缓慢且用大绳拖好，严禁自由滚动。

四、塔材的运输

塔杆都是散件运输，无论采用何种车辆，必须保证镀锌层不受破损，杆件不受外力。运输最好是同类件同车运输，或单塔全部件同一车辆运输。

五、金具及绝缘子的运输

金具和绝缘子的运输必须保证型号规格的正确，卸车要按杆型结构图准确无误。带有螺纹的金具应轻拿轻放，避免撞击螺纹，给安装带来困难。绝缘子应有很好的包装，并有易碎的标志，保证在装卸、运输中，瓷件无损无伤。

第五节　杆塔组装

杆塔组装就是按照设计的杆或塔型，将横担、金具、绝缘子等安装在水泥杆上或组装好的铁塔上。铁塔组装还包括塔本身由散件组装成塔架的过程，等径水泥杆有的还包括水泥杆焊接的过程。

杆的组装有两种方式，一种是立杆前组装，另一种是立杆后组装。前一种多用于杆型复杂、组装件多的杆型或双杆，除悬式绝缘子外全部装好，减少了登杆作业，安全且进度快，具体尺寸和操作都容易掌握。但是，由杆头安装了金具、绝缘子却增加杆的重量，给立杆带来了不便。因此立杆前组装适用于机械立杆的方式。后一种多用于杆型简单、组装件少的杆型，全部登杆作业，进度慢、安全性差，且劳动强度大。因此立杆后组装多用于人工立杆的方式。无论哪种方法、安装要求是相同的。

铁塔的组装一般分两步，先是由散件组装成塔或半成品塔（这是由立塔的方式决定的），然后再安装绝缘子，其中悬式绝缘子安装好后要用绳子和塔架扎紧，以免立塔时碰坏或脱落。

一、杆的组装

电杆的组装主要是用螺栓（俗称穿钉）将横担、抱箍固定在电杆上，且把绝缘子安装在横担或其他金具上。

（一）技术要求

1. 紧固件

1）螺杆应与构件面垂直，螺头平面与构件不应有间隙。

2）螺栓紧好后，螺杆丝扣单母时露出不应少于2扣，双母时可平扣；螺头侧应加镀锌平光垫，不得超过2个，螺母侧应加镀锌平光垫和镀锌弹簧垫，平垫不得超过2个，弹垫1个。

3）在立体结构中螺栓穿入的方向　水平穿入应由内向外，垂直穿入应由下向上。斜向者宜由斜下向斜上穿，不便时应在同一斜面内统一方向。

4）在平面结构中螺栓穿入的方向　螺栓顺线路时，双面结构件（如双横担）由内向外，单面结构件（如单横担）由送电侧向受电侧或者相反，但必须统一；横线路方向（水平方向垂直线路）时，两侧由内向外，中间由左向右或方向统一；上下垂直线线路时，由下向上。

5）组装时不要将紧固横担的螺栓拧的太紧，应留有调节的余量，待全部装好后，经调平找正后再全部一一拧紧。

2. 横担

1）间距。同杆架设的不同电压等级或相同电压等级双回路的线路时，横担间的垂直距离不应小于表10-45中的数值。

表10-45　同杆架设线路横担间的最小垂直距离　（单位：mm）

架设方式	直线杆	分支或转角杆
1～10kV与1～10kV	800	500
1～10kV与1kV以下	1200	1000
1kV以下与1kV以下	600	300
10kV与35kV	2000	2000
35kV与35kV	2250	2250
220/400V与通信广播线路	1000	1000

杆头安装金具横担时，与杆顶的距离一般应按表10-46中的数值选取。

表　10-46　（单位：mm）

杆型金具 / 电压	直线铁头	轻承力铁头	30°以下转角铁头	45～90°转角横担	耐张铁头	耐张横担	直线陶瓷	水平横担
高压	100	100	100	300	200	300	100	200
低压	300							

2）同杆多层用途不同的横担排列时，自上而下的顺序是高压、低压动力、照明路灯、通信广播。

3）安装及允许偏差：直线单横担应安装于受电

侧；90°转角杆或终端杆当采用单横担时，应装于拉线侧，多层横担同上。双横担必须有拉板或穿钉连接，连接处个数应与导线根数对应。

横担安装必须平和正，从线路方向观察其端部上下歪斜不超过 20mm；从线路方向的两侧观察，横担端部左右歪斜不超过 20mm，见图 10-46。双杆横杆，与电杆接触处的高差不应大于两杆距的 5‰，左右扭斜不大于横担总长的 1%。

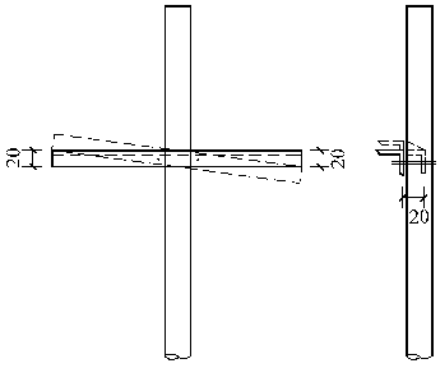


图 10-44 横担安装的偏差找正

4）陶瓷横担安装时应在固定处垫橡胶垫，垂直安装时，顶端顺线路歪斜不应大于 10mm；水平安装时，顶端应向上翘起 5～15°，水平对称安装时，两端应一致，且上下歪斜或左右歪斜不应大于 20mm。

3. 绝缘子

1）针式绝缘子应与横担垂直，顶部的导线槽应顺线路方向，紧固应加镀锌的平垫弹垫。针式绝缘子不得平装或倒装。绝缘子的表面清洁无污。

2）悬式绝缘子使用的平行挂板、曲型拉板、直角挂环、单联碗头、球头挂环、二联板等连接金具必须外观无损、无伤、镀锌良好，机械强度符合设计要求，开口销子齐全且尾部已曲回。绝缘子与绝缘子连接成的绝缘子串应能活动，必要时要做拉伸试验。弹簧销子、螺栓的穿向应符合规定。

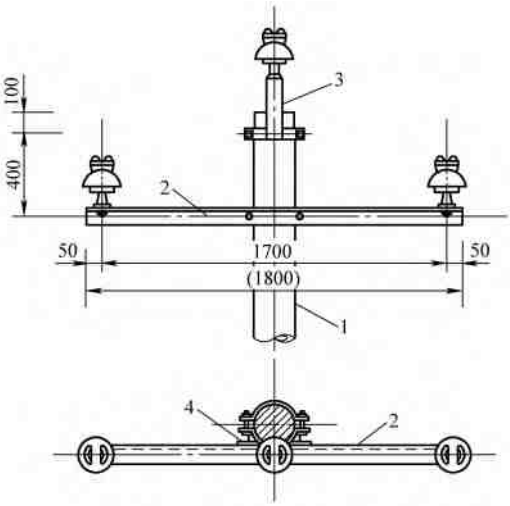
3）蝶式绝缘子使用的穿钉、拉板要求同 2），所有螺栓均应由下向上穿入。

4）外观检查合格外，应用 5000V 绝缘电阻表摇测每个绝缘子的绝缘电阻，阻值不得小于 500MΩ，最后将绝缘子擦拭干净。绝缘子裙边与带电部位的间隙不应小于 50mm。

现将 35kV、10kV、0.4kV 各种杆型的组装示意图及主要部件列出，供参考，见图 10-45～图 10-73。

（二）安装方法及步骤

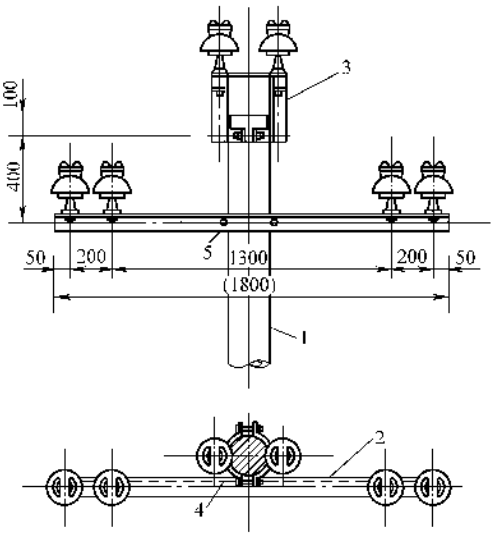
1. 地面组装



主要部件表

序号	名称	单位	数量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	1
3	单瓶抱箍	副	1
4	抱铁	块	1

图 10-45 10（6）kV 直线杆组装示意图

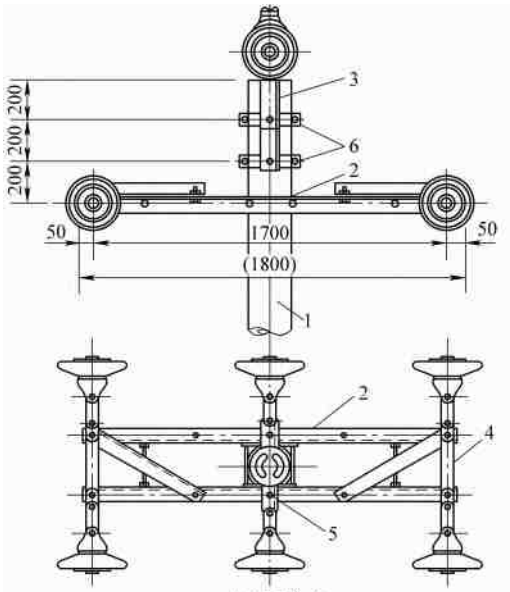


主要部件表

序号	名称	单位	数量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	1
3	双瓶抱箍	副	1
4	抱铁	块	1
5	抱箍	个	1

图 10-46 10（6）kV 轻承力杆组装示意图

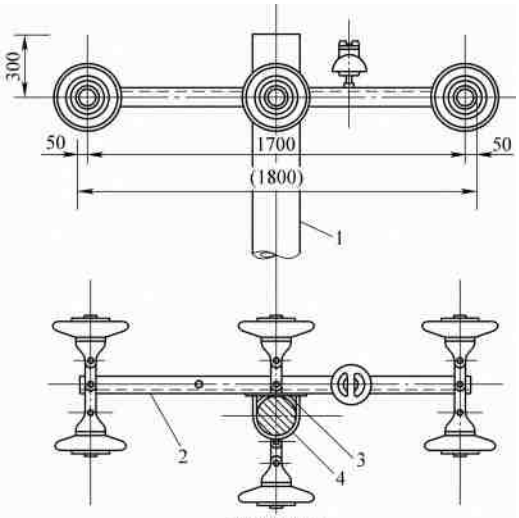
1）直线单杆组装时，先把杆移动到立杆时的位置，杆尾指向并移到基坑位置，有马道时应在马道



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	2
3	立　　铁	块	2
4	连　　铁	块	2
5	横　　铁	块	1
6	抱　　箍	副	2

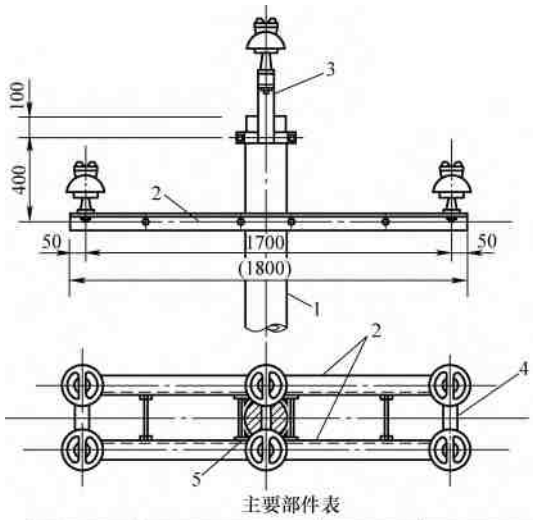
图 10-47　10（6）kV 耐张杆组装示意图



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	1
3	抱　　铁	块	1
4	抱　　箍	个	1

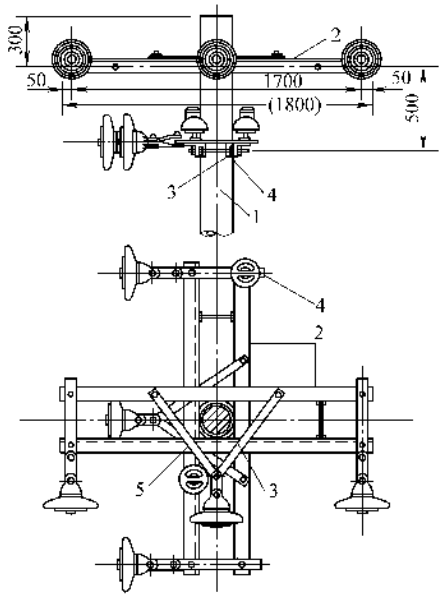
图 10-48　10（6）kV 耐张杆组装示意图（30°～45°转角）



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	2
3	双瓶抱箍	副	1
4	拉　　板	块	3
5	抱　　铁	块	2

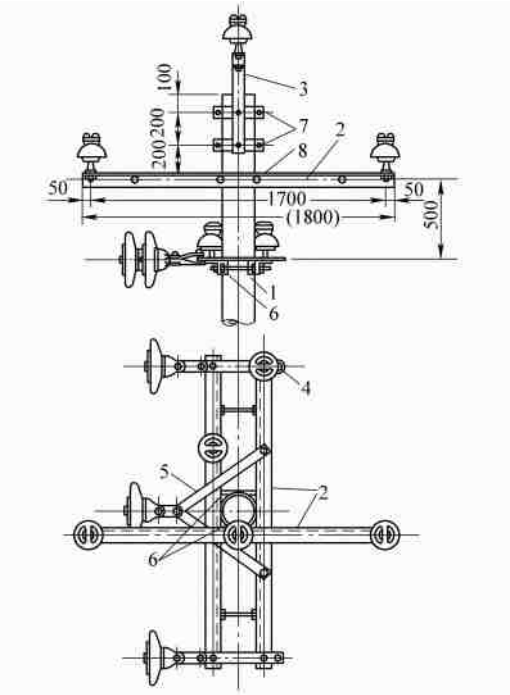
图 10-49　10（6）kV 转角杆（30°以下）组装示意图



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	4
3	抱　　铁	块	4
4	连　　铁	块	4
5	拉　　板	块	4

图 10-50　10（6）kV 耐张型转角杆（45°～90°）组装示意图

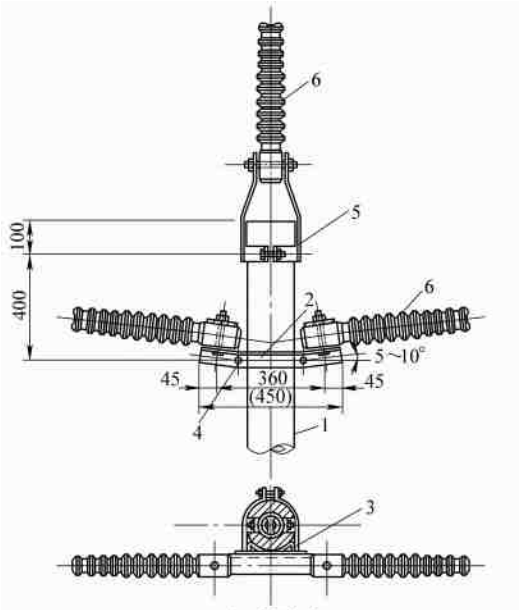


主要部件表

序号	名称	单位	数量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	3
3	立铁	块	1
4	连铁	块	2
5	拉板	块	2
6	抱铁	块	3
7	单凸抱箍	副	2
8	抱箍	个	1

图 10-51 10（6）kV 分支杆组装示意图

侧，杆头指向线路方向，并将杆头部位用枕木支起200mm 左右，现场常用堆土法支杆。然后对照杆型图和杆号，将高压杆头（单瓶抱箍或双瓶抱箍）装在杆顶上，角钢立铁应位于杆的侧面（单瓶）或位于杆的左右侧面（双瓶），角钢立铁的中线应和杆的中心面重合，见图 10-45、图 10-46。同时丈量尺寸（必须用盒尺）确定横担的位置，再把 U 形抱箍套入，同时将横担从杆的上面使 U 形抱箍穿入螺孔，加强双横担用穿灯紧固，横担上下面各一根，将螺母加垫拧好，其横担应和杆的中心线垂直，调整找正后再把螺母紧死。最后把直瓶或悬垂装上，悬垂的连接



主要部件表

序号	名称	单位	数量
1	钢筋混凝土电杆	根	1
2	角铁横担	副	1
3	抱铁	块	1
4	抱箍	个	1
5	瓷担抱箍	副	1
6	瓷担绝缘子	根	3

图 10-52 10（6）kV 陶瓷横担直线杆组装示意图

必须用连接金具，组装后立杆应将悬垂绑扎。

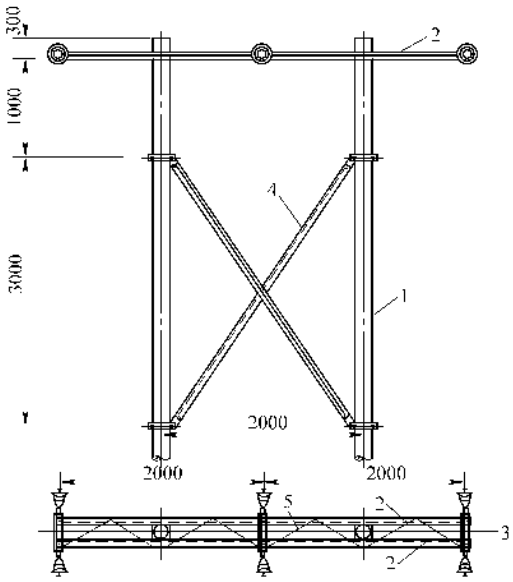
如有多层平行于第一根横担的横担可依次丈量尺寸装好。轻承力杆、30°以下的转角杆、直线耐张杆、低压单根或平行多根横担的杆及无垂直交叉横担的杆等与上法相同。

2）单杆转角或分支杆组装时，同样先把杆移到立杆时的位置，把杆头抬起约 1.5m 的高度（大于横担长度一半即可），并用木支架将其支好，支点同前且不少于 2 处，见图 10-74。然后对照杆型图和杆号，将横担装好，上下横担交叉的角度必须与线路转角的角度相同，见图 10-50、图 10-51、图 10-56、图 10-57、图 10-61。

3）图 10-64、图 10-65 和图 10-68 的上字形或三角形直线杆，组装基本同上，从杆顶避雷线铁件逐一向下安装，但必须保证几个组件在一个平面内。

4）双杆组装（π 型杆）。

① 测量杆 H 长是否相同，否则要调换，因此特别要求在卸杆时要预先测量好、避免二次搬运。



主要部件表

序号	名称	单位	数量
1	钢筋混凝土电杆	根	2
2	角铁横担	副	2
3	迷　铁	块	3
4	叉　梁	块	2
5	花　梁	块	8

图 10-53　10（6）kV 耐张型杆组装示意图（适用于大档距）

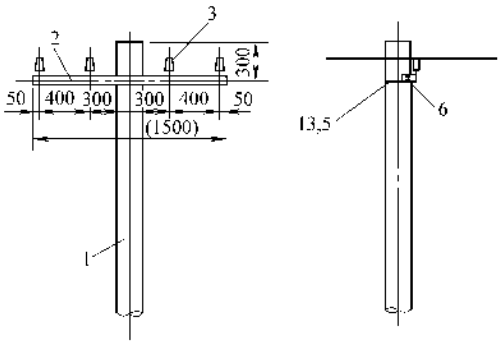


图 10-54　低压直线杆组装示意图

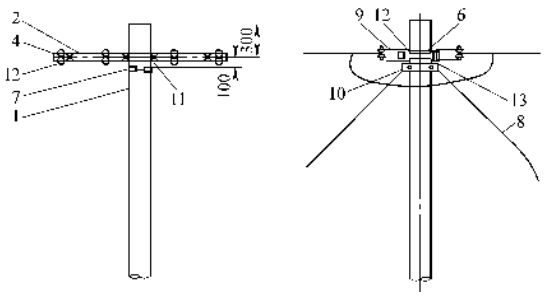


图 10-55　低压耐张杆组装示意图

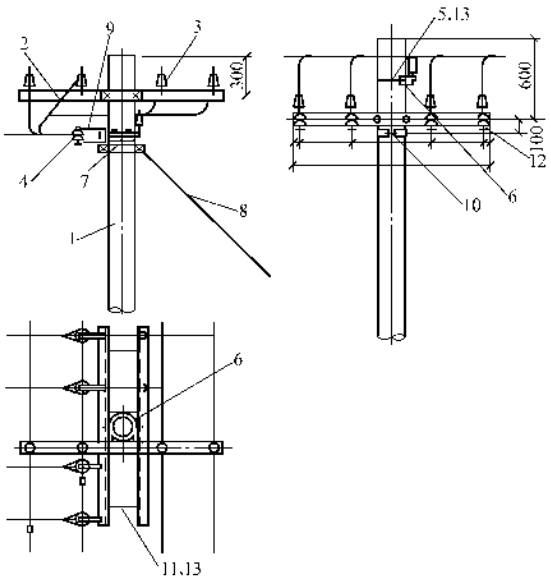


图 10-56　低压丁字分支杆组装示意图

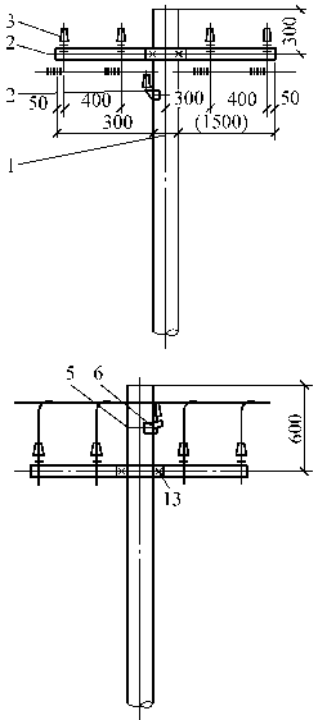


图10-57　低压十字分支杆组装示意图

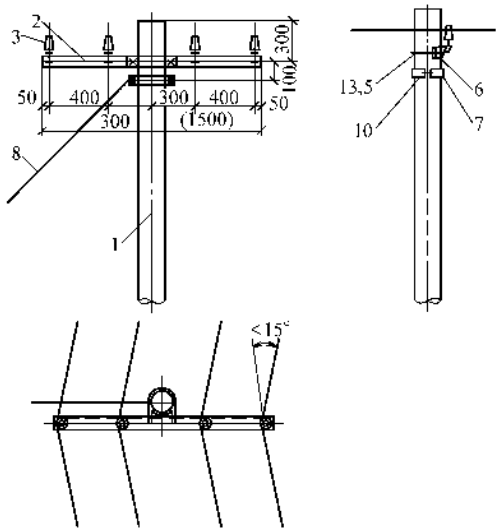
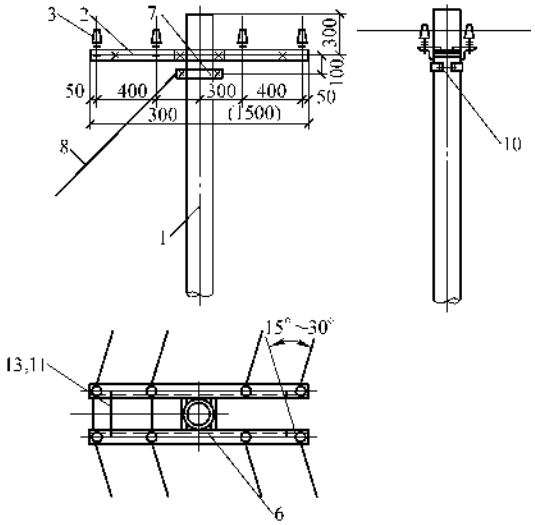


图 10-58 低压转角杆（15°以下）组装示意图



主要部件对照

序号	1	2	3	4	5	6	7
名称	电杆	横担	绝缘子	蝶式绝缘子	抱箍	角钢抱箍	拉线抱箍

序号	8	9	10	11	12	13
名称	拉线	拉板	螺栓	横担拉板	穿钉	撑线拉板

图 10-59 低压转角杆（15°~30°）组装示意图

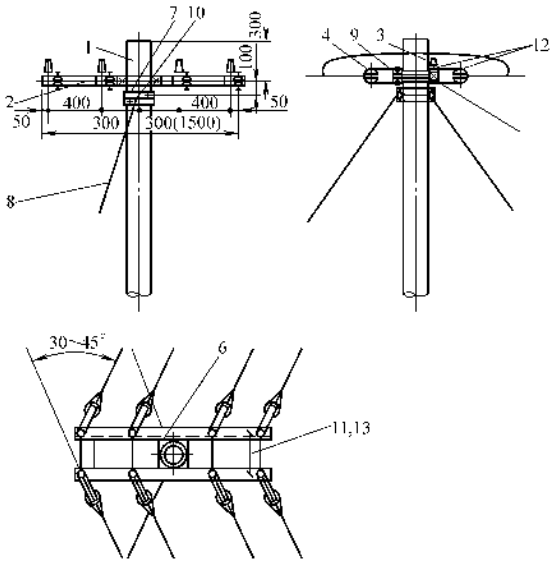


图 10-60 低压转角杆（30°~45°）组装示意图

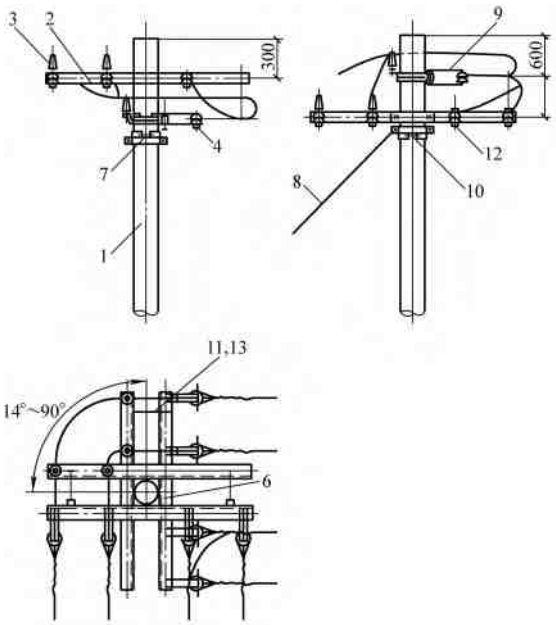


图 10-61 低压转角杆（45°~90°）组装示意图

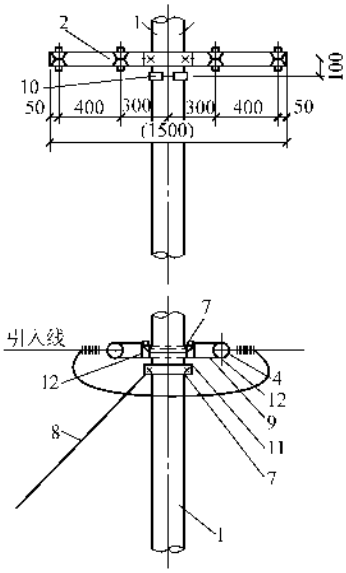
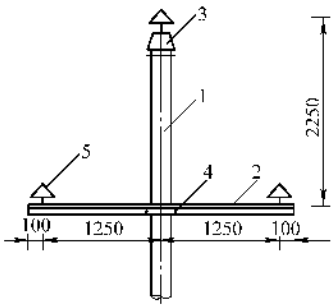


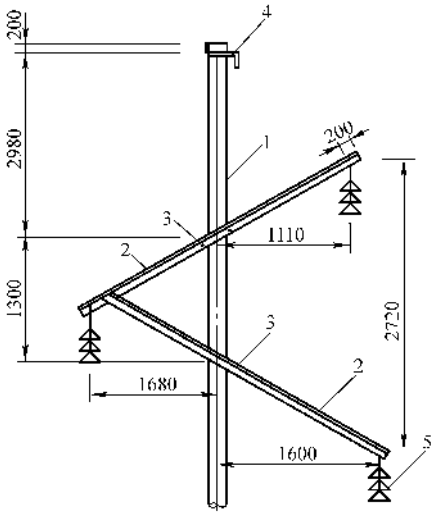
图 10-62　低压终端杆组装示意图



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	砼　　杆	根	1
2	角钢横担	根	1
3	顶　　架	副	1
4	抱　　箍	副	1
5	P-35T针式绝缘子	个	3

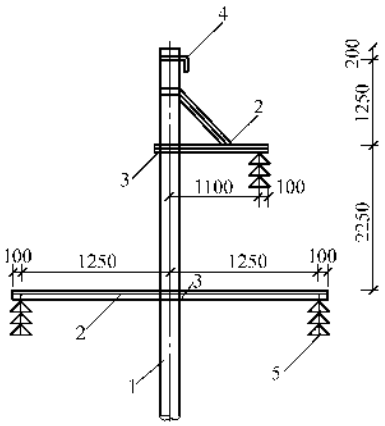
图 10-63　35kV 直线杆组装示意图之一



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	砼　　杆	根	1
2	角钢横担	副	1
3	抱　　箍	副	2
4	避雷线吊架	副	1
5	X-4.5悬瓷	片	9

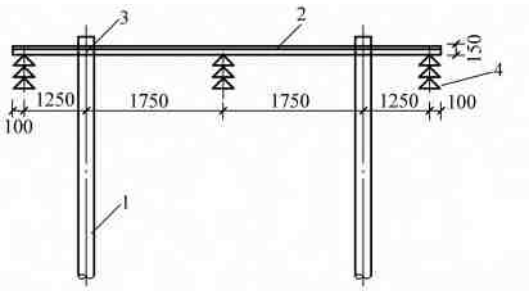
图 10-64　35kV 直线杆组装示意图之二



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	砼　　杆	根	1
2	角钢横担	副	1
3	抱　　箍	副	2
4	避雷线支架	副	1
5	X-4.5悬瓷	片	9

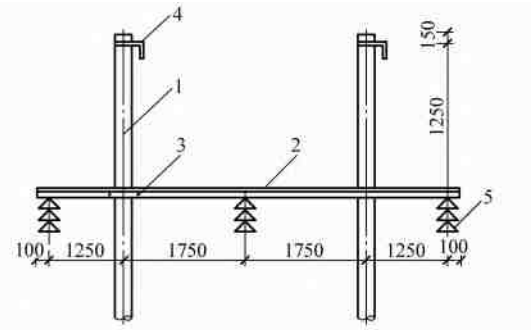
图 10-65　35kV 直线杆组装示意图之三



主要部件表

序 号	名 称	单 位	数 量
1	砼 杆	根	2
2	角钢横担(或桁架)	根	1
3	抱 箍	副	2
4	X-4.5悬垂	片	9

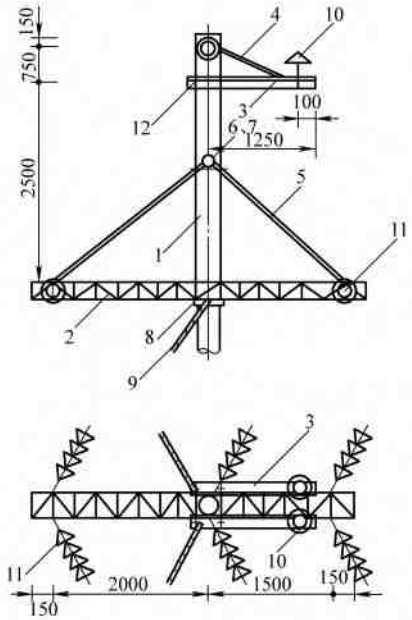
图 10-66 35kV 直线杆组装示意图之四



主要部件表

序 号	名 称	单 位	数 量
1	砼 杆	根	2
2	角钢横担(或桁架)	副	1
3	抱 箍	副	2
4	避雷线支架	副	2
5	X-4.5悬垂	片	9

图 10-67 35kV 直线杆组装示意图之五



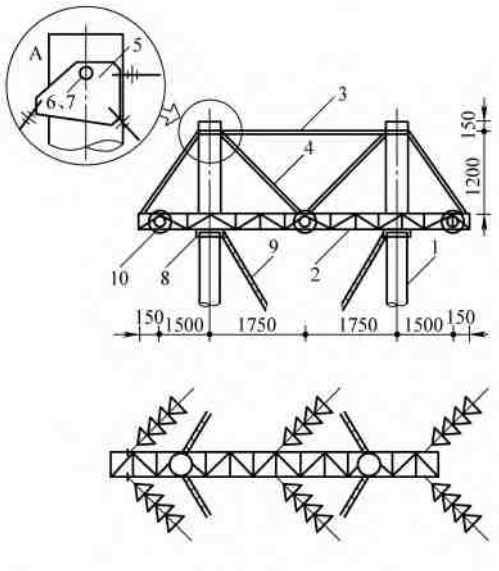
主要部件表

序 号	名 称	单 位	数 量
1	砼 杆	根	1
2	桁架横担	副	1
3	跳线横担	副	1
4	节 杆	副	2
5	吊 杆	副	4
6	穿 钉	条	1
7	节 板	块	2
8	拉线抱箍	副	1
9	拉 线	副	2
10	P-35T瓷瓶	个	2
11	X-4.5悬垂	片	24
12	穿 钉	条	4

图 10-68 35kV 单杆转角（<30°）杆组装示意图

② 将杆排好，见图 10-75。同时测量两杆中心线的距离（这里要注意有锥形不等径杆）使其为横担抱箍中心距离，若用穿钉穿入杆上的预留孔固定金具，则应为横担上两个穿孔的中心距，使两杆中心线平行。中心距应与基坑中心距即根开 L 相等，并与设计相符。

③ 如果有叉梁，则应先按图样安装叉梁。先测出抱箍的位置，使两杆一致，安装后再测两对角抱箍的距离应相等，同时测量两根叉梁安装孔距，应相等且为两对角线上抱箍安装叉梁螺孔的孔距，然后将叉梁安装好，见图 10-76。再次测量两杆上下的中心距仍相等且为横担安装的螺孔中心距。



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	砼　　杆	根	2
2	横　　担	副	1
3	拉　　杆	副	2
4	吊　　杆	副	8
5	节　　板	副	4
6、7	穿钉、螺母	副	2
8	抱　　箍	副	2
9	拉　　线	副	4
10	X-4.5悬垂	片	24

图 10-69　35kV 双杆转角（>45°）杆组装示意图

④　如果没有叉梁，则应先安装临时底梁，底梁是用角钢按照线路设计的横担做成的，其安装螺孔为圆孔，不能调整，也就是说能起到标准固定两杆平行间距的作用。一般应制作几根，前后倒着用。通常立杆是和组装是流水作业的，一组人组装，一组人立杆，进度基本相同。临时底梁和横担安装方法相同，杆立好后，再拆下送到前面基杆再用。

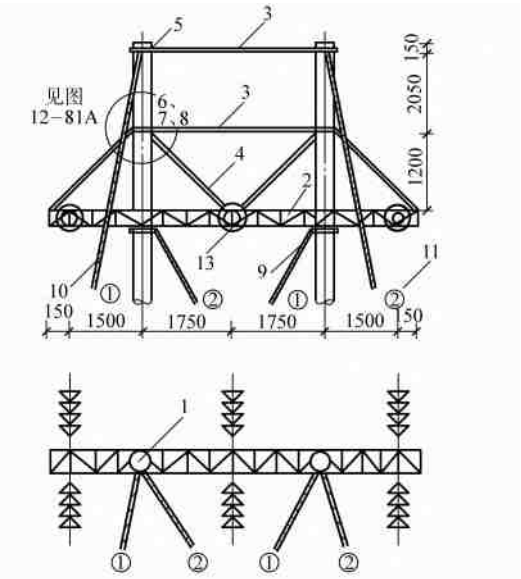
⑤　横担的安装。横担安装同单杆，所不同的是双杆横担一般为加强双横担或桁架横担，并有吊杆，见图 10-70，应一并安装好。

⑥　拉杆及避雷线铁件的安装，见图 10-67、图 10-70，安装方法同上。

全部安装好后，再次测量两杆平行间距及对角线，应符合设计图样要求，最后将所有螺栓紧死。

⑦　绝缘子的安装同前，对于绝缘子串应安装后用麻绳绑扎好，以免立杆时晃动损坏。

5）电杆组装的注意事项：



主要部件表

序　号	名　　称	单　位	数　量
1	砼　　杆	根	2
2	横　　担	副	1
3	拉　　杆	副	3
4	吊　　杆	副	8
5	抱箍(避雷线用)	副	2
6	节　　板	副	4
7、8	穿钉、螺母	副	2
9	抱　　箍	副	2
10	拉　　线	条	4
11	拉线盘	块	2
12	拉线棒	条	4
13	X-4.5悬垂	片	24

图 10-70　35kV 终端杆组装示意图

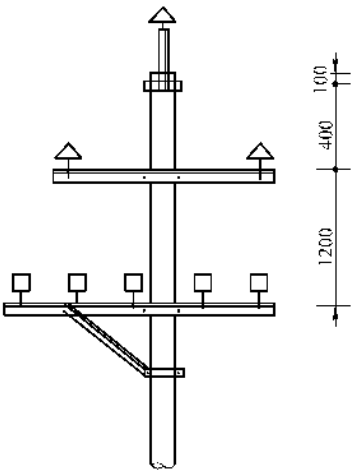


图 10-71　10kV 与 0.4kV 同杆直线杆组装示意图

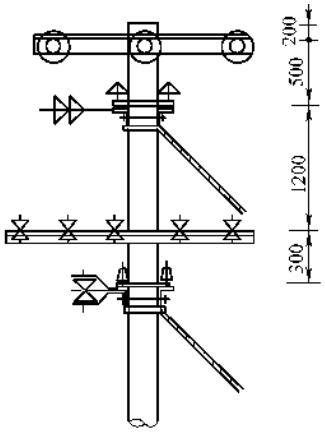


图 10-72 10kV 与 0.4kV 同杆转角或分支杆组装示意图

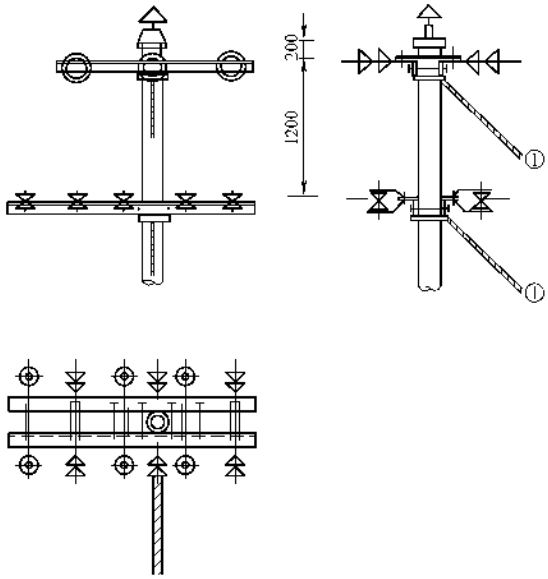


图 10-73 10kV 与 0.4kV 同杆终端杆组装示意图

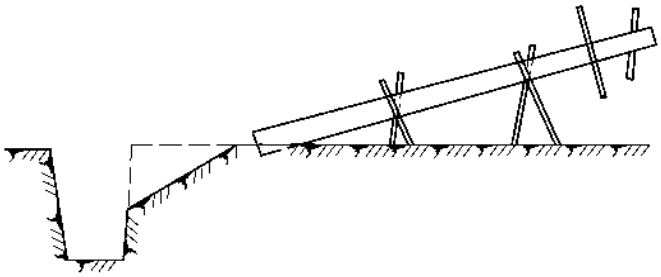


图 10-74 单杆组装示意图

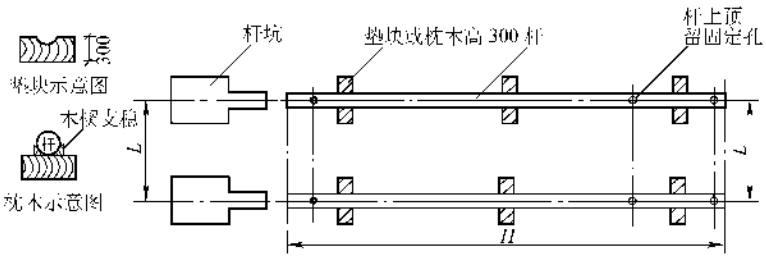


图 10-75 双杆排杆

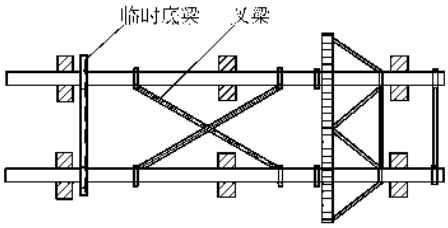


图 10-76 双杆的组装

① 组装前，应用水泥砂浆将杆顶孔洞抹死，并使其成为圆形凸起，以免存水或成为鸟巢。

② 组装的同时应将拉线抱箍装上，其位置通常在受力横担下面或按图样要求，同时在拉线侧的穿钉上套入心形环，方向要找对以免返工。单杆人字拉线抱箍上的心形环要套在杆的两侧指向拉坑方向，一侧一个；其他杆型的拉线抱箍上的心形环一般只有一个，安装在拉线侧。

③ 组装铁件有困难时，应查明原因，严禁强行组装，不得用铁锤直接敲打构件，以免锌层破损或击裂焊缝，必要时应垫上木块敲打。

④ 少量螺孔位置不对需要扩孔时，扩孔部分不

应超过 3mm，超过 3mm 时应先堵焊后重新开孔，并进行防腐处理。严禁用汽割进行扩孔或烧孔。

⑤　连接螺栓，在组装后必须全部紧固一次，当使用力矩扳手检查时应符合表 10-47 的要求。螺杆或螺母的螺纹有滑扣或螺母的六方棱角磨损过大以至扳手打滑的螺栓必须更换，不得使用。

表 10-47　杆塔螺栓紧固扭矩标准

螺栓规格	扭矩值/(N·cm)	螺栓规格	扭矩值/(N·cm)
M12	4000	M20	10000
M16	8000	M24	25000

⑥　杆组装后其尺寸误差不应超过表 10-48 的规定。

表 10-48　杆塔组立后尺寸允许误差

允许偏差值 / 电压等级 / 偏差项目	10～110kV	220～330kV	500kV	高塔
电杆结构根开	±30mm	±5‰	±3‰	
电杆结构面与横线路方向扭转（即迈步）	30mm	1%	5‰	
双立柱杆塔横担在主柱连接处的高差	5‰	3.5‰	2‰	
直线杆塔结构倾斜	3‰	3‰	3‰	1.5‰
直线杆结构中心与中心桩间横线路方向位移（mm）	50	50	50	
转角杆结构中心与中心桩间横、顺线路方向位移（mm）	50	50	50	
等截面拉线塔立柱弯曲	2‰	1.5‰	1‰ 最大 30mm	—

⑦　用抱箍连接的叉梁，其上端抱箍组装尺寸的允许误差不应超过 ±50mm，分段组合叉梁组装后应正直，不应有明显的鼓肚或弯曲。

⑧　组装时应再次检查使用的螺栓、铁构件、金具等有无破损或焊缝开裂以及裂纹，凡有损者不得使用。

2. 杆上组装

（1）登杆要领及作业方法　见第二章第五节。

蹬杆的要求及安全注意事项请参阅第二章有关内容。

（2）技术要求　要求登杆者应事先反复练习登杆，并空手作业，演示安装项目。然后再用轻横担进行拉上、安装、拆下、安装反复练习。最后再用重横担练习，只有掌握杆上操作技能后，才能实际安装。组装要求应与规范相同。

二、水泥杆的焊接

有的架空线路采用分段等径水泥杆，一般有上段、下段，也有上段、中段和下段三段的。在对接处有预先埋制好的并和整个杆内钢筋联为一体的对焊钢圈。要求运送器材时，需将其上、中、下段按设计要求卸车，不得错卸，然后再进行焊接。焊接通常要求电焊，无条件时也可用汽焊。

（一）技术要求

1）施焊焊工必须经过电杆焊接专业培训并考试合格，持证上岗。焊完后经自检和互检合格后，在上部钢圈上打上焊工代号钢印。必要时要进行同样焊件的试验及 X 光检测。不合格者不得施焊。焊接前，钢圈焊口上的油脂、铁锈、泥垢等杂物应清理干净。

2）焊缝应平滑、鳞纹折皱细致均匀，与基本金属平缓连接，不得有焊缝中断、咬边、焊瘤、夹渣、裂纹、气泡、陷槽和尺寸偏差等缺陷。缺陷无法纠正时应凿去补焊；焊缝有裂纹，必须凿去重焊，其外观缺陷允许范围及处理方法见表 10-49。

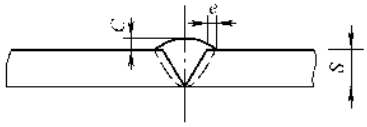
表 10-49　焊缝外观缺陷允许范围及处理方法

缺陷名称	允许范围	处理方法
焊缝不足	不允许	补焊
焊缝及热影响区表面裂纹	不允许	割开重焊
咬边	基本金属的咬边深度不得大于 0.5mm，当钢圈厚度超过 10mm 时，不得大于 1mm	超过者清理补焊

3）焊完的电杆，其分段或整根弯曲度均不应超过对应长度的 2‰，超过时应割断调整重新焊接。钢圈如有偏心，其错位不得大于 1mm。

4）焊缝应有一定的加强面，其高度和遮盖宽度不小于表 10-50 的规定。

表 10-50　焊缝加强面尺寸

焊缝加强面尺寸 mm	钢圈厚度 S/mm	
	<10	10～20
高度 C	1.5～2.5	2～3
宽度 e	1～2	2～3
示意图		

5）钢圈板厚大于6mm时，应采用V形坡口多层焊接。施焊中要特别注意焊缝接头和收口质量。多层焊缝的接头应错开，收口时应将熔池填满。焊缝中严禁堵塞焊条或其他金属。

6）基本金属的咬边深度不应大于0.5mm，且不应超过圆周长的10%。

7）雨、雪、大风、寒冷天气应采取必要的措施，方可焊接。施焊时杆内不得有穿堂风。当气温低于-20℃时，应有预热措施，预热温度为100～120℃，焊后应使温度缓慢下降。严禁用水降温。

8）焊工应采用单面焊双面成形的焊接工艺方法，必须保证焊接质量。

（二）焊接工艺方法步骤

1）平整焊接现场。应有比焊接后杆总长还长5m左右、宽为6m左右的平整现场，并将每段杆的支撑处（支点）夯实，支点位于每段杆端头后0.21L处，L为每段杆长。长应顺线路方向。

2）将各段杆运至现场支撑处，按焊接时的位置基本对接放好，端部应接近于坑基，几段杆应成一条直线。

3）将其中一段杆吊起，在支撑处放好枕木并用水平尺找平，然后把有滚轮的托架放在枕木上，找平找正后，再把该段杆放在托架上，见图10-77可用吊车吊起，无条件时可用两只1t手拉葫芦和两只小三角架即可。吊点在0.25～0.30L处，吊高超过枕木和托架的总高即可。托架一般自制，滚动轮可用废轴承代替，下装0.5t千斤顶，钢板可用10～12mm厚的，焊接而成。见图10-78。

4）清除该段杆钢圈焊口上的油渍污垢，并打破口或修理坡口，这时可轻轻转动杆体，坡口可用汽割并用角向磨光机修理，但必须角度适中整齐，一般应由有经验的焊工进行。

5）用上述同样的方法把其他段吊起、除油污、打坡口，并使两段杆或三段杆的中心线基本在同一条直线上，焊口相距2～5mm，见图10-77。

6）找平找正找同心。有条件时可用水准仪进行，一般也可用加长水平尺（做一根2～3m长的硬木条，并在检验平台上检验，然后把1m长的水平尺固定在上面）进行。先在焊口处放置一根直径4mm的铅丝，按直径方向穿出，并把铁丝用两杆钢圈夹紧，然后在杆的一端从上下左右向前目测，基本一致后，再用仪器测量，反复校正，使整个杆弯曲偏差小于1/1000杆长。调整时先调节千斤顶并在枕木与托架间垫以木楔，木楔宽度应大于托架的宽度，调整好后应用木钉将木楔的尾部钉死，不能使杆身有轻微的晃动，并把焊口处4mm直径的铁丝抽出。

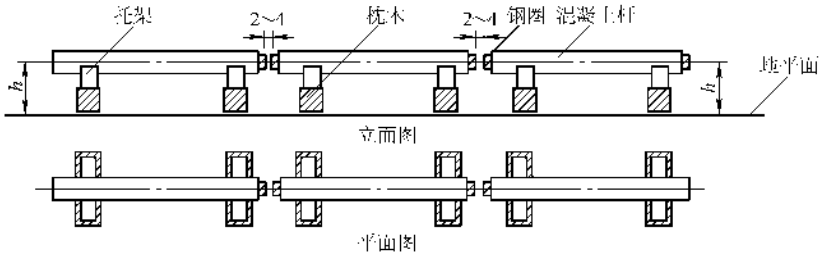


图10-77 焊杆排杆示意图

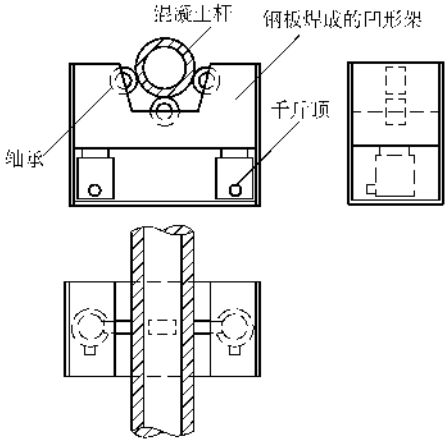


图10-78 托架结构示意图

调整好后应轻轻转动杆体，再次用仪器复验，应符合要求。转动杆体可用绳索套紧再用撬棍套入绳套一搬动而使杆身转动，见示意图10-79。

7）先在焊口处点焊一点，然后轻轻转动180°再点焊一点，再分别转动90°和180°各点焊一点。点焊好后再次找平找正，不得超出允许误差，否则要凿开焊点重新调整。

8）正式施焊和点焊用的焊条应相同，焊条要作烘干处理，施焊时必须采用对称交叉焊接，钢圈下部的焊接要采用仰焊，不得转动杆身，8mm厚及以上的焊口要连续焊接两层。

9）焊好后，应检查焊缝和弯曲度，应符合（一）中的技术要求。焊缝冷却后才能转动杆体，然后在规

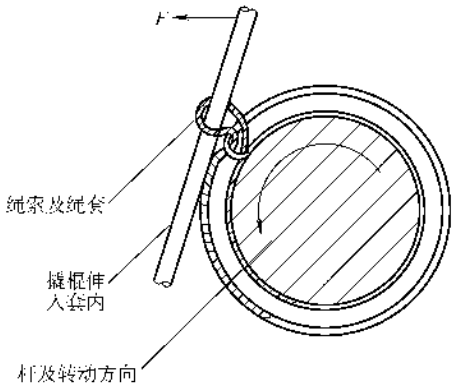


图 10-79　电杆的转动方法

定部位上（统一位置）距焊缝 50mm 处打上焊工的代号钢印。

10）焊缝的防腐处理：将钢圈全表面铁锈和焊缝的焊渣与氧化层除净，先涂刷一层红樟丹防锈漆，风干后再涂刷一层防锈色漆。

11）将杆整体吊起，注意吊点位置，把枕木、托架撤掉，再将杆放落在平地上，然后将现场清理干净。

（三）现在介绍一种在野外、高寒冬季、无电地区用汽焊焊接预应力水泥杆的方法，供读者参考，但钢圈宽度不应小于 140mm

1. 专用工具

（1）龙门架　用 10 号槽钢焊接而成，高 1.3～1.5m，宽 0.5～0.7m，顶部中心处有吊环一个，用以挂手拉葫芦，底部焊有平板，以防下沉。

（2）剪形吊钩　可用圆钢或扁钢锻制而成，形状见图 10-80，其强度要根据杆重而定。下口直径 B 要略大于杆的直径，开口 A 最大开口距离也要大于直径。

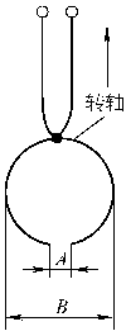


图 10-80　剪形吊钩结构示意图

（3）活动托架　带有滚轮和千斤顶的用钢板焊成的托架，见图 10-78。

2. 焊接工具及改装

制作保温活动房　用圆钢或小角钢焊接而成，外面包 10mm 厚以上的工业用毡子，两侧下面开圆形口，容积以两个人能操作为宜，顶部可留排气孔。焊接时将其（开圆形口侧）骑放在杆上，用以保温，使焊件不致冷却太快。

3. 焊接工艺方法及过程

将杆移至较平整的地段，把两杆基本放在一条直线上，钢圈间距 100～200mm；将两台龙门架分别骑放在一节杆的两端（大约有 1/4 或 3/4 长的位置上）；将两只 0.5～1.0t 手拉葫芦分别挂在两台龙门架的吊环上；将剪形吊钩分别挂在手拉葫芦的吊钩上，并用剪形吊钩卡住杆体。

然后两台葫芦同时起吊，将杆体水平升高，当升高高度大于活动托架时，将活动托架放于杆下，必要时要放枕木（如高差大或下沉等），放稳后松开吊钩，将龙门架、葫芦、剪形吊钩撤掉。用同样的方法将另段电杆托起放稳，并将两杆间隙调整到 4mm 左右。

调整千斤顶测试水平度及同心度，方法基本同前。

将活动房骑放在焊缝两侧，两人操作，一人手持焊把预热焊缝，预热时间要短，另一人焊接，技术要求、工艺方法同前。

此法焊接不但能保证质量，亦可提高工效。实践证明，在河北北部坝上草原、海拔 1300m，冬季 -30℃施工，焊接质量尚好。作者本人曾几次采用此法，收效很大。有一基杆因不填而摔坏，钢筋水泥杆摔得粉碎，但焊缝完好无损。该焊缝经 X 光检测及断拉试验，全部合格。

三、铁塔的组装

铁塔的组装，一般是用螺栓将钢结构的散件按照图样装配成整体的构件，并把横担、金具、绝缘子安装上去。因为塔身较重，因此组装的方式是由立塔的方式决定的。

（一）铁塔的组装方式

1. 整体组装

就是在地面上按照线路方向或起吊方向，将塔身全部构件拼装成整体塔架，然后再进行起立吊装，一般常用于总重较小的铁塔。

1）根据线路方向或起吊方向，按照图样确定塔身倒放后底面、两侧面、上面等各个部件（包括塔腿塔身、上下曲臂、横担、地线支架等）的位置、构件组成、安装方向、连接方式等。

2）将各部散件按上述确定的位置、安装方向在

组装地面上依次排列好，并检查有无缺件、缺陷或质量问题，如图 10-81（仅以为例）。

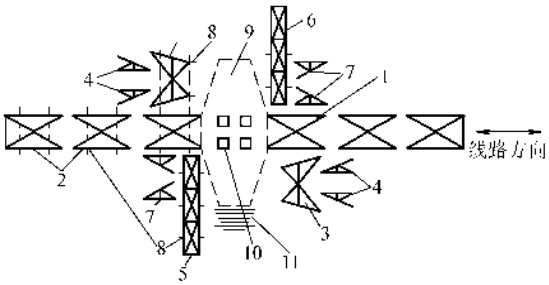
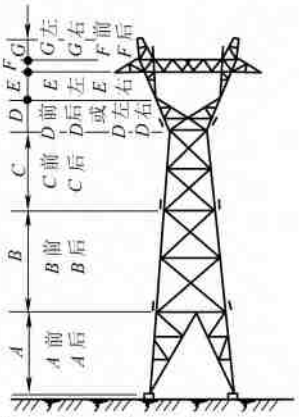


图 10-81　铁塔组装平面布置示意图

1—塔腿部分　2—塔身　3—上塔身(或塔颈下部)　4—塔颈上部　5—左侧横担部分　6—右侧横担部分　7—避雷线支架　8—垫在构件下面的滚筒　9—空场地范围　10—铁塔基础　11—未组装的铁塔零散构件

3）按照塔腿—塔身—曲臂—横担—地线支架的顺序将底面的构件一一用螺栓连接好，并用枕木将塔身与曲臂或横担的衔接处支起，支起高度一般不超过 1m，便于组装，也便于起吊。



段别	合计	A	B	C	D	E	F	G
分段组装	10	分为一段 A	分为一段 B	分为一段 C	分为二段 D左 D右	分为二段 E左 E右	分为一段 F	分为二段 G左 G右
分片组装	14	分为二段 A前 A后	分为二段 B前 B后	分为二段 C前 C后	分为二段 D前 D后 或 D左 D右	分为二段 E左 E右	分为二段 F前 F后	分为二段 G左 G右

图 10-82　酒杯型塔分段

4）按照同样的顺序在底面组装好的基础上同时组装两个侧面的部件，并用木杆先将两侧面临时拉接起来，实际是边安装边拉接，以保持两个侧面与底面的垂直。

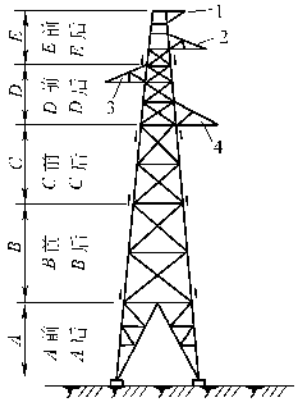
5）组装上面的部件：实际组装时，从两侧面开始及与上面的衔接是分组同时进行的。最后经检查、测试全部组装合格后再将拉杆拆掉。

6）安装绝缘子同前。

2. 分段组装

把塔从高度上分成几段，先在地面上把各段组装好，塔脚直接安装在基础上，然后用吊装设备把各段各顺序一一吊起，在空中将各段连接起来，组成整塔，因此组装和立塔是同时进行的。一般常用于较高较重的铁塔。

各型铁塔分段的方法可参考图 10-82 ~ 图 10-85 进行，现场布置见图 10-86。



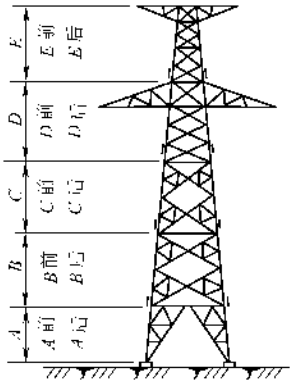
段别	合计	A	B	C	D	E	导线横担	地线支架
分段组装	9	分为一段 A	分为一段 B	分为一段 C	分为一段 D	分为一段 E	分为三段 上横担 中横担 下横担	分为一段
分片组装	14	分为二段 A前 A后	分为二段 B前 B后	分为二段 C前 C后	分为二段 D前 D后	分为二段 E前 E后	分为三段 上横担 中横担 下横担	分为一段

图 10-83　三角型塔分段

1—地线支架　2—上横担　3—中横担　4—下横担

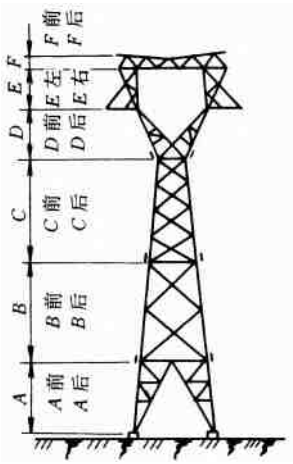
分段组塔有条件时应用吊车进行吊装，也可用抱杆进行吊装。

1）将塔腿直接组装在基础上，并将基础螺栓紧好，同时在塔腿两侧立两根抱杆，见图 10-87。



段别	合计	A	B	C	D	E	上横担	下横担
分段组装	9	分为一段 A	分为一段 B	分为一段 C	分为一段 D	分为一段 E	分为一段 上左 上右	分为一段 下左 下右
分片组装	14	分为一段 A前 A后	分为一段 B前 B后	分为一段 C前 C后	分为一段 D前 D后	分为一段 E前 E后	分为一段 上左 上右	分为一段 下左 下右

图 10-84　干字型塔分段



段别	合计	A	B	C	D	E	F（包括地线支架）	下横担
分段组装	10	分为一段 A	分为一段 B	分为一段 C	分为二段 D左 D右	分为二段 E左 E右	分为一段 F	分为二段 下左 下右
分片组装	14	分为二段 A前 A后	分为二段 B前 B后	分为二段 C前 C后	分为二段 D前 D后 或 D左 D右	分为二段 E左 E右	分为二段 F前 F后	分为二段 下左 下右

图 10-85　67 型塔分段

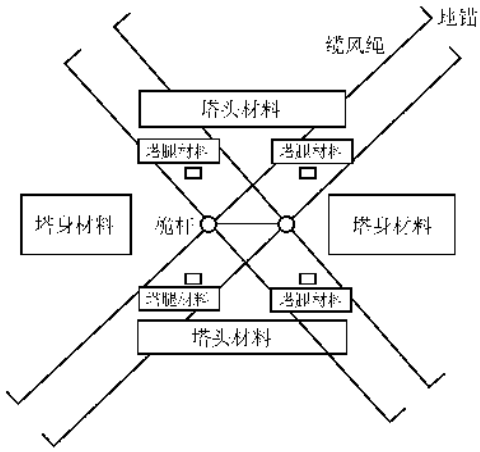


图 10-86　现场平面布置示意图

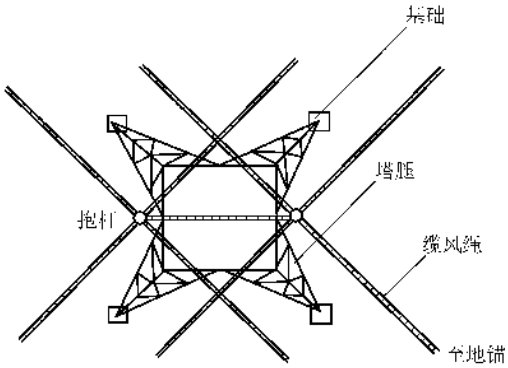


图 10-87　用抱杆组装铁塔示意图(一)

2）把塔身组装好，用抱杆吊起放在塔腿上并连接紧固好，见图 10-88。吊装时必须用铰磨控制塔身的前移切勿碰击塔腿。也可将塔身一段一段吊装，主要决定于抱杆的承载能力。一段一段吊装时也可逐段升高抱杆并把抱杆绑扎在塔身上，(见图 10-92)。

3）用同样的方法将其他部件按顺序一一吊起装好，最后把抱杆拆除。

4）分段组装亦可用倒装方法进行，也就是先将抱杆按基础的位置立起，然后组装塔头并用抱杆吊起整塔高度悬在空中，这时可在塔头下方组装塔身，并与塔头连接，然后将塔头、塔身一并吊起塔腿的高度，这样即可在塔身下方组装塔腿，并与塔身连接。最后将塔上所有固部件紧好，并拆除抱杆。

倒装除注意施工安全外，吊装用的抱杆、滑轮、钢绳、牵引机等必须有足够大的安全系数，以杜绝悬空时发生事故。其选择方法见半机械立杆部分的内容。

3. 分片组装

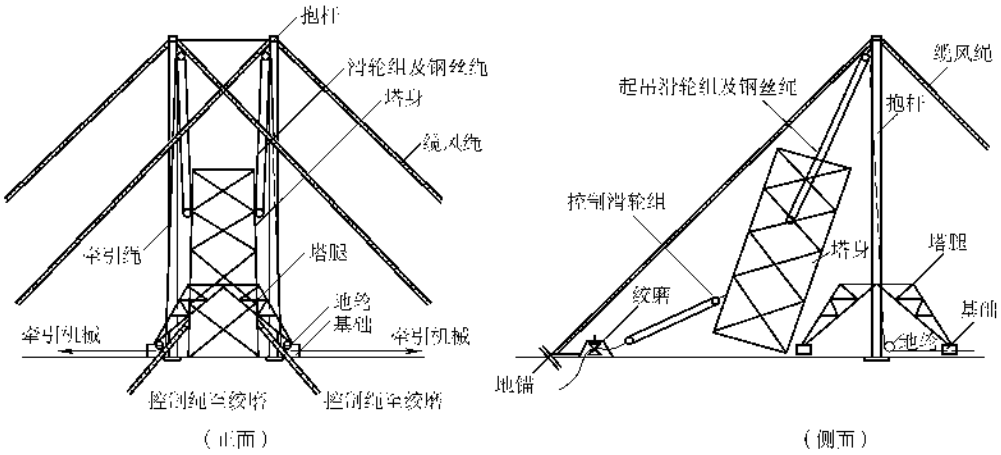


图 10-88　用抱杆组装铁塔示意图(二)

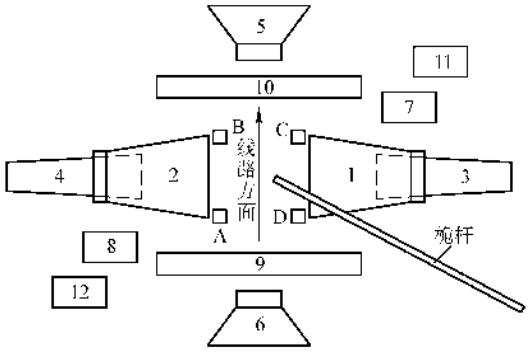


图 10-89　分片组装现场布置示意图

1、2—塔腿　3、4—塔身　5、6—下曲臂　7、8—上曲臂　9、10—横担　11、12—地线支架

注:2 和 4、1 和 3 有部分重叠。

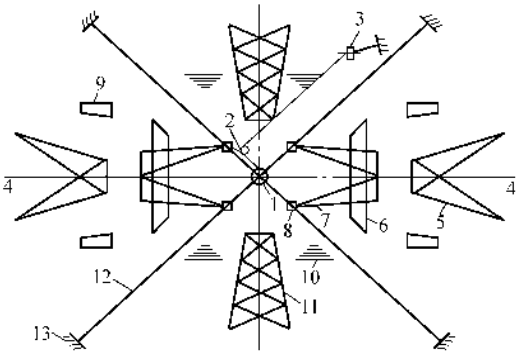


图 10-90　单抱杆分片组立铁塔平面布置图

1—抱杆　2—地滑轮　3—牵引设备　4—线路方向　5—塔颈　6—横担　7—塔腿　8—塔基　9—避雷线支架　10—零散材料　11—塔身　12—缆风绳　13—风绳地锚

分片组装是将各段再分成相应的(即前与后或左与右)两片来进行组装,另外两个面的斜材、水平材分别带在相应的主材上。一般常用于高而重的铁塔。

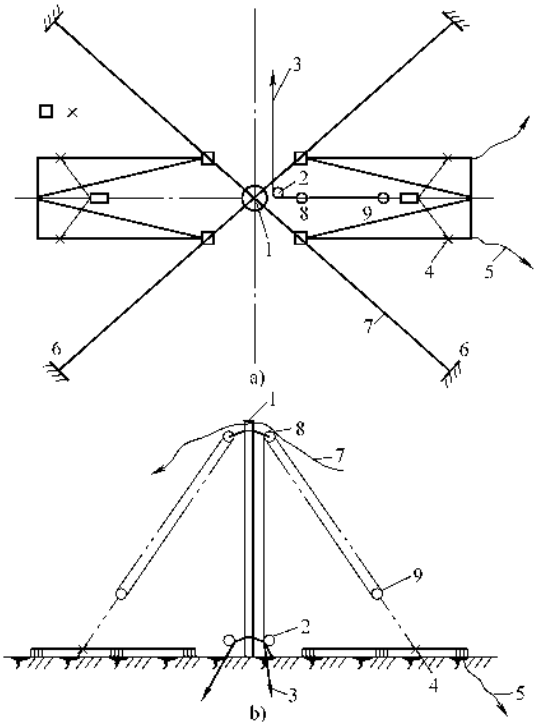


图 10-91　吊装塔腿布置示意图

a)平面图　b)正面图

1—抱杆　2—地滑轮　3—牵引钢丝绳　4—绑扎点　5—控制绳　6—临时拉线地锚　7—临时拉线　8—定滑轮　9—动滑轮

各型铁塔的分片方法可参考图 10-89 进行。

分片组装有条件时应用吊车进行吊装,也可用抱杆进行吊装。所不同的是可用独根抱杆进行吊装,工艺方法顺序与分段基本相同。见图 10-90 ~ 图 10-98。

这里需要强调说明一点，无论采用分段或分片组装，都应由起重工配合进行，抱杆、绳索、滑轮及滑轮组、缆风绳及地锚、牵引设备或机具的选取及设置，读者可参考起重吊装的有关专著。

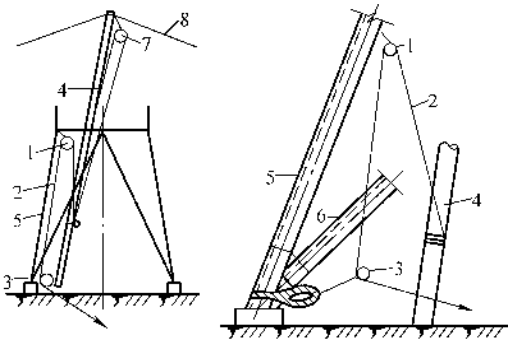


图 10-92　在塔腿上将抱杆升高布置示意图

1—单滑轮　2—提升抱杆的钢丝绳　3—地滑轮　4—抱杆　5—塔腿主材　6—塔腿斜材　7—抱杆起吊滑轮组　8—抱杆缆风绳

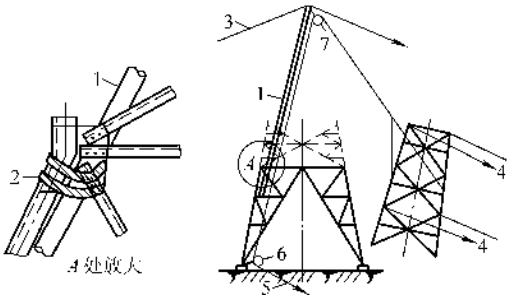


图 10-93　吊装塔身示意图

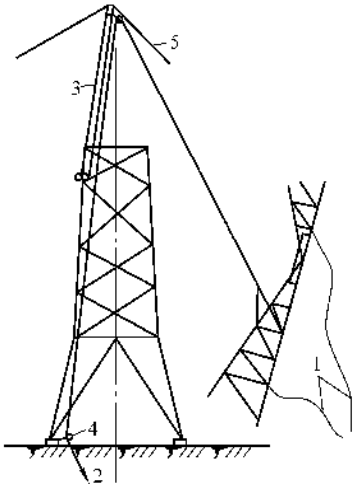


图 10-94　侧面吊装塔颈示意图

1—控制绳　2—牵引钢丝绳　3—抱杆　4—地滑轮　5—抱杆临时拉线

另外，分段或分片组装都应与整体组装那样，按照图样确定塔腿、塔身、塔头等各个构件安装方向、

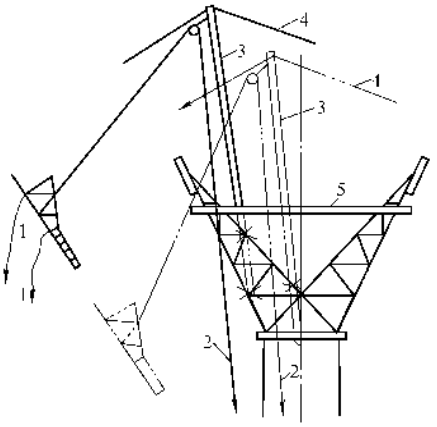


图 10-95　侧面吊装上曲臂示意图

1—控制绳　2—牵引钢丝绳　3—抱杆　4—抱杆临时拉线　5—补强横木

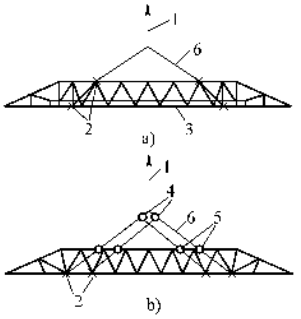


图 10-96　吊装横担时绑扎方法

a）有补强横木　b）无补强横木

1—吊绳　2—绑扎点　3—补强木　4—单滑轮　5—护绳　6—起吊绳

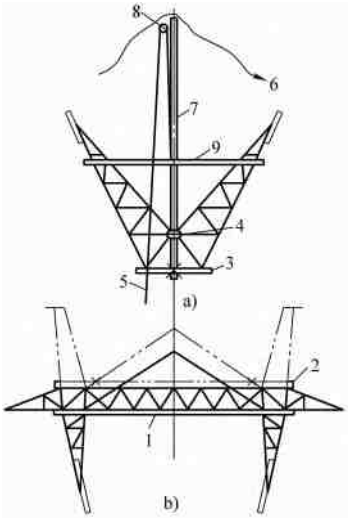


图 10-97　吊装上曲臂、横担和避雷线支架示意图

1、2、3、9—补强木　4—抱杆绑扎绳　5—牵引绳　6—抱杆临时拉线　7—抱杆　8—定滑轮

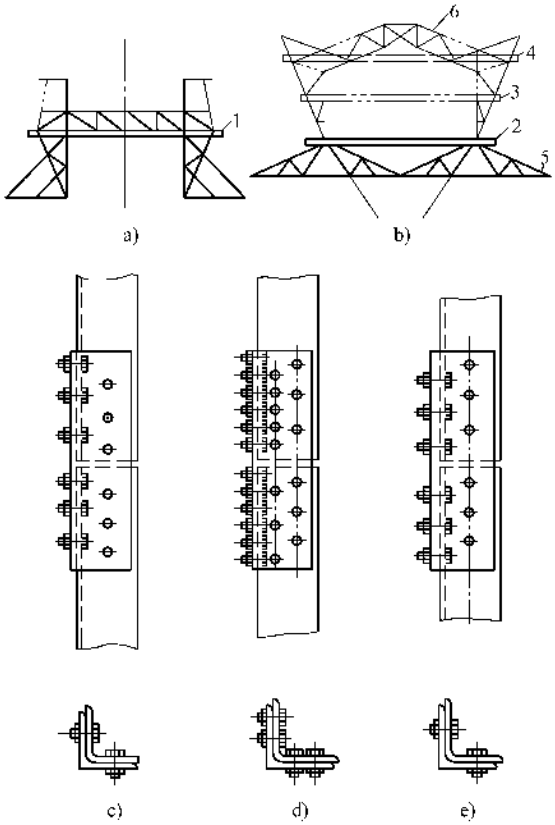


图 10-98 吊装顶部构件时补强横木的布置、主材与主材的连接

位置、连接方式等，并将散件按其在地面上依次排列好，同时进行检查和核对。组立后的尺寸误差应符合表 10-46 规定。

（二）组装铁塔的注意事项

1）应有一较开阔的平地，能将各部散件按图纸的安装位置、顺序铺开，一是为了查件核对方便，另一是为了组装不发生贻误，再者是便于吊装作业。

2）每块塔材的编号，通常第一位数字或符号对应于第几段或节，在地面上按编号依次排开，同时注意图样上每块塔材应安装的位置和方向，包括前后左右、内外正反都不能混淆。

3）塔材、角钢运到现场后，其弯曲度应符合本章“第四节器材的检查和验收”中第 14）条的规定，并按表 10-36 的要求进行矫正。

4）组装前必须经过技术交底，交底内容包括：操作规程、安装工艺程序及方法、安装图样、安装质量标准及安全技术措施等，使全体安装人员熟悉图样、资料和方法要求。有关塔上连接、焊接、构造部位列于图 10-98 ~ 图 10-106，供安装时参考。

5）支垫的枕木，其数量、位置符合安装设计的

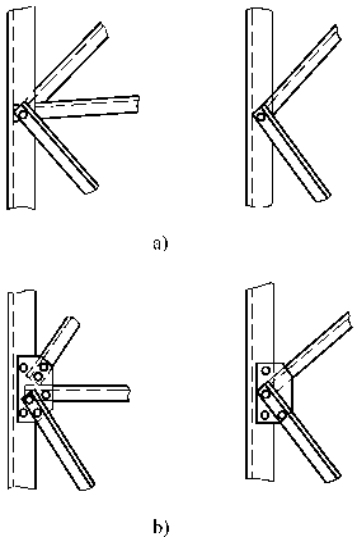


图 10-99 主材与斜材的连接

a）直接连接 b）通过节点板连接

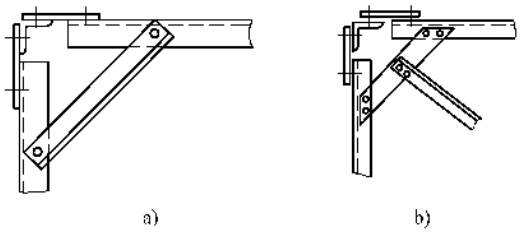


图 10-100 横隔材的连接

a）直接连接 b）通过节点板连接

要求，不得因构件自重而使结构产生损坏或变形。支垫应稳固可靠，高度应满足组装要求。

6）铁塔应对称组装于线路中心线（转角塔为线路转角二等分线）的两侧。脚钉及接地螺孔的方向应与设计要求相符，若设计无规定时，应面向受电侧把带有脚钉孔的主材放在右后方。若采用倒落式抱杆立塔，则应将铁塔底脚板垫起一定高度并与基础座连接（见图 10-130）。

7）螺栓安装及紧固的规则、要求同水泥杆组装。构件组装应紧密牢固，如有组装困难或螺孔位置不对，严禁强行组装，应按电杆组装时的处理方法进行妥善处理。交叉处有空隙者，应装设相应厚度的垫板。螺栓紧固扭矩标准见表 10-47。

8）螺栓的安装，一般应从端部开始，并分别对称紧固。全部组装完毕后，再逐个一一检查并拧紧。

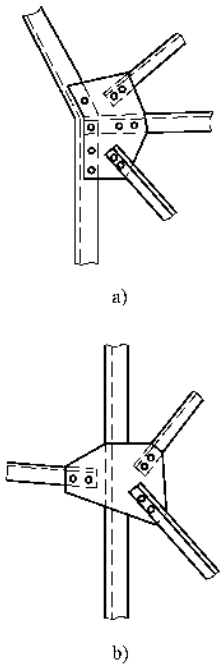


图 10-101　瓶口与曲臂的节点

a）瓶口　b）K 节点

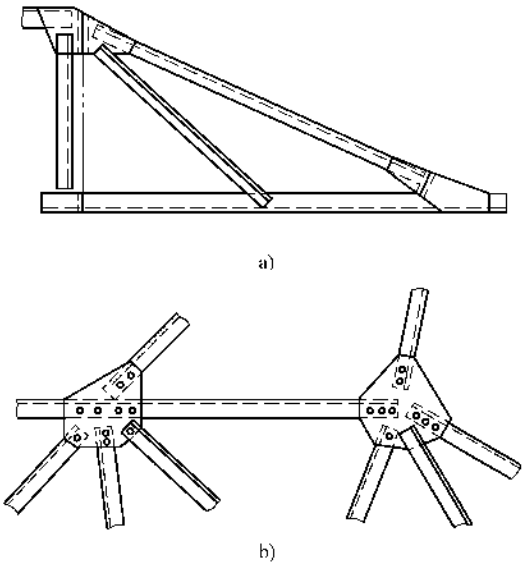


图 10-102　横材与塔身、横担与地线支架的连接

a）横担与塔身　b）横担与地线支架

9）对螺栓孔位不正、漏钻或角钢切角不够等缺陷，应补钻或补切，补钻或补切应按表 10-49 和表 10-50 的规定进行。孔位不正可扩孔处理，扩孔尺寸不大于 3mm，否则应补焊钻孔，钻孔后涂防锈漆，严禁气焊开孔。

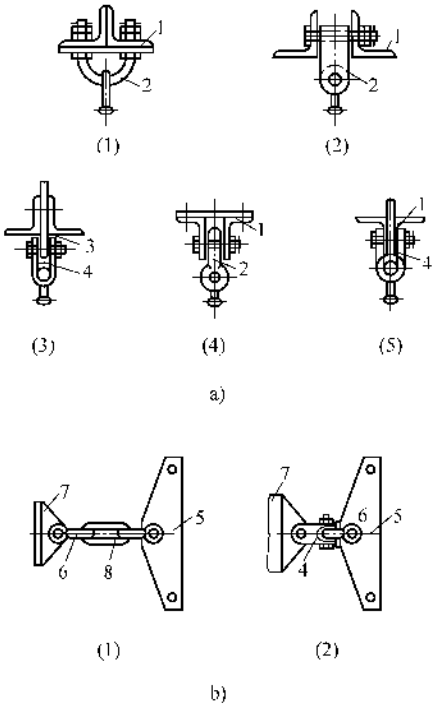


图 10-103　挂线点的构造

a）悬垂结构　b）耐张结构

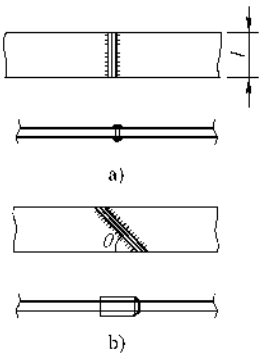


图 10-104　对接焊缝

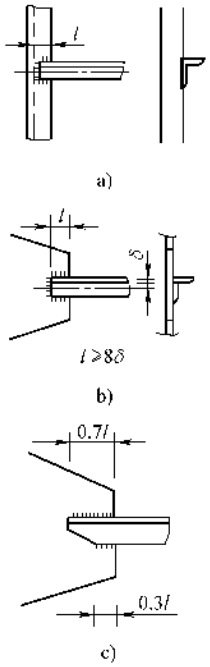


图 10-105 塔接焊缝

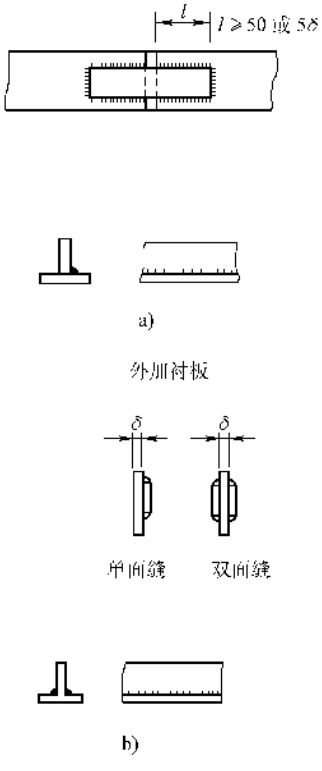


图 10-106 外加衬板、丁字连接

表 10-51 螺栓间距与端距

（单位：mm）

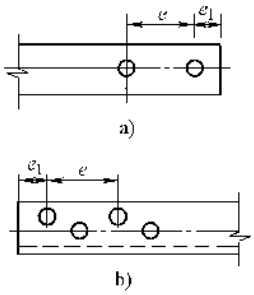
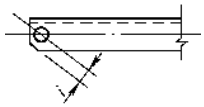
螺栓规格	螺栓孔径	排列方式	间距 e	端距 e_1
M16	ϕ17.5	单排 双排	50 80	25
M20	ϕ21.5	单排 双排	60 100	30
M24	ϕ25.5	单排 双排	80 120	40
图 示				

表 10-52 角钢切角边距

（单位：mm）

螺栓规格	螺栓孔径	轧制边 l	切角边 l
M16	ϕ17.5	21	23
M20	ϕ21.5	26	28
M24	ϕ25.5	31	33
图 示			

10）更换材料或代替时，应经设计同意，组装后的铁塔应符合设计要求。

11）组塔必须由专人负责指挥，统一安排安装工作和安全工作。吊装时要前后左右呼应，登高作业必须带安全带，所有工作人员应戴安全帽，严禁将手指探入螺孔对孔，其他安全措施请读者参阅“第五章”第九节有关内容。

第六节 立杆、立塔及拉线组装

一、立杆

立杆的方法很多，总体上可分为机械立杆、人工立杆和抱杆半机械立杆三种。机械立杆方法简便，安全省力，一般有条件的地方均应采用。人工立杆方法较复杂，安全性差，但在山区、沼泽地等吊车不能行

走或停留的地方，人工立杆又显得尤为重要。在无吊车条件时且人工立杆又不能胜任时，往往采用抱杆半机械立杆，抱杆半机械立杆方法较复杂，但安全性强且省力，适用于任何场所和杆型，是一种常用的立杆方法。

立杆的程序包括清理杆坑、立杆、找正、回填土夯实、整杆及清理现场等几个工序。

（一）机械立杆

机械立杆一般用汽车吊，15m 以上的杆应用汽车液压吊。有关吊车的选用，具体吊装方法见第十章、第十三章相关内容。立杆的指挥者应具备一定的起重专业技术。立杆的顺序通常从始端或终端开始，也可以某一耐张段或转角开始。

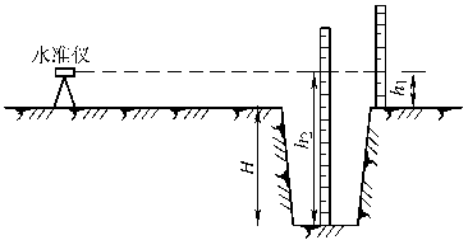


图 10-107　单杆坑深检查

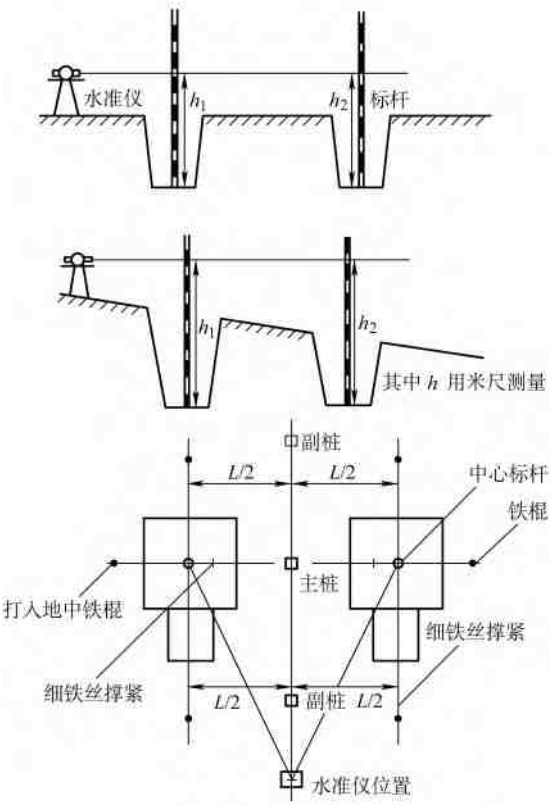


图 10-108　双杆坑深检查

1）清理杆坑内的杂物、土砾，然后丈量坑深，见示意图 10-107，不符合要求的基坑要进行修整，双杆的坑深要一致，同时找出基坑边的主桩或副桩，最后将修平整好的坑底用夯夯实夯平。双杆的基坑要测量两坑的中心距是否与根开相符，否则要修整，见图 10-108。

2）将底盘放于坑底，底盘放入后应平整而不悬空，其中心应与木桩及线路方向对正，一般用目测。找正后将其四周用土填实，使之不能移动。见图 10-109。重量较小的底盘，一般由四人用绳子分别撑住四角，送至坑下；也可在坑内斜放一滑板（木板），然后用绳子拉住慢慢滑下。较重的底盘应用吊车吊住，送至坑下。严禁将底盘抛掷坑内。见图 10-110。

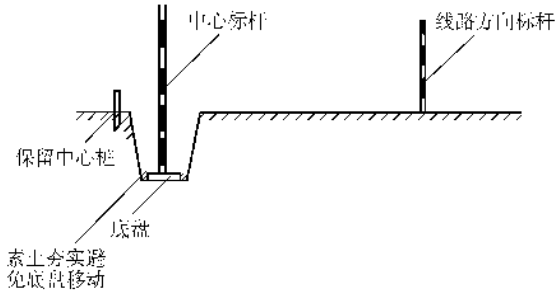


图 10-109　底盘的放置

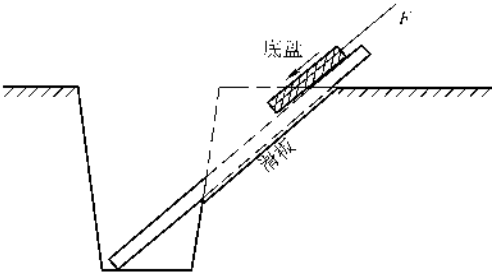


图 10-110　底盘用滑板滑入坑内

3）将杆顺线路方向摆好，并使根部置于坑边，见图 10-111。同时将吊车停至坑口线路方向两侧的 5m 以外，并将其支撑支好支稳。

4）将钢丝绳索系在杆高 3/5 处（使下部重一点，上部轻一点）并用吊钩吊好，发动牵引机使其撑紧，但不起吊。检查无误后，即可起吊；当杆头升至 1m 高时，即停止起吊，一则检查有无不妥，二则在杆头系上四根大绳（长度大于杆长 2 倍，直径由杆径而定，一般为 $\phi20\sim\phi30$），且每 90°一根，系绳方法应用压插法，见图 10-112。且将绳子按四个方向撒开，一绳二人。

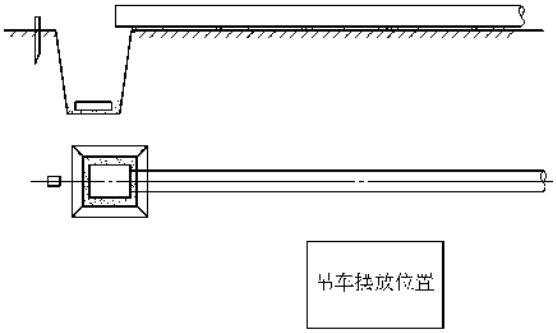


图 10-111 吊装前将电杆摆好

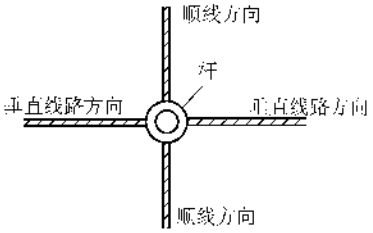


图 10-112 杆头系上四根大绳

5）指挥者应检查各个部位的准备情况，包括经纬仪已支放在坑口后（木桩侧）顺线路方向约 15m 处或观察者已站立在这里，前方 2～3 基坑处已有人持标杆站立，并将标杆直立于该基木桩上，一直到全部准备好且无其他干扰。

6）轻轻慢速起吊，一般只使杆的根部离开地面 300mm 即可，这时杆头朝上，杆身与地面约成 70°～80°左右，拉绳者应使绳子放松，并分别站立于线路方向的前后和两侧。缓慢移动吊臂使杆根部对准基坑，慢慢落于底盘的中心上；下落时坑口四边应分别站一人，手抱杆身，使杆落于底盘中心上。

7）使杆倾斜的反侧一组或两组大绳用力拉杆，斜倾侧稍微放松大绳，同时吊钩稍稍下落一点，将杆扶正，这时四面的大绳应撑紧，保持杆身垂直平衡。这时吊钩也将钢索撑紧，但不得吊起。

8）观察者可用经纬仪或肉眼进行观测、杆身与持标杆人（或标杆）应重合，且与观测点为一条直线，这时顺线路方向已立正（大面）。如有偏差可用滑板（大厚木板）撬动杆身，偏差太大应起吊调整。观察大面找正后，再到杆的两侧（垂直线路方向）观测小面的垂直度，并用顺线路方向的大绳调整，调整小面时要注意大面的变化，否则要重新调整大面。完全找正后即可填土。

这里要注意两点，如果杆已组装好，要使横担的方向符合线路要求，这样在系绳索时要将其绳结系在杆身朝上一面的中线上；如果杆头有预留螺栓孔，应注意其方向，杆中心不正应转杆。如需转杆应按图 10-113 进行，用绳子系好扣，系扣方法见图 10-79，然后用木杠转动。

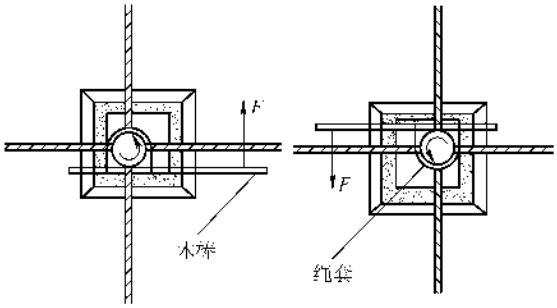


图 10-113 杆立起后转动移位示意图

9）填土应边填边夯实，一般每埋土 500mm 应停止埋土，然后用夯彻底夯实一次，并随时注意杆的倾斜，可用四面的大绳调整。填至距地面 650～700mm 时应装设卡盘，装卡盘前应测量杆的垂直度并调整好。转角杆、分支杆、及有特殊要求的终端杆、跨越杆及耐张杆均有两块卡盘。卡盘应用 U 型抱箍与杆身卡好紧固好螺母，卡盘装设的示意见图 10-114。卡盘装好后应再次观察杆身垂直度，然后继续填土夯实。这时吊钩可松开，吊车应移行至前一基坑，作好起吊准备，填土最后应在杆根堆起高 300mm 的土堆并夯实，见图 10-115。

10）最后再观测一次垂直度，然后登杆将钢丝绳索和大绳解开，全部移至前一基坑。

11）从第二基杆开始，观察者可前移至每杆的前一基坑处以第一基杆或立好的最近一基杆为准进行观测，经纬仪可安放在前基坑边上，铅锤对准木桩，人工观测可将标杆直立于木桩上。已立好的杆、被立杆与观测点应成为一条直线。

12）双杆与单杆立杆方法基本相同，但应注意以下几点：

① 复测基坑的高差，见图 10-108，水准仪也可放在线路方向副桩的连线上，使其与两坑中心距相等，在标杆上测得的高度 h，必须用米尺测量，$|h_1-h_2|\leqslant 20$mm 则符合 GB 50233—2005 规定，如超过规定（20mm）应在较低的坑内填湿土夯实找平。

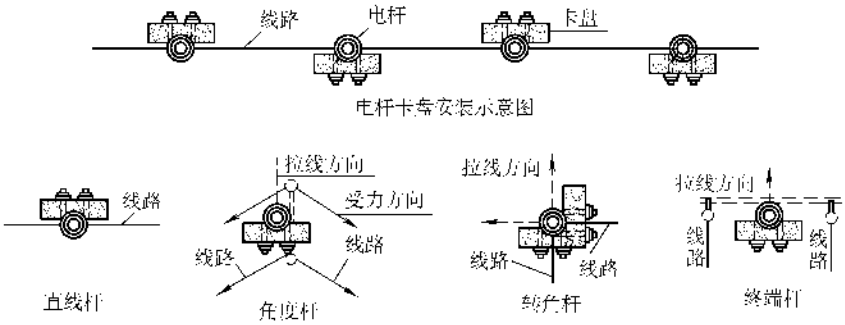


图 10-114　卡盘的设置

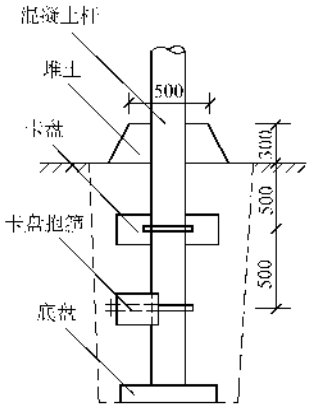


图 10-115　杆立起后基础示意图

②　放入底盘后应先进行底盘中心找正。先用细铅丝将两副桩及主桩中心圆钉连接起来并撑紧，三桩应在一条直线上，从中心桩圆钉向两边各量出半根开并用红漆在铅丝上作好标记。然后分别在标记处吊下铅锤，使之接近于底盘，以此为准将底盘中心找正，然后用湿土将底盘四周填满挤紧不动。最后在坑口边标出中心位置，见图 10-116。

③　在中心桩处安装经纬仪，转动 90°在线路的一侧的 10～15m 处钉一临时桩，以便立杆后观察小面与线路方向是否垂直。

④　在横担中心处系两根大绳，顺线路方向前后撒开，以便调整杆的倾斜。

⑤　有条件时应用两台吊车从线路两侧同时同建起吊，但一台吊车也可胜任。

⑥　直线杆的卡盘均在杆的外侧，终端、转角、分支、跨越杆均为两块卡盘，位于受力方向的反侧。

⑦　立好杆后将临时底梁拆下运至前基再组装使用。

⑧　双杆一般应用经纬仪找正，无条件也可用人工肉眼观察，但以其中一侧的杆为准，要求组装必须符合要求。

钢管杆的立杆一般采用吊车吊装进行。当杆底法兰高出基础螺栓 100mm 时，即停止起吊，当法兰螺栓孔与基础螺栓对正后，取掉螺栓外护套后即可将其落下，找正后用螺母紧固即可，一般用双螺母并上黄油防腐。

（二）人工立杆

人工立杆与机械立杆只是起吊方法不同，清理杆坑、找正、回填、整杆的程序方法基本相同。

人工立杆大都是采用架腿（俗称戗杆）立杆，其工具简单，不受地形限制，单杆双杆都可采用。因此在吊车不能到达的地方或无条件使用吊车时都采用架腿立杆。

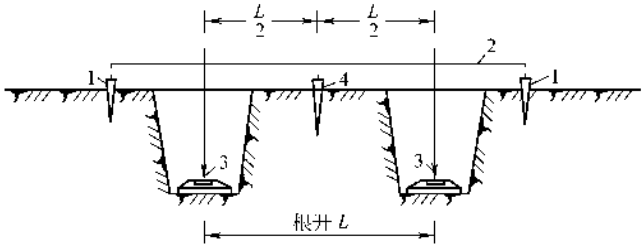


图 10-116　双杆底盘中心找正方法示意图

1—副桩　2—细铅丝　3—线锤　4—中心桩

架腿是用两根杉木杆做成的特殊立杆工具，大小各一副，大的高 5～7m 左右，小的高 3～4m 左右，上部用铁链连接，铁链长约 0.5m，下部每根各用穿钉穿过作为把手，距地约 0.8m，见图 10-117。它的作用是将抬起一定角度的杆支起来，然后两副架腿交替支撑杆体，将杆立起，最后借助大绳将杆立正。使用操作方法如下：

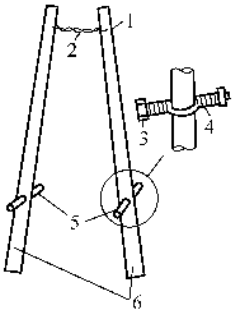


图 10-117　架腿示意图

1—钉卡钉　2—铁线缠成的链子；或用钢丝绳，长约 0.5m　3—螺栓　4—用 4mm 铁线缠绕　5—把手　6—直径 80～100mm，长 5～7m 的杉木杆

1）将一块厚大于 80mm、宽约 500mm、长约 3m 的硬木板（滑板）置于坑内靠木桩侧，宽面面向线路方向、在坑内稍倾斜一点即可，下部与底盘顶死。

2）将杆置于坑口边马道侧，然后众人将杆上半部抬起，底部便溜于木板并顶在木板上，这时将顶部系四根大绳，并按四个方向（顺线路前后左右）撒开，每绳一人。见图 10-118。

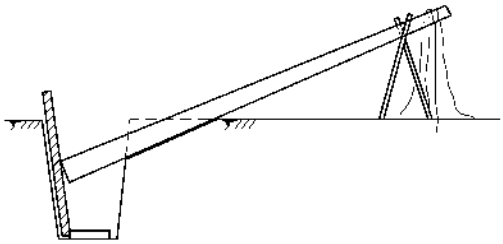


图 10-118　架脚将杆端支起

3）将铁棒置于杆下，尽力把杆抬起，另一铁棒再置于靠近杆根部一侧，尽力抬杆，轮番进行，尽量使杆与地平的角度大一点。同时两人抱住杆的根部，使其顺木板下滑而不移位，要避免使杆顶在坑边的土坡上，一直到杆立起为止，并保证使杆落于底盘中心上。

4）这时每两人各用一手扶小架腿上部，另手握住把手，四人将其两杆下部分开，用上部咬住已抬起的电杆，四人同时用力向前并向上将杆支起，所有抬杆人撤掉，分散到大绳处并握住大绳，起立方向上的大绳要人多一些。

5）四人再用力使杆抬的更高一些，直至架腿与地面基本垂直；另外四人同样方法持大架腿并将下腿分开，将上部咬住小架腿支点上部的杆（两架腿不要咬在一起），这时大架腿用力支起，小架腿即松开，再将其移置于接近杆根的部位；然后两架腿同时用力，起立方向的大绳也一同用力，喊上号子，步调一致，将杆支起更大的角度，直至大架腿与地面基本垂直；这时小架再稍用力支一点，大架腿即松开，并将其落于小架腿支点之上，再用力支起，小架腿即松开，再移置于杆根部位，同时用力，就这样一倒一倒将杆支起；使杆与地面角度约为 80°，起立方向大绳用力撑紧。

6）大架腿稍用力一点，小架松开，并延杆体转动 180°，与大架腿对称将杆夹住，这时大架腿和大绳同时用力，将杆立于垂直，这时四根大绳和两副架腿同时将杆撑住。

7）从大面小面将杆找正，大面如根部偏移较小、可用前述方法转杆使其位移，直至到底盘中心；头部偏移用大绳调整，找正后将木板抬出即可埋土。如根部偏差较大时，应将石块置于坑中作为支点，然后用滑板当作杠杆撬动杆的根部移动，见图 10-119。

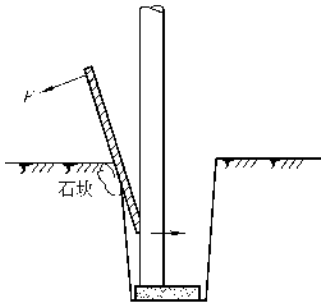


图 10-119　用木滑板撬动底部移位示意图

8）埋土至装上卡盘后，才允许将架腿松开撤掉、前移至另一基坑。

架腿立杆见图 10-120。

双杆架腿立杆与单杆相同、只是需要四副架腿、两块滑板、两根大绳，人员要增加一倍，要用两块滑板同动撬动杆根，调整较大偏差。

（三）半机械立杆

半机械立杆与机械立杆只是起吊方法不同，其他程序方法基本相同。

半机械立杆的方法很多，大都采用人字抱杆，安全可靠，只是在抱杆的选取上要使材质和直径合理，安全系数要适当大一点，否则抱杆重量过大、给移动带来不便。采用人字抱杆可分固定抱杆或倒落抱杆两种。

1. 固定式人字抱杆立杆

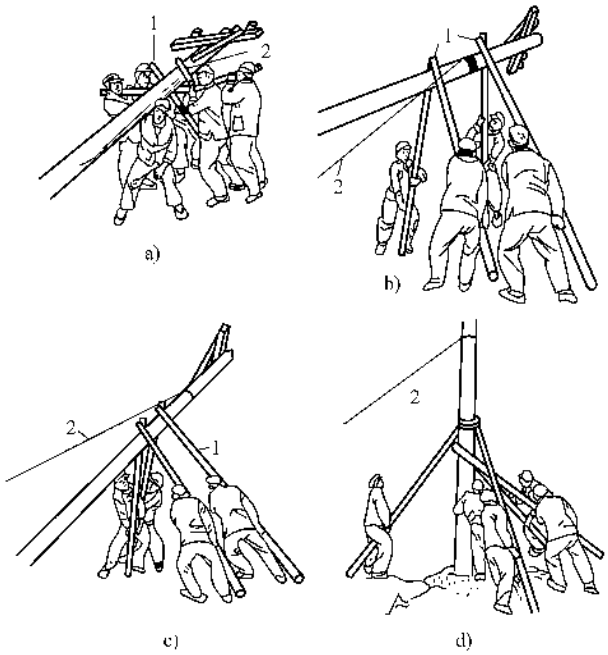


图 10-120　架腿立杆示意图

a）抬起　b）支架腿　c）倒架腿　d）立起后

1—架腿　2—临时拉线

（1）抱杆的选择　抱杆的高度通常取杆塔的重心高度再加 1.5～2.0m；滑轮组的选择，杆重 500kg 及以下，可用一只定滑轮直接牵引；500～1000kg，可选一定一动滑轮组牵引；1000～1500kg，可选二定一动滑轮组牵引；1500～2000kg，可选二定二动滑轮组牵引。重量再大时及其他数据的选择可按表 10-53 进行。有关计算请参阅有关专著。

表 10-53　固定人字抱杆起吊能力

起吊重量 Q_0 /t	抱杆高度 /m	抱杆梢径 /cm	拉线直径（双根）/mm	滑轮组			牵引设备的牵引力 /kN	备注
				钢绳直径 /mm	滑轮走别	滑轮规格 /t		
3.0	7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0	φ16～18 φ16～19 φ17～20 φ18～21 φ19～22 φ19～23 φ20～24 φ20～25 φ21～26	φ17.0	φ12.5	走二走一（定二动一）	6.0	14.7	①
5.0	7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0	φ18～19 φ19～20 φ19～21 φ20～22 φ21～23 φ22～24 φ23～25 φ24～26 φ25～27	φ17.0	φ15.5	走二走一（定二动一）	10.0	24.5	②
5.0	7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0	φ17～19 φ18～20 φ19～21 φ20～22 φ21～23 φ22～24 φ23～25 φ24～25 φ25～26	φ17.0	φ12.5	走二走二（定二动二）	8.0	19.6	②

（续）

起吊重量 Q_0 /t	抱杆高度 /m	抱杆梢径 /cm	拉线直径（双根）/mm	滑轮组			牵引设备的牵引力 /kN	备注
				钢绳直径 /mm	滑轮走别	滑轮规格 /t		
10	7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0	ϕ20～22 ϕ21～23 ϕ22～24 ϕ23～25 ϕ24～26 ϕ25～27 ϕ26～28 ϕ27～29 ϕ28～30	ϕ18.5	ϕ15.5	走三走二（定三动二）	15	24.5	③
15	7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0	ϕ23～25 ϕ24～26 ϕ25～27 ϕ26～28 ϕ27～29 ϕ28～30	ϕ18.5	ϕ18.5	走三走二（动三动二）	23	39.2	④

① 当 $\alpha=5°$、$\gamma=20°$ 时，抱杆梢径取小值，$\alpha=30°$、$\gamma=30°$ 时，抱杆梢径取大值。

② α 限制在 20°以内，当 $\alpha=5°$ 时抱杆梢径取小值，$\alpha=20°$ 时抱杆梢径取大值。

③ α 限制在 15°以内，γ 限制在 20°以内，当 $\alpha=5°$ 时抱杆梢径取小值，$\alpha=15°$ 时抱杆梢径取大值。

④ α 限制在 10°以内，γ 限制在 20°以内，当 $\alpha=5°$ 时抱杆梢径取小值，$\alpha=15°$ 时，抱杆梢径取大值。

（2）固定式人字抱杆吊装的方法及布置　见图 10-121，其他同机械立杆。

（3）注意事项

1）抱杆根开一般为其高度的 1/3～1/2，两抱杆长度应相等且两脚应在一个水平面上，并用绳索连接在一起防止滑动。起吊较重杆时，可在抱杆倾斜的相反方向上再增设钢索拉线。绳索较多时，要排列上下顺序，以免起吊后发生混乱。

2）摆放电杆时，电杆的吊点要处于基坑处，一般应在吊钩的正下方。必要时可在杆的根部加置临时重物，使电杆重心下移，以助起吊。

3）抱杆最大倾斜角应不大于 15°，以减少拉线的拉力，拉线与地面夹角不宜大于 45°。

4）固定式人字抱杆适用于 15m 及以下的混凝土杆，当起吊 15m 以上的水泥杆时，由于吊点仅为一点，使水泥杆吊点处承受弯矩过大，必须在吊点处绑扎加强木。一般用圆木或方木，用 8#铁丝与水泥杆扎成一体，其长度可为水泥杆长的 1/3～1/2，直径至少 100mm。

5）土质较差时，抱杆脚处应垫以枕木，防止受压下沉。

6）拉线桩、绞磨桩的设置必须牢固可靠，并有人监视。

7）抱杆立杆应有起重工配合作业，指挥者应具备有关起重吊装专业的技术。

2. 倒落式人字或 π 形抱杆立杆

（1）倒落式人字抱杆立杆的示意图　见图 10-122。

（2）抱杆的选择

1）抱杆的高度一般应≥1/2 杆塔高度。

2）抱杆的根开一般为抱杆高度的 1/3 左右，吊装过程中禁止塔杆与抱杆撞击，根开间一般用钢索联系固定。

3）抱杆根基与坑边的距离至少应≥1m 或为杆塔重心高度的 20% 左右。

4）抱杆的人字面对地面的夹角一般为 50°～70°；当起立后抱杆的作用失效时，其与地面的夹角应以杆塔与地面的夹角≥60°时为准。

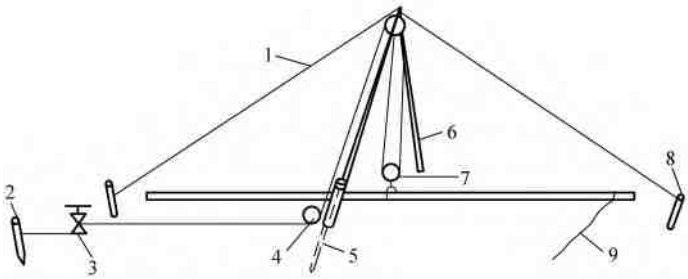


图 10-121　固定式人字抱杆立杆示意图

1—临时拉线 ×2　2—绞磨桩　3—绞磨　4—导向滑轮　5—铁钎

6—人字抱杆　7—1-1 滑轮组　8—拉线桩　9—调整绳

（3）吊点的选择　吊点选择的一般原则为 15m 及以下的采用单点起吊，ϕ300mm，18～24m 等径杆采用双点起吊，27～30m 等径杆采用三点起吊，30m 以上的应采用四点起吊。吊点宜选在杆与横担、斜材连接点，其合力点应高于整体重心，一般为重心高度的 1.2～1.4 倍。

（4）临时拉线，吊索及其隔桩的布置

1）单杆每杆头系四根临时拉线，双杆每杆头系二根拉线，顺线路方向前后各一根。

2）临时拉线锚桩的位置应距基坑的距离为杆长加 5m；制动钢绳（拖拉绳）锚桩的位置为未立杆之前杆头前面 3～5m 处。

3）总牵引地锚的位置应距基坑（1.5～2.5）杆长，起动时牵引绳与地面夹角应 <15°。

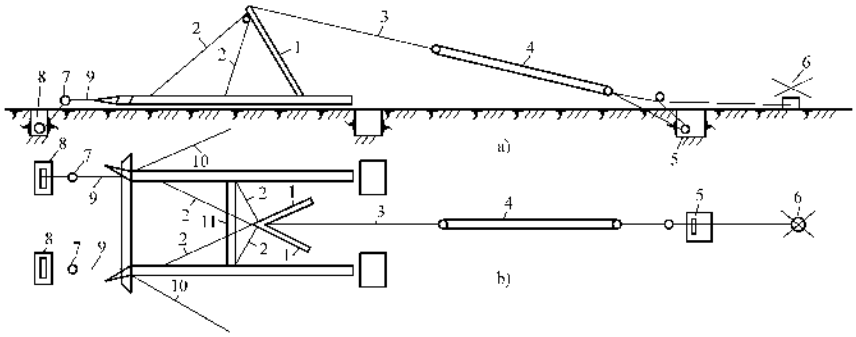


图 10-122　倒落式人字抱杆立杆示意图

a）正面图　b）平面图

1—抱杆　2—起吊钢丝绳　3—牵引钢丝绳　4—牵引滑轮组　5—牵引地锚　6—牵引设备

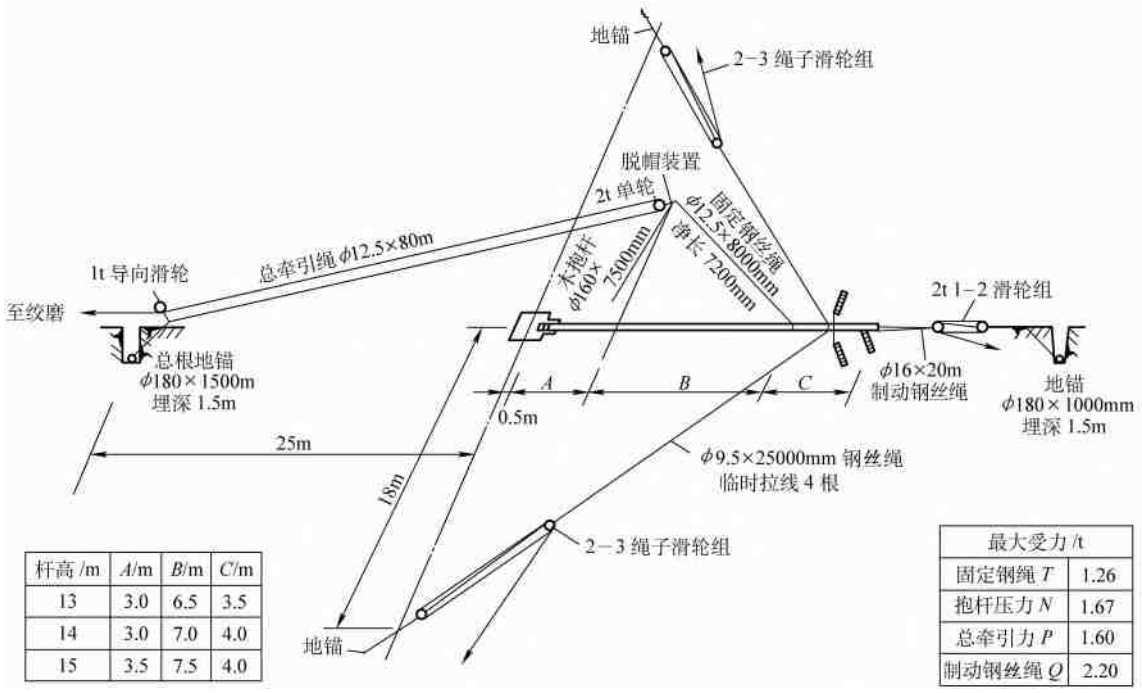
7—制动器　8—制动地锚　9—制动绳　10—控制绳　11—加强木

4）总牵引地锚、抱杆中心、杆身重心及拖拉绳地锚的四点连线应与线路方向的中心线重合。

（5）滑轮组的选择　一般以牵引力 500～1000kg 选择滑轮组，牵引绳、拖拉绳、临时拉线应有足够的长度。

（6）倒落式起吊混凝土杆现场布置及吊点分布见图 10-123～图 10-129，仅供参考。

（7）注意事项同固定式抱杆吊装。



杆高 /m	A/m	B/m	C/m
13	3.0	6.5	3.5
14	3.0	7.0	4.0
15	3.5	7.5	4.0

最大受力 /t	
固定钢绳 T	1.26
抱杆压力 N	1.67
总牵引力 P	1.60
制动钢丝绳 Q	2.20

图 10-123　一点起吊 13～15m 混凝土单杆示意图

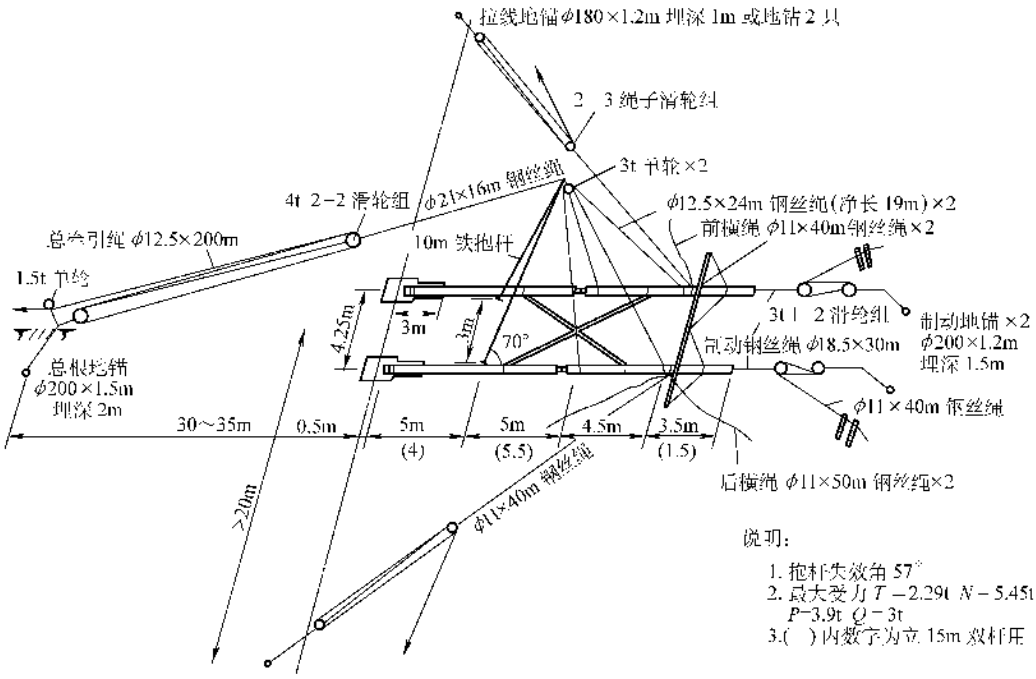
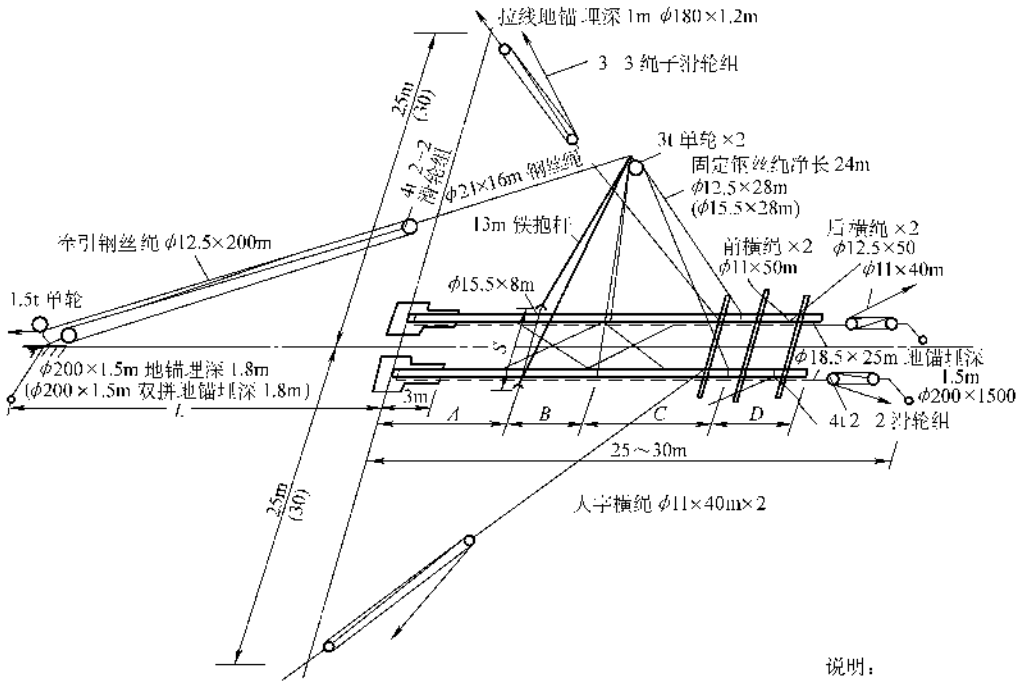


图 10-124 两点起吊 15～18m、φ300 等径混凝土双杆示意图



杆型 /m	A/m	B/m	C/m	D/m	抱杆		S/m	L/m
					起立角	失效角		
21	6	4.5	6.5	4	65°	57°	5	35
22.5	7	4.5	6.5	4.5	65°	58°	5	35
24	7	5.5	6.5	5	62°	58°	6	40

图 10-125 两点起吊 21～24m、φ300 等径混凝土双杆示意图

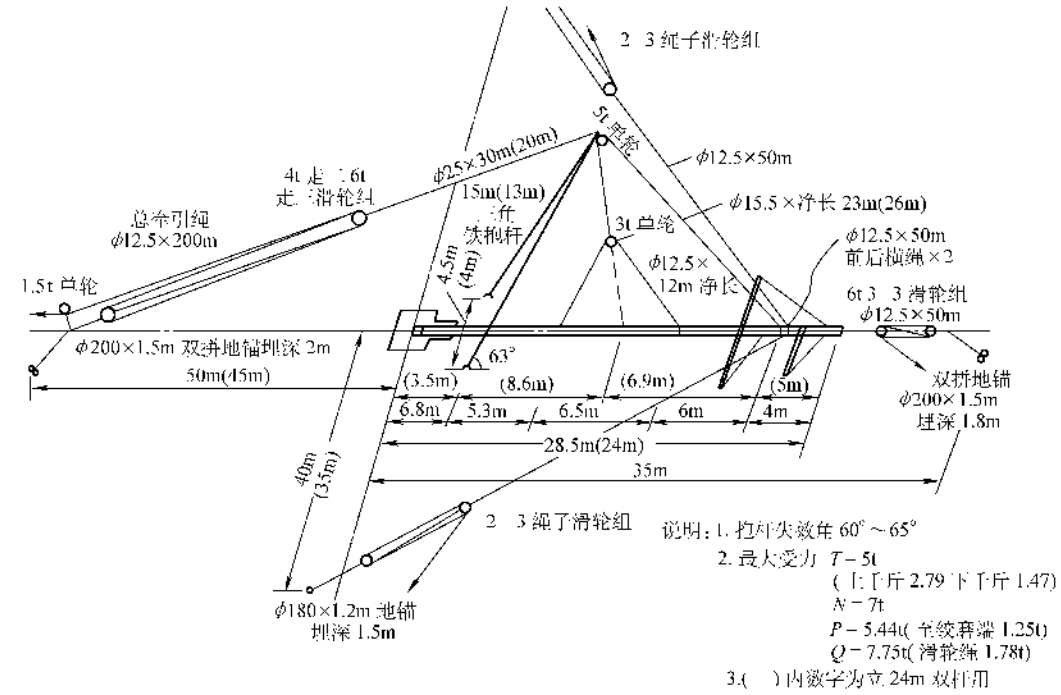


图 10-126　三点起吊 24～28.5m、φ400 等径混凝土单杆示意图

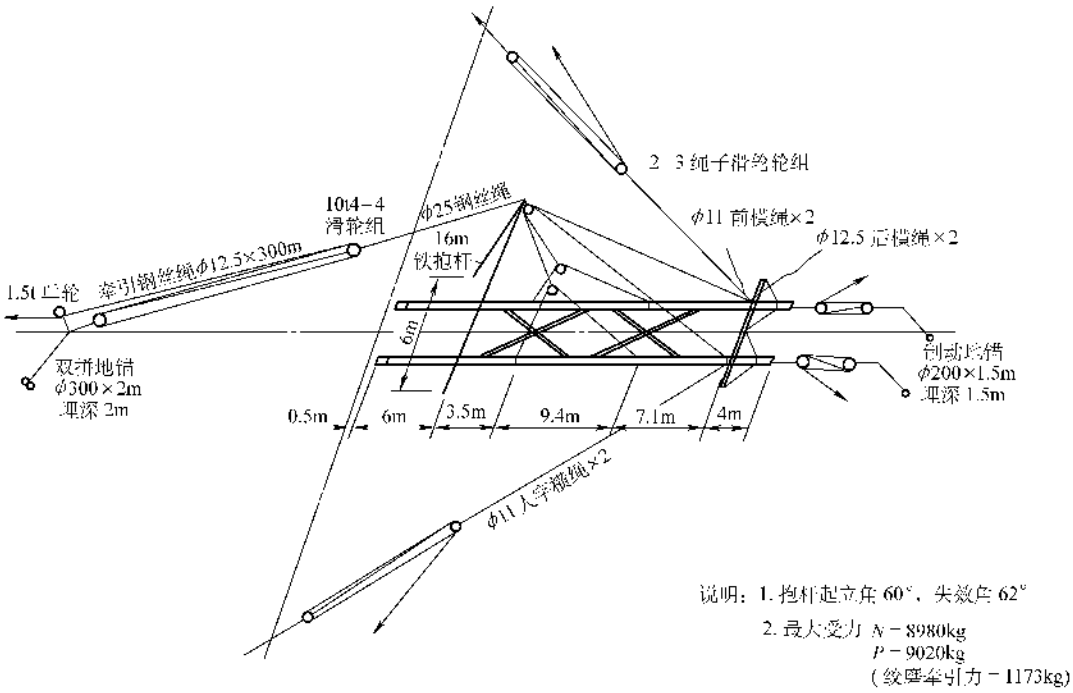


图 10-127　三点起吊 30m、φ400 等径混凝土双杆示意图

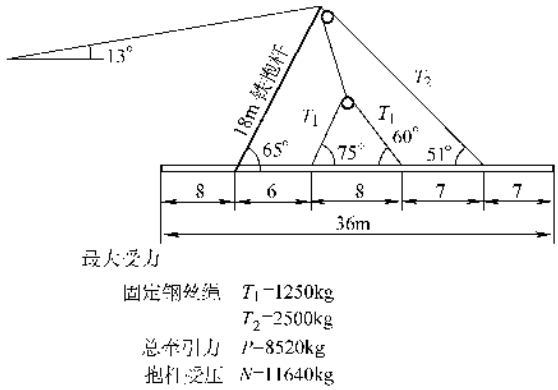


图 10-128 三点起吊 36m、ϕ400 等径混凝土双杆吊点示意图

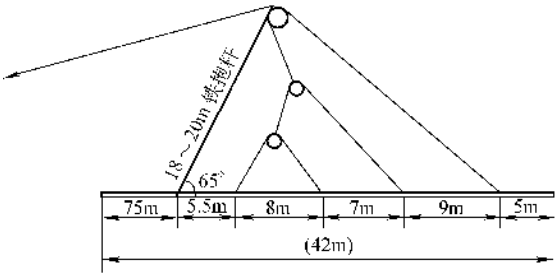


图 10-129 四点起吊 42m、ϕ400 等径混凝土双杆吊点示意图

（四）电杆立好的技术要求

1）直线杆的横向位移不应大于 50mm，10kV 及以下电杆的倾斜不应使杆梢的位移大于半个杆梢；35kV 电杆不应大于杆长的 3‰。

2）转角杆应向外角稍偏，紧线后不应向内角倾斜，向外角的倾斜不应使杆梢位移大于一个杆梢；转角杆的横向位移不应大于 50mm。

3）终端杆应向拉线侧稍偏，紧线后不应向拉线反方向倾斜，向拉线侧倾斜不应使杆梢位移大于一个杆梢直径。

4）双杆除上三点要求外，其双杆中心与中心桩之间的横向位移应≤50mm；转角杆横向，顺向位移均不应大于 50mm；迈步≤30mm；两杆高差≤20mm；根开≤±30mm。

5）用抱箍连接的叉梁和横隔梁，组装尺寸偏差应在±50mm 范围；叉梁不应有鼓肚、弯曲，横隔梁应保持水平。

6）钢管杆必须用双螺母与基础螺栓紧固，紧固时应在螺纹上涂抹黄油防锈、防腐。

二、立塔

立塔一般在有条件时，尽量采用双吊车机械立塔，塔身较轻者也可采用单吊车立塔。在吊车无条件吊装的场所，大都采用人字抱杆或 π 形抱杆的半机械立塔。

立塔的程序包括复核基础操平、布置吊装机具、吊装、找正、基础螺栓紧固、拆除吊装机具、清理现场等几个工序。

（一）复核基础尺寸及操平找正

按照图样要求复核基础尺寸，并用经纬仪或水准仪操平找正，其基础应符合本章第三节基础工程中的铁塔基础的施工及验收中的有关技术要求，并符合表 10-34 的规定。高差超差时应用钢板将整个底座衬垫，衬垫前，混凝土底座要用砂轮磨平。

（二）将塔身按顺线路方面摆好

通常在组装中已注意到这个问题。同时检查塔身组装有无不妥之处，应修复。塔上有无临时存放的工具、角铁、螺栓螺帽、杂物及脱锌露漆之处，应取下及补漆，所有螺栓应重紧一次。

（三）吊装

1）采用吊车吊装时，应将吊车停于塔身两侧 5m 左右，将吊车支稳支好，发动牵引机即可进行吊装。吊装分两步进行，先是将铁塔吊起立放在地面上，吊点应放在塔身重心高度的 1.1～1.5 倍的位置上，然后再将塔身吊起立放在基础上。采用吊车吊装，主要是要正确选择吊车吊臂高度、钢索、吊点以及注意吊装中的安全事项，特别是吊车必须放在土质坚硬的地方，否则应用枕木加固。

2）采用人字或 π 形抱杆半机械立塔通常用倒落式。

① 铁塔底脚与基础的连接。起吊前，先将铁塔底脚绞接在基础上，见图 10-130，绞接连板用厚钢板制成，连轴绞接棍应用圆钢车制且有销子孔。板厚与圆钢直径由塔重而定，但最小不得小于 25mm 厚与 ϕ25mm。

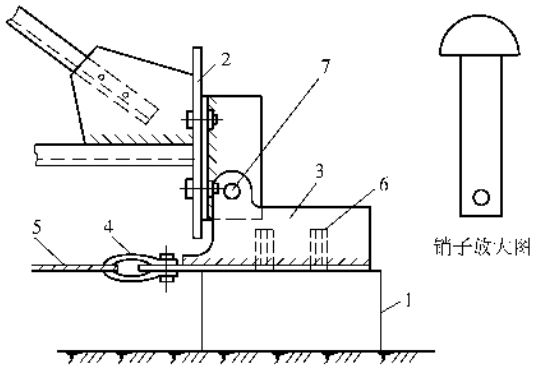


图 10-130 铁塔与基础的绞接

1—基础 2—铁塔底脚板 3—绞接连板 4—U 形环 5—制动钢丝绳 6—底脚螺栓 7—销子

② 抱杆的选择，临时拉线、吊索、地锚的布置、滑轮组的选择基本同倒落式抱杆立杆，其中地锚的设置和抱杆与地面的接触部位必须保证牢固可靠。实际吊装布置图见图 10-131。人字抱杆的根开宜为 1/3 ~ 1/4 倍抱杆有效长度。抱杆脚处地质应坚硬，否则应垫道木处理，两脚应用钢索连接。此外为了防止两脚的前后滑，必须在脚处设置制动装置，通常是在脚的顺线路方向的两侧都用钢索与地锚拉住，见图 10-132。

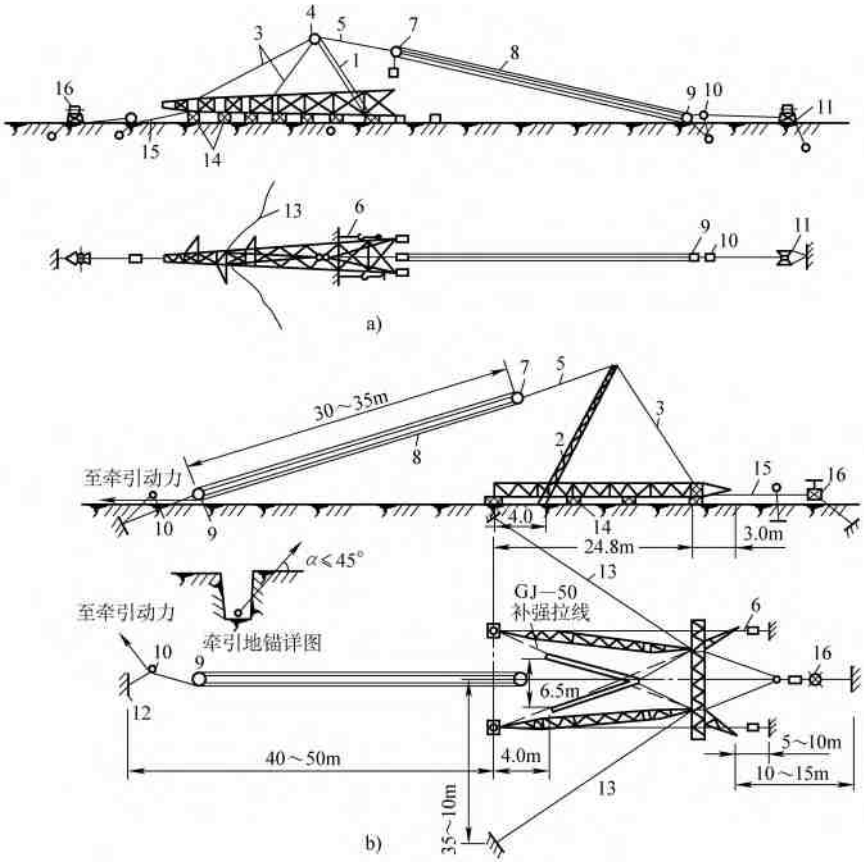


图 10-131　铁塔整立现场布置示意图

a）单柱塔　b）门型塔

1—抱杆　2—13.6m 人字抱杆　3—固定钢绳　4—起吊滑车　5—总牵引钢绳　6—制动系统　7—动滑车　8—牵引复滑车组　9—定滑车　10—导向滑车　11—动力系统　12—牵引地锚　13—侧面临时拉线　14—支垫　15—后侧拉线　16—后侧控制绞磨

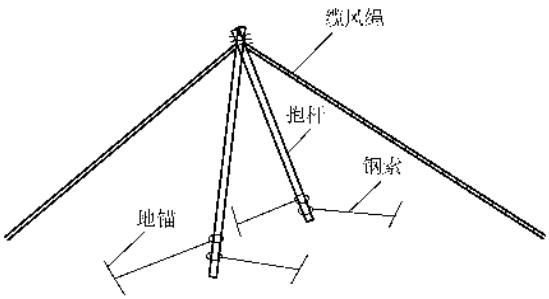


图 10-132　用钢索将抱杆脚处拉住

③ 吊点的分配

a. 两个吊点的分配，见图 10-133a 其中 C、E 为吊点；抱杆高度不得小于 A 点到重心 D 点距离的 75%；AB 的距离为 AD 的 30% ~ 50%，此时人字抱杆的倾角为 50° ~ 60°；CE 两点的距离为 AD 的 40% ~ 55% 为宜；牵引钢绳的地锚，距 A 点的距离为 1.2 ~ 1.5 倍的塔高，牵引绳对地夹角为 20°较好，一般不大于 25°。

b. 三个吊点的分配见图 10-133b 其中 C、E、F 为吊点；抱杆高度为支点 A 到重心 D 点距离的 75% ~ 85%；AB 距离为 AD 的 30% ~ 40%；抱杆的倾角为 55° ~ 65°，最大不超过 65°；CE 距离为 AD 的 1 ~ 1.3 倍为宜；CF 为 CE 的 45% ~ 55% 为宜；牵引地锚到支点 A 的距离为塔高的 1.2 ~ 1.5 倍；牵引绳对地

夹角为 30°左右，最大不得大于 45°，最小不小于 10°。

吊点的分配与塔重、塔高及其结构有关，较简单、低而轻的塔也可选为一个吊点。牵引动力系统见图 10-134。

④ 吊装机具的选择及设置

a. 牵引设备及其钢丝绳的受力一般按塔重的 1.5～2.0 倍选取。

b. 吊点吊索的受力一般按塔重的 0.75～1.0 倍选取。

c. 抱杆受压可按塔重的 1.8～2.0 倍分配。

d. 支点 A 的反力按塔重的 0.5～0.8 倍选取。

e. 牵引设备一般使用绞磨。

⑤ 起吊过程

a. 起吊前必须将制动装置安装好，不得使基础受力太大，以免基础损坏或移动；检查吊装设备布置情况，特别是地锚、拉线及受力处，系统检查无误后才能起吊。

b. 起吊后，当塔头离开地面时，停止起吊，检查各部有无异常现象，特别是底脚制动装置、地锚、拉线、吊点等处，一切正常后方可继续起吊。起吊速度应均速缓慢进行，避免出现冲击力，起吊的同时，铁塔后侧拉线应随塔身的起立而慢慢松开，但要使其吃力撑紧。

c. 当铁塔立到与地面的夹角为 60°左右时，应提前拉紧抱杆大绳，以防抱杆脱帽时的冲击，并使抱杆缓慢落到地面。

d. 当铁塔立到与地面的夹角为 80°时，塔的重心铅垂线已超过起吊时的支点，这时应停止牵引，缓慢放松铁塔顶部后侧的拉线，使之缓慢就位。

3）当就位后，应使铁身向前稍倾一点，一般为 3°左右，后侧拉线要撑紧，缓慢取下连轴绞接棍，并把绞接装置拆下，然后再使铁塔支点底脚落于基础上。

4）将临时拉线撑好，检测铁塔是否平正，四个底脚与基础是否吻合，否则应用凹字形钢板垫调整。当四脚吻合且平正时，即可用螺母将其紧固好，一般都采用双母。

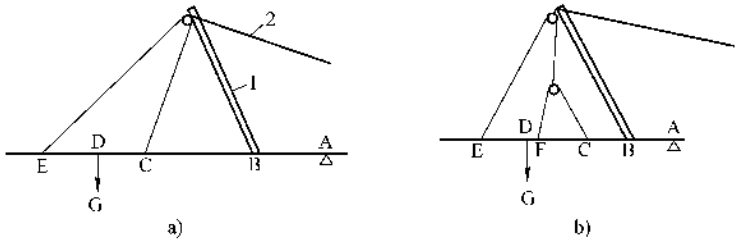


图 10-133 吊点示意图

a）两吊点 b）三吊点

1—抱杆 2—牵引钢绳

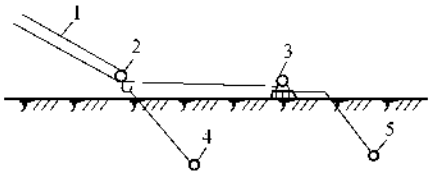


图 10-134 牵引动力系统示意图

1—牵引复滑车组 2—底滑车 3—牵引动力

4—牵引地锚 5—牵引动力固定地锚

（四）拆除机具，清理现场，装车前移

三、立杆、立塔的施工组织

线路较长、杆塔基数较多或地形复杂时，进行立杆立塔的安装要周密编制施工组织设计（方案），以利工程顺利进行。

一般应设立总指挥一人，助理一人，可设准备作业班组、吊装作业班组和辅助作业班组，并实行流水作业法。

1）总指挥应由实践经验丰富的电气工程师或技师担任，该人除具备电气专业技术外，应熟悉起重吊装及测量等专业的技术。编制吊装方案，确定吊装机具及现场布置、指挥现场安装、解决疑难问题、处理紧急意外事故及人员分工、确定进度、统筹等工作。作业前向各个班组下达作业任务及技术、安全交底。

2）助理一般由起重工担任，协助总指挥工作，对电气线路安装应有一定的了解。

3）准备作业班组应设组长一名，一般由电工担任，作业人员若干人。主要完成清理杆坑、复核基坑（基础）尺寸操平找正、安装底盘、放置滑板、摆顺电杆、检查杆身及塔身、紧固塔身螺栓、补漆等前期

工作，并负责杆塔立起后的测量找正工作。

4）吊装（立杆）作业班组应设组长一名，一般由起重工担任，作业人员若干人。主要完成吊装机具的设置（包括吊车的摆放、抱杆的起立、拉线及地锚的设置、制动装置的安装、绞磨的安装等）、吊点的选择、吊索系扣、杆塔起立就位、控制绳的控制、人工立杆时架腿的操作、推动绞磨以及吊装立杆机具的拆卸转移等。

5）辅助作业班组应设组长一名，一般由电工担任，作业人员若干人。主要完成回填土夯实、装设卡盘、拉线的制作安装、铁塔地脚螺栓的紧固、整杆整塔、清除杆塔上的临时设施（如双杆的临时底梁、杆塔的临时拉线或绑扎物等）及清理现场等。

以上三组的作业人数由起立方法及杆塔高度重量而定，可参考表 10-54 中的数据

表 10-54　立杆塔作业人数参考选定表

类别 / 人数 / 工种 / 吊装方式	立杆			立塔		
	电工	起重工	普工	电工	起重工	普工
人工立杆	4～8		10～20	—	—	—
半机械吊装	2～4	4～6	8～10	3～5	6～8	10～12
机械吊装	2～4	2～4	2～6	3～5	4～6	4～8

6）施工组织的内容

a. 由总指挥召集吊装方案设计会议，研究确定立杆立塔的吊装起立方案，有助理及作业班组组长和部分经验丰富的技工参加，进行组织分工，划清责任界限及协作作业项目。

b. 由总指挥或助理向全体作技术方案的交底、下达作业任务和指标、进行安全措施交底及注意事项。

c. 作业原则。普工服从技工指挥，有关电气作业的内容一律服从电工，有关吊装作业的内容一律服从起重工，吊车司机服从总指挥，作业班组人员服从组长，组长服从总指挥或助理。分工协作、同心协力、统一指挥、步调一致、安全第一。

d. 编制作业计划及工程进度表，要根据地理环境、气候条件、杆塔高度、重量切合实际并充分考虑不利因素，参照《劳动定额》进行合理编制。

四、立杆、立塔安全注意事项

1）天气恶劣、六级以上大风、雨雪雾天气、天气极寒冷一般不得进行作业。夜间作业必须有足够可靠的照明条件且特殊情况非立不可者（如繁华地段、白天不能进行作业）。

2）起吊前必须详细检查吊装系统各个部位，有一不妥者应停止作业：

① 作业班组成员是否全部到位并已做好准备工作；

② 基坑（包括马槽）是否已复核尺寸并修整，塔基是否已复核找平；

③ 杆塔是否已组装完毕，组装是否验收合格，杆塔有否临时存放的工具、配件及组装时临时装设的设施，塔底脚螺孔是否与固地螺栓相符等；

④ 所有吊装机具包括拉线、地锚、绞磨、抱杆、吊索、钢丝绳等是否完好，是否按吊装方案设置，地锚是否牢固可靠，有无移动。补强构件是否符合要求。牵引地锚、抱杆中心、杆塔中心及制动锚中心是否在一条直线上，如有偏差应增设地锚纠偏；

⑤ 抱杆根开是否按方案设置，两脚是否已软连接且制动装置是否正常，立抱杆处是否松软，有否防陷措施；

⑥ 牵引钢丝绳、拉线绳有否与钢件棱角或硬物接触或摩擦，否则应垫软物，以防割伤绳索；

⑦ 杆塔附近、上空有无障碍，对吊立有否影响，附近上空有无电气设施，安全距离是否合符要求，否则应妥善处理；

⑧ 安装现场有无障碍、积雪、水池、洞穴，否则应处理；

⑨ 倒落式人字抱杆吊装时，在牵引动滑轮组处是否已设置了防止钢丝绳扭绞的装置，否则应按图 10-135 进行设置。

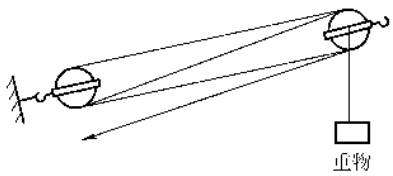


图 10-135　防止牵引复滑车组钢丝绳的扭绞措施

⑩ 有无其他不妥。

3）起吊后当杆梢或塔头离开地面 0.5m 时，应停止起吊，再次检查机具及其各点受力情况，如有不妥应放下重新调整或修复。

4）所有安装人员应戴安全帽和手套，非工作人员不得进入现场，起吊过程中，杆塔下面不得有人，人员应撤至杆塔平放时外缘的 2m 以外。

5）起吊速度以慢为宜，特别是立到70°时更应放慢，当至80°应停止牵引，应利用后侧拉线放松的方法使其缓慢落下就位，不得有任何冲击。后侧拉线的设置必须牢固可靠，一般由绞磨控制。

6）吊装过程中，所有人员应思想集中，服从统一指挥，注意并理解指挥人的意图，不得从事与该吊装无关的事宜，不得取笑、打闹、一切按设计方案进行，有意外情况时，应按指挥人的号令行动。对不听从指挥或取笑打闹者应停止其工作。对有病或因其他原因造成思想负担的人应让其休息或改换其他工作。

7）吊装过程应按起重工操作规程执行，有关内容请读者参阅其他专著。

8）拉线的调整必须将钢丝绳在锚桩上绕3～4圈并随着指挥的指令放松或收紧，停止调整时应绕活扣固定，防止松脱。绞磨尾绳的收紧必须由有经验的人进行。

9）杆立起后当卡盘装设并埋土后、塔立起后当所有地脚螺栓紧完最一个母后且找正调整合格后才能拆除临时拉线。

10）高空作业应遵守以下规定：

① 起立过程中严禁登杆上塔作业。必要时必须停止牵引并做好防范措施才能登高作业。待操作人员下杆下塔后才能起吊。

② 杆立好且埋设卡盘后、塔立好且紧固地脚螺栓后才能登高作业。

③ 登高作业必须系安全带并将其结至杆塔上的固定装置上。

其他有关事宜请读者参阅本书第五章第九节有关内容。

11）人字抱杆的起立一般采用人工方法，高度较低者则应先设置拉线、地锚、制动绳及牵引系统，然后人力将杆头抬起尽力使其与地面角度大于50°后即可用拉线将其拉立到需要的角度。高度较高者与上基本相同，但一般要用人工立杆的架腿再度使其升高，当与地面角度大于50°后即可用拉线将其拉立到需要的角度。

五、特殊场所立杆的处理方法

架空线路安装中常遇到立杆地点地形地势恶劣，不利于立杆且不能使杆立住。通常在跨度允许的范围内，则采用跨越杆，躲过恶劣地段。但在面积、长度较大的地段不可能用一级跨越解决，则采用特殊的施工方法，使线路通过沼泽、沙漠、草地等地段。该地段施工条件艰苦，更给安装带来了不少的困难。这里仅介绍两种常用方法，线路安装人员要根据实际地理环境情况制定处理方法。

1）预制坑筒。用3～5mm厚的钢板焊制成圆形或正方形、无底、面积1.5～2m²、高度大于该场所的埋深300～700mm的铁筒。

2）将坑筒垂直置于立杆的中心，底部用砂轮磨成楔状，上面垫上厚硬木板并用大锤均匀垂直打入地下且留上口100～200mm于外面。

3）将筒内的泥、水、砂、石挖出，如有水流不止应用泥浆泵抽出。

4）用400#水泥、砂、石（2∶1∶1）现场浇注坑底300～500mm厚，如积水较多可用快干水泥。

5）制作四只拉线坑筒，截面积1m²，高2100mm或2200mm，按图10-136的位置打入地下并挖空内部泥水砂石，然后在筒靠杆侧（A点）距筒底200mm处的中线上用汽焊割一个200mm²的洞或预先做好，用ϕ25的镀锌圆钢做拉线的底把按一定角度将其打入并使其穿过筒的孔洞，见图10-137。

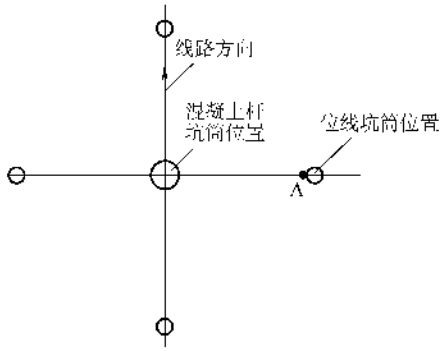


图10-136 坑筒的设置示意图

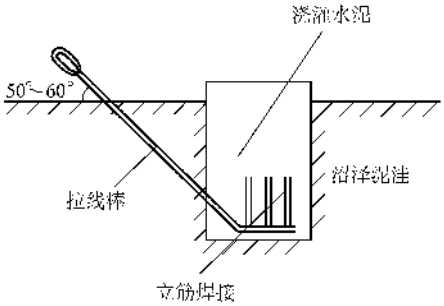


图10-137 拉线坑筒及拉线棒的设置示意图

6）用基坑要求的混凝土现场浇注拉线盘，并使拉线盘（墩）的主筋与底把电焊焊接。拉线盘（墩）的高度由杆高而定，同时可在坑内装设大石片块并用水泥振捣器振动，使其严密、靠固、可靠。

7）用人工立杆法将杆立于基坑内，找正后先用

杆头的四根拉绳与四个底把系牢，然后用上述要求的混凝土现场浇注，可将大块片石置于坑内，并用振捣器振动，装片石时不得砸击杆体。地面以上部分用片石砌筑高度为 1 ~ 1.5m 的加固台。浇注时要随时测量并保证杆的垂直。

8）组装拉线（见本节后述）。

9）组装金具同上。

10）双杆结构做法要求同上，布置见图 10-138。

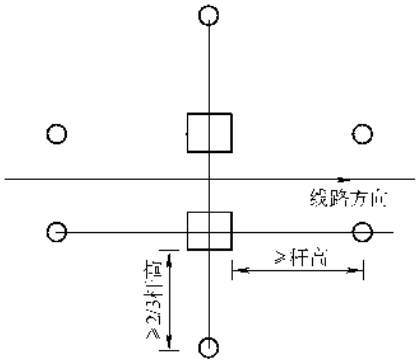


图 10-138　双杆坑筒的设置示意图

六、拉线的制作安装

拉线作为一种平衡杆塔受导线拉力或自然荷重的装置，在架空线路中占有很重要的地位。拉线一般由抱箍、上把、拉线、下把、拉线盘等几部分组成。拉线的制作安装一般分安装抱箍、安装下把和拉线盘、编制拉线、上把固定、下把固定几个工序。

（一）拉线的种类

（1）普通拉线　用于终端、转角和分支杆，装设在电杆受力的反面，用以平衡电杆所受导线的单向拉力。对于耐张杆则在电杆顺线路方前后设拉线，以承受两侧导线的拉力。

（2）侧面拉线即人字拉线　用于交叉跨越和耐张段较长的线路上，以便使线路能抵抗横线路方向上的风力，因此有时也叫做风雨拉线或防风拉线，每侧与普通拉线一样。

（3）水平拉线　用于拉线需要跨越道路或其他障碍时的拉线，因此也叫拉桩拉线。

（4）自身拉线　用于地面狭窄、受力不大的杆上。

（5）Y 型上下拉线　用于受力较大或较高的杆上。

（6）Y 型水平拉线　用于双杆受力不大的杆上。

（7）X 型拉线　用于双杆受力较大的杆上，也叫做交叉拉线。

拉线的型式见图 10-139。

（二）拉线的材料

拉线常用钢绞线（GJ25 ~ GJ75）制作，有时也用 ϕ3.2mm ~ ϕ4mm 多股（3、5、7、9、11、13 股）镀锌铁线制作。此外还有拉线金具，金具见本章第一节。

（三）拉线的制作安装

1. 埋设拉线盘及底把

1）清理拉线坑并复核尺寸坑深及位置是否正确，没有挖好拉坑底把马道的要挖好马道，见示意图 10-34，底把马道一般 150mm 宽即可，与地面角度一般为 45°或根据拉线的形式而定。

2）水平拉线要将拉桩杆立好，并与地面成 70°角，要保证拉线盘中心、桩杆、电杆三点在一条直线上。

3）埋设拉线盘及底把。将底把拉线棒穿入拉线盘的孔内，垫好厚垫片（一般用 10mm 厚镀锌钢制作，（200mm）×（200mm），用双母紧好，放置时必须使拉线棒伸直，见图 10-140，找正后，与电杆埋土一样，填土夯实，最后堆土 300mm。拉线棒在制作时已将心形环套入了端部的固定环内。

2. 丈量拉线长度及下料

在现场一般用实测的方法丈量，由一人登杆用皮尺从拉线抱箍（已在组杆时装好）开始，另一人将皮尺拉至底把端，将丈量的尺寸再加上 2m 即为拉线的下料尺寸。

下料要用剪刀剪断钢绞线，剪断前先用丝铅丝将剪断处的两侧 10mm 处绑扎牢固，以防散开分股。钢绞线从线轴上放开的方法同导线。

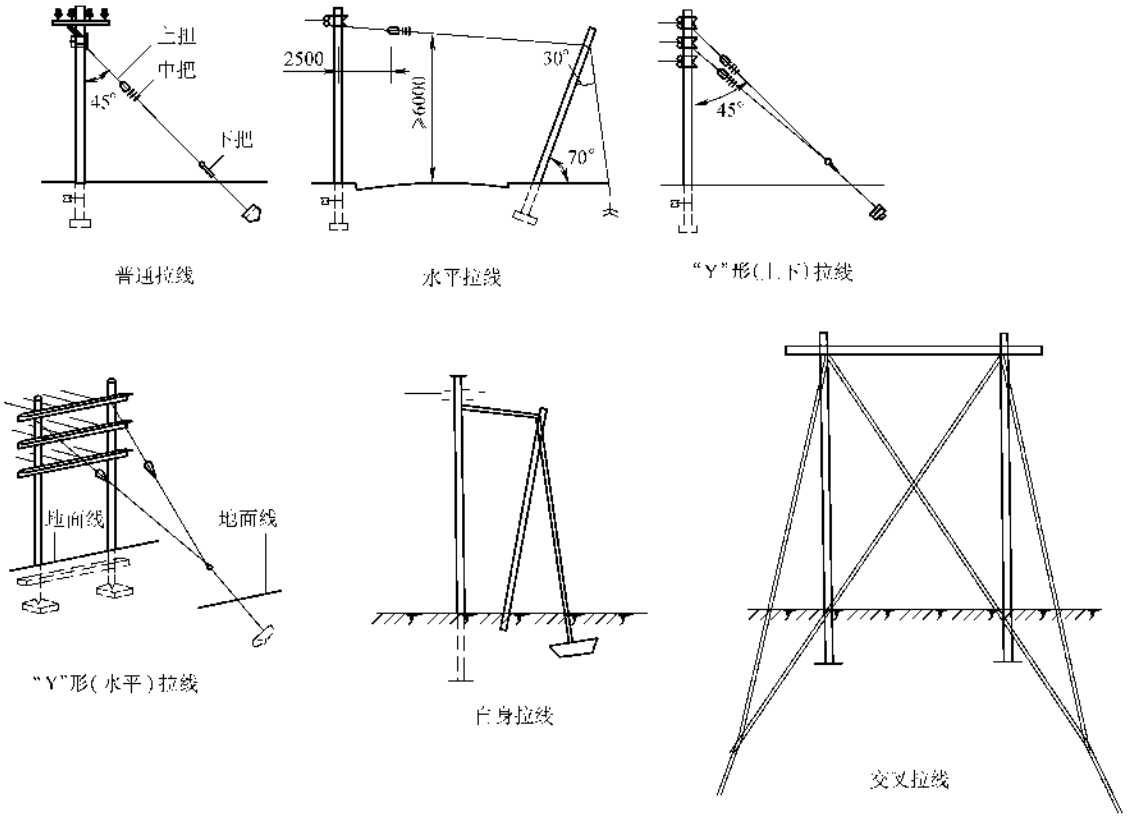
3. 作上把

登杆将钢绞线的一端穿入拉线抱箍的心形环内，穿入前要将钢绞线穿入心形环处做成环形（制作方法见图 10-144）。因为钢绞线较硬，制作时要有手上的功夫，要注意其弹性。

上把的固定方法一般有两种，一种是缠绕法，一种是楔形线夹法。缠绕法是用 ϕ2 ~ ϕ3mm 的镀锌铁丝将上把心形环处绑扎，绑扎要紧密牢固可靠，最好用小辫收尾，见图 10-141，绑扎长度 250 ~ 350mm，要根据拉线的长短而定。楔形线夹法是用金具固定的，见图 10-141b，金具的选择要与拉线的直径相符，线尾要绑扎固定。一般不宜采用钢索卡子固定的方法。

4. 作下把

下把的固定方法一般有三种，缠绕法、楔形 UT 线夹法和花篮螺栓法。



普通拉线　　水平拉线　　"Y"形(上下)拉线

各种类型中把拉线的规格表

每层横担导线数量	二线				四线				六线			
受拉侧横担条数	一	二	三	四	一	二	三	四	一	二	三	四
适应拉线类型	普通型		Y形		普通型		Y形		普通型		Y形	
架空导线截面积/mm²	采用直径为4mm镀锌铁线合成时的中把股数											
16～25	3	3	3	3	3	5	3	3	5	7	5	5
35	3	3	3	3	5	5	5	5	5	7	5	5
50～70	5	7	5	5	5	7	5	7	7	9	7	9
95～120	7	9	7	7	7	9	7	9	9	11	9	11
架空导线截面积/mm²	采用钢绞线时中把的拉线截面积/mm²											
16～25	GJ 25		GJ 25×2		GJ 25		GJ 25×2		GJ 35		GJ 35×2	
35	GJ 25		GJ 25×2		GJ 35		GJ 35×2		GJ 35		GJ 35×2	
50～70	GJ 35		GJ 35×2		GJ 35		GJ 35×2		GJ 35		GJ 35×2	
95～120	GJ-35		GJ-35×2		GJ-50		GJ-50×2		GJ-50		GJ-50×2	

注：1. 表中拉线均系中把规格股数，系指φ4镀锌铁线的合成股数，并分别为3、5、7、9、11股。GJ为钢绞线。
2. 拉线的底把可用圆钢拉线棍；如选用φ4镀锌铁线时，底把应按中把股数加两股（例如三股拉线，则底把应为3-2=5股）。选用Y型共用一底把，则底把拉线合成股数之外再加一股（即Y5股时为10股=1+11股）。
3. 当受拉侧的横担上所架设导线截面及导线条数不一致时，应按其中最大的作为选用标准。
4. 拉线应在上把与中把之间加装拉线绝缘子。混凝土电杆的拉线可不加绝缘子。但穿越导线的拉线，应在带电导线的上、下方各装一个拉线绝缘子。

图 10-139　拉线的型式

先用 1m 长的 8#铁丝，一端与拉线棒的端环系紧系牢，另一端插入紧线器的滚轮内并稍转动其手柄将其固定好，然后尽量将其伸直并用紧线器的咬口咬住按拉线方向尽量伸直的钢绞线、被咬住的钢绞线处应先用铝包带包扎，再紧好元宝螺钉，见图 10-142。

然后转动紧线器手柄，缠动铁丝，将拉线撑紧并使杆头向拉线侧偏移 1.0～1.2 个杆头。这时将钢绞线穿入拉线棒端环上的心形环内，用作上把的方法将拉线下把作好。

采用缠绕法时，先紧密绑扎 250～350mm，然后花绑 400～500mm，最后再紧密绑扎 100～150mm，小辫收尾，见图 10-143。缠绕法选用于 50mm² 及以下的钢绞线，GJ—70 及以上的钢绞线应用线夹紧固。

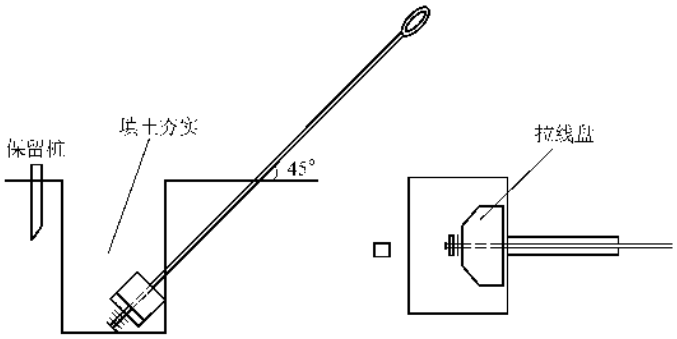


图 10-140　埋设拉线盘及底把

采用楔形线夹时见图 10-141，UT 形线夹见图 10-2。

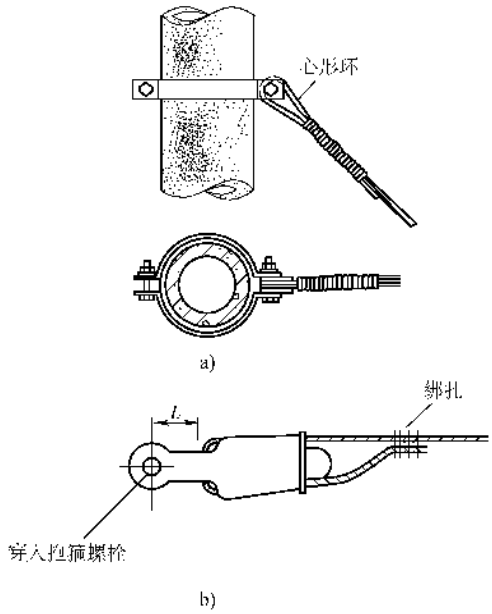


图 10-141　上把做法示意图

a）上把绑扎法示意图　b）上把楔形线夹示意图

采用花篮螺栓时要将螺栓退至端头，以便调整，螺栓上要涂以少许黄油，紧好后要用 8#铁丝花缠将其锁住。紧线器，花篮螺栓的选择要按钢绞线的直径选取。

最后把紧线器拆掉，把多余的钢绞线剪去，把底把部分修整直即可。上把和下把拉线的紧固也有用并沟线夹的，但一个接点至少得用两副，线夹的规格应与钢绞线对应，尾线绑扎 100mm。

5. 有些时候拉线的材料用 8#铁丝制作，下面介绍一般的制作方法：

1）将铁丝放开，长度应为拉线测量长度的整数位再加上两端固定的长度。总根数由拉线需要量而定。

2）将铁丝两端头固定（树、电杆或其他固定物上），中间由几人同时用力推或拉铁丝将其伸直、伸长、伸软，推拉后将其缓慢放在地上。有时也可用紧线器或绞磨将其拉伸。一般情况是一根一根伸直。

3）按照下料尺寸将伸拉好的铅丝剪断。

4）按照规定的股数，如 3 股、5 股、7 股或 9 股等，比齐端头，边甩边转动使其编扭在一起，像辫麻绳一样，然后把端头用细丝缠住。

5）用缠绕法做好线鼻子，缠绕时采用自身缠绕，不另外用绑线（见图 10-144）缠绕完一根后用另一根将其尾部压住，再用另一根缠绕，最后小辫收尾。缠绕时可一人缠绕，一人用穿钉穿过鼻子把持住或在杆的下部装一临时拉线抱箍、在地面上缠绕。作好后将其登杆挂在拉线抱箍的穿钉上。

6）同样用紧线器将其与拉线棒伸紧拉住，用自身缠绕法将底把作好，见图 10-142 和图 10-143。将

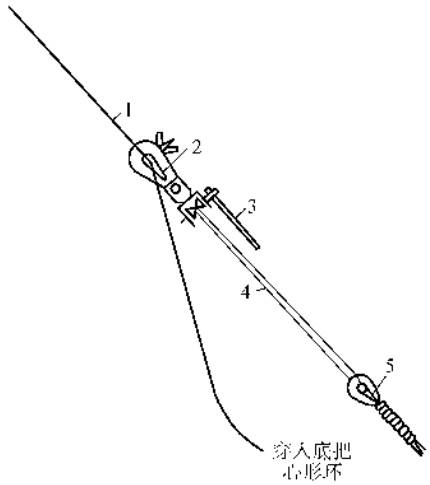


图 10-142　紧拉线的示意图

1—钢绞线　2—紧线器　3—紧线器手柄

4—8#铁丝　5—底把

多余部分剪掉，其他同钢绞线拉线的制作。所不同的是先将拉线穿入底把的环内，用其中 1～2 股插入紧线器的紧轮，然后撑紧紧线器并用其钳口叼住上部的拉线，紧好元宝螺钉后，旋动手柄使拉线撑紧并使杆头倾斜一个杆头，这时即可用自身的股线进线绑扎。

图 10-143　下把绑扎示意图

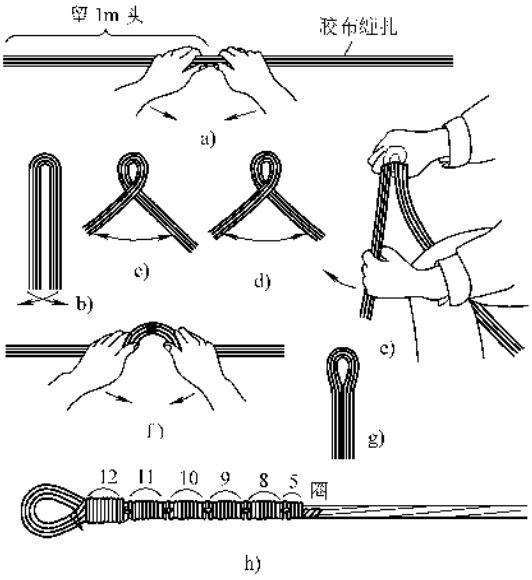


图 10-144　拉线鼻子的示意图

（四）注意事项和技术要求

1）拉线与电杆的夹角一般为 45°～60°，当受地形限制时，不宜小于 30°；夹角偏差，35kV 应≤1°，10kV 应≤3°；终端杆的拉线及耐张杆承力拉线应与线路方向对正，转角拉线应与转角后线路方向对正，防风拉线应与线路方向垂直；拉线穿过公路时，对路面中心的垂直距离不得小于 6m。

2）绑扎钢角线拉线时，可用直径不小于 3.2mm 的镀锌铁线，缠绕长度不应小于表 10-55 的数值。

表 10-55　缠绕长度最小值

钢绞线截面 /mm²	缠绕长度/mm				
	上端	中端有绝缘子的两端	与拉棒连接处		
			下端	花缠	上端
25	200	200	150	250	80
35	250	250	200	250	80
50	300	300	250	250	80

3）绑扎合股镀锌铁线拉线时，可用直径不小于 3.2mm 的镀锌铁线绑扎，缠绕长度不得小于：

五股及以下者，下缠 150mm，花缠 250mm，上缠 200mm，中间有绝缘子的两端缠 200mm。

采用自身缠绕时，缠绕长度不得小于：

三股为 80mm，五股为 150mm。

4）采用 UT 型线夹及楔形线夹固定，安装前丝扣上应涂润滑剂；拉线弯曲部分不应有明显松股，露出的尾线不宜超过 300～500mm；所有尾线方向应一致；调节螺钉应露扣，应有不小于 1/2 螺杆丝扣长度可供调节。调整后 UT 线夹应用双母且拧紧，花篮螺栓应封固，尾线应绑扎固定。

5）拉桩杆拉线其拉桩杆的埋深不应小于杆长的 1/6；拉桩杆应向张力反方向倾斜 10°～20°；拉线坠线与拉桩杆的夹角不应小于 30°；拉线坠线抱箍与杆顶一般为 0.25m，距地面不小于 4.5m；绑扎长度同前。

6）镀锌铁线合股拉线最少不得少于 3 股，单股直径不小于 4mm，绞合均匀、受力相等，不应有抽筋、松股现象。

7）当一杆有多条拉线时，拉线中不得有过松、过紧等受力不均现象。

8）居民区、厂矿内，混凝土电杆的拉线从导线之间穿过时，拉线中间应装设拉线蛋形绝缘子，在断线情况下，蛋形绝缘子距地面应不小于 2.5m。

9）拉线底把埋设必须牢固可靠，拉线棒与底拉盘应用双螺母固定，拉线棒外露地面长度一般为 500～700mm。

10）拉线安装前应对拉线抱箍及其穿钉、心形环、钢绞线或镀锌铁线、拉线棒、底盘、线夹、花篮螺栓、螺钉、蛋形绝缘子等进行仔细检查，有不妥的不得使用。拉线组装完后，应对杆头进行检查，不得有遗物滞留在杆上。

第七节　架　　线

架线就是将导线架设在杆塔的绝缘子上，并按一

定垂度拉紧固定，使之能附之运行。架空包括避雷线的架设。

架线包括准备工作、放线、连接、挂线、紧线、导线与绝缘子绑扎固定等几个工序。

一、准备工作及施工组织

1）沿线检查杆塔有否倾斜、遗留铁件或其他不妥，检查拉线安装是否符合要求，拉线是否牢固可靠，不妥之处应派人立即修复。同时勘察沿线交叉跨越的环境和自然条件，制定放线时的措施，并与有关部门取得联系。

2）跨越公路、无船小河、铁路、通信线路、电力线路等应搭设越线架。越线架一般用竹杆或杉杆搭设，宜简便，但必须可靠牢固，见图 10-145。越线架与被跨越物的安全距离见表 10-56，搭设跨越电力线路时必须遵守电业规程的安全规程，搭设人必须有人监护。停电跨越时，必须先验电，再挂临时接地线。

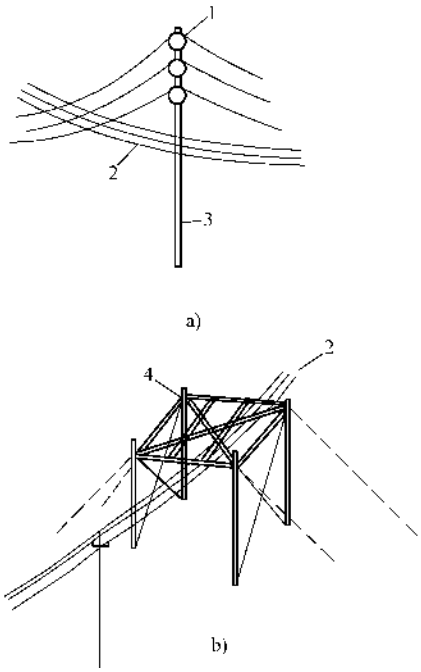


图 10-145　越线架示意图

a）独杆越线架　b）龙门越线架

1—放线滑轮　2—被跨越线路

3—临时木杆　4—越线架

跨越繁华市区时应与交通管理部门取得许可证，并设置安全网架及各种安全标志。

跨越通航河流时应搭设便桥或雇佣船队。

3）拆除树枝或其他能拆除的障碍，拆除前必须与主管单位办理有关手续。

4）复核运到现场导线的规格、型号、数量、质量是否符合设计要求。这里注意不同材质导线，不应在同一直线横担上架设。

5）准备挂线滑轮、绑线、吊线绳、大绳、牵引机具或设备、放线架、连接金具、接续金具、保护金具、吊装线轴的吊装机具（三木搭和手拉葫芦）、草袋子、紧线器、镀锌铁线、油压钳、爆接材料等工具器具并检查其质量和可靠性。

6）确定旗语或无线布话机联络的信号，通信设备要事先试好，并有备用电池和备用机。

7）组织分工、确定垂度、制定紧线方案、技术要求、注意事项、安全要求及其他有关施工组织事宜。

8）根据放线段（一般指耐张段），在没有拉线的耐张杆上安装临时拉线，要求同拉线。但有时为了紧线方便，常将临时拉线打在紧线的横担上

表 10-56　越线架与被跨越物的安全距离

被跨越物	铁路	公路	110kV 送电线	66kV 送电线	35kV 送电线	10kV 配电线	低压线	通信线
最小垂直距离/m	7	6	3	2	1.5	1	1	1
最小水平距离/m	3～3.5	0.5	4	3～3.5	3～3.5	1.5～2	0.5	0.5

二、放线、检查及挂线

放线一般从始端开始，在耐张段放线，距离较短时可放到转角或分支杆。

1）将线轴立放在放线架上，见图 10-146。放线架是钢制且有手动升降装置（如千斤顶）的轴架，能承受线轴的全部重量。有时也可土法临时搭设，见图 10-147 及图 11-6。放线架必须稳固，必要时要有临时地锚。

2）线轴的引出线应从线轴的上侧引出，并按绕

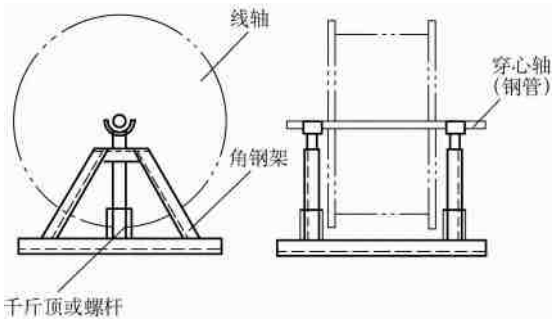


图 10-146　放线架示意图

轴缠绕的反方向对准线路方向放线，其牵引一般是人力，也可用牵力或小型拖拉机。将牵引大绳和导线连接起来，连接方法见图 10-148。一般不直接拉拽导线。

3）将开口滑轮挂在每杆塔的横担上并绑扎牢固，地面松软且无障碍物时也可每隔一或二基杆挂一组滑轮。铝线使用铝质或铜质滑轮，铜线使用铜质滑轮，钢绞线使用钢制滑轮。滑轮分单轮、双轮、四轮、可根据每相导线的截面积及根数选取。为了保证导线在空中的张力一致并不拖拉地面，有条件时可装设张力控制器，见图 10-149。张力控制器能控制导线的放线速度。

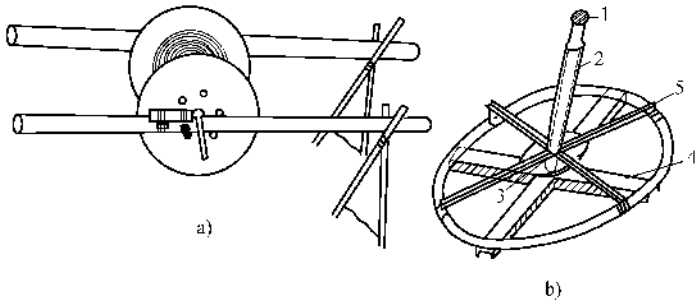


图 10-147　线轴的放置

a）简单线轴架　b）放线车（小型线轴适用）

1—与槽钢底座焊牢的固定轴　2—与角钢架焊牢的活动套管　3—承压轴承

4—槽钢底座　5—角钢支架

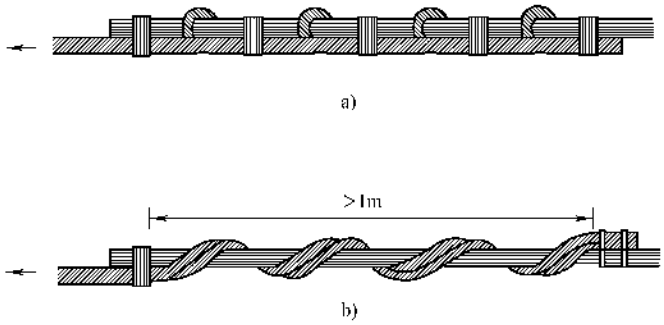


图 10-148　棕绳与导线的连接方法

a）半靠结（半个梯形结）连接　b）将棕绳的缠绕剥开咬绕连接

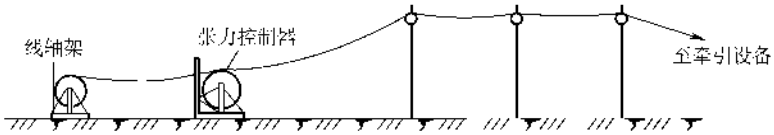


图 10-149　张力控制器装设示意图

4）从始杆开始放线，至第二杆时或挂有滑轮的杆时，应将导线用绳子拉起并放到开口滑轮内，登杆者应观察放线情况，以防阻卡或不妥，直至第一轴线放完。从放完处再接着放第二轴线，一直到第一个紧线段（耐张段）的导线全部放完（包括所有的相线及避雷线）。

5）放线通道上应消除可能损伤导线的障碍物或采取保护措施，放线的速度不宜太快，一方面保护导线不受损伤，另一方面要边放边检查导线有无断股、扭弯、磨伤、断头、损坏等不妥，并按以下的要求修补或锯断重接。

① 导线在同一处损伤（其中同一处损伤是指在导线的同一节距内每股金属丝损伤最严重处的深度换算出的截面积总和，当单股损伤深度达到直径的 1/2 时则按断股论。）并符合下列情况之一的，可将损伤处棱角、毛刺用 0 号砂纸磨光，不必补修：

a. 单股损伤深度小于其直径的1/2。

b. 钢芯铝绞线、钢芯铝合金绞线损伤截面积小于导电部分截面积的5%，且强度损失小于4%。

c. 单金属绞线损伤截面小4%。

② 导线损伤符合表10-57和表10-58的应按该表要求进补修处理，并符合以下要求：

a. 缠绕处理。

（a）受损伤的线股应处理平整干净；

（b）选用与导线同金属的单股线缠绕，其直径不应小于2mm；

（c）缠绕中心应位于损伤最严重处，缠绕应紧密，受伤部位应全部覆盖，且长度不应小于100mm；

b. 补修预绞丝补修处理。

（a）受损伤的线胶应处理平整干净；

（b）补修预绞丝的长度不应小于3个节距，并符合现行国家标准《电力金具》预绞丝的规定；

（c）补修预绞丝的中心应位于损伤最严重处，且与导线接触紧密，损伤处应全部覆盖。

c. 补修管补修处理。

（a）损伤处的铝或铝合金股线应先恢复原绞制状态；

（b）补修管的中心应位于损伤最严重处，需补修的范围应位于管口20mm以内；

（c）一般采用钳压压接补修管，如采用液压，则应满足现行国家标准《架空线路导线及避雷线液压施工工艺规程》的要求。

③ 导线在同一处损伤有下列情况之一时，应将损伤部分全部割去，重新用直线连续管连接：

a. 损失强度或损伤截面积超过表10-57和表10-58中用补修管补修的规定。

b. 连续损伤其强度、截面积虽未超过表10-57和表10-58的规定，但损伤长度已超过补修管能补修的范围。

表10-57　35kV及以下架空线路导线损伤补修处理标准

导线类别	损伤情况	处理方法
铝绞线	导线在同一处损伤程度已经超过规范的规定，但因损伤导致强度损失不超过总拉断力的5%时	以缠绕或修补预绞丝修理
铝合金绞线	导线在同一处损伤程度损失超过总拉断力的5%，但不超过17%时	以补修管补修
钢芯铝绞线	导线在同一处损伤程度已经超过规范的规定，但因损伤导致强度损失不超过总拉断力的5%，且截面积损伤又不超过导电部分总截面积的7%时	以缠绕或修补预绞丝修理
钢芯铝合金绞线	导线在同一处损伤的强度损失已超过总拉断力的5%但不足17%，且截面积损伤也不超过导电部分总截面积的25%时	以补修管补修

表10-58　110kV及以上架空导线损伤补修处理标准

损伤情况 / 线别 / 处理方法	钢芯铝绞线与钢芯铝合金绞线	铝绞线与铝合金绞线
以缠绕或补修预绞丝修理	导线在同一处损伤的程度已经超过规范的规定，但因损伤导致强度损失不超过总拉断力的5%，且截面积损伤又不超过总导电部分截面积的7%时	导线在同一处损伤的程度已经超过规范的规定，但因损伤导致强度损失不超过总拉断力的5%时
以补修管补修	导线在同一处损伤的强度损失已经超过总拉断力的5%，但不足17%，且截面积损伤也不超过导电部分截面积的25%时	导线在同一处损伤，强度损失超过总拉断力的5%但不足17%时

c. 钢芯铝绞线的钢芯断一股者。

d. 导线出现灯笼的直径超过导线直径的1.5倍且无法修复者。

e. 金钩、破股已成为无法修复的永久性变形。

④ 作为避雷线的钢绞线，其损伤修补的标准见表10-59。

三、导线的连接与补修

架空导线的连接通常有钳压、液压、爆压和叉接缠绕等四种连接方法。钳压、液压和爆压常用于

高压电力线路中，叉接缠绕法只适用于容量较小、档距不大的低压线路中及架空线路的过引跨接线的连接。

表 10-59 钢绞线损伤修理标准

钢绞线股数	用镀锌铁线缠绕	用补修金具补修	锯断后接头
7	不允许	断 1 股	断 2 股及以上
19	断 1 股	断 2 股	断 3 股及以上

（一）钳压压接连接法

钳压压接连接法是将被接导线重叠插入特制规格的椭圆形连接管内、然后用钳压器（机械压钳或油压压接钳）及其凸凹模具在管外压下规定数目的凹坑，具体操作方法如下：

1）将导线连接部分用钢丝刷刷去表面污垢，再用汽油擦洗干净，风干后涂抹一层中性凡士林油，再用钢丝刷轻刷一遍。擦洗长度为连接管长度的 2.0 倍，线端用 ϕ1 ~ ϕ2mm 的镀锌铁线绑扎 10mm。

2）选用和导线规格对应的连接管，其应无裂纹、无毛刺、平直，弯曲度不应超过 1%。先用干净棉丝蘸汽油洗净，并划好压接点的标记。导线和连接管的处理必须干净，不得弄上尘土。事先处理连接管时，应用棉丝将两口堵好，再带到现场。

3）将导线和衬垫插入连接管内，线端露出长度应大于 20mm，衬垫应垫于两导线之间，见图 10-150。

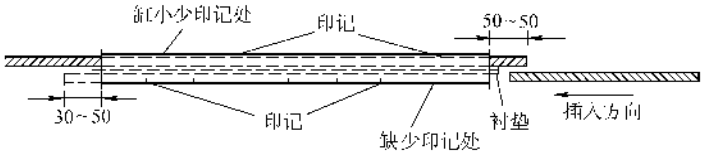


图 10-150 将导线塞入连接管内

4）根据导线的规格型号选择合适的压模装在钳口上，将穿入连接管的导线放入压模口内，起动手压装置按照顺序和标定的位置压挤导线，每模压下以后，应停留 30s，钳压顺序是按导线的型号、规格的不同而不同的，参见图 2-1。

5）压好第一模以后应检查凹槽的深度，如不合格应进行调整。压后尺寸误差允许值为：铝绞线钳接管 ± 1.0mm；钢芯铝绞线及铜绞线钳接管为 ±0.5mm。压接后接续管弯曲度不应大于管长的 2%，明显弯曲应校直。

压模分铝绞线压模、铜绞线压模和钢芯铝绞线压模，其规格是和导线截面积对应的，选用时要注意。

6）压好后应按图 2-1 标注的尺寸和符号，根据表 2-2 的数值进行检查，不合格的要锯断重压。检查时还要特别注意管口部位的导线，不得有丝毫的机械损伤，如划伤、断股、挤压变形灯笼、抽筋等，以避免架设后承受拉力时断裂，同时还要检查压接后的连接管有无机械损伤，如裂纹、开口等，否则应锯断重接重压。

7）合格后，飞边、毛刺应锉平并用砂布磨光，然后对钢连接管应涂防锈漆。

（二）对接液压连接法

对接液压连接是将被接导线对头插入特制规格的圆形钢连接管内，然后用导线压接机及其钢模，按照规定的压接顺序，将导线和连接管压接成一体，然后再套入铝接管，继续压接，具体操作方法如下：

1）将钢芯铝绞线两连接端各量出钢接管（与被连接导线的规格型号对应）的一半长度再加 10mm 长，并用红铅笔画出标记，在其后用镀锌铁丝或单股铝导线扎紧，同时把外层的铝线全部散开，见图 10-151。

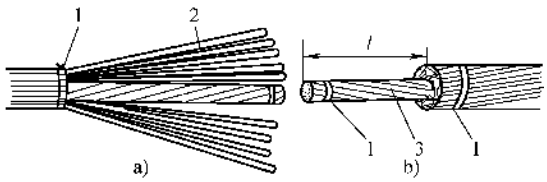


图 10-151 导线的绑扎和切除

1—绑扎细丝 2—铝股线 3—钢芯

2）沿红线标记将铝线用钢锯全部锯断，但不得伤及钢芯，最内层的铝线只锯断其单股直径的一半，然后将其折断，以免伤及钢芯。

3）线芯及连接管的处理同钳压法。

4）将铝接管先套入导线，并将其移至接头外 0.5m 处，再将锯去铝线的钢芯对接插入钢接管，两线端在钢管中心接触，钢管两端各有 10mm 空隙，然后将其放入压接机钢模上，先在钢管的中心压第一模，然后按图 10-152 标注的顺序压接。

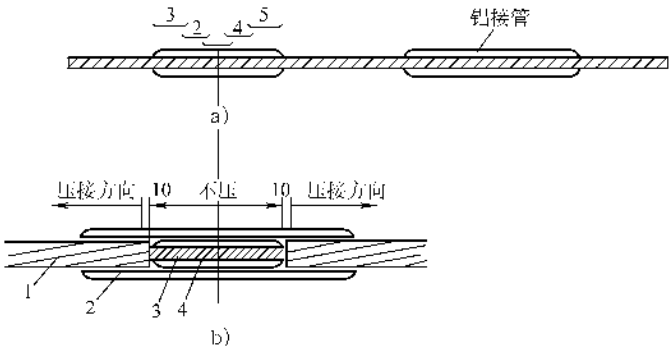


图 10-152　导线连接管液压操作示意图

5）压好钢接管后、将压接部分用汽油棉丝清洗干净风干，然后把铝接管移到接头处（铝接管比钢接管要长许多），使两管的中心重合，再按图标注的压接方向，从铝线的端头压接，压完一端再压另一端，与钢管重叠部分不再压接，压口数及压后尺寸见表 10-60。压接时，相邻两模应重叠 5～8mm。导线压接机的外形及配套手动油泵见图 10-153～图 10-155。

6）压后不应有扭曲现象，并用防锈漆封住铝管端口。压后为正六边形的液压管，两平行边间的距为原管外径的$\sqrt{3}/2$倍（0.866），允许误差为：钢压接管 -0.2～+0.3mm；铝压接管 -0.2～+0.5mm。

7）连接钢芯绞线时，一般采用对接液压连接，方法和步骤与上述钢芯连接部分相同，最后在钢管和两端口涂以防锈漆。使用的钢质连接管应和钢模对应，六角形管使用圆形钢模，而圆形管则使用六角形钢模。

8）用液压补修管时，应从管的中点分别向两端压接，所用钢模与同规格导线连接用的钢模相同。

表 10-60　钳压压口数及压后尺寸

导线型号		钳压部位尺寸/mm			压后尺寸	压口
		a_1	a_2	a_3	D/mm	数
钢芯铝绞线	LGJ-16	28	14	28	12.5	12
	LGJ-25	32	15	31	14.5	14
	LGJ-35	34	42.5	93.5	17.5	14
	LGJ-50	38	48.5	105.5	20.5	16
	LGJ-70	46	54.5	123.5	25.0	16
	LGJ-95	54	61.5	142.5	29.0	20
	LGJ-120	62	67.5	160.5	33.0	24
	LGJ-150	64	70	166	36.0	24
	LGJ-185	66	74.5	173.5	39.0	26
	LGJ-240	62	68.5	161.5	43.0	2×14

（续）

导线型号		钳压部位尺寸/mm			压后尺寸	压口
		a_1	a_2	a_3	D/mm	数
铝绞线	LJ-16	28	20	34	10.5	6
	LJ-25	32	20	36	12.0	6
	LJ-35	36	25	43	14.0	6
	LJ-50	40	25	45	16.5	8
	LJ-70	44	28	50	19.5	8
	LJ-95	48	32	56	23.0	10
	LJ-120	52	33	59	26.0	10
	LJ-150	56	34	62	30.0	10
	LJ-185	60	35	65	33.5	10
铜绞线	TJ-16	28	14	28	10.5	6
	TJ-25	32	16	32	12.0	6
	TJ-35	36	18	36	14.5	6
	TJ-50	40	20	40	17.5	8
	TJ-70	44	22	44	20.5	8
	TJ-95	48	24	48	24.0	10
	TJ-120	52	26	52	27.5	10
	TJ-150	56	28	56	31.5	10

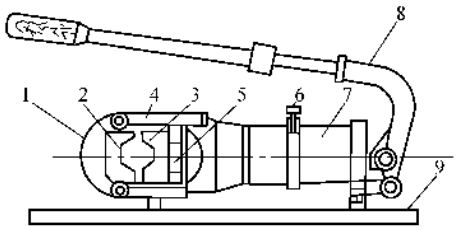


图 10-153　CY-25 型导线压接机

（适用于 LGJ-35～240）

1—后座　2—后压钢模　3—前压钢模

4—倒环　5—活塞杆　6—放油螺杆

7—机身　8—操纵杆　9—底板

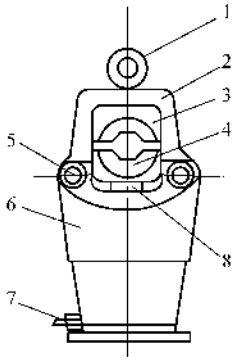


图 10-154　CY$^{-50}_{-100}$型导线压接机

（适用于 LGJQ-300～400）

1—提环　2—轭铁　3—上钢模　4—下钢模

5—轭铁销钉　6—机身　7—油管接头

8—活塞杆

（三）爆压连接法

爆压连接是在连接管内装上定量炸药，在其爆炸瞬间所产生的高压气体作用下，使其产生塑性变形，使导线连接起来。爆炸压接的要求，是使连接管与导线紧密无间隙接触，同时又不得损伤导线和连接管，即符合电气要求，又符合机械强度的要求，是高压线路常用的方法。因此，要求对爆压材料及工艺应严格掌握，才能达到满意和安全的效果。

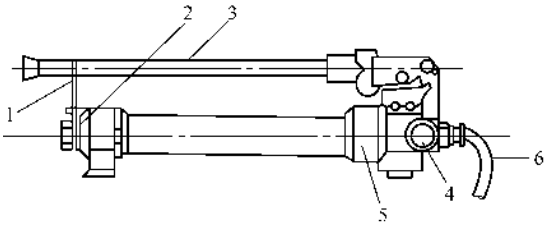


图 10-155　手动油泵（与 CY$^{-50}_{-100}$配套使用）

1—挂钩　2—油标尺　3—操纵杆

4—放油螺杆　5—泵体

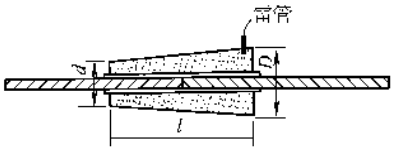
6—高压力软管

1）制作药包

①　用 0.35～1.00mm 厚的黄板纸，在木模上粘糊，制成药筒，下端粘贴封底，封底中间预留连接管孔。药筒制做应根据被接导线的规格型号并按表 10-61～表 10-63 给出的几何尺寸参照制作，误差不应超过 ±1mm。这里需要说明一点，表中数值仅供参考，应用时应进行试验，实际尺寸以试验结果而定。

②　净化导线同前，但不得涂凡士林油，忌油，净化必须彻底干净，否则将会严重烧伤内部，影响握着力和导电性能。净化导线时需将导线调直，操作者用汽油洗净并戴上白手套，制作时应有防尘、防油、防水措施。有黄油的钢芯线必须散股洗净。

表 10-61　钢绞线对接连接管药包的规格和钢绞线插接连接管药包的规格

连接方式	连接管型号	适用钢绞线型号	药包尺寸/mm $D\times l\times d$	装药量/g
	YG-25	GJ-25	$\phi40\times180\times\phi34$	388 ± 10
	YG-35	GJ-35	$\phi76\times210\times\phi38$	514 ± 15
	YG-50	GJ-50	$\phi76\times230\times\phi38$	530 ± 15
	YG-70	GJ-70	$\phi76\times280\times\phi38$	570 ± 15

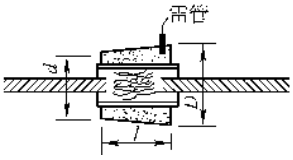
连接方式	连接管型号	适用钢绞线型号	无缝钢管规格/mm 外径×壁厚×长度	药包尺寸/mm $D\times l\times d$	装药量/g
	BYG-25	GJ-25	$\phi16\times2\times100$	$\phi50\times90\times\phi38$	135 ± 10
	BYG-35	GJ-35	$\phi20\times2.5\times100$	$\phi56\times90\times\phi44$	150 ± 10
	BYG-50	GJ-50	$\phi22\times3\times120$	$\phi56\times110\times\phi44$	195 ± 10
	BYG-70	GJ-70	$\phi28\times4\times140$	$\phi60\times130\times\phi48$	250 ± 10

表 10-62　钢芯铝绞线搭接直线连接管药包的规格和尺寸

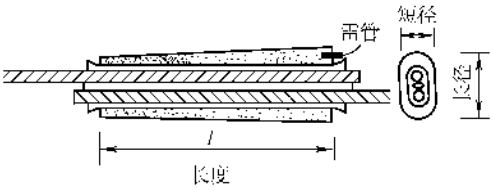
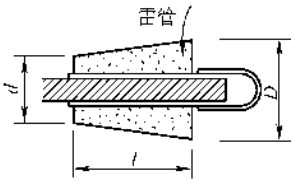
连接方式	连接管型号	适用导线型号	连接管规格/mm 短内径/长内径 × 壁厚 × 长度	药包尺寸/mm 大头短径/长径 × 长度 × 小头短径/长径	装药量/g
	QLG-50	LGJ-50	$\frac{10.5}{22}\times2.3\times120$	$\phi\frac{35}{49}\times100\times\phi\frac{35}{37}$	85 ± 8
	QLG-70	LGJ-70	$\frac{12.5}{26}\times2.6\times150$	$\phi\frac{37}{51}\times130\times\phi\frac{27}{41}$	115 ± 8
	QLG-95	LGJ-95	$\frac{15}{31}\times2.6\times220$	$\phi\frac{40}{56}\times200\times\phi\frac{30}{46}$	180 ± 8
	QLG-120	LGJ-120	$\frac{17}{35}\times3.1\times220$	$\phi\frac{43}{61}\times200\times\phi\frac{33}{51}$	185 ± 8
	QLG-150	LGJ-150	$\frac{19}{39}\times3.1\times230$	$\phi\frac{45}{65}\times210\times\phi\frac{35}{55}$	190 ± 10
	QLG-185	LGJ-185	$\frac{21}{43}\times3.4\times250$	$\phi\frac{48}{70}\times230\times\phi\frac{38}{60}$	260 ± 10
	QLG-240	LGJ-240	$\frac{23.5}{48}\times3.9\times270$	$\phi\frac{51}{75}\times250\times\phi\frac{41}{65}$	280 ± 10

表 10-63　钢绞线耐张连接管药包尺寸

连接方式	连接管型号	适用钢绞线型号	药包尺寸/mm $D\times l\times d$	装药量/g
	NY-35	GJ-35	$\phi70\times110\times\phi38$	230 ± 8
	NY-50	GJ-50	$\phi70\times120\times\phi38$	265 ± 8
	NY-70	GJ-70	$\phi70\times130\times\phi38$	270 ± 8
	NY-100	GJ-100	$\phi70\times155\times\phi46$	360 ± 10
	NY-135	GJ-135	$\phi80\times195\times\phi56$	590 ± 10

③　将净化处理好的连接管放进药包纸筒内（见图 10-158），上下伸出约 10mm，然后用干净棉丝封口。在筒内充填炸药，常用岩石 2#硝铵炸药，存放过期或受潮成块不能用；装药密度为 1g/cm³，可用小木棍轻捣，绝对禁止用金属物。装满后加上纸盖并用橡皮膏贴封严密，即成药包。

2）穿线：先检查导线及管内应无油污杂质，然将被接导线从管两端插入，两端头应在钢管中心处紧密接触，不得有空隙。穿线过程中应防止连接管移动。有时为了可靠起见，先将导线穿入钢管，再装炸药。

3）在药包规定的部位，见图 10-156、图 10-157 及表 10-61 ~ 表 10-65 及其附图，用削尖竹筷钻孔，将雷管插入药包，埋入深度 10mm，并将导火索装好，长度一般为 200 ~ 250mm；若为电雷管，导线为

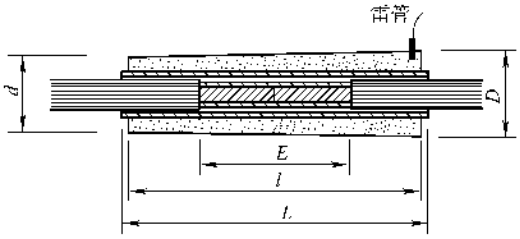


图 10-156　钢芯铝绞线一次爆压药包示意图

30m。通常起爆人员与安装雷管者应为同一人进行。

4）用木杆牢固架起药包，两端的线材离开地面约 1.50m，不得倾倒，且使药包及管不受外力，导线应与木架绑扎牢固。

5）所有人员离开半径为 20m 圆周以外处；确实认为爆炸危险区内无人时，鸣笛警告后才可引爆。

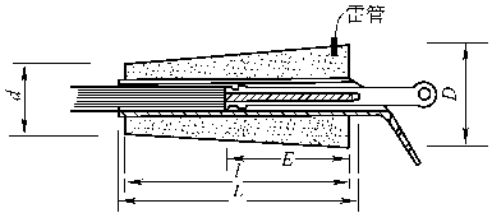


图 10-157 钢芯铝绞线压接型耐张线夹一次爆压药包示意图

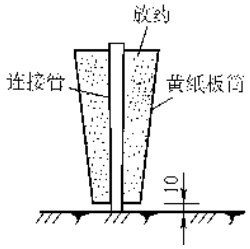


图 10-158 药包制作示意图

表 10-64 钢芯铝绞线一次爆压药包尺寸

连接管型号	适用导线型号	钢管尺寸/mm 直径×长度 E	铝管尺寸/mm 直径×长度 L	药包尺寸/mm 大头直径 D×长度 l×小头直径 d	装药量/g
BY-300Q	LGJQ-300	ϕ20×120	ϕ44×560	ϕ76×540×ϕ62	1210
BY-300	LGJ-300	ϕ22×140	ϕ44×620	ϕ76×600×ϕ62	1420
BY-400Q	LGJQ-400	ϕ22×140	ϕ44×620	ϕ76×600×ϕ62	1420
BY-400	LGJ-400	ϕ25×160	ϕ44×680	ϕ76×660×ϕ62	1480

表 10-65 钢芯铝绞线压接型耐张线夹一次爆压药包规格

连接管型号	适用导线型号	铝管尺寸/mm 直径×长度 l	药包尺寸/mm 大头直径 D×长度 l×小头直径 d	装药量/g	钢锚有效压接长度 E/mm
NB-300Q	LGJQ-300	ϕ40×310	ϕ72×210×ϕ60	460	155
NB-300	LGJ-300	ϕ40×340	ϕ72×310×ϕ60	680	165
NB-400Q	LGJQ-400	ϕ40×350	ϕ72×320×ϕ60	702	165
NB-400	LGJ-400	ϕ40×370	ϕ72×330×ϕ60	724	175

注：1. 钢芯铝绞线的压接型耐张线夹连接也可分为钢铝两次起爆，但以一次爆压为宜；

2. 二次爆压的药包尺寸，可参考一次爆压药包尺寸，装药密度一般以 0.95～1.05g/cm^3 为宜。

下面介绍一种改进后的爆压法，即塑-B 型炸药爆压法，特点是不需要纸筒，而是将塑胶垫似的 75% 未纯化太恩、20% 半硫化乳胶、5% 强化剂四氧化铅混合烘制的一种炸药，用黑胶布紧紧包裹在连接管外面。其厚 5mm，面积（340mm）×（520mm），密度 0.85～0.95g/cm^3，使用时只要用竹片刀切割所要的尺寸即可，不得用金属制的剪刀或刀切割。

其他净化处理、穿管、引爆雷管装设及引爆同前。压接导线一般使用一层即可，钢绞线连接可用两层，其装置方式见图 10-159～图 10-162，用量宜根据接头长度决定。

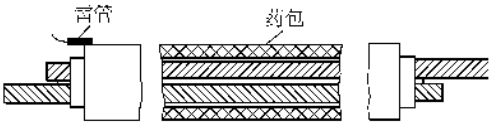


图 10-159 爆压搭接管药包示意图

6）爆压法连接的注意事项：

① 炸药、雷管、导火索等引爆材料应从正式厂家直接提货，并分别妥善保管；运输过程中要防震、防火、防潮、防盗。严禁炸药、雷管一起运输、存放。

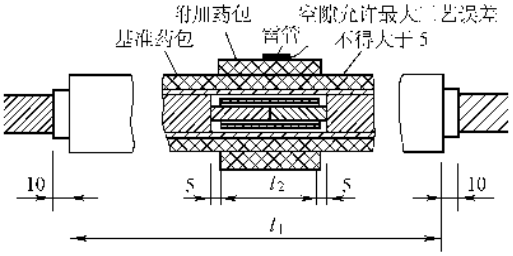


图 10-160 直线管药包示意图

② 施工及引爆时要有专人看守通道、路口，严禁闲人及非工作人员进入现场。

③ 引爆区域内不得有电力线路、通信线路、民房及其他设施。

④ 慎重处理闷炮、哑炮，引爆 15min 后才能接近药包，必要时要有爆炸专业人员指导。

⑤ 雷管应轻拿轻放，当发现有灰尘或杂物时，

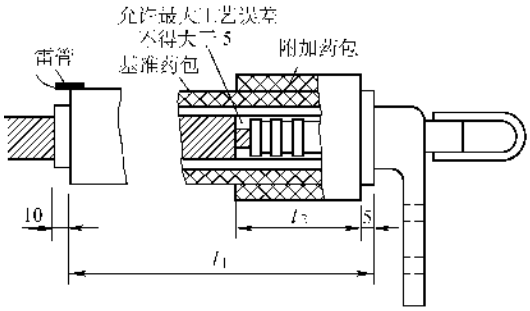


图 10-161　耐张线夹药包示意图

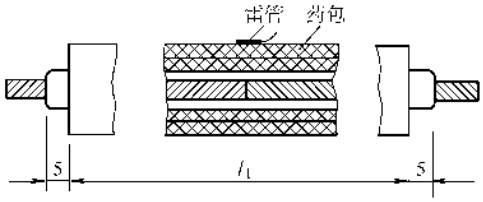


图 10-162　钢线直接连接药包示意图

只许在指甲上轻轻磕出，不许掏挖，也不得用嘴吹。如杂物无法清除时，应作废品销毁。将导火索插入雷管时，不得用力挤压。

⑥　炸药、雷管、导爆索要远离高温设备、严禁明火，操作人员禁止吸烟。发生火灾时，只许用水扑灭，严禁用砂子、土等杂物覆盖，扑救。

⑦　太乳炸药及导爆索，只能用快刀在木板或橡皮上裁切，或用竹刀切割，严禁用剪刀或钳子剪夹。

⑧　爆接器材，必须严格办理领、退料手续，剩余料应及时退库，不得流入社会。

7）爆压连接导线的质量要求及检验：

①　开工前，应对工程所用的导线、避雷线、爆压管以及爆压操作工艺，进行爆压试验，每种型式的试件不少于 3 件，且应符合下列要求：

a. 握着力强度必须达到或超过被连接导线或避雷线计算拉断力的 95%；

b. 解剖检查，钢芯不得有“烧”伤，铝管内壁不得有明显的“烧”伤；

c. 如有试件不合格，应查明原因，研究改进后加倍再试，直至全部合格后才能正式爆接。

②　爆压后，有下列情况之一者，应锯断重接：

a. 管外导线有明显损伤；

b. 爆压管穿孔、裂纹；

c. 大截面积导线未穿到规定位置，或钢芯管中心偏离铝管中心，从而引起任何一端导线上标志与铝管端头间偏差超过 4mm 者；

d. 避雷线对接管内线头未穿到规定位置，或两线头接触点偏离钢管中心，从而引起任何一端线上标志与钢管端头间偏差超过 4mm 者。

③　爆压后，爆压管的弯曲应不大于管长的 2%，超差后可校直，但校正后应无裂纹及明显的槌痕。（这里要注意必须用木槌校直）。

④　凡爆压管上两层炸药部分发生残爆时，应锯断重接；凡爆压管上单层炸药部分发生残爆时，允许补爆，补爆范围应稍大于残爆范围，且补爆部分的铝管表面，亦应妥善保护，防止烧伤。补爆只能进行一次。

⑤　铝爆管表面烧伤，可用砂布磨光，但烧伤面积和深度出现下列情况之一者、应锯断重接；

a. 烧伤总面积超过 10% 者；

b. 烧伤深度：大截面（300mm^2 及以上）深度超过 1mm 的总面积超过 5% 者；中小截面积（240mm^2 及以下）深度超过 0.5mm 的总面积超过 5% 者。

⑥　耐张管的跳线连板，爆压后有下列情况之一时，应锯断重接；

a. 变形而无法修复者；

b. 连接面烧伤；

c. 非连接面烧伤深度超过 1mm 的总面积超过 5% 者；

d. 根部有裂纹。

⑦　中小截面导线的长圆型搭接管，爆压后，如雷管对面短径方向出现的鼓肚总尺寸超过表 10-66 的允许值者，应锯断重接。

表 10-66　允许鼓肚总尺寸

导线规格	LGJ-35	LGJ-50	LGJ-70	LGJ-95	LGJ-120	LGJ-150	LGJ-185	LGJ-240
短径鼓肚允许值/mm	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0

测量方法　用游标卡尺先在 1 点量得短径尺寸 A，再在 2、3、4 点各处测得短径尺寸的总和除以 3 得 b，然后 A、b 之差即为鼓肚总尺寸，见图 10-163。

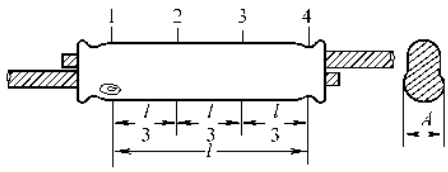


图 10-163　鼓肚部位及测量示意图

爆炸压接应符合现行国家标准《架空电力线路爆炸压接施工工艺规程》的要求。

（四）叉接缠绕法

1）把两根被连接导线的端头散开成伞状，散开长度根据导线直径而定，一般为 200～400mm。同时用钳子叼住撑直每根单股线。

2）两伞交叉在一起并用钳子敲打，使其紧密地结合在一起且根根理顺。

3）在中间交叉点用 ϕ2～ϕ3mm 的镀锌铁线或独根铝线紧密缠绕 50mm，将其尾部用连接导线自身的单股线或双股线压住，并且自身导线向后逐步缠绕，其尾部再用后面的自身导线压住，一直缠绕到规定长度，最后小辫收尾，见图 10-164。

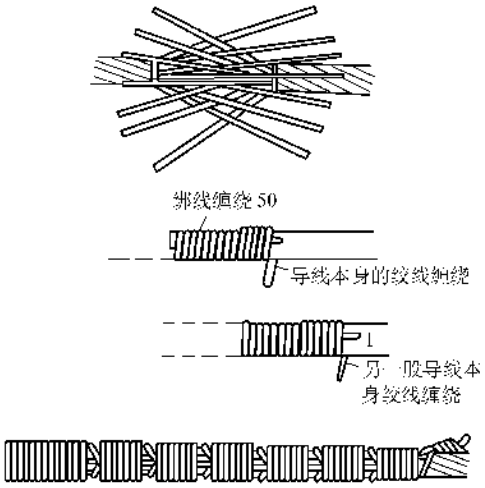


图 10-164　导线插接法

缠绕长度按导线线径一般为 200～400mm，小辫长 20～30mm。

缠绕时也可将压下的尾部由以后自身导线缠绕 2～3 圈后再翘起，并用钳子砸平形成小钩，且所有小钩的方向、长度应一致。

（五）导线连接的总体要求

1）不同金属、不同规格、不同绞制方向的导线、避雷线严禁在一个耐张段内连接。不同金属的导线不应在同一横担上架设。

2）同一档距内，同一根导线上的接头，不得超过一个。导线接头的位置与导线固定处的距离应大于 0.5m，有防振装置者应在防振装置以外 0.5m 外处。

3）导线的连接必须使用现行的电力金具标准规定的配套连接管进行连接。连接后的握着强度，必须达到或超过被连接导线计算拉断力的 90%。

4）导线的连接部分不得有线股缠绕不良、断股、缺股等缺陷。切割导线铝股时严禁伤及钢芯。连接后，管口附近的线股不应有明显的松股或超过缠绕处理标准的损伤。

5）导线的连接作业必须由经过培训并考试合格的人员担任。连接完成后应经自检合格，并在连接管上打上操作人员的代号钢印。

6）连接后接头部分的外观应平直、弯曲度应小于管长的 2%，2%～3% 时可垫木板用木槌矫正，超过 3% 时应锯断重接。表面应无毛刺毛边，不允许有任何裂纹，两线端头露出管的长度应大于 20mm。

7）连接后的外形尺寸要求应用卡尺测量，并符合上述各种连接方法的尺寸误差。

8）在一个档距内，一根导线只允许有一个直线连接管及三个修补管。补修管之间、补修管与连接管之间、直线连接管或补修管与耐张管之间的距离均不宜小于 15m。直线连接管或补修金具对悬垂线夹的距离须使其位于护线预绞丝或防震装置以外。

9）整个连接管接头电阻值，不应大于等长导线的电阻，电阻值应分布均匀，两半管的电阻值应相等，比例不得大于 115%。阻值的测量可用电桥、高精度数字万用表或按图 10-165 所示的 VA 法测量计算，其中表的精度等级应在 0.05 级以内。

10）其他详见第二章导线连接工艺。

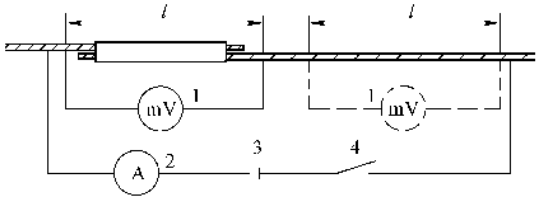


图 10-165　VA 法测量接头电阻示意图

11）各种连接方法适用范围见表 10-67。

表 10-67　各种连接方法适用范围

连接方式	连接机具	适用范围
钳压压接连接	钳接管 机械压钳 油压钳	LGJ-16～LJG240　钢芯铝绞线 LJ-16～LJ-185　铝绞线 TJ-16～TJ-150　铜绞线
液压对接连接	接续管 导线压接机	GJ-35～GJ-100　钢绞线 LGJQ-300～LGJQ-500　轻型钢芯铝绞线 LGJ-300～LGJ-400　钢芯铝绞线 LGJJ-185～LGJJ-400　加强钢芯铝绞线
爆压连接	接续管 炸药 雷管	GJ-35～GJ-100 GJ-70～GJ-135　耐张线夹 LGJQ-300～LGJQ-400 LGJJ-300～LGJJ-400 LGJ-300～400　耐张线夹、跳线 LGJQ-300～400　耐张线夹、跳线 LGJJ-300～400　耐张线夹、跳线

（续）

连接方式	连接机具	适用范围
插接绑扎法	镀锌铁线 同质单股线	低压、档距不大或过引线 LJ-70 以下 TJ-70 以下

（六）导线的补修

（1）补修管补修　补修管由铝制大半开口圆管和小半圆片组成，将大半开口圆管套入导线损伤部位，两端应超出损伤部分各 30mm，并将损伤部位放在大半圆非开口侧，然后将小半圆铝片从端部插入，最后用压接机进行压挤，所用钢模为相同规格的导线连接管钢模。导线和补修管的净化处理同前。补修管的外形见图 10-166，其尺寸规格见表 10-68。

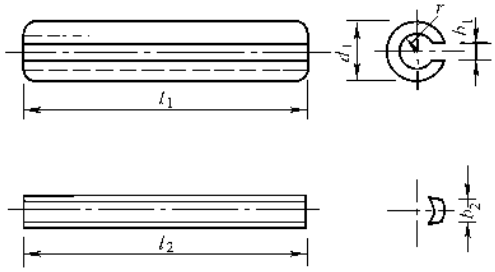


图 10-166　补修管外形图

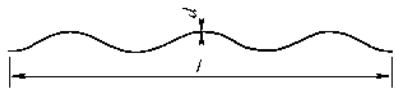
表 10-68　补修管的规格

型号	适用钢芯铝绞线 截面积/mm² 正常型	适用钢芯铝绞线 截面积/mm² 减轻型	适用钢芯铝绞线 外径/mm	主要尺寸/mm b_1	b_2	d_1	r	l_1	l_2	质量/kg
BY-300	300		24.2	26	24	44	13.0	250	250	0.52
BY-400	400		28.0	29	27	50	14.5	300	300	1.10
BY-300-Q		300	23.5	25	23	44	12.5	250	250	0.45
BY-330-Q		330	25.2	27	25	44	13.5	250	250	0.50
BY-400-Q		400	27.2	28.5	26.5	44	14.5	300	300	0.70
BY-500-Q		500	30.2	31.5	29.5	50	16.0	300	300	0.95

（2）补修条补修　补修条又称补修预绞丝，由铝镁硅合金制成。先净化处理损伤的导线，净化长度为补修条的 1.2 倍，涂沫一层中性凡士林油，然后将相应规格的一组补修条用手紧密缠绕在导线上，同一组各根应均匀排列，不能重叠。缠好后不必压挤、即可使用。补修条规格见表 10-69。

表 10-69　预绞式补修条规格

型号	适用导线型号	尺寸/mm d	l	每组根数	每组质量/kg
YJB-35	LGJ-35	3.6	270	9	0.08
YJB-50	LGJ-50	3.6	300	10	0.09
YJB-70	LGJ-70	3.6	340	11	0.12
YJB-95	LGJ-95	4.6	420	11	0.23
YJB-120	LGJ-120	4.6	450	12	0.27
YJB-150	LGJ-150	4.6	480	13	0.30
YJB-185	LGJ-185	4.6	580	14	0.39
YJB-240	LGJ-240	6.3	640	12	0.66
YJB-300	LGJ-300	6.3	700	13	0.80
YJB-400	LGJ-400	6.3	820	14	1.05
YJB-300Q	LGJQ-300Q	6.3	700	13	0.80
YJB-400Q	LGJQ-400Q	6.3	820	14	1.05
YJB-500Q	LGJQ-500Q	7.8	870	13	1.74



四、紧线

紧线就是在耐张段内将挂好的导线按规定的垂度拉紧并固定在横担的绝缘子上。

（一）紧线的方式

1. 单线法

每次只紧一根（一相）导线、工艺简单、工具较少，但工期较长，三相的垂度不宜一致，易拉歪横担，必要时要打临时拉线。常用于结构简单而距离较小的一般线路上。

2. 双线法

两根边相导线同时紧或两根避雷线同时紧，最后再紧中间相导线，是最常用的紧线方法，工艺较复杂，人和工具也较多，可按图 10-167 布置。

3. 三线法

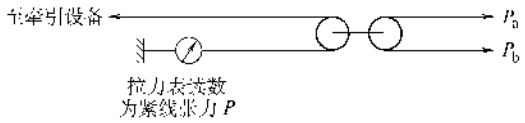


图 10-167 双线紧线示意图

一次同时紧三根（相）导线，工艺复杂，人和机具也多，三相弧垂一致宜掌握，可按图 10-168 布置。

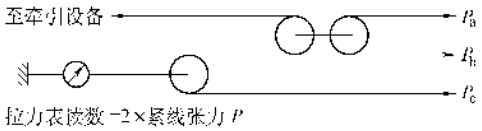


图 10-168 三线紧线示意图

在紧线过程中，多层横担时一般是先紧上部后紧下部，导线水平排列时先紧边相后紧中相，先避雷线后相线。

（二）紧线的准备工作

1）检查耐张段内拉线是否齐全牢固，地锚底把有无松动。紧线段内两端的耐张杆应做临时加强拉线，特别是拉线点不在相应的挂线处，即横担的两端挂线处和紧线端横担两侧应安装临时加强拉线。

临时拉线可根据线路的挡距、导线截面、耐张段的距离用不小于 ϕ10 钢丝绳、相应截面的钢绞线、ϕ20～ϕ30 的棕绳或 ϕ16 的钢筋，地锚可利用现有的正式地锚，但必须顺线路方向，否则要重新埋设临时地锚。临时地锚可用 ϕ50 的钢管或圆钢斜打入地面 1.50～2.00m，临时地锚必须可靠。临时拉线、临时地锚应在紧好线后拆除。

2）检查导线有无损伤、交叉混淆、障碍、卡住等情况，接头是否符合要求，是否已挂滑轮且导线已在轮内，道路、铁路、其他线路的交叉跨越措施是否安全可靠，有无专人看管，杆有无倾斜、杆头金具、绝缘子是否缺件等。

3）牵引设备应准备就绪，人力紧线应有足够的人力和固定牵引绳装置或临时地锚，机具牵引一般用绞磨或小型拖拉机、汽车等。

4）紧线操作人员及紧线工具（紧线器、耐张线夹、铝包带、活扳手、铆头、登杆工具、挂紧线器用的 8#铅丝或 ϕ6～ϕ10mm 的钢筋等）应准备齐全并运到现场。

5）观察导线弧垂的人员（应了解其技术水平、能否胜任），应到达指定杆位并做好准备（登杆或安放仪器）。

6）指挥人员应在作业前召集所有人员布置紧线方案、规定联络信号、宣布注意事项及安全事宜等。

（三）紧线

紧线过程先是把挂好的导线按要求的弧垂紧好，并在紧线端作好记号；然后把线松开，在记号处用连接金具连好；再次紧线，并把导线的连接金具与绝缘子串连接，即完成了紧线。

1）将始端导线按设计要求，使用耐张线夹或楔型线夹将导线端紧固好，见图 10-169，楔型线夹见图 10-141，线夹的规格应与导线线径相符，线夹内的导线应包两层（叠压）铝包带，包扎长度应在线夹的两端各露出 50mm，耐张线夹是用卡子将导线卡住而固定在线夹上的，楔型线夹是用楔子将导线挤住而固定的。导线的尾部一般预留 1.50m 的长度，以便过引或连接。

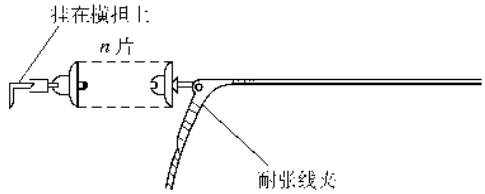


图 10-169 将始端的导线挂在横担上

然后将线夹挂在横担上的绝缘子串上，并插入弹簧销子，把其尾部分开，见图 10-170。

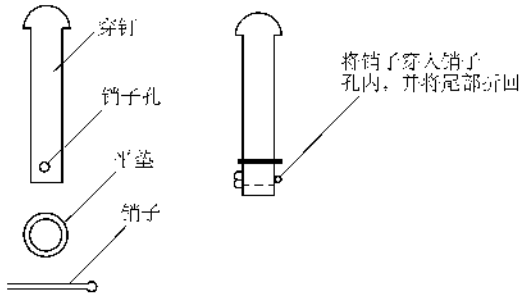


图 10-170 弹簧销子结构示意图

挂线时要检查横担、线夹、螺栓、悬垂等杆头金具有无裂纹或不妥，否则应在紧线前更换。

2）将已放开且连接好的导线挂在滑轮上（这里要注意不一定是杆杆挂有滑轮），并在挂有滑轮的杆上留一人，观察导线的紧线情况，紧线时如有阻卡或意外事故，应发出紧急信号，停止牵引，并处理故障。

3）紧线端操作人员登杆塔后，将导线末端穿入紧线杆塔上的滑轮后即顺延在地下，一般先由人力拉导线，使其离开地面 2～3m（所有档距内），然后用牵引绳将其栓好栓紧，牵引绳与导线的连接必须牢固可靠。牵引绳与导线的连接方法很多，其中最简单的方法就是用牵引绳和导线系扣拉紧，见图 10-171，但要将绳索、导线的尾部与本身用绑线缠绕紧密，这种

方法的主要缺点是要损坏一部分导线。一般情况下应用拉线器将导线夹紧咬住，牵引绳系住拉线器进行牵引。使用时应用铝包带将被夹住处的导线包扎两层，包扎长度要大于被夹部分。

图 10-171　牵引绳索与导线的连接方法示意图

4）如在杆塔上进行将导线卡入耐张线夹的操作，则应在紧线前将与导线规格对应的紧线器预先挂在与导线对应的横担上，同时将耐张线夹及其附件、铝包带、工具用工具袋带到杆上挂好。

①　紧线器通常是用镀锌铁线或 $\phi6\sim\phi8$mm 的钢筋穿入紧线器卷轮的孔内，然后用紧线手柄（也叫钥匙）按顺时针紧线方向转动卷轮，使铁线或钢筋先在卷轮上缠上 2～4 圈，铁线或钢筋的长度是从横担开始、绝缘子串的长加上耐张线夹撑紧导线的长度，再加上适当的余量（100～150mm），一般为 1m 左右或绝缘子串长度的 1.7 倍。其根数则根据导线截面、耐张段距离决定的，铁线一般采用单股、双股或四股；钢筋一般采用单股，双股。然后将铁线或钢筋的另一端绑扎在与导线对应的横担上，绑扎要牢固可靠，绑扎所用的长度应加在前述 1m 或 1.7 倍绝缘子串长度上。紧线器的优点在于牵引取掉后仍可随意调节导线的松紧，因此是一种常用的方法，见图 10-172。

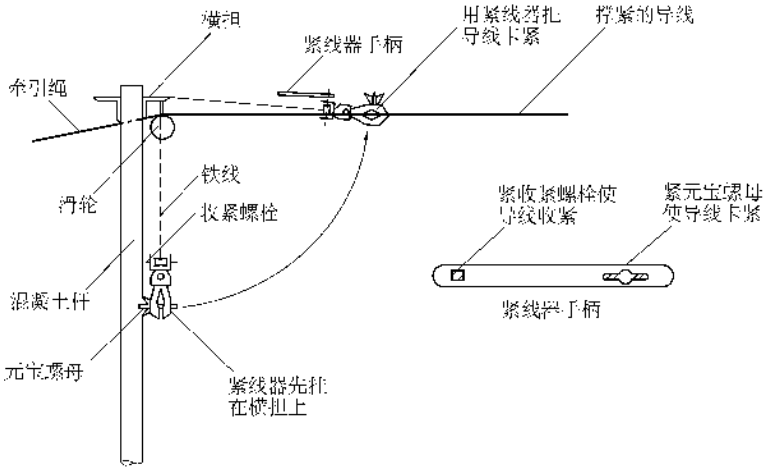


图 10-172　紧线器紧线操作示意图

②　拉线器也用铁线或钢筋系牢挂在横担上，长度、股数同前、但不能再进行调节。

如果在地面上进行导线卡入耐张线夹的操作，则应将线夹及其所有的紧固附件在地面上准备好。

5）通过规定的信号在紧线系统内（始端、中途杆上、垂度观察员、牵引装置等）进行最后检查和准备工作，一切正常后即可由指挥者发出准备起动牵引装置的命令，准备就绪后即可起动牵引装置，牵引速度宜慢不得快。

牵引起动后，各点人员特别是杆塔上人员要注意观察拉线、地锚、拉线金具、绝缘子串及挂钩、横担、地面、滑轮等有无异常，稍紧后应先停止牵引，各点人员向指挥者汇报本点情况，不妥之处应放下线处理；一切正常后继续牵引，指挥人员随时注意拉力表指示及导线升起情况，并及时询问各点情况，发现异常或各点传来的停止信号应立即停止牵引，查明原因并处理后再牵引。观察弧垂人员应随时观察导线收紧的情况，当接近设计规定的垂度值时，应发出减至最慢速度的信号，使导线缓慢达到规定值，这时应停止牵引，并把牵引尾绳与地锚系牢或由机械装置制动，没有指令不得松或紧。

6）弧垂的观察：弧垂一般由人肉眼观察，必要时应用经纬仪观察。

①　人工肉眼观察　地势较平一般宜人工肉眼观察。先根据耐张段的距离，选择 1～3 个标准档距，在该档两端的杆塔上，从挂线处用尺子量出规定弧垂值，并在其值处各绑一块木板，见图 10-173，当导线紧升到该档时，导线最低点与两块木块在一条直线上时，即达到了规定值（一般情况下新导线要比规定值平均多紧 15%～20%），即停止牵引。再者弧垂的观察要注意当时的气温，表 10-27 给出了各种导线在不同档距和气温下的垂度值，供读者参考。

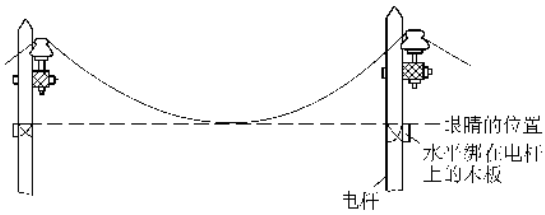


图 10-173 肉眼观察弧垂的方法

② 经纬仪观察 仪器的安放有两种可能，见图 10-174。将图中有关数值测出，代入下式即可求得弧垂 f：

$$f = \frac{1}{4}\left[\sqrt{a} + \sqrt{a - l \cdot \tan\theta \pm h}\right]^2 \quad (\mathrm{m}) \tag{10-2}$$

式中 θ——用仪器观测的垂度最低点切线与水平线的夹角，正值表示仰角，负值表示俯角（°）

l——A、B 两杆塔间的水平距离（m）；

h——架空线悬挂点的高差（m）；

仪器近方悬挂点较远方悬挂点为低时，取“+”值，反之取“-”值；

a——仪器中心至近处架空线悬挂点的垂直距离（m）。

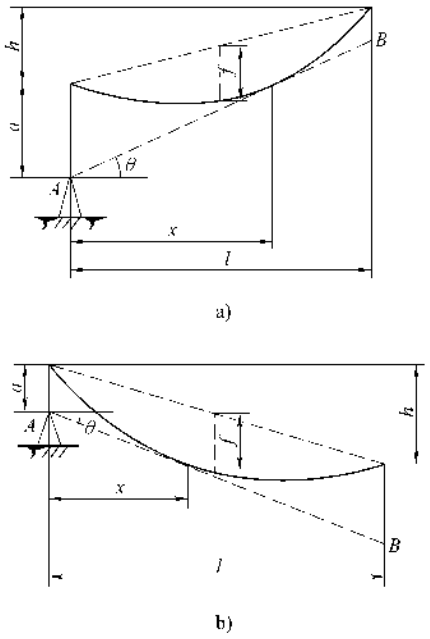


图 10-174 用仪表观察弧垂示意图

a）仪器置于较低一端观测 b）仪器置于较高一端观测

仪器测量法适用于杆塔高差较大、档距较大弧垂的测量。

弧度观测前，每杆塔上应有人及时松动导线，以避免阻卡而形成各档距之间弧垂不一致的状况，特别是线路较长或有障碍不易观察时更要注意，必要时指挥人员应从头到尾巡视一遍，必须使各档距之间的弧垂一致。

7）导线末端的挂线和紧线。

① 在杆塔上面操作紧线：

a. 操作人位于导线侧下方将紧线器拿起并使镀锌铁线或钢筋尽量水平伸直到导线的最远端，并在位于夹线钳口处的导线上作一记号；

b. 放下紧线器，在记号的前后包扎两层铝包带，长度要大于夹线钳口长度；然后再将紧线器的夹线钳口咬住包好铝包带的导线，并用钥匙将紧固元宝螺钉拧紧拧牢，使其紧紧夹紧导线，见图 10-172。

c. 将牵引绳尾线缓缓松动，但不得完全松开，这时紧线器铁线被拉紧，导线有所松弛，先观察一下紧线器与横担的固定处和夹线钳口处是否有松动或不妥，否则要重新将尾绳系住进行处理。一切正常后即可把牵引绳完全松开，然后用钥匙拨动收紧千斤，导线被紧线器的卷轮收紧，再次观察垂度，到规定值后再将紧线器收紧 1～2 圈，防止挂好线后再度松弛。

d. 将绝缘子串抬起撑平，并把导线从夹线钳口伸至到绝缘子串末端的单联碗头处，在导线的该处作一个记号 B，该点就是耐张线夹的悬挂点，见图 10-175。同时从该点考虑过引线的尺寸，一般为 1.5～2.0m，把多余的导线割掉。同时在耐张线夹处包扎铝包带。

e. 在记号前后按照耐张线夹的夹线长度，在导线上包扎两层铝包带，长度要大于耐张线夹夹线长度，每端多 50mm，检查耐张线夹的规格和外观，规格应与导线相符，外观完好，即可将导线夹入线夹，螺钉必须紧固好，悬挂点要准确，最后将线夹插入单联碗头，上好穿钉和弹簧销子，并把弹簧稍子尾部分开。见图 10-175。

f. 检查无误后，用钥匙将紧线器松开，绝缘子串被导线拉紧，再度观测弧垂有无大的变化，否则要重新用紧线器调整，并把记号向前推移。无大变化，即可将紧线器从横担上卸下，紧线完毕。

如用拉线器挂线，操作基本同上，但必须掌握好弧垂的提前量，否则得用牵引装置重新紧线，拉线器本身不能调整。

② 地面上操作：

a. 当紧线垂度达到规定要求后，按照绝缘子串的长度，杆上人在导线上划好记号，记号一般应有提前量，然后放松牵引使导线落地，地面上的人员则根据记号按上述将耐张线夹上好，位置要准确无误。

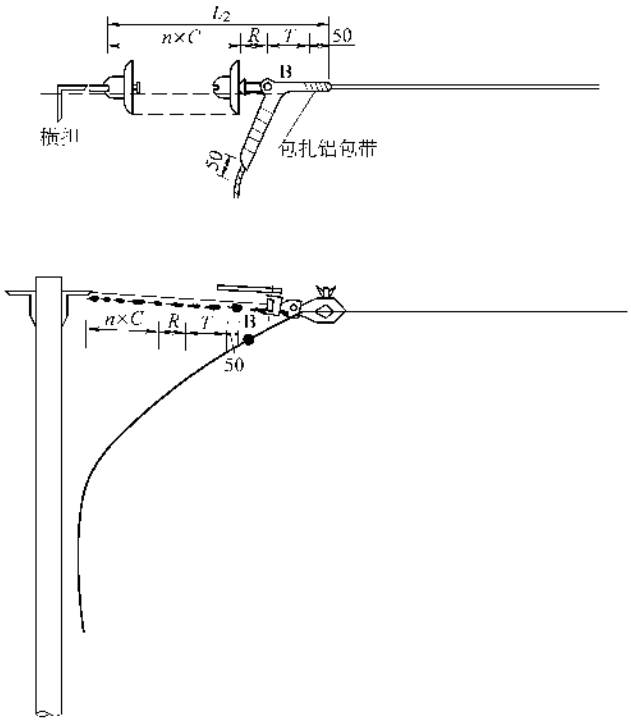


图 10-175　导线末端紧线位置的测量

b. 再度紧线，杆塔上人员在线夹到达绝缘子串单联碗头位置时，即可把线夹按前述操作与其连接好，然后再按丈量尺寸，锯断导线。

③　扇形调整板直接挂线　当紧线弧垂达到规定要求后，即可在横担悬挂绝缘子串直角挂环垂直下方的导线上作好记号，然后将导线松落至地面，在地面上按着图 10-176 将挂线板、U 形环、扇形调整板、绝缘子串、耐张线夹的连接长度和位置组装好，把牵引绳系在扇形板上，再度一起紧线，当达到弧垂要求时或用扇形板调整，并把 U 形环挂在连接板上。扇形调整板有 15 ~ 120mm 的调整量，用起来很方便。利用这个方法也可将绝缘子串直接挂在横担上。

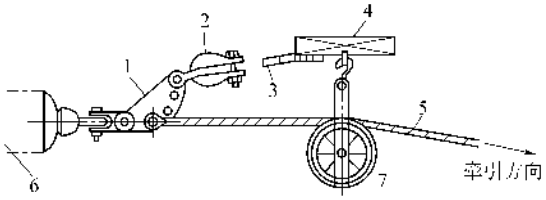


图 10-176　扇形调板安装示意图

1—扇形调整板　2—U 形环　3—挂线板　4—横担
5—牵引钢绳　6—绝缘子串　7—滑轮

8）低压线路的紧线　低压线路的紧线方法和上述相同，只是耐张杆上使用的绝缘子不同，因而导线与绝缘子的固定方法也不同，也可在杆上操作或地面上操作。低压线路或 6kV、10kV 线路常用蝶式绝缘子或悬式与蝶式组合，导线与蝶式绝缘子的固定一般用绑线绑扎的方法，见图 10-177 和图 7-53。绑线通常使用镀锌铁线或同质金属单股线，绝缘导线一般使用黑绑线（成品）绑扎。裸铝导线在蝶式绝缘子上作耐张绑扎时应缠铝包带，绑扎长度应不小于表 10-71 的数值。

9）紧线的技术要求：

①　紧线应在全线混凝土基础强度达到设计要求、全耐张段内杆塔已经质检部门检查合格后、方可进行。

②　弧垂观测档的选择原则：

a. 紧线段在 5 档及以下时，靠近中间选择一档；

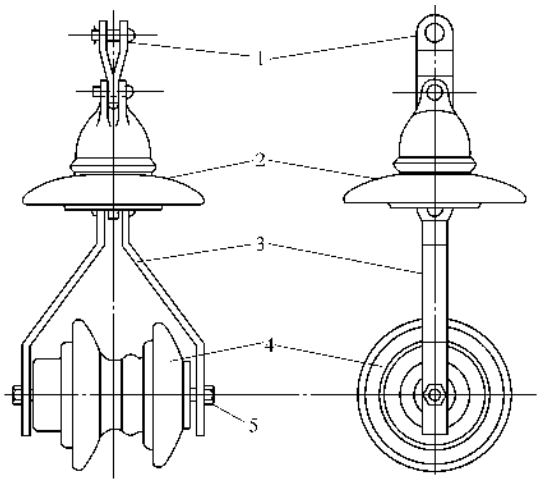
b. 紧线段在 6 ~ 12 档时，靠近两端约 1/4 处各选择一档；

c. 紧线段在 12 档以上时，靠近两端及中间可选择 3 – 4 档；

d. 观测档宜选档距较大和悬挂点高差较小的档距，若地形特殊应适当增加观测档，但不得减少。

③　挂线时，对于孤立档及较小的耐张段，其过牵引长度应不大于 200mm，且导线或避雷线的安全系数不得小于 2。

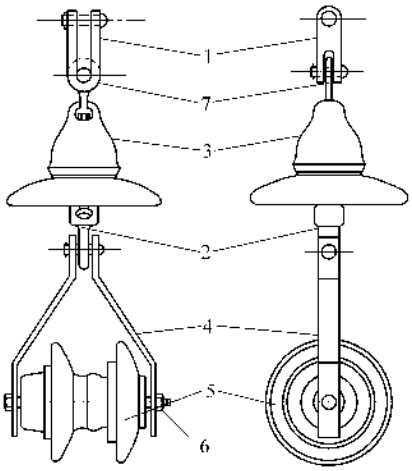
④　弧垂应在挂线后随即检查，110kV 线路其误差应不大于 + 5%、 – 2.5%，220kV 及以上线路为



a)

主 要 部 件 表

序 号	名 称	单 位	数 量
1	平行挂板	副	1
2	悬式绝缘子	片	1
3	曲型拉板	副	1
4	蝶式绝缘子	个	1
5	穿 钉	根	1



b)

主 要 部 件 表

序 号	名 称	单 位	数 量
1	直角挂环	个	1
2	单联碗头	个	1
3	悬式绝缘子	片	1
4	曲型拉板	副	1
5	蝶式绝缘子	个	1
6	穿 钉	根	1
7	球头挂环	个	1

图 10-177 悬式、蝶式绝缘子在 10（6）kV 线路上的组合

a）10kV 悬式绝缘子加蝶式绝缘子组装图（X-4.5C）

b）10kV 悬式绝缘子加蝶式绝缘子组装图（X-4.5）

±2.5%，但正差最大值应不大于 500mm；当弛度大于 30m 时，其误差应不大于 ±2.5%，按大跨越设计的跨越挡，其误差应不大于 +2%、-2.5%。跨越通航河道为 ±1%，且正差值不应大于 1m。

⑤ 导线或避雷线各相的弧垂应力求一致，在满足④条的允许误差时，各相间相对误差应不超过表 10-72 的规定。10kV 及以下线路水平排列的导线弧垂相差不应大于 50mm。

⑥ 相分裂导线同相各线的弧垂应力求一致，在满足④条的允许误差时，水平排列的分裂导线其相对误差应不超过 80mm；垂直排列的分裂导线其分裂间距误差不应超过 +80mm、-50mm，110kV 及以上见表 10-70。

表 10-70 相间弧垂允许偏差最大值

线路电压等级	110kV	220kV 及以上
相间弧垂允许偏差值/mm	200	300

注：对架空地线是指两水平排列的同型线间。

不安装间隔棒的垂直双分裂导线，同相子导线间的弧垂允许偏差为 +100mm；

安装间隔棒的其他形式分裂导线同相子导线的弧垂允许偏差应符合下列规定：

1）220kV 为 80mm；

2）330～500kV 为 50mm。

⑦ 紧线后应测量导线对被跨越物的距离，应符合表 10-24 及验收规范的规定（GB 50233—2005 和 GB 50173—1992）。

10）紧线的注意事项：

① 紧线段如有直线小转角杆时，必须派专人登杆看管，防止导线阻卡或跑出滑轮。登杆作业必须系安全带。

② 挂绝缘子串时，应检查各个绝缘子有无破损并加以清洁，铁头开口方向一律向下。

③ 当导线离开地面时，应将导线上勾挂的杂草杂物等物清除干净。

④ 温度计是紧线的必备品，一般应挂在杆塔的阴面，各相导线紧线时的气温相差在 ±2.5℃ 以内时，也不作调整，超过时应随温度的变化而相应调整。

⑤ 耐张线夹的安装方向要装对，不得装反。

表 10-71 绑扎长度值

导线截面积/mm^2	绑扎长度/mm
LJ-50、LGJ-50 及以下	≥150
LJ-70	≥200
LJ-95～LJ-240	≥250～350

表 10-72　导线避雷线各相间弛度允许相对误差

排列形式	一般的线档	弛度大于30m 的线档	按大跨越设计的跨越档
水平排列	200mm	1%	1%
非水平排列	300mm	1.5%	1%

⑥　杆塔上操作人员，在牵引紧线时应位于导线的上风侧，尽量远离，当弧垂紧好且稳定 2～5min 后再进行操作；挂线时必须等接近挂线处时，再进行操作，一般应保持侧身操作。

⑦　紧线时必须匀速且慢、挂线时要尽量减小导线所承受的牵引张力。孤立档距更要注意，避免过牵引，否则要引起杆塔歪斜或变形。

⑧　雷雨、六级以上大风等恶劣天气应停止作业。

⑨　应派专人随时监视地锚的受力情况。紧线时、线下不得有人。

⑩　绞磨或牵引设备应由电工负责，邻近带电线路时作业时，绞磨、牵引设备、被紧导线均应临时可靠接地，导线应有专人监视。

⑪　有事故发生时，指挥人员应果断，先人身、后设备。

⑫　紧线和放线最好连续作业，当天完成，否则应有一定的保护防范措施。

五、导线在绝缘子上的固定

导线紧线完毕后，应当即将导线固定在横担的绝缘子上。导线的固定或绑扎都有规定的方法和技术要求，是必须遵守的。

（一）技术要求

1）导线的固定必须牢固可靠，不得有松脱，空绑等现象。

2）对于直线杆塔，导线应安装在针式绝缘子或直立瓷横担的顶槽内；水平瓷横担的导线应安装在端部的边槽上；采用绝缘子串悬挂导线时，必须使用悬垂线夹。

3）直线角度杆，导线应固定在针式绝缘子转角外侧的脖子上。

4）直线跨越杆，导线应固定在外侧瓷瓶上，中相导线应固定在右侧瓷瓶上（面向电源侧）。导线本体不应在固定处出现角度。

5）绑扎铝绞线或钢芯铝绞线时，应先在导线上包缠两层铝包带，包缠长度应露出绑扎处两端各15mm。

6）绑扎方式应按标准要求进行、绑线的材质应与导线相同。

7）绑扎固定时应先观察前后档距弧垂是否一致，否则应先拉动导线使其基本一致后，再进行绑扎，绑扎必须紧固。

（二）导线在悬式绝缘子上悬挂的固定

1）导线在直线杆塔上固定，通常使用固定型悬垂线夹或释放型悬垂线夹，见图 10-178。使用时先量出导线夹在线夹的位置，并包扎铝包带，然后将导线夹在线夹中用卡子卡好，最后将线夹用穿钉固定在绝缘子串的单联碗头上，并上好弹簧销子。

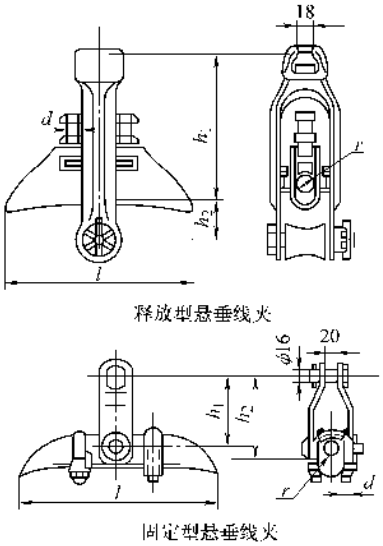


图 10-178　悬挂线夹结构示意图

2）导线在耐张、转角、终端杆上的固定，通常使用耐张线夹，前面紧线已作了详细介绍。

（三）导线在针式绝缘子上的固定

针式绝缘子有高压、低压两种，绑扎方法相同，绑线一般使用被绑扎导线同规格的散股单裸线。先把绑线缠成圈形团，绑扎的方法见图 7-54。绑扎部位的导线要包扎铝包带。

（四）蝶式绝缘子的绑扎方法

蝶式绝缘子有高压和低压两种，高压常与悬式绝缘子配合使用，绑扎方法相同，见图 7-53。

（五）导线在绝缘子上固定时的注意事项

1）核实并检查绝缘子及连接金具的规格型号与导线的规格型号、电压等级是否相符。

2）检查绝缘子的瓷质部分有无裂纹、硬伤、脱釉等现象；瓷质部分与金属部分的连接是否牢固可靠；金属部分有无严重锈蚀现象。

3）擦拭绝缘子上的污迹

4）针式绝缘子顶槽绑扎时，顶槽应顺线路方向。

5）针式绝缘子在横担上的固定必须紧固，且有

弹簧垫。

6）使用连接金具连接时，应检查其有无锈蚀破坏、螺钉脱扣等现象。

7）不合格的绝缘子，金具不得在线路中使用。

8）清理并检查杆头有无遗漏工具，草屑、铁丝、绑线等物，应清除干净。

9）杆头较复杂时，应检查导线与横担、拉线及相与相之间的安全距离是否符合要求。

10）杆头有无其他不妥。

六、附件的安装及全线检查

架空线路受风的影响而会产生共振，长期的强烈震动，将引起线路材料的损坏、螺栓松动、断股断线等事故。为了减轻危害、比较有效的办法是安装防震锤和阻尼线，35kV 及以上的线路一般都设置。

（一）防震锤的安装

防震锤安装在导线悬挂点为起点的第一个半波处，（l 由设计给出），直线杆塔从悬垂线夹中心起，量至防震锤的中心；耐张杆塔由耐张线夹螺栓中心起，量至防震锤中心，见图 10-179，以此类推。防震锤安装要按导线的规格、档距选择，见表 10-73。

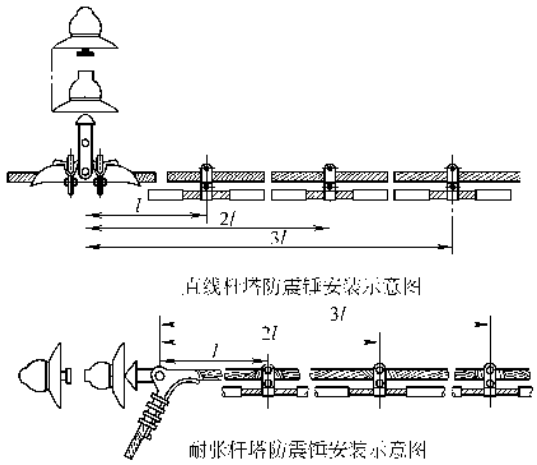


图 10-179 防震锤安装示意图

表 10-73 防震锤安装个数表

型号 \ 架空线直径/mm \ 档距/m \ 防震锤个数		1	2	3
F-4，F-5，F-6	$d<12$	<300	>300～600	>600～900
F-2，F-3	$12\leqslant d\leqslant 22$	≤300	>350～700	>700～1000
F-1	$d>22\sim37.1$	≤450	>450～800	>800～1200

安装时，在导线固定处包扎铝包带 1～2 层，露出 15～30mm，拧紧螺钉夹紧，必须加弹簧垫，安装误差应小于 30mm。防震锤安装后应在导线下方同一垂面内，夹板缺口的方向两边相线向内，中相线向右。

安装个数的多少是根据运行经验和实际风力大小决定的。对于年平均运行运力不超过破坏应力 25% 的线路、其档距小于 120m 可不加防震装置；当距在 120～500m，又在开阔地带，才加防震装置。大风或多风地区应根据运行情况而定。

（二）阻尼线的安装

阻尼线是总长 7～8m 左右与架空线同型号同规格的一段导线，按花边状悬挂在导线悬挂点的两侧。每侧悬挂三点，花边的垂度一般为 50～100mm。见示意图 10-180。其中的 S 由设计给出。连接方法一般用 U 形卡子或并沟线夹，螺钉必须有弹簧垫，其规格应和导线对应，紧固处应包铝包带。

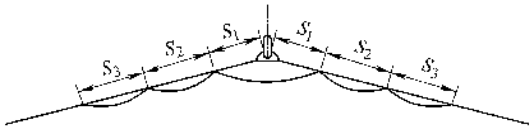


图 10-180 阻尼线安装示意图

（三）有关附件的安装要求

绝缘子串、导线及避雷线上各种金具螺栓、穿钉及弹簧销子的穿向应统一。

1）横向穿时，对于单导线，两边线由线路外侧向内穿，中线由左向右穿（面向受电侧）；对分裂导线，由线束外侧向内穿；

2）垂直穿时，由上向下穿。

3）开口销子必须对称开口，开口总角度应为 60°～90°，开口后不得有折断、裂纹等现象。不得用线材代替开口销子。开口销子穿以前，必须先套上平光垫，然后再穿开口销子。

（四）组织质检员及负责任的技工携带常用工具及金具附件将前段全线安装的线路包括杆塔、基础进行全面检查，必须登杆、登塔，每个部位进行仔细检查，能即时修复或更换的要即时进行，不能即时进行的要做详细记录，由专人进行，详见本章第九节

七、导线过引和下引的连接

通常把耐张杆塔两侧的导线或者转角杆塔两端的导线连接起来，叫做过引线的连接；把导线从杆塔上引至用户的连接，叫做下引线的连接。过引线或下引线有时也称跨接线、弓子线、跳线或统称引线。

（一）引线的连接应遵守的原则和作法

1）不同金属导线的连接应有可靠的过渡装置，一般使用和导线规格对应的铜铝并沟线夹，见图 10-2-3，

使用方式见图 10-181。其中铜线应镀锡处理，铝线应用汽油清洗表面污垢，涂中性凡士林后用细钢刷清除表面氧化膜。保留凡士林，并逐个对称均匀拧紧带有弹簧垫的连接螺栓，其扭矩应符合 600～800kg·cm。采用并沟线夹连接，线夹数量一般不少于 2 个。

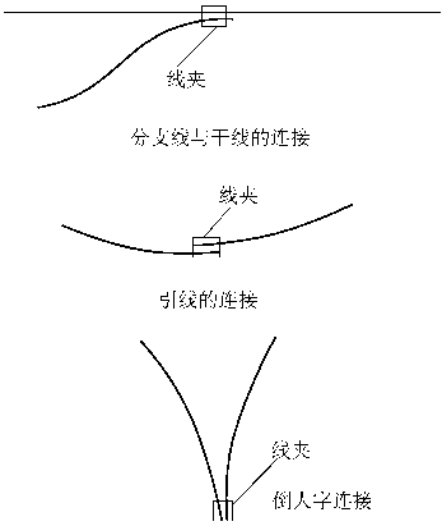


图 10-181　引线的连接示意图

2）同金属导线可采用同质并沟线夹、钳压管连接、线鼻子连接、绑扎法连接。

①　并沟线夹连接要求同 1）。

②　钳压管连接同导线的连接。

③　绑扎连接宜用在截面积小于或等于 70mm² 的铜或铝绞线；绑线应用与导线同质的单股线，直径不应小于 2.0mm；绑扎应接触紧密、均匀、无死弯；绑扎长度应不小于表 10-74 中的值。不同截面导线的连接时，绑扎长度以小截面导线为准。

表 10-74　过引线绑扎长度值

导线截面积/mm²	绑扎长度/mm
LJ-35 及以下	150
LJ-50	200
LJ-70	250

④　线鼻子连接的要求见第七章。

3）跳线应呈近似悬链自然下垂状，其对杆塔、拉线及相线的净空距离应按以下规定：

①　35kV 架空线路各相过引线、引下线与邻相的过引线、引下线或相线之间的净空距离不应小于 80mm；1～10kV 架空线路，不应小于 300mm；1kV 以下的低压线路，不应小于 150mm。

②　35kV 架空线路的导线、跳线与拉线、杆塔或构架之间的净空距离，不应小于 600mm；1～10kV 架空线路，不应小于 200mm；1kV 以下的低压线路，不应小于 100mm。

③　1～10kV 引下线与 1kV 以下线路间的净空距离不应小于 200mm。

4）跳线不宜太长，必须考虑最大风摆时的净空距离。

5）引线连接前应用绝缘电阻表摇测各个耐张段或用户线路的绝缘电阻：

高压线路 2500V 绝缘电阻表　35kV 阻值大于 500MΩ。
10kV 阻值大于 300MΩ。

低压线路 500V 绝缘电阻表　阻值大于 1.0MΩ。这样能及时发现和处理线路的故障，准确掌握故障点。不合格应查出原因，处理后再进行连接。

（二）过引线的接线形式

1）直接连接法，见图 10-182～图 10-185。

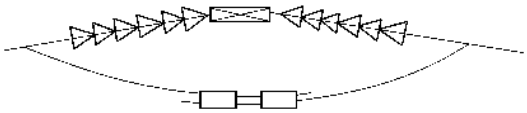


图 10-182　并沟线夹法

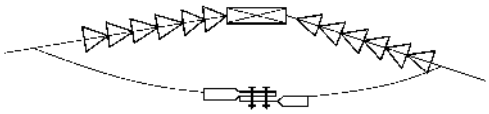


图 10-183　压接线鼻子法

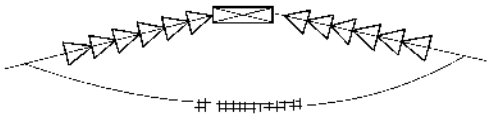


图 10-184　绑扎连接法

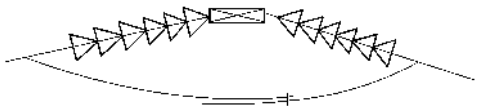


图 10-185　钳压管连接法

2）加搭接线连接法，见图 10-186。

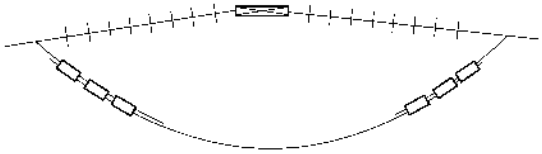


图 10-186　加搭接线连接法

八、低压接户线的安装

低压接户线是指电压在 1kV 以下、采用绝缘导

线、档距在25m以内的自架空线路电杆引至用户墙外第一支持物之间的一段线路。其安装与架空线路基本相同，只是电压为380/220V，档距小、电杆较低、使用绝缘导线，除应按架空线安装外，应遵守下列原则进行安装。

1）导线在最大弧垂时，对路面中心的垂直距离不应小于下列规定：

通车街道　6m；

通车困难的街道、人行道、胡同　3.5m；

进户点对地距离≥2.5m。

2）接户线的线间距离，在设计无规定时，不应小于下列数值：

自电杆引下者　200mm；

沿墙敷设者　150mm；

由上列数值可决定横担绝缘子的间距。

3）接户线安装后与建筑物有关部分的距离，应不小于下列数值；

与上方窗户或阳台的垂直距离　800mm；

与下方窗户的垂直距离　300mm；

与下方阳台的垂直距离　2500mm；

与窗户或阳台的水平距离　750mm；

与墙壁、构架的距离　50mm。

4）与弱电线路的交叉距离不应小于下列数值：

在弱电线路上方时垂直距离　600mm；

在弱电线路下方时垂直距离　300mm。

5）接户线不宜跨越建筑物，如必须跨越时，在最大弧垂时，对建筑物的垂直距离，不应小于2.5m。

6）接户线不应从1～10kV引下线线间穿过，接户线不应跨越铁路；两个电源引入的接户线不宜同杆架设。

7）接户线固定端与绝缘子采用绑扎固定时，绑扎长度应按导线截面积选取，10mm² 及以下应≥50mm；16mm² 及以下应≥80mm；25～50mm² 应≥120mm；70～120mm² 应≥200mm。

8）不同规格，不同金属的接户线不应在档距内连接；跨越通车道的接户线不宜有接头；绝缘导线的接头必须用绝缘布包扎。

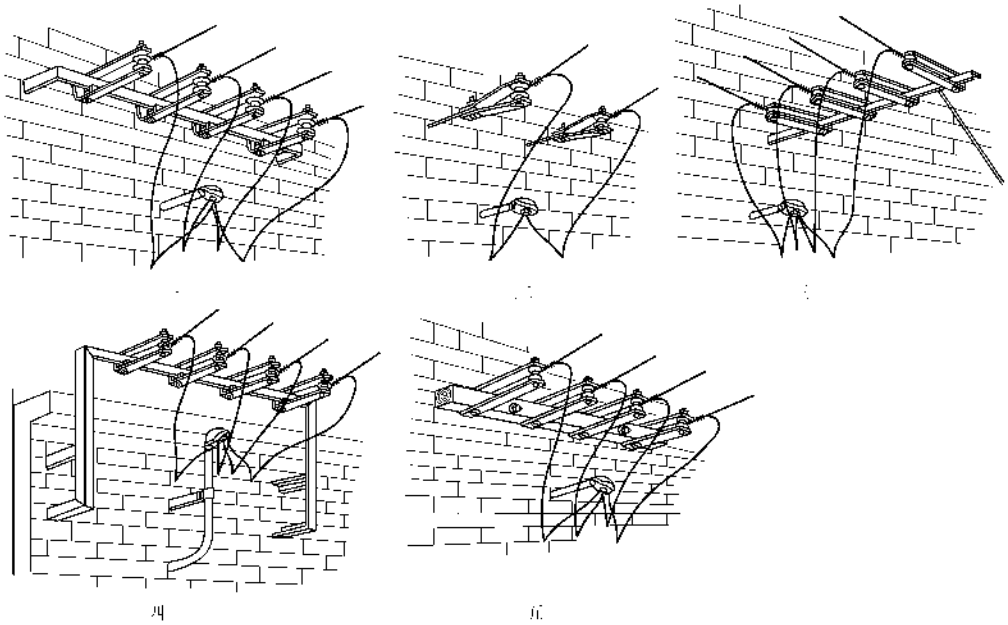
九、低压进户线的安装

低压进户线是指用户将由外引来的电源，经墙外第一支持物引入总配电箱（柜）上总开关的一段线路。这段线路通常已在照明或动力电路中安装完毕，现在讲述一下墙外第一支持物的安装方法及接线方法。

（一）第一支持物的形式

第一支持物的形式通常有两种，即墙上横担法和立杆引入法。

1）墙上横担法的形式很多，见示意图10-187。构件在墙上的固定必须牢固，一种是采用预埋方法，



注：1. 凡引入线直接与电度表接线者，由防水弯头“倒人字”起至配电盘间的一段导线，均用500V铜芯绝缘导线；如有电流互感器时，二次线应用铜线。

2. 角钢支架燕尾螺栓一律随砌墙埋入。

3. 引入线进口点的安装高度，距地面不应低于2.7m。

图10-187　墙上横担引入示意图

一种是采用留洞混凝浇注的方法，这两种方法都应将预埋件尾部作成鱼尾状。还有一种方法是在墙上凿孔，采用过墙穿钉固定，这种方法必须在墙后加用钢板作成的大垫。

导线的接线形式多采用倒人字接头的方式，有的在相线上加装飞保险，其他与架空线路作法相同。

2）立杆引入法。见图 10-188。管路敷设应符合明装管路的要求，接线采用倒人字接头或直接接在架线上，有的在相线上加装飞保险，其他与架空线路作法相同。

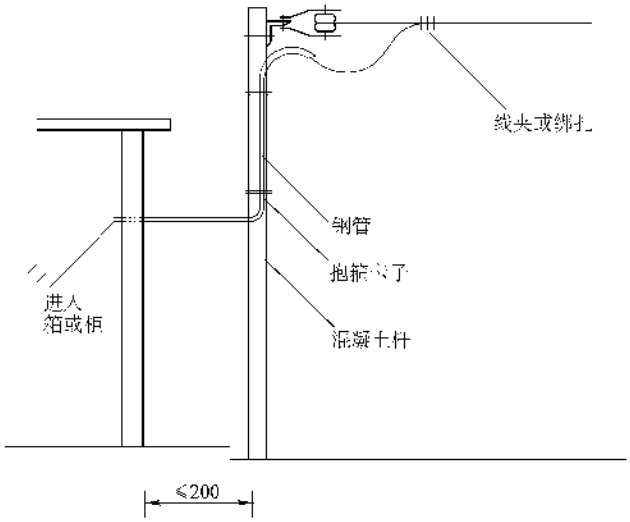


图 10-188　立杆引入法示意图

（二）关于重复接地

低压进户线应在进口处将电源的中性线接地（或保护零线接地），通常称做重复接地，见图 10-189。接地极的设置同架空线地极，接地电阻≤10Ω，连接方式同前，接地引线常用 $\phi10\sim\phi12$ 的镀锌圆钢，与墙的固定一般是将同径铁棍钉入墙内，外留 20mm，进入墙内大于 100mm，然后引线与之焊接；与杆的固定同架空线路。在敷设安装中，应将电源引入管、进户横担与接地线焊接，采用五线制时，应将管中的接地线与接地引线可靠连接。

（三）有关测试、通电试验，基本同前。但送电前应将用户的总开关断开。有关用户总开关内的线路已在第六章、第七章做了详细讲述，请读者按有关方法和要求进行

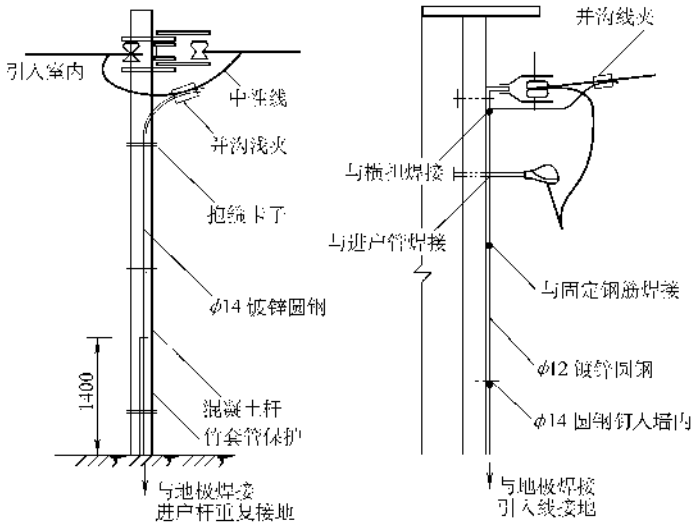


图 10-189　低压进户线的重复接地示意图

第八节 防雷接地装置的安装

架空线路中，装有避雷线的杆塔本身、避雷线、杆上电气设备、低压线路的中性线及非沥青地面的居民区内，无避雷线的小接地电流系统架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔都必须可靠接地，以防雷击，并作为线路的接地保护。其中低压线路的中性线应做重复接地。

一、接地引线的安装

1）钢筋混凝土电杆，通常都用其内主筋作为接地引线，有的混凝土杆在制作时已将上下端的接地端引出或加长，给安装带来了方便，避免了用电焊加长引线的作业，否则要动用电焊或气焊将主筋用同径的圆钢焊接加长，然后将上端用钢制并钩线夹将其与架空地线或中性线连接。

下端通常是在引线上焊接一块 300mm 长、4mm 厚且开 2 个 ϕ16mm 圆孔的镀锌扁钢，焊接处要涂沥青漆。然后与由接地体引来的接地线螺栓连接，接地线通常也应用镀锌扁钢引来，连接点同上，螺栓必须有平垫、弹簧垫。

2）预应力水泥杆不允许用主筋接地，一般沿杆身另挂一根接地引线，为了便于用双沟线夹和避雷线连接，一般使用 ϕ16mm 镀锌圆钢或 50mm^2 及以上的镀锌钢绞线，沿杆身每隔 1.5m 用抱箍卡子加以固定。下端采用镀锌圆钢时作法同 1）；采用镀锌钢绞线时，由接地体引来的接地线应用 ϕ16mm 镀锌圆钢，与钢绞线用双沟线夹可靠连接。抱箍卡子见图 10-190。

3）铁塔和钢管杆本身可作为接地导体，上端可用螺栓连接短节镀锌钢绞线，然后再与避雷线并沟线夹连接；下端可直接与接地线螺栓连接。

二、接地体及接地线的安装

1）在杆塔四周 3～5m 的地面上挖深 0.8m、宽 0.4～0.5m（以能进行安装宜）环形地沟。

2）将 2500～3000mm 的镀锌圆钢垂直打入沟内，上留 100mm 焊接接地线，打入根数一般为 3～5 根，间隔应大于或等于 5m。其根数以实测接地电阻为准，接地电阻大于规定值时，应增加根数。

3）用 ϕ12～16m 的镀锌圆钢或 -5×40 的镀锌扁钢，用电焊将环形沟内的接地极焊接起来，并引至杆塔接地引线处，所有焊点应涂沥青漆防腐。

4）接地极引至杆塔出地平 2.0m 处用竹套管或镀锌角钢保护，并用两个抱箍将其与杆固定，然后用黑、白漆间隔段 50mm 涂刷。

三、接地极接地电阻的要求

接地极安装好未与杆塔接地引线连接前应测试其接地电阻，防雷接地电阻值应小于 10Ω；中性线接地的接地电阻值应小于 4Ω；重复接地电阻值为 10Ω。接地电阻达不到要求时可增补接地极或换土，有关内容和接地电阻的测试方法及其他有关接地防雷的内容请读者参阅第十四章防雷与接地系统的安装。

四、低压架空线路的重复接地

低压架空线路的重复接地是指低压架空线路的中性线每隔 5 档（或按设计规定）即接地一次，方法要求同前所述。

五、防雷接地装置的安装要求

① 在倾斜地形上敷设接地体及接地线应沿等高

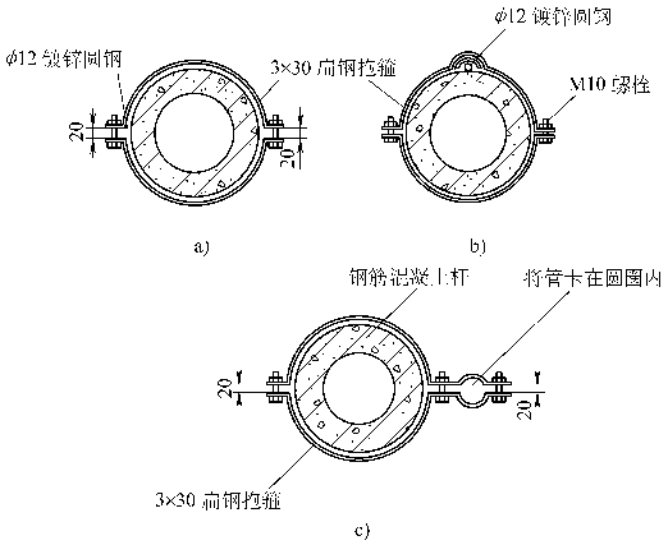


图 10-190 抱箍卡子示意图

线敷设，防止因接地沟被雨水冲刷而造成接地体外露。接地体不宜有明显的弯曲。

② 所有材料必须镀锌处理。

③ 采用搭接焊时，搭接长度应符合下列规定：

圆钢为其直径的6倍，并双面施焊；

扁钢为其宽度的2倍，并四面施焊；

圆钢与扁钢连接，搭接长度为圆钢直径6倍，双面焊；

爆压连接，爆压管的壁厚不得小于3mm，长度不小于：

搭接爆压管为圆钢直径的10倍；

对接爆压管为圆钢直径的20倍。

第九节　测试及试运行

架空线路的上述安装内容结束以后，应安排有关人员进行送电前的准备工作，主要有巡线检查、核对相序、测试电气参数、导线垂度、安全距离、电气间隙等及整理有关安装记录、技术资料。所有内容均合格后才允许申请冲击试验或试运行。

一、巡线检查

1. 巡线检查携带的工具及备件

登杆脚扣、安全带、扳手、锲头、盒尺、电工常用工具、绑线、放大镜、望远镜、接地摇表、ϕ10麻绳、线路用各种规格的螺母、平光垫、弹簧垫、开口销子，垂度尺、铝包带、绑线、防锈灰漆、黄绿红相色油漆、油刷子、油画笔、无线报话机、棉丝、记录纸、油笔及工具袋等。

2. 巡线检查的工作内容

巡线一般分成几个小组，每组2～4人，出发前由总指挥布置任务，指明负责的杆位、杆塔编号及线路名称代号和相序的写法，标注及其体位置。发现问题后能当即处理的要尽力处理；不能处理的将杆塔号位、问题部位及内容记录好，再组织人力处理；有重大紧急问题又不能处理时，要用报话机通知基地派人增援，并讲明需要材料和机具。检查要一杆一塔逐个检查、每个杆塔不得漏掉任何部位。几个人要分工明确，精诚合作，不得马虎，认真负责。

1）杆身、塔身、横担有无歪斜超差，杆上元件及金具的螺母是否松动、有无破损、缺母、缺垫、开口销子是否完整且已对称劈开60°～90°，金具有无开焊脱锌或锈蚀；绝缘子有无裂纹、松动、污渍，绑扎是否正确或松动、悬式绝缘子串是否歪斜、夹线元件安装是否正确、牢固、铝包带包扎长度及方法是否正确；杆塔上或导线上有无遗留杂物，防振锤安装位置是否正确，有无松动，杆上受力部件有无裂纹或变形或其他不妥。

2）相序是否正确，特别是耐张、转角、分支等有跨接线的杆塔要核对连接是否和原相序相同，连接有无松动或接触不良，连接方法是否正确，导线及跨接线的安全距离是否符合要求，最大风摆时能否有短路的可能。同杆架设不同电压等级的线路时，横担的距离是否符合规定。

3）用望远镜观测架空线有无断股、背花，接头是否良好、有无同相导线在同一档距内有两个接头；对地面、或跨越距离是否符合要求，垂度有无变化，重要线路要实测垂度。复核弧垂、间距、对地距离、交叉跨越及与建筑物距离。

4）杆塔基础有无变化，松动，双杆位置偏差是否符合要求，杆身、塔身有无缺陷。

5）拉线有无松动，地锚有无异常，螺栓有否生锈、松动、缺垫，绑扎是否正确，有无松动散股，拉线方向，角度是否正确，杆基、拉坑堆土有无被雨水冲没或踏平。

6）接地装置是否完整，连接是否可靠牢固，实测接地电阻，其值是否在规定之内，有无漏装漏接或错接，附加引线是否影响登杆。

7）越线架是否拆除，临时接地线是否拆除，临时拉线及地锚是否拆除，有无剩余水泥制件或其他材料，有无遗留机具等。

8）有无其他不利于送电的因素或不妥，如障碍物、树木等是否影响送电等。

9）按照统一编号在杆塔的规定位置，用统一字体书写杆塔编号，线路代号，标注相序。

10）用放大镜观测焊接杆的焊缝有无砂眼、汽泡、裂纹或其他不妥，受力较大的杆塔有关焊接部位的观察也应符合要求。

11）对于110kV及以上的架空线路除上述要求和规定外，要特别注意巡视检查导线接头、对地距离、跨越物距离等数据，见表10-75～表10-79。

二、绝缘电阻的测试

根据线路的电压等级选择合适的绝缘电阻测试仪、进行绝缘电阻的测试。

低压220/380V选用500V绝缘电阻测试仪。

6～10kV　选用1000～2500V绝缘电阻测试仪。

35kV　选用5000V绝缘电阻测试仪。

测试时不得少于2人，测试前必须将通至用户线路的跌开式熔断器或隔离开关断开，低压线路须将用户的总开关拉掉。

低压220/380V配电线路相与相、相与地、相与中性线的绝缘电阻应大于等于1.0MΩ。

表 10-75 导线或架空地线在跨越档内接头个数的规定

项 目	铁路		公路	电车道（有轨或无轨）	不通航河流
导线或架空地线在跨越档内接头	标准轨距：不得接头 窄轨；不限制		高速公路、一级公路：不得接头； 二、三、四级公路：不限制	不得接头	不限制
项 目	特殊管道	索道	电力线路	通航河流	弱电线路
导线或架空地线在跨越档内接头	不得接头	不得接头	110kV 及以上线路：不得接头； 110kV 以下线路：不限制	一、二级：不得接头； 三级及以下：不限制	不限制

表 10-76 最大计算弧垂导线对地面最小距离 （单位：m）

线路经过地区	线路标称电压/kV			
	110	220	330	500
居民区	7.0	7.5	8.5	14
非居民区	6.0	6.5	7.5	11（10.5）
交通困难地区	5.0	5.5	6.5	8.5

注：500kV 送电线路非居民区 11m 用于导线水平排列，括号内的 10.5m 用于导线三角排列。

表 10-77 最大计算风偏情况下导线与山坡、峭壁、岩石之间的最小净空距离

（单位：m）

线路经过地区	线路标称电压/kV			
	110	220	330	500
步行可以到达的山坡	5.0	5.5	6.5	8.5
步行不能到达的山坡、峭壁和岩石	3.0	4.0	5.0	6.5

表 10-78 架空线路导线对被跨物最小垂直距离 （单位：m）

被跨越物名称		线路标称电压/kV			
		110	220	330	500
至铁路轨顶	标准轨	7.5	8.5	9.5	14.0
	窄轨	7.5	7.5	8.5	13.0
	电气轨	11.5	12.5	13.5	16.0
至铁路承力索或接触线		3.0	4.0	5.0	6.0
至公路路面		7.0	8.0	9.0	14.0
至电车道（有轨及无轨）	路面	10.0	11.0	12.0	16.0
	承力索或接触线	3.0	4.0	5.0	6.5
至通航河流	五年一遇洪水位	6.0	7.0	8.0	9.5
	最高航行水位的最高船桅顶	2.0	3.0	4.0	6.0
至不通航河流	百年一遇洪水位	3.0	4.0	5.0	6.5
	冰面（冬季温度）	6.0	6.5	7.5	水平 11.0 三角 10.5
至弱电线路		3.0	4.0	5.0	8.5
至电力线路		3.0	4.0	5.0	6.0(8.5)
至特殊管道任何部分		4.0	5.0	6.0	7.5
至索道任何部分		3.0	4.0	5.0	6.5

注："至电力线路"括号内数字用于跨越杆（塔）顶。

表 10-79　架空线路与接近物的最小水平距离　（单位：m）

接近物	接近条件		对应线路电压等级/kV			
			110	220	330	500
铁路	杆塔外缘至轨道中心		交叉取 30m；平行取最高杆（塔）高加 3m			
公路	杆塔外缘至路基边缘	开阔地区	交叉取 8m；平行取最高杆（塔）高			
		路径受限制地区	5.0	5.0	6.0	8.0（15）
电车道（有轨及无轨）	杆塔外缘至路基边缘	开阔地区	交叉取 8m；平行取最高杆（塔）高			
		路径受限制地区	5.0	5.0	6.0	8.0
通航或不通航河流	边导线至斜坡上缘（线路与拉纤小路平行）		最高杆（塔）高			
弱电线路	与边导线间	开阔地区	最高杆（塔）高			
		路径受限制地区	4.0	5.0	6.0	8.0
电力线路	与边导线间	开阔地区	最高杆（塔）高			
		路径受限制地区	5.0	7.0	9.0	13.0
特殊管道和索道	边导线至管道和索道	开阔地区	最高杆（塔）高			
		路径受限制地区（在最大风偏情况下）	4.0	5.0	6.0	7.5

注：接近公路一栏中括号内数值对应高速公路，高速公路路基边缘指公路下缘的隔离栏。

6～10kV 架空线路相与相、相与地的绝缘电阻应大于等于 300MΩ。

35kV 架空线路相与相、相与地的绝缘电阻应大于等于 500MΩ。

同杆架设不同电压等级的线路时，35kV 与 10kV 的绝缘电阻应用 1000V 的绝缘电阻表测试，阻值应大于 1000MΩ 以上；10kV 与 220/380V 的绝缘电阻应用 500V 的绝缘电阻表测试，阻值应→∞。否则说明线混线或线间距离不够，应查明原因。

三、升压试验

对于 35kV 及以上的线路应做升压试验，升压试验与耐压试验相同，一般应使用三相升压器进行，如无条件也可用单相升压器进行，只将三相线路短接而已。

通常对于 35kV 线路升压时，一般 500V 一个档位，间隔 1min；当电压升至 30kV 后 1000V 一个档位，间隔 5min。升至 35kV 后应停留 30min，并观察各个杆塔的情况。正常后，应以 1000V 一个档位，将电压升至 55kV，且注意每个档时的情况，间隔 1min。55kV 停留 5min，试验完毕。

升压试验应派人分段监视，随时将线路情况报告给试验台和总指挥，派员应认真负责。升压试验杆塔上面不得有人。

四、合闸冲击试验

以上试验与检测合格后即可当天进行冲击合闸试验。冲击合闸试验前必须核对相位。合闸前应通知并检查所有人员不得在杆上；检查所有用户或负载的开关应在断开位置并上锁或有人监护；同升压试验一样派人监视，并携带报话机，监视人员应逐个向总指挥报告准备完毕、可以送电的请求报告。总指挥接到所有观测点的报告后，复核无误后，即向供电部门请求送电，进行合闸试验。

合闸试验是在额定电压下，对空载线路冲击合闸三次。所谓冲击合闸就是将送电开关合闸后再立即拉闸，其时间间隔不做规定，但应不小 30s；每次拉闸后，再合闸其时间间隔应小于 20s。合闸的过程中，线路的所有绝缘不得有任何损坏。

五、试运行

冲击合闸试验成功后，线路即可进行空载运行 72h。空载运行时应加强巡视，特别是夜间巡视是最必要的，观察有无异常、有无闪络或其他不正常现象。空载运行时，用户或负载的开关，必须有人监护。72h 空载试运行成功后，即可交付正式运行。

第十节　室外变压器台的安装

有些小容量变压器或者是公用的容量较小的变压器，保护装置简单，只有高低压两侧的熔断器，通常将变压器装在电杆上，容量不大于 400kVA，有的则装在杆下的混凝土台上，容量不大于 800kVA，我们将之称为室外变压器台或变台。室外变台常用于 10kV 的配电线路里，低压 220/380V，中性点直接接地、具有零线，用于低压动力及照明电路中。室外变

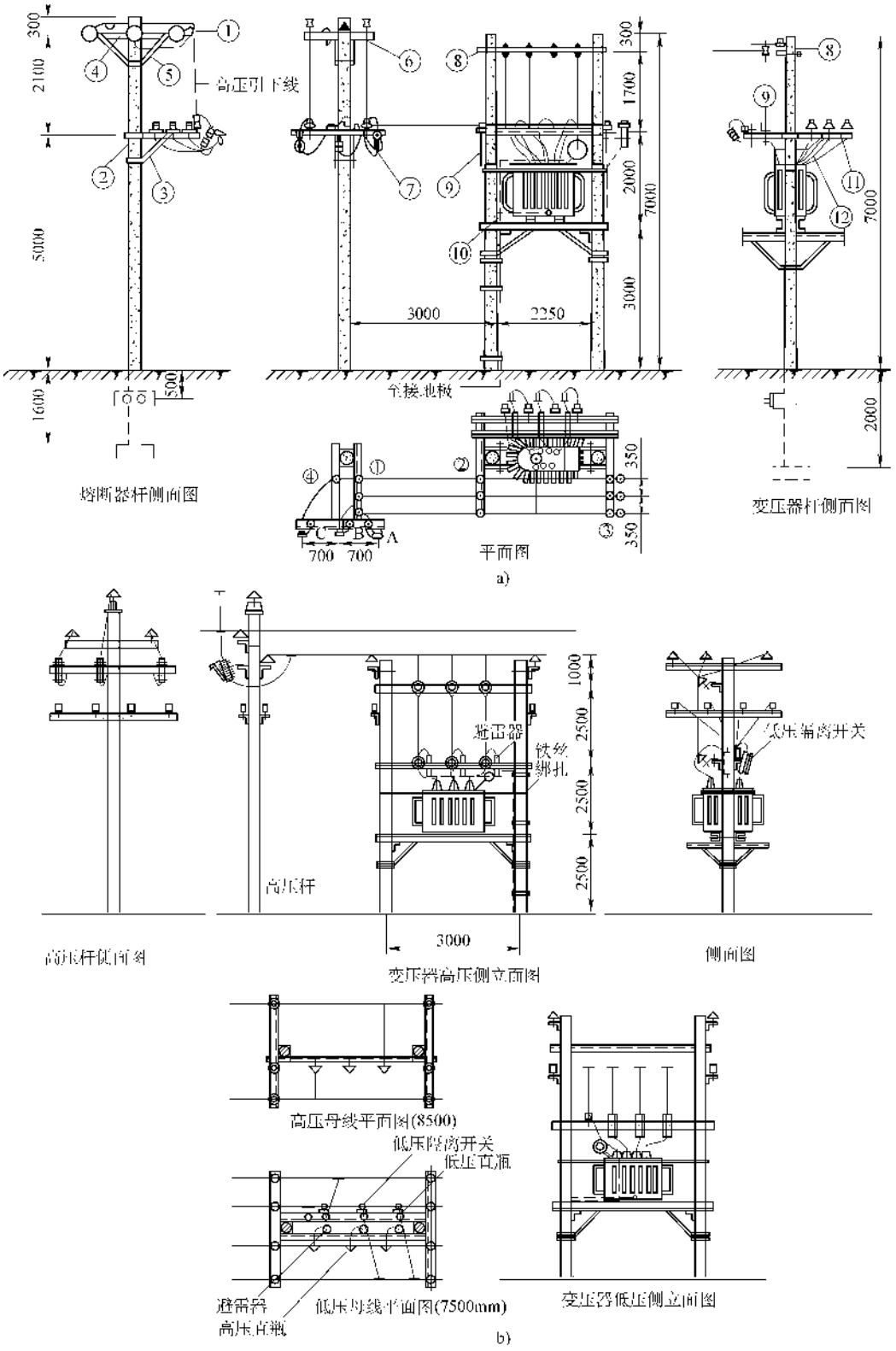


图 10-191 双杆变压器台示意图

压器台，一般和架空线路同时安装。

一、杆上变压器台

杆上变压器台有三种形式，一种是双杆变压器台，即将变压器安装在线路方向上单独增设的两根杆的钢架上，再从线路的杆上引入 10kV 电源。如果低压是公用线路，则再把低压用导线送出去与公用线路并接或与其他变台并列；如果是单独用户，则再把低压用硬母线引入到低压配电室内的总柜上或低压母线上去，见图 10-191。

另一种是借助原线路的电杆，在其旁再另立一根电杆，将变压器安装在这两根电杆间的钢架上，其他同上。因为只增加了一根电杆，因此称单杆变台，见图 10-192。

另外，还有一种变压器台，是指容量在 100kVA 以下，将其直接安装在线路的单杆上，不需要增加电杆，又常设在线路的终端，为单台设备供电，如深井泵房或农村用电上，见图 10-193，称本杆变台。

杆上变压器台，安装方便，工艺简单，主要有立杆、组装金具构架及电气元件、吊装变压器、接线、接地等工序。

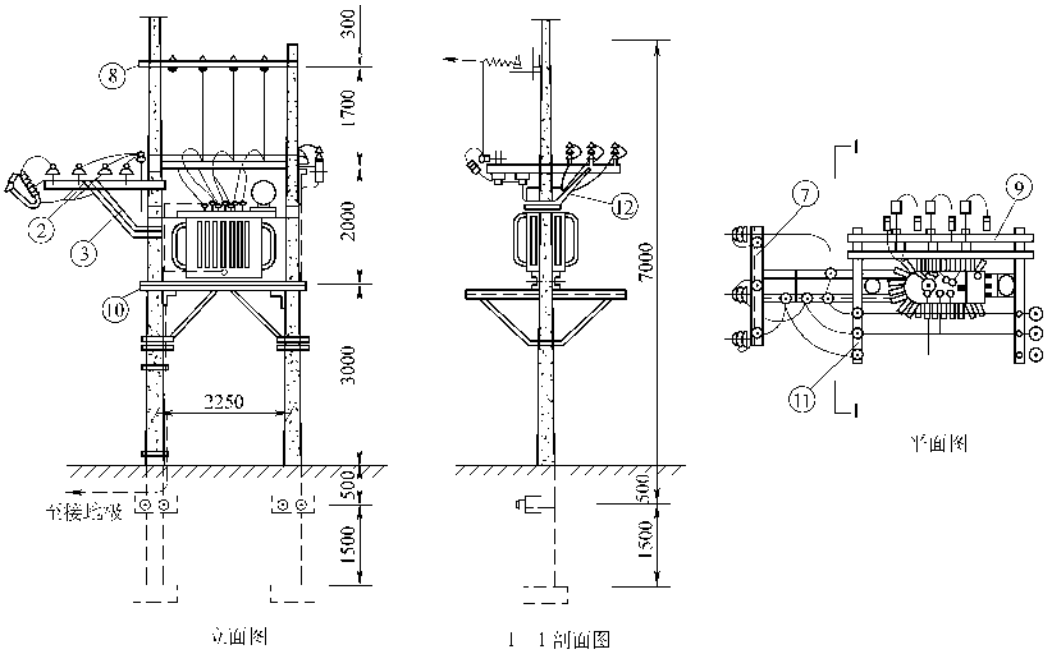


图 10-192　单杆变压器台示意图

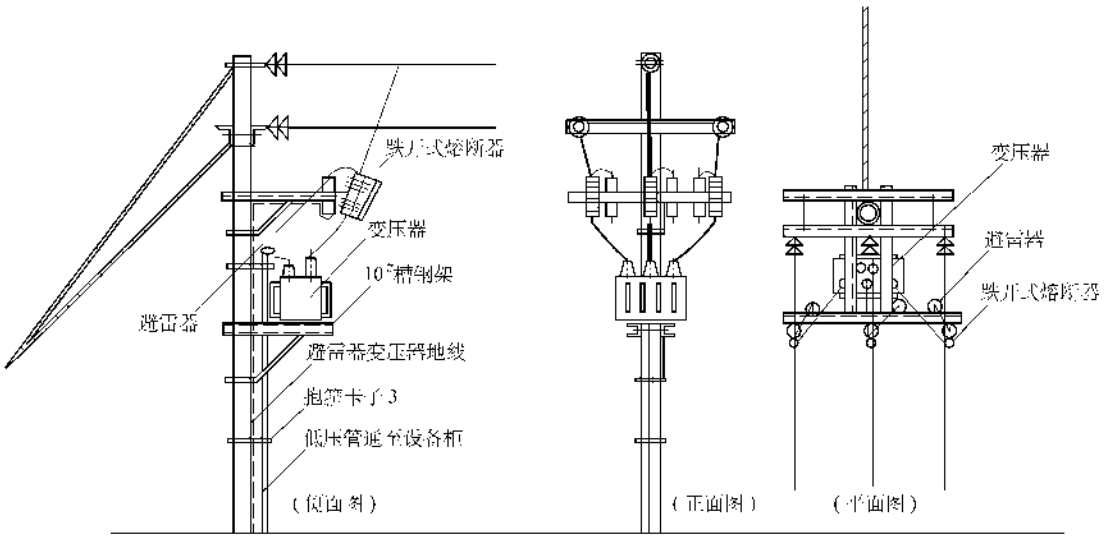


图 10-193　本杆变压器台示意图

（一）立杆

测量、挖土、立杆同前。

（二）组装金具、构件和绝缘子基本同前，另外有以下几点：

1）变压器支架通常用槽钢制成，用U形抱箍与杆连接，变压器安装在平台横担的上面，应使油枕侧偏高，有1%～1.5%的坡度，支架必须安装牢固，一般钢架应有斜支撑。

2）跌开式熔断器的安装：跌开式熔断器安装在高压侧丁字型的横担上，用针式绝缘子的螺杆固定连接，再把熔断器固定在连板上，见图10-194。其间隔不小于500mm，以防弧光短路，熔管轴线与地面的垂线夹角为15°～30°，排列整齐，高低一致。

跌开式熔断器安装前应检查其外观零部件齐全，瓷件良好，瓷釉完整无裂纹、无破损，接线螺钉无松动，丝扣与螺母配套，固定板与瓷件结合紧密无裂纹，与上端的鸭嘴和下端挂钩结合紧密无松动；鸭嘴、挂钩等铜铸件不应有裂纹、砂眼，鸭嘴触头接触良好紧密，挂钩转轴灵活无卡，用电桥或数字万用表测其接触电阻应符合要求，按图10-194放置时鸭嘴触头一经由下向上触动鸭嘴即断开，一推动熔管或上部合闸挂环即能合闸，且有一定的压缩行程，接触良好，即一捅就开，一推即合；熔管不应有吸潮膨胀或弯曲现象，与铜件的结合紧密，固定熔丝的螺丝其扣完好，与元宝螺母配套；装有灭弧罩的跌开式熔断器，其罩应与鸭嘴固定良好，中心轴线应与合闸触头的中心轴线重合；带电部分和固定板的绝缘电阻须用1000～2500V的绝缘电阻表测试，其值不应小于300MΩ，35kV的跌开式熔断器须用2500V的绝缘电阻表测试，其值不应小于500MΩ。跌开式熔断器要按表11-13固体有机绝缘进行耐压试验。

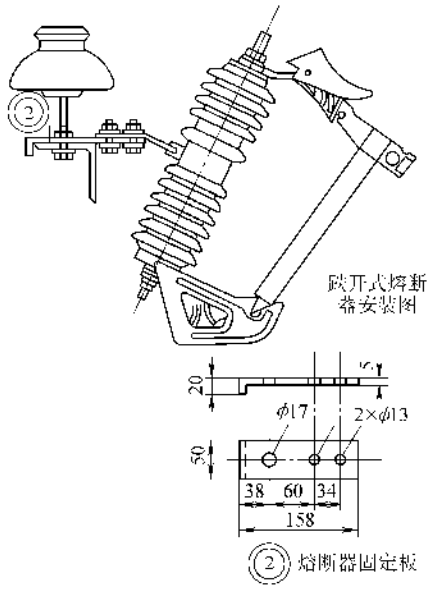


图10-194 跌开式熔断器安装示意图

3）避雷器的安装：避雷器通常安装在距变压器高压侧最近的横担上，可用直瓶螺钉或单独固定，见图10-195。其间隔不小于350mm，轴线应与地面垂

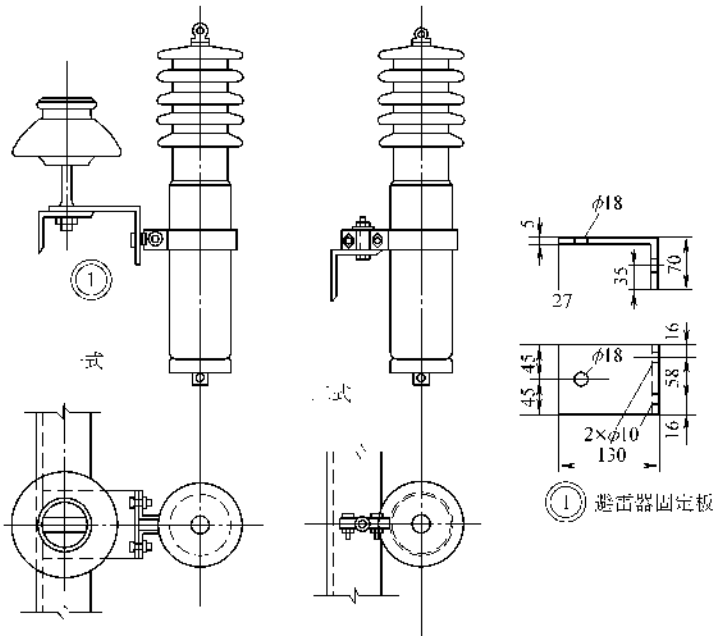


图10-195 避雷器安装示意图

直，排列整齐，高低一致，安装牢固，抱箍处要垫2～3mm厚绝缘耐压胶垫。

安装前的检查与跌落式熔断器基本相同，但无可动部分，瓷套管与铁法兰间的结合良好，其顶盖与下部引线处的密封物未出现龟裂或脱落，摇动器身应无任何声响。用2500V绝缘电阻表测试其带电端与固定抱箍的绝缘电阻应不小于5000MΩ，或测量泄漏电流（电导电流），见表5-18和表5-19，方法见第五章。

避雷器要进行工频放电试验，其放电电压应在表5-26～表5-32范围之内。

避雷器和跌落式熔断器必须有产品合格证，没有试验条件的，应到当地供电部门进行试验。避雷器和跌落式熔断器的规格型号必须与设计相符，不得使用额定电压小于线路额定电压的避雷器和跌落式熔断器。

4）低压隔离开关的安装：有的设计在变压器低压侧装有一组隔离开关，通常装设在距变压器低压器最近的横担上，有三极的，也有三只单极的，目的是更换低压熔断器方便。其外观检查和测试请读者参阅第七章动力电路及低压配电室的安装等章节，要求瓷件良好，安装牢固，操动机构灵活无卡，隔离刀刃合闸后应接触紧密，分闸时有足够的电气间隙（≥200mm），三相联动动作同步，动作灵活可靠。

（三）变压器的安装

变压器安装必须经供电部门认可的试验单位试验合格，并有试验报告，变压器的检查和测试详见第十二章变配电装置的安装有关内容。

室外变台的安装主要包括变压器的吊装、绝缘电阻的测试和接线等作业内容。

1. 变压器的吊装

（1）吊装要点

1）卸车地点的土质必须坚实，用汽车吊吊装时，周围应无障碍物，否则应无载试吊一次，吊臂和吊件能否躲过障碍物。

2）变压器整体起吊时，应将钢丝绳系在专供起吊的吊耳上，起吊后钢丝绳不得和钢板的棱角接触，钢丝绳的长度应考虑双杆上的吊高。

3）吊装前应核对高低压套管的方向，避免吊放在支架之后调换器身的方向。

4）吊装过程中，高低压套管都不应受到损伤和应力，器身的任何部位不得有与他物碰撞现象。

5）起吊时应缓慢进行，当吊钩将钢丝绳撑紧即将吊起时应停止起吊，检吊各个部位受力情况、有无变形、吊车支撑有无位移塌陷，杆上支架和安装人员是否已准备就绪。

6）全部准备好，即可正式起吊，就位时应减到最慢速度，并按测定好的位置落放在型钢架上，吊钩先稍微松动，但钢丝绳仍撑直；先检查高低压侧是否正确，坡度是否合适，然后用8#镀锌铁丝将器身与电杆绑扎并紧固，然后再松钩且将钢丝绳卸掉。

（2）吊装方法　有条件时应用汽车吊进行吊装，方法简便且效率高。无吊车时，一般用人字抱杆吊装，现介绍常用的一种方法。

1）吊装机具布置见图10-196。

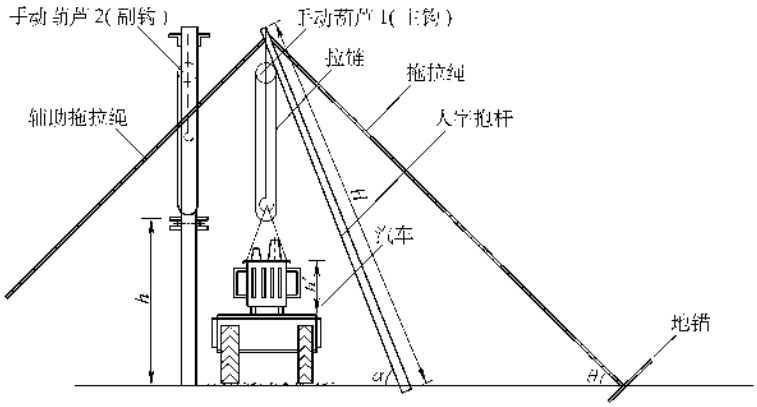


图10-196　吊具的布置示意图

抱杆可用杆头φ150mm的杉杆或φ159的钢管，长度H由下式决定：

$$H = \frac{h + 4h'}{\sin\alpha} \qquad (10\text{-}3)$$

式中　h——为变压器安装高度（m）；

h'——为变压器高度（m）；

α——人字抱杆与地面的夹角（°）；α一般取70°。

其中，吊具可用手拉葫芦或绞磨，手拉葫芦的规格应大于变压器重量；绞磨、滑轮、钢丝绳及吊索应

能承受变压器的重量并有一定的保安系数。拖拉绳一般可用 ϕ16～20mm 钢丝绳，地锚要可靠牢固，不得用电杆或拉线地锚。

2）吊装工艺工程：所有受力部位检查无误后即可起吊，吊装注意事项可参照立杆的部分内容。

当变压器底部起吊高度超过变压器放置构架 1.5h～1.7h 时，即停止起吊，然后用电杆上部横担悬挂的手拉葫芦（副钩），吊住变压器的吊索，同时拉动其手链使变压器向放置构架方向倾斜，然后原吊钩缓慢放松，而手拉葫芦则将变压器缓慢吊起，且原钩放松和副钩起吊收紧应同步，逐渐将变压器的重量移至副钩，当到一定程度时，副钩再缓慢下降，直至副钩将变压器的全部重量吊起时（副钩的吊链与地面垂直时）再将副钩缓慢下降，同时松开原钩，即可将变压器放落在构架上，见图 10-197，必要时应在杆的另侧设辅助拉线，防止电杆倾斜。用图 10-198 进行吊装时，还可用另一方法，将副钩手拉葫芦取掉，把拖拉绳换成由绞磨控制，当主钩手拉葫芦将变压器起吊到一定高度时，由绞磨慢慢将拖拉绳放松，人字抱杆前斜，即可把变压器降落在构架上。这种方法对人字抱杆、拖拉绳、绞磨、地锚及抱杆的支点要求很高，要正确选择，并有一定的安全系数。

同样将变压器放稳找正后，并用铅丝绑扎好后，才可将副钩拆开，取下。取下时，不得碰击变压器的任何部位。

下面再介绍一种简便的吊装方法，先把两杆顶部的横担装好，并垂直横担方向在两根杆上作临时拉线或装置拖拉绳，其余杆上金具暂不安装，然后分别在两杆同一高度（应满足变压器安装高）上挂一只手拉葫芦，挂手拉葫芦时应先在杆上绑扎一横木，一般为（100～150）^{2}×400mm 即可，以防吊装时挤压水泥杆，布置示意图见图 10-198。

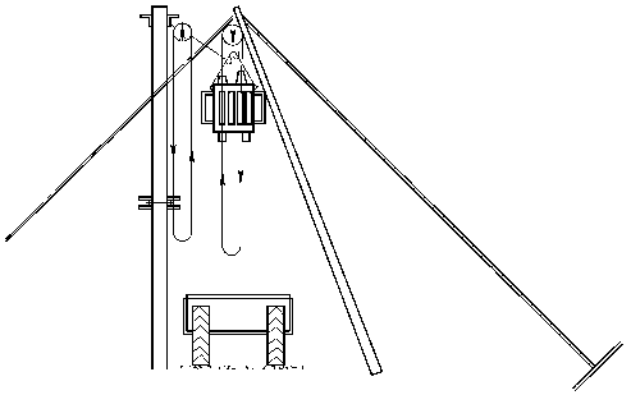


图 10-197　吊装就位示意图

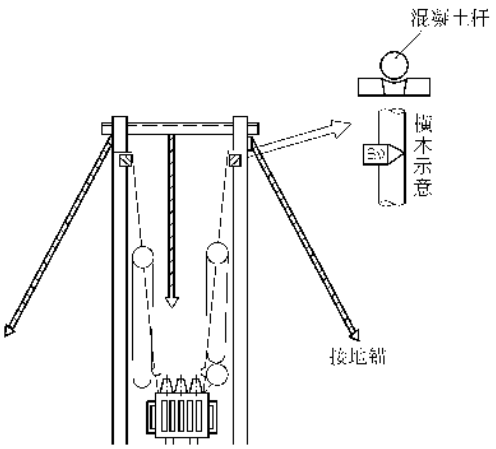


图 10-198　简易吊装变压器布置示意图

将手拉葫芦的吊钩分别与变压器用钢索系好，并同时起吊，一直变压器提升到略高于安装高度，这时预先装配合适的型钢架由四人分别从杆的外侧合梯上（不得在变压器下方）抬于杆的安装高度处，并迅速将其用穿钉与杆紧固好，油枕侧应略高一点，并把斜支撑装好。最后将变压器缓慢落放在型钢架上，找正后再用铅丝绑扎牢固，见示意图 10-199。

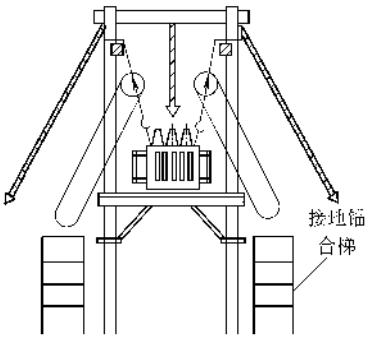


图 10-199　装变压器落在槽钢架上

2. 变压器的简单检查与测试

变压器在接线前要进行简单的检查与测试，虽然

变压器是经检查和试验的合格品，以防万一。

（1）外观无损伤，无漏油，油位正常，附件齐全，无锈蚀。

（2）高低压套管无裂纹、无伤痕，螺栓紧固，油垫完好，分接开关正常。

（3）铭牌齐全，数据完整，接线图清晰。高压侧的线电压与线路的线电压相符。

（4）10kV 高压线圈用 1000V 或 2500V 绝缘电阻表测试绝缘电阻应大于 300MΩ，35kV 高压线圈用 2500V 或 5000V 绝缘电阻表测试绝缘电阻应大于 400MΩ；低压 220/380V 线圈用 500V 绝缘电阻表测试绝缘电阻应大于 1.0MΩ；高压侧与低压侧的绝缘电阻可用 500V 绝缘电阻表测试，阻值应大于 500MΩ 以上。详细测试见第十二章。

3. 变压器的接线

（1）接线要求

1）和电器连接必须紧密可靠，螺栓应有平垫及弹垫，其中与变压器和跌开式熔断器、低压隔离开关的连接，必须压接线鼻子过渡连接，与母线的连接应用 T 形线夹，与避雷器的连接可直接压接连接。与高压母线连接时，如采用绑扎法，绑扎长度不应小于 200mm。

2）导线在绝缘子上的绑扎必须按前述要求进行，见图 7-53、图 7-54 和图 10-200。

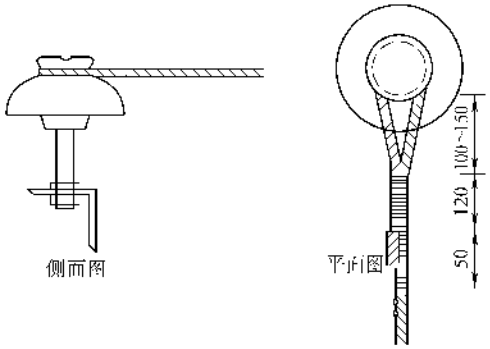


图 10-200　导线在直瓶上的绑扎

3）接线应短而直，必须保证线间及对地的安全距离，跨接弓子线在最大风摆时要保证安全距离。

4）避雷器和接地的连接线通常使用绝缘铜线，避雷器上引线不小于 16mm²，下引线不小于 25mm²，接地线一般为 25mm²。若使用铝线，上引线不小于 25mm²，下引线不小于 35mm²，接地线不小于 35mm²。

（2）接线工艺　以图 10-191 来说接线工艺过程。

1）将导线撑直，绑扎在原线路杆顶横担上的直瓶上和下部丁字横担的直瓶上，与直瓶的绑扎应采用终始式绑扎法，见图 10-200。同时将下端压接线鼻子，与跌开式熔断器的上闸口接线柱连接拧紧见图 10-201；导线的上端暂时团起来，先固扎在杆上。

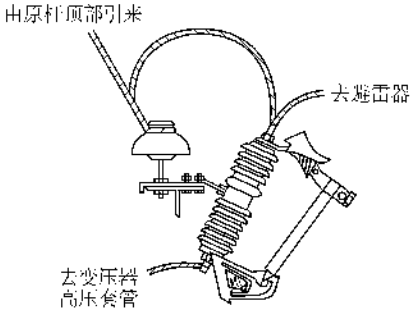


图 10-201　导线与跌落开关的连接

2）高压软母线的连接：

①　将导线撑直，一端绑扎在跌开式熔断器丁字横担上的直瓶上，另一端水平通至避雷器处的横担上，并绑扎在直瓶上，与直瓶的绑扎方式见图 10-200。同时丁字横担直瓶上的导线按相序分别采用弓子线的形式接在跌开式熔断器的下闸口接线柱上。弓子线要做成铁链自然下垂的形式，见 10-201 平面图，其中 A 相和 B 相直接由跌开式熔断器的下闸口由丁字横担的下方翻至直瓶上用图 10-200 的绑扎方法，而 C 相则由跌开式熔断器的下闸口直接上翻至 T 字横上方的直瓶上，并按图 10-202 的方法绑扎。

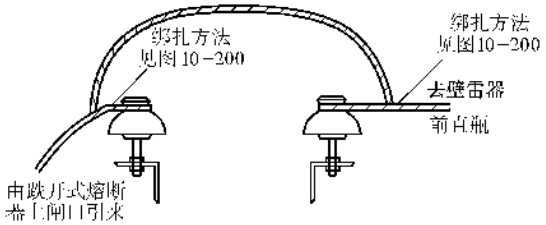


图 10-202　导线在变台上的过渡连接示意图

而软母线的另侧，均应上翻，接至避雷器的上结线柱，方法见图 10-203。

②　将导线撑直，按相序分别用 T 形线夹与软母线连接，连接处应包缠两层铝包带，另一端直接引至高压套管处，压接线鼻子，按相序与套管的接线柱接好，这段导线必须撑紧。

3）低压侧的接线：将低压侧三只相线的套管，直接用导线引至隔离开关的下闸口（这里要注意，这全是为了接线的方便，操作时必须先验电后操作），导线撑直，必须用线鼻子过渡。

将线路中低压的三根相线及一根零线，经上部的

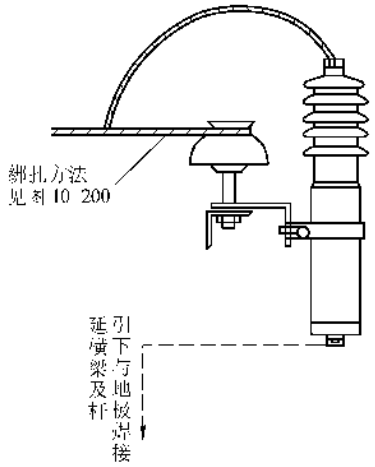


图 10-203 导线与避雷器的连接示意图

直瓶直接引至隔离开上方横担上的直瓶上，绑扎见图10-200，直瓶上的导线与隔离开关上闸口的连接见图10-204，其中飞保险与导线的连接可直接用上面的元宝螺栓压接，同时按变压器低压侧额定电流的1.25倍选择与飞保险配套的熔片，装在飞保险上。其中零线直接压接在变压器中性点的套管上。

如果变压器低压侧供低压配电室用电，则应按硬母线的安装进行，第七章有关内容。如果变压器专供单台设备用电，则应设管路将低压引至设备的控制柜内，见图10-193。

4）变压器台的接地：变压器台的接地共有三个点，即变压器外壳的保护接地，低压侧中性点的工作接地，再一个是避雷器下端的防雷接地，三个接地点的接地线必须单独设置，接地极则可设一组，但接地电阻应小于等于4Ω。接地极的设置同前述架空线路的防雷接地，并将其引至杆处上翻1.20m处，一杆一根，一根接避雷器，另根接中性点和外壳。连接方法见第十四章。

接地引线应采用25mm^{2}及以上的铜线或4×40镀锌扁钢，其中，中性点接地应沿器身翻至杆处，外壳接地应沿平台翻至杆处，与接地线可靠连接；避雷器下端可用一根导线串接而后引至杆处，与接地线可靠连接，见图10-205。其他同架空线路。装有低压隔离开关时，其接地螺钉也应另外接线与接地体可靠连接。

5）变压器台的安装要求：变压器应安装牢固，水平倾斜不应大于构架根开的1/100，且油枕侧偏高油位正常；一、二次接线应排列整齐，绑扎牢固；变压器完好外壳干净，试验合格；可靠接地，接地电阻符合设计要求。

6）全部装好接线完毕后，应检查有无不妥，并

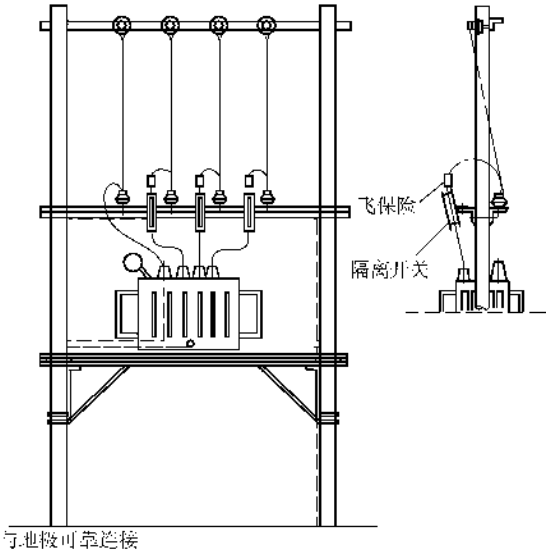


图 10-204 低压侧的连接示意图

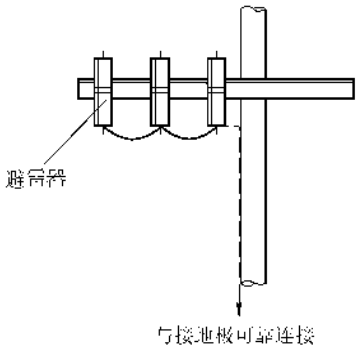


图 10-205 杆上变台避雷器的接地示意图

把变压器顶盖、套管、分接开关等用棉丝擦拭干净，重新测试绝缘电阻和接地电阻应符合要求。将高压跌开式熔断器的熔管取下，按额定电流的2～2.5倍，选择高压熔丝，并将其安装在熔管内。高压熔丝安装时必须伸直，且有一定的拉力，然后将其挂在跌落式熔断器下边的卡环内。

与供电部门取得联系，在线路停电的情况下，先挂好临时接地线，然后将三根高压电源线与线路连接，通常用绑扎或T形线夹的方法进行连接，要求同前。接好后再将临时接地线拆掉，并与供电部门联系，请求送电。

合闸试验是分以下几步进行的：

① 将低压隔离开关断开，如无设低压隔离开关，应将低压熔断器的熔丝先拆下。

② 再次测量绝缘电阻，如在当天已测绝缘电阻，且一直有人看护，则可不测，以防万一。

③ 与供电部门取得联系，说明合闸试验的具体

时间，必要时应请有关人员参加，合闸前必须征得供电部门的同意。

④　无风天气，则先合两个边相的跌落式熔断器，后合中间相的；如有风，则按顺序先合上风头的跌开式熔断器，后合下风头的。合闸必须用高压拉杆，戴高压手套，穿高压绝缘靴或铺高压绝缘垫。

⑤　合闸后，变压器应有轻微的均匀嗡嗡声，可用细木棒或旋具测听，温升无变化，无漏油、无振动等异常现象。应进行5次冲击合闸试验，且第一次合闸持续时间不得少于10min，每次合闸后变压器应正常。然后用万用表测试低压测电压，应为220/380V，且三相平衡。

⑥　悬挂警告牌，空载运行72h，无异常后即可带动负载运行。

二、落地变压器台

落地变压器台与杆上变压器台的主要区别是将变压器安装在地面上的混凝土台上，其标高一致大于500mm，上面装有与主筋连接的角钢或槽钢滑道，油枕侧偏高。安装时将变压器的底轮取掉或装上止轮器。其他有关安装、接线、测试、送电合闸、运行等与杆上变台相同。

安装好后，应在变压器周围装设防护遮栏，高度不小于1.70m，与变压器距离应大于或等于2.0m并悬挂警告牌，“禁止攀登、高压有电”。落地变台布置见图10-206。安装方法基本同前。

架空线路经过安装测试及试运行后，即可交付使用正式运行，在全线竣工验收时应做以下工作：

1）清理现场杂物、清点机具和剩余材料，填入表格，准备移交；清点图样资料；处理赔偿农田青苗费、劳务费等有关事宜。

2）整理和提交以下资料：

竣工图：竣工图是在原图上，根据设计变更或实际安装修正后的图样，包括设计变更的证明文件、未按设计安装的各项明细表及附图、建设单位有关人员的签证等；

修正后的杆塔明细表；

各工序的安装记录表及检测记录；

隐蔽工程检查记录表及建设单位有关人员的签证。隐蔽工程包括底盘、卡盘、拉盘及底把、坑深、接地体、土石方工程、混凝土基础及配筋等地下埋设物等；

交叉跨越记录及有关协议文件；

原材料、设备合格证及试验报告、记录等；

空载运行记录及检测记录；

原材料及设备清单；

工程验收检查记录等；

杆塔编号、偏移及挠度，弧垂、接头及修补位置数量，跳线弛度及对杆塔各部的电气间隙，线路对跨越物的距离及与建筑物的距离等。

3）征求建设单位意见，有条件的情况下应予以更正或修复。

4）全线验收：由设计、安装、建设单位及供电部门的人员组成联合验收组进行全线验收，合格后即可交付使用。

随着技术进步，架空线路的安装已逐步趋向机械化，并出现了用直升飞机作业的立体安装技术，特别是山区、跨越较大、障碍多、线路长、环境恶劣的场所，节省了人力物力和时间，这方面的技术还有待于开发和总结。但是基本操作技能技巧还是必须要掌握的。近几年来电力部门在架空线路的架设型式上有重大的改进，改变了将导线固定在绝缘子上的传统方法，而是将直线杆上的导线用专用的绝缘线夹卡住，然后吊在钢芯绞线上，简化了横担、绝缘子以及杆型的结构，通常可在10～35kV且距离较近的线路上，见示意图10-207～图10-210。

这种型式的架空线路，在安装时工艺上简化了许多，一般可按下面的程序进行：

1）测量、挖坑、排杆、组装挂线横担立杆、组装拉线基本同前。

2）将钢绞线放开并挂在挂线横担上，并按一定的弧垂将其用楔形线夹固定在耐张段两端的杆上，在横担上用悬垂线夹固定钢芯绞线。

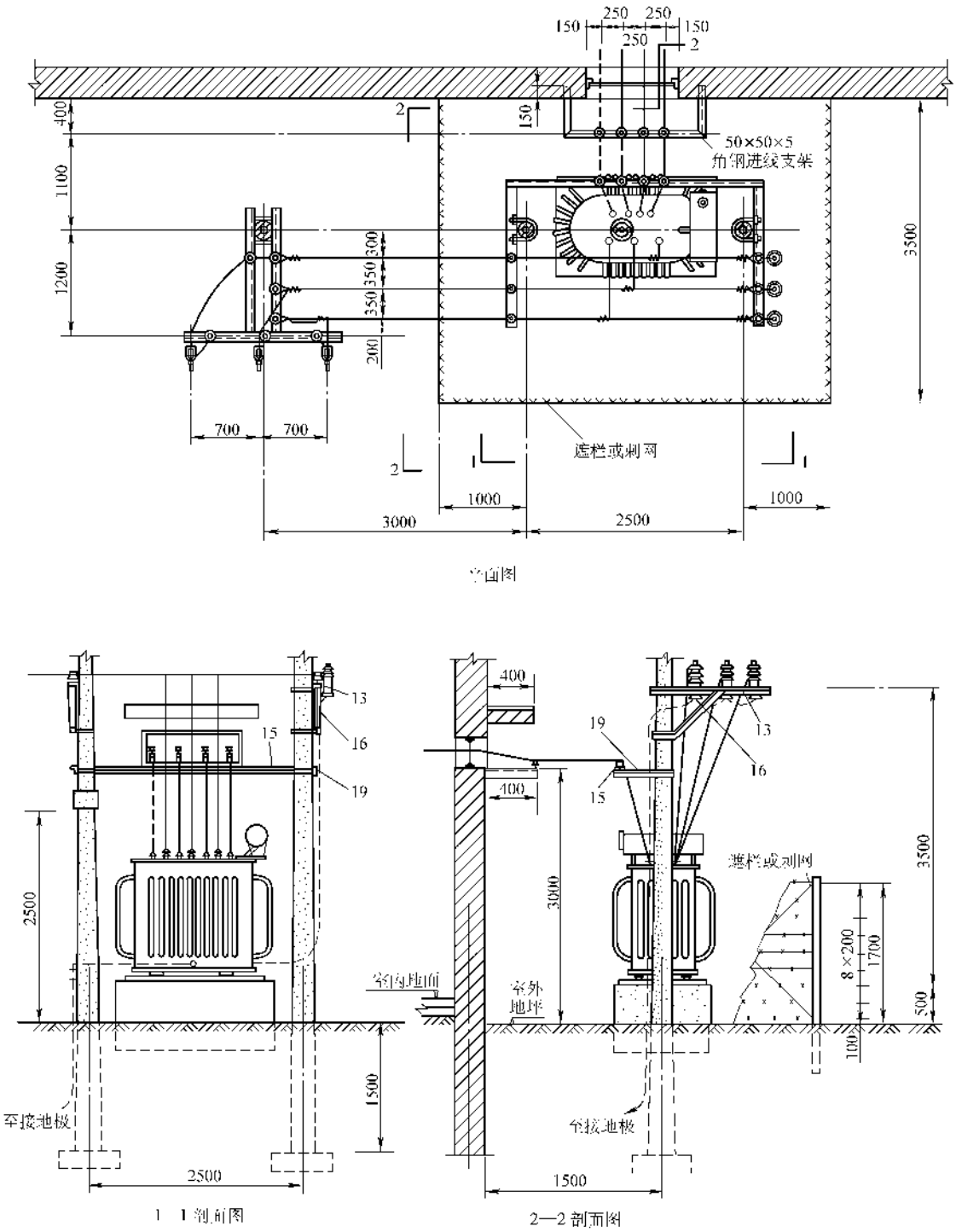
3）将三相导线按耐张段放开并将其始端用耐张线夹固定在始端杆的横担上。

4）在每根直线杆上临时绑扎一根木横担，并把三相导线挂在木横担上且位于横担的一侧（挂线侧）。

5）在耐张段末端杆上将三相导线同时紧好，并要求垂度一致并符合要求。

6）先把电缆小车挂在钢芯绞线上，然后操作人员坐在小车上，从始端杆开始，每隔5～6m（宜按档距的整数倍分配）在钢芯绞线上固定一只绝缘线夹，并按上、左、右相的顺序，把导线分别夹在线夹的上、左、右线夹内锁紧，一直到耐张段末端。在挂线夹卡线的同时及时调整导线的垂度，使其每档距内一致。每经过一杆，即把该杆上的临时木横担拆下，并将小车移过杆上的挂线横担及悬垂线夹。有关电缆小车及其使用见第十一章。

7）到末端后，将小车取下，按前面讲述的方法，将导线用耐张线夹挂在终端杆的悬垂上。



注：如无防雨罩时，穿墙板改为户外穿墙套管。

图 10-206　室外落地变压器台布置图

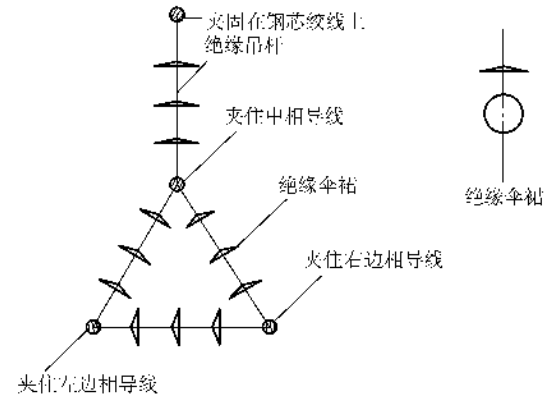


图 10-207　绝缘线夹示意图

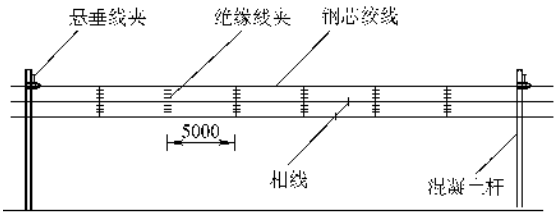


图 10-208　一个档距内导线的架设

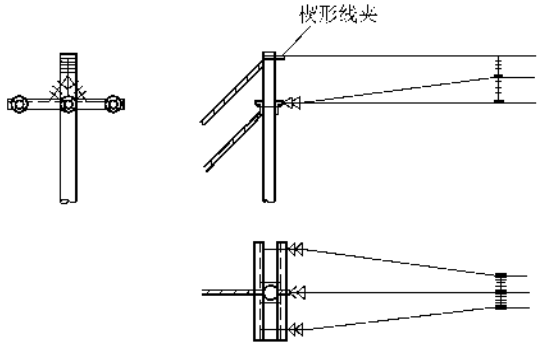


图 10-209　直线杆与终端杆的连接

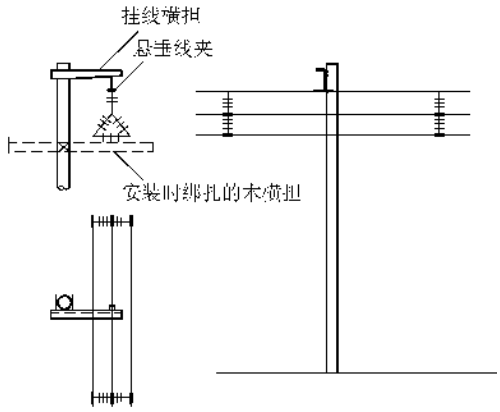


图 10-210　直线杆的杆头示意图

8）安装完毕后检查有无不妥。这里要注意一点，每只绝缘线夹在使用前应按线路的电压等级进行相与相、相与钢绞线卡的耐压试验，并作耐拉强度的试验。另外有必要时，钢芯绞线可按避雷线的要求接地。挂式小车的使用应保证安全。随着技术的进步和电气工程学的发展，架空线路将出现更多的新技术和新工艺。

第十一节　箱式变电所的安装

箱式变电所（简称箱变）是将变压器、高压开关及装置（高压柜）、低压开关及装置（低压柜）装设在一个基础出地平 800mm、基础上设置的一个用钢制轻型材料制成的一个变配电组合房间。其容量一般在 200～1600kVA 间，内有高压负荷开关柜、避雷器柜、计量柜、进线柜、联络柜，低压有进线柜、出线柜、联络柜、电气柜等。箱变常用于市区内，以减少占地及架空进出线，进出馈线全部采用电缆。箱变的安装电气部分与前述基本相同，关键是设备元件的检查和试验，必须三证齐全，检查试验报告完整真实。有关电缆部分将在第十一章讲述。箱变的安装最关键的两点，一是基础的浇注及验收，二是箱体的组装和接地。

一、基础施工及验收

基础的施工及验收应按架空线路杆塔基础施工及验收进行。

基础施工时应按图样要求做好电缆进出孔洞的预留或预留管路。地面浇注时应将箱体的基础槽钢预埋好，见图 10-211。

在做基础散水前应将接地引线（40×4mm 镀锌扁钢）埋入，至少 4 根，箱体长度超过 6m 时应再增设两根，并与基础槽钢焊接牢固，见图 10-211 和图 10-212。

二、接地装置的施工

在基础边缘 1.5m 以外，将地极棒（40×40×4 镀锌角钢或 ϕ50mm 镀锌圆钢打入 -800mm 的地沟里，用 40×4 镀锌扁钢将其焊接后连通，最后将一、中敷设的接地引线焊接在上面。敷设完毕后实测接地电阻应小于 4Ω。

最后在接地网边缘地带经常有人出入的通道上铺设砾石混凝土路面。

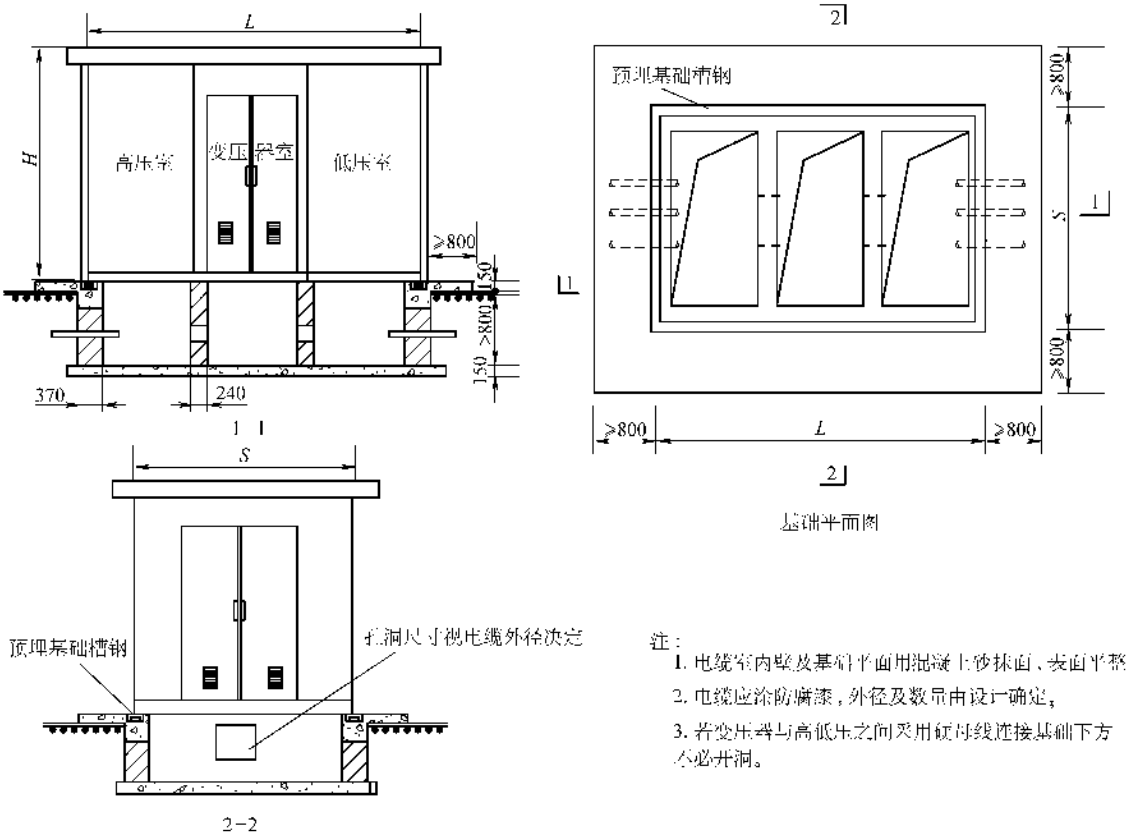
安装工程应在基础养护好后一个月进行。

三、电气设备的检查和验收

基本同前，见第五章、第六章、第七章。

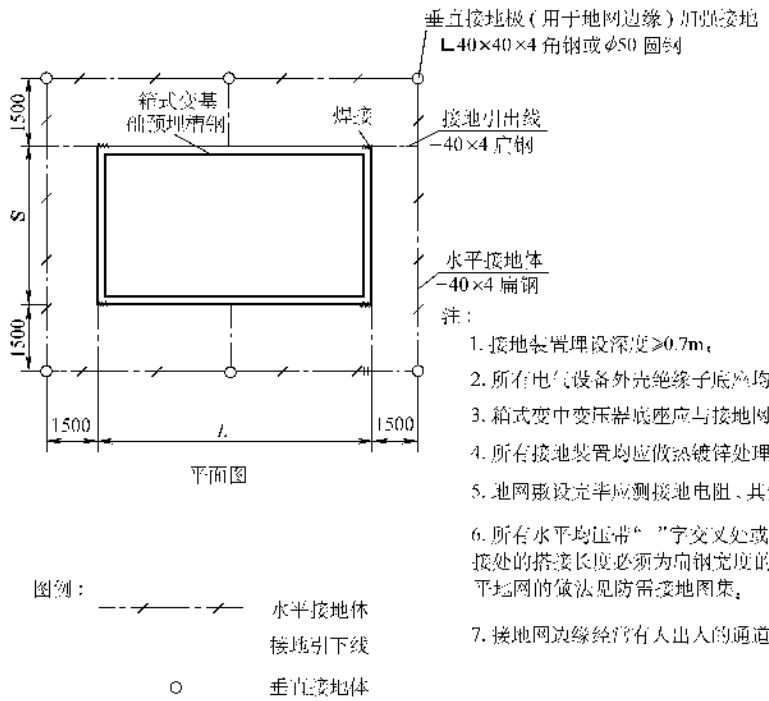
四、设备安装和试验

基本同前，见第五章、第六章、第七章及本章前述内容。



注：
1. 电缆室内壁及基础平面用混凝土砂抹面、表面平整；
2. 电缆应涂防腐漆，外径及数量由设计确定；
3. 若变压器与高低压之间采用硬母线连接基础下方不必开洞。

图 10-211 组合箱式变电所示意和基础施工图



注：
1. 接地装置埋设深度≥0.7m；
2. 所有电气设备外壳绝缘子底座均应与接地网可靠连接；
3. 箱式变中变压器底座应与接地网直接连接，接连接点不少于两面根；
4. 所有接地装置均应做热镀锌处理；
5. 地网敷设完毕应测接地电阻，其值不应大于 4Ω，否则应补加垂直接地极；
6. 所有水平均压带“ ”字交叉处或“T”形相交处要求按规定可焊接地线连接处的搭接长度必须为扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍，垂直接地极及水平地网的做法见防雷接地图集。
7. 接地网边缘经常有人出入的通道处应铺设砾石混凝土路面。

图 10-212 组合箱式变电所接地网施工图

五、进出回路的接引及试验、测量

基本同前，见第七章、第十一章和本章前述内容。

六、箱体的组装

箱体应在上述安装、试验全部合格后进行。箱体组装较为简单，墙体、门及门口、屋顶均为配套产品，用止口结合，并有胶圈密封。一般条件下，按供应商提供的图样组装均能很好地完成。屋顶的组装应用吊车进行，无条件时也可用人字抱杆进行，详见架空线路部分和室外变台部分。

七、送电及试运行

送电及试运行必须在电气设备检查、测试、试验、调整后进行，方法见本章第十节室外变台部分。

八、注意事项

1）箱变安装调试应在天气晴朗无风干燥时进行，并随时掌握天气预报。

2）箱变安装应一气呵成，中间不得闲置，遇有大风或下雨时应及时用苫布遮盖设备和箱变，不得使设备着雨。

3）箱变安装，有条件时最好分三组（变压器、高压柜、低压柜）分别同步进行，以节约时间。

4）箱变组装全过程中应有专人看护，雨季晚上应用苫布遮盖。

5）箱变安装、检测、调试、试验与前述要求相同，不得简化。

6）箱变基础施工应由质检员或监理全过程监控，一般应养护一个月后进入安装阶段。

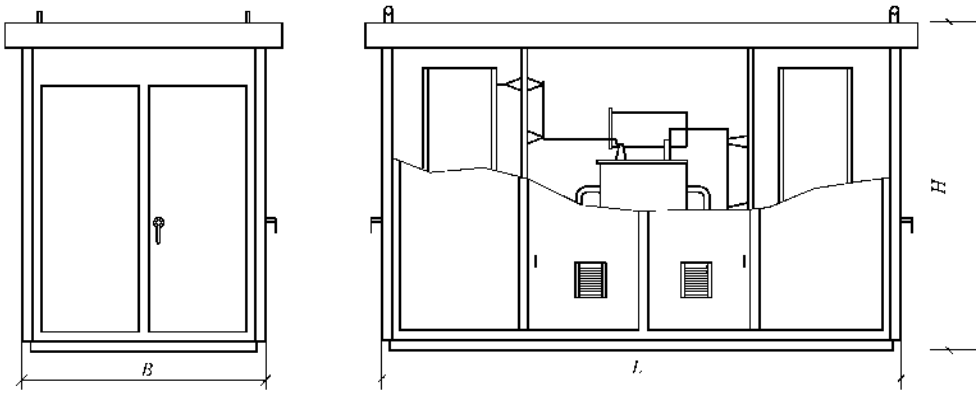
7）送电前最好做一次倒送电试验，将变压器低压侧接上380V三相临时电源，升压至10kV，以观察高压部分，详见第十二章。

8）施工安全注意事项同前。

箱式变电所外形尺寸见表10-80。

电气工程中，35kV及以下架空电力线路的安装（包括电力线路中器材、设备或原材料的检验）的质量检查标准及方法见表10-81～表10-83。

表10-80　箱式变电所外形尺寸(参考值)



	变压器容量/kVA		结构型式	L/mm	B/mm	H/mm	质量/kg
ZB系列	S7、S9	≤400	高低压室无走廊	3600	2200	2400	≤1000
		≤500	高低压室无走廊	4000	2400	2500	≤2000
	SCL	≤630	高压室有走廊 低压室无走廊	4600	2400	2800	≤4000
ZBJ 紧凑型	S7、S9	≤200	高低压室无走廊 （高低压室均有走廊）	2800(4800)	2000	2000	1200
	SC、SCL			2500(4500)	1800	1800	
	S7、S9	250～400		3300(5300)	2200	2400	1500
	SC、SCL			2800(4800)	2000	2400	
	S7、S9	500～800		3800(5800)	2400	2700	1800
	SC、SCL			3300(5300)	2200	2400	
	S7、S9	1000～1600		5000(7000)	2600	3000	2100
	SC、SCL			3800(5800)	2200	2400	

表 10-81 电杆组立及拉线的安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
线材	绞线外观	主要	无松股、交叉及破损	观察检查
	型号及规格	主要	按设计规定	对照图样检查
金具	钢铁制品	主要	热浸镀锌件	观察检查
	镀锌层检查		完好	
	型号及规格		按设计规定	对照图样检查
紧固件	镀锌层检查	主要	完好	观察检查
	规格	主要	按设计规定	对照图样检查
绝缘子	铁件外观		镀锌层完好	观察检查
	瓷表面检查		瓷釉光滑清洁,无裂纹、缺釉、斑点、烧痕气泡及碰损	
	铁瓷胶合连接		填料饱满,紧密无松动	观察及扳动检查
	型号及规格	主要	按设计规定	对照图样检查
	绝缘检查	主要	绝缘良好	检查试验记录
混凝土电杆	规格	主要	按设计规定	对照图样检查
	外观检查		表面光洁,壁厚均匀,无露筋、跑浆;无纵、横向裂纹	用尺检查
	杆身平直度		不大于 0.1% 杆长	拉线检查
横担	用料规格	主要	按设计规定	对照图样检查
	长度误差		±5mm	用尺检查
	安装孔距误差		±2mm	
	防腐方法	主要	热浸镀锌,镀锌层完好	观察检查
杆基定位	直线杆 顺线路方向位移 35kV 线路		不大于设计档距的 1%	用尺检查
	直线杆 顺线路方向位移 10kV 及以下线路		不大于设计档距的 3%	
	直线杆 横线路方向位移		≤50mm	
	转角杆、分支杆位移		≤50mm	
电杆基础及底盘	表面水平度		水平	用水平尺检查
	双杆 两底盘中心根开误差		≤ ±30mm	用尺检查
	双杆 两杆坑深度		一致	用水平仪或 U 形连通管检查
电杆坑深允许误差		主要	≤ +100mm, −50mm	用尺检查
混凝土电杆	连接混凝土杆用的钢圈 焊接	主要	牢固、可靠	观察检查
	连接混凝土杆用的钢圈 焊接后整杆弯曲度		不大于 0.2% 杆长	拉线检查

（续）

工　序	检验项目			性　质	质量标准	检验方法及器具
立杆	直线杆	横向位移			≤50mm	用尺检查
		倾斜度	35kV 线路	主要	不大于 0.3% 杆长	目测或用经纬仪
			10kV 及以下线路		不大于 1/2 杆梢直径	
	转角杆倾斜度	向内角		主要	不允许	经纬仪检查
		向外角			顶端位移不大于杆梢直径	
	终端杆倾斜度	向承力侧			不允许	
		向拉线侧(预偏值)			不大于杆梢直径	
	同基双杆	直线杆横向位移			≤50mm	用尺检查
		转角杆横、顺向位移			≤50mm	用尺检查
		迈步			≤30mm	经纬仪检查
		根开			≤ ±30mm	用尺检查
横担安装	横担安装位置	直线杆			受电侧	观察检查
		分支杆、90°转角及终端杆			拉线侧	
	端部上下歪斜				≤20mm	用水准仪检查
	端部左右扭斜			主要		
	多层横担间距				按 GB 50173—1992 规定	用尺检查
	瓷横担绝缘子安装	垂直安装顶端顺线路歪斜			≤10mm	用经纬仪检查
		水平安装	顶端顺线路歪斜		≤20mm	用水准仪检查
			顶端上下歪斜		向下不允许,上翘允许 5°~10°	
	全瓷式横担绝缘子固定处软垫			主要	齐全、完好	观察检查
连接螺栓	螺栓连接			主要	紧固	用扳手检查
	紧固后螺杆露扣				2 扣~5 扣(双螺母可平扣)	观察检查
接地	电杆及构架接地				按设计规定	对照图样检查
普通拉线	装设位置				按设计规定	
	拉线与地平面夹角与设计值误差	直线地段		主要	≤1°(35kV 线路), ≤3°(10kV 及以下线路)	用尺测量计算
		特殊地段			按设计规定	
	拉线盘埋设深度及方向			主要	按设计规定	对照图样检查
拉线柱拉线	拉线柱埋设深度				不小于 1/6 拉线柱长	用尺测量
	拉线柱向张力反方向倾斜度				10°~20°	
	坠线	与拉线柱夹角			≥30°	用尺检查
		上端固定点与柱顶端距离			250mm	
		镀锌铁线最小缠绕长度			按规范规定	

（续）

工　　序	检验项目		性　　质	质量标准	检验方法及器具
固定连接	线夹	可调丝扣位置		居中间	观察检查
		螺杆封固	主要	紧固	扳动或扳手检查
	绑扎	绑扎的镀锌铁线直径		≥3.2mm	扳动检查
		缠绕长度及方法		按 GB 50173—1992 规定	
其　　他	镀锌合股拉线	股数		≥3 股	观察检查
		单股直径		≥4mm	
		外观	主要	绞合均匀，无抽筋现象	
	同杆各拉线张力			大小适度，均匀	扳动检查
	拉线绝缘子装设位置		主要	断线时对地距离不小于 2.5m	用尺检查
	顶（撑）杆安装	顶杆底部埋深	主要	≥0.5m	用尺检查
		与主杆间夹角设计值误差		≤ ±5°	
		与主杆连接		紧密、牢固	扳动检查

表 10-82　导线架设检查

工　　序	检验项目		性　　质	质量标准	检验方法及器具
导线检查	局部磨损截面积			≤5% 导电部分截面积	观察及计算
	钢芯			无断折	观察检查
	修补及修补后外观			按 GB 50173—1992 和 GB 50233—2005 规定	
	连接头检查	压口尺寸及数量		按 GB 50173—1992 和 GB 50233—2005 规定	观察及计算
					观察检查
		接头两端外形		无灯笼、抽筋现象	用尺检查
		接头两端露出导线头长度		≥20mm	
		接续管弯曲度		不大于 2% 管长	观察检查
		接续管表面外观		无裂纹	
导线连接与紧固	档距内每相允许接头数			按 GB 50173—1992 和 GB 50233—2005 规定	按规范规定
	接头与固定点距离				用尺检查
	接头两侧（档距内）导线	金属种类		相同	观察检查
		导线规格		一致	
		导线绞向			
	导线弧垂误差	35kV		-2.5%，+5% 且最大正误差不大于 200mm	用尺检查
		10kV 及以下		±5%	

（续）

工　　序	检验项目			性　　质	质量标准	检验方法及器具
导线连接	水平排列的10kV及以下导线弧垂各相误差				≤50mm	用尺检查
	导线固定	直线转角杆			在针式绝缘子转角外侧脖颈上	观察检查
		直线越跨杆	边相		在外侧绝缘子上	
			中相		在右侧绝缘子上（面向电源侧）	
	绑扎后外形				平直无硬弯、折角	观察检查
	裸铝导线	与绝缘子及线夹接触部分防护措施			包绕铝带	
		铝带包绕长度			超出接触段30mm	
		10kV及以下导线作耐张时绑扎长度	导线≤50mm²		≥150mm	用尺检查
			导线≤70mm²		≥200mm	
	引线连接	异种金属导线连接			有过渡金具	观察检查
		10kV及以下同种金属导线绑扎长度	导线≤35mm²及以下		≥150mm	用尺检查
			导线≤50mm²		≥200mm	
			导线≤70mm²		≥250mm	
		并沟线夹线夹数量			≥2个	观察检查
	绑扎用线	材料			与导线材料相同的单股线	
		线径			≥2mm	
	固定				牢固	用扳手检查
过引线及引下线安全距离	相间	1kV～10kV			≥300mm	用尺检查
		1kV以下			≥150mm	
	电杆构件拉件mm	35kV			≥600mm	
		1kV～10kV			≥200mm	
		1kV以下			≥100mm	
其他	1kV～10kV线路同相或相邻相间距				≥300mm	
	1kV以下线路同相或相邻相间距				≥150mm	
	导线对地及交叉跨越距离				按设计规定	对照图样检查
接地	中性线重复接地				按设计规定	

表 10-83 杆上电气设备安装

工序	检验项目	性质	质量标准	检验方法及器具
变压器安装	平台水平偏差		不大于台架根开 1%	用 U 形连通管检查
	平台固定		牢固可靠	用扳手检查
	本体检查及安装		按 GB 50173—1992 规定	对照规范检查
	一、二次引线安装		排列整齐、绑扎牢固	扳动检查
	变压器外壳接地		按设计规定	用接地绝缘电阻表检查
跌开式熔断器安装	安装		按 GB 50147—2010 规定	对照规范检查
	两侧引线安装		整齐牢固,接触点紧密	扳动检查
避雷器安装	本体安装		按 GB 50147—2010 规定	对照规范检查
	瓷套与抱箍间防护垫		齐全、完好	观察检查
	相间距离		≥350mm	用尺检查
	引线安装		整齐、短而直	观察检查
	引线连接		紧固、接触良好	扳动检查
	绝缘引线截面 上引线 铜线		≥16mm²	观察检查
	绝缘引线截面 上引线 铝线		≥25mm²	
	绝缘引线截面 下引线 铜线		≥25mm²	
	绝缘引线截面 下引线 铝线		≥35mm²	
	接地电阻值		按设计规定	用接地绝缘电阻表检查
隔离开关安装	本体安装		按 GB 50147—2010 规定	对照规范检查
	固定及连接		牢固、紧密	用扳手检查
	分闸间隙		≥200mm	用尺检查
	电源连接部位		在静触头侧	观察检查

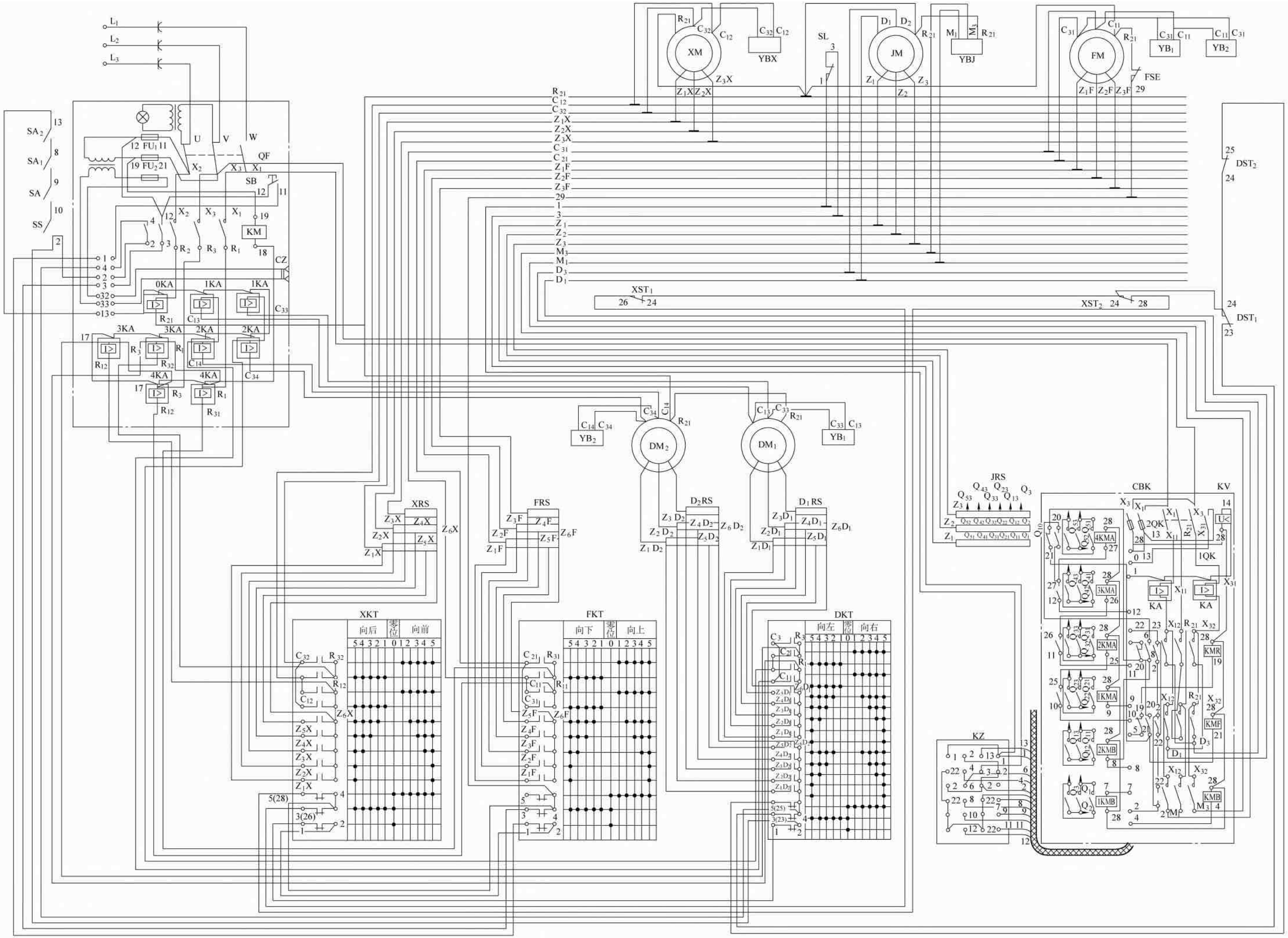


图 9-60　15/3t 桥式起重机控制电路接线图

内容全面 数据精准
强调实用 传授技能

DIANQI GONGCHENG ANZHUANG
JI TIAOSHI JISHU SHOUCE

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术／电气工程
ISBN 978-7-111-42886-2
策划编辑◎牛新国 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-42886-2
9 787111 428862 >
定价：199.00元