www.789pdf.com 789书库网

电气工程运行与维护技术手册

白玉岷 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电气工程运行与维护技术手册

白玉岷　主编

机 械 工 业 出 版 社

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

本书以电气工程运行及维护技术、管理及监督实践经验为主，从标准规程要求出发，详细讲述竣工交验后的各类电气工程的运行及维护技术、管理及监督措施方法，是从事电气工程运行及维护人员的必读之物。

本书主要内容有电气工程运行维护技术概述，基本要求及规程，基本技术技能及仪器仪表的使用，测试和试验方法及接线，变压器及电动机的运行维护及要点，变配电所运行维护，低压电路及设备、架空线路及电缆、电动起重机械、电梯、机床、自动化仪表、空调系统、弱电系统运行维护技术，以及运行维护安全技术、读图、管理及监督、设备元件、微机继电保护技术、职业道德等。

本书适合从事电气工程运行维护及管理的技术人员、企业电气技术人员、工科院校师生阅读，也可作为电气工程运行维护人员、管理人员培训及自学的实践教材。

图书在版编目（CIP）数据

电气工程运行与维护技术手册/白玉岷主编. —北京：机械工业出版社，2015. 1

ISBN 978-7-111-48524-7

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①白… Ⅲ. ①电气设备—运行—技术手册 ②电气设备—维修—技术手册 Ⅳ. ①TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 265986 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：闾洪庆

责任校对：樊钟英 封面设计：鞠 杨

责任印制：李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 50 印张 · 1229 千字

0001—2000册

标准书号：ISBN 978-7-111-48524-7

定价：158.00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

服务咨询热线：（010）88361066 机工官网：www. cmpbook. com

读者购书热线：（010）68326294 机工官博：weibo. com/cmp1952

（010）88379203 教育服务网：www. cmpedu. com

封面无防伪标均为盗版 金书网：www. golden-book. com

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

前　言

电气工程经过勘察设计、项目策划与管理、安装调试以及过程中的投标、项目审批等一系列技术及商务活动后，已顺利交验运行后交付给产权单位正式投入运行了。在这个复杂的过程中，技术人员、技术工人、管理监督人员、物资生产供应商及采购人员、上级及地方相关部门的工作人员、监理单位、供电部门等均付出了辛勤的劳动和智慧，同时也展现了他们精湛的技术能力和崇高的职业道德，从质量、安全、功能上保证了电气工程的先进性、可靠性、安全性、灵敏性、稳定性、观瞻性。作为参与工程的所有人员均会感到无上的自豪和欣慰。

然而当工程试运行 72 小时正常交付产权单位正式投入运行之后，由于多种原因，特别是运行中的维护保养检修不到位，没有按照科学合理的运行规程去管理执行；尤其是“技工荒”的出现，年薪 10 万、20 万元都招不到技术精湛、技能全面、职业道德高尚的技工，一些连基本工具、仪器都不会使用的人都进入了电工队伍，进而使电气工程的运行维护工作陷入了低谷，故障频发。除了国家电网所属供配电所和大型国企电工技术力量雄厚的企业外，电气工程的运行维护上都不同程度地出现了断电、设备损坏、元件更换频繁、所带系统不能正常运转、维修费用增加并造成不良影响。本人也曾多次应邀到现场处理故障，发现有些故障技术含量并不高，而现场运行人员却束手无策。

电气工程的运行维护技术工作，在工业生产和人们生活中有着更为特殊的作用和地位。因为随着工业技术和家用电器的发展，电气系统已渗透到经济和生活的每个角落，大量的电气工程运行维护的工作在等待着检修、维护、保养、修理。但是由于优秀电工及电工技术的断档，有很多从事运行维护电工职业的技工由于单位破产、倒闭、停产，他们只能寻求他职，已远离了运行维护电工的岗位。一些想从事电气工程运行维护职业的年轻朋友或刚刚步入工作岗位的大中专学生，在实践工作中竟找不到师傅，想学点技术技能越来越难。

鉴于上述情况，我们在《电气工程安装及调试技术手册（第 3 版）》和《电气工程项目策划与管理技术手册》的基础上，组织编写了这本《电气工程运行及维护技术手册》。本书的编写者都是实践经验丰富、多年从事安装调试、运行维护的老电工师傅、老技术人员和一些愿意从事基层技术工作的年轻有为的少壮派技术人员。他们除了详细讲述运行维护电工职业技术技能及实践经验外，他们那种崇高的职业道德、敬岗爱业的精神则是我们社会最大的财富，是我们永远学习效仿的榜样，这些知识是从任何书本上永远学不到的。

编写本书的另一个目的是为从事电气工程运行维护职业的各类人员提供一本便于自学、便于查找的可读物，便于尽快掌握电气运行维护技术技能、缩短从理论到实践的距离，这在任何学校里是难以学到的。但是，这里重申，本书所列的技术技能不是唯一正确的，也不是最先进的，读者可在实践中体会，并去寻求更为正确、更为先进的方法，这也是你提高技术技能的一个途径。

本书的特点是实用性强、可操作性强、通用性强，且通俗易懂，具有初中及以上文化程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度的人，只要你仔细阅读本书的相关内容，便会找到你寻求的方法和技巧，并成为一名合格的运行维护电工。当然你要想成为一名优秀的运行维护电工，你还应参照本书及其他专著在实践中进行一段相当长期的磨炼。

本书详细讲述电气工程运行维护规则、运行维护人员应具备的技术技能、常用仪器仪表的使用、测试和试验及调试技术，系统讲述变压器、电动机、中心变电所、低压电路及设备、架空线路及电缆、起重机械、电梯、常用机床、自动化仪表、空调系统、弱电装置等电气设备的运行维护技术，主要包括故障排除、检修试验周期及内容、运行规程、保养内容、巡视检查周期及内容、监视项目等。同时讲述运行维护中相关的安全技术、读图要点、培训考核、质量监督、管理技术等。

本书的出版工作得到了电工界、安装单位、高等院校、设计单位、供电部门及其专家、教授、高级工程师、高级电工技师以及年轻朋友们的亲切关怀和大力支持，这里我们向他们及其做出的努力表示感谢。

本书由教授级高级工程师白玉岷任主编，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、谷文旗、李云鹏、刘晋虹、白永军、赵颖捷、韩月英、王建、李树兵参编，全书由悦英、赵颖捷、桂垣主审。

由于本书篇幅较长、涉及专业门类较多、有些新技术介入电气工程的时间较短，还需在工程实践中考证，加之编者水平有限，编写时间仓促，书中难免会有不少错误及不妥之处，敬请广大读者及专家同行指正。

白玉岷
2014 年 8 月

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目　　录

前言
第一章　电气工程运行维护技术概述…… 1
一、电气工程运行维护人员应具备的技术技能…… 2
二、电气工程运行维护基本条件及规程…… 3
三、电气工程运行维护的质量管理与监督…… 6
四、实践经验是保证运行维护的法宝…… 6
五、崇尚职业道德、确保安全运行…… 7
六、电气工程运行维护的质量和安全…… 9
七、电气工程运行维护的重大意义 …… 10
八、电气工程运行维护人员的职责和义务 …… 10
第二章　电气工程运行维护基本技术技能 …… 11
第一节　电气工程安装调试技术 …… 11
一、中心要点 …… 11
二、主要作业内容及技能 …… 15
第二节　运行维护基本技术技能 …… 16
一、变配电装置运行维护通用技术技能 …… 16
二、低压电器及动力装置 …… 28
三、弱电系统及装置 …… 96
四、读图及分析复杂电路图的方法技巧…… 103
第三节　运行维护相关基本技术技能…… 106
一、钳工基本操作技能…… 106
二、吊装运输基本技能…… 114
三、焊接技术基础及操作…… 134
四、机电设备安装技术要点…… 136
第三章　常用电工检修测试仪表及仪器…… 140
一、携带式电工检修测试仪表的种类…… 140
二、钳形电流表的使用及注意事项…… 142
三、万用表的使用及注意事项…… 143
四、绝缘电阻表的使用及注意事项…… 144
五、接地电阻测试仪的使用及注意事项…… 146
六、场强仪的使用…… 147

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

七、单臂电桥的使用…… 147
八、万用电桥的使用…… 149
九、电压升压器的使用及耐压试验…… 150
十、电流升流器的使用及电流试验…… 159
十一、示波器及其使用…… 159
十二、晶体管特性图示仪…… 166
十三、双臂电桥的使用…… 176
十四、吸收比和极化指数的测量…… 177
十五、新型电测仪器及其使用…… 180
十六、电工仪器仪表的保管及检定周期…… 206
第四章 电气设备、元件、材料的核算及选择…… 207
一、工业用电设备计算负荷核算的程序及方法…… 207
二、民用建筑用电负荷核算的程序及方法…… 214
三、电力变压器的选择…… 217
四、高压电器的选择…… 219
五、电力变压器保护装置的设置…… 221
六、输电线路保护装置的设置…… 221
七、电动机保护装置的设置…… 223
八、低压电器的选择…… 224
九、电动机起动器的选择…… 227
十、民用电器的选择原则…… 229
十一、导线、电缆、母线的选择…… 229
十二、自备电源的选择…… 243
十三、架空线路杆型、金具、绝缘子及拉线的选择…… 247
十四、电工仪表的选择…… 256
十五、关于负荷电流的估算方法及应用…… 258
第五章 电气设备、元件、材料的测试和试验…… 259
第一节 电气设备测试和试验总体要求…… 259
一、基本要求…… 259
二、测试试验的程序步骤…… 260
三、测试试验注意事项…… 261
第二节 电力变压器的测试试验…… 261
一、电力变压器的标准规范要求…… 261
二、具体测试试验方法…… 268
三、电抗器及消弧线圈…… 280
四、互感器…… 281
第三节 高压电器的测试和试验…… 286
一、标准规范要求…… 286

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、测量和试验方法…… 300
三、避雷器的试验…… 312
第四节　绝缘油和 SF_6 气体的试验…… 317
第五节　交流异步电动机的测试和试验…… 319
第六节　低压电器的测试和试验…… 332
第七节　电缆和绝缘导线的测试…… 339
一、电缆…… 339
二、绝缘导线…… 345
第八节　自备电源的测试和试验…… 346
第九节　火灾自动报警设备的测试…… 346
第十节　电缆电视设备的测试…… 349
第十一节　网络及监控设备的检测试验…… 351
一、网络系统…… 351
二、监控系统…… 354
第十二节　常用电工仪表的校验和检定…… 354
第十三节　自动化仪表的测试和试验…… 358
一、标准规范要求…… 358
二、测试试验总体要求…… 361
三、测试试验方法…… 362
第十四节　空气调节自动控制系统电气元件的测试和试验…… 431
第十五节　一般电器的测试和试验…… 431
第十六节　特殊电器的测试和试验…… 432
第十七节　新型电气控制设备的调整试验要点…… 432
一、电气控制设备调整试验准备工作及要求…… 432
二、自动化设备调整试验…… 433
三、直流调速装置调整试验…… 439
四、交流调速装置的调试…… 450
五、电源设备的调试…… 459
六、整理试验报告…… 464
第六章　低压系统运行维护电工操作技术技能…… 465
一、电动机运行维护的规则及方法…… 465
二、低压配电装置运行要求…… 473
三、低压配电装置巡视检查、清扫检修试验周期及内容…… 474
四、低压配电装置异常运行和故障缺陷处理…… 476
五、低压电器运行维护注意事项…… 477
六、电力变流设备运行注意事项…… 478
七、观察法判断电气故障…… 481
八、电气线路故障处理方法与技巧…… 484

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

九、电动机故障处理方法与技巧…… 487
十、照明装置故障处理方法…… 490
十一、低压电器故障处理方法…… 491
第七章 变配电所的运行维护…… 497
一、运行维护电工及操作规程…… 497
二、高压系统变电所的巡视检查及维护…… 503
三、运行记录和故障处理…… 528
第八章 电气调整试验操作技能…… 530
一、10kV 变配电装置的调试 …… 530
二、低压配电系统的调试…… 541
三、电动机及起动设备的调试…… 543
四、电动机及变压器的抽心检查…… 547
五、电气线路的试验…… 554
六、调整试验注意事项…… 556
七、新型微机继电器柜的调整试验…… 559
八、调整试验中变配电装置故障判断及处理…… 570
第九章 电工仪表及自动装置的运行维护及管理…… 577
第一节 电工仪表及自动装置的运行维护…… 577
一、保证电工仪表安全运行的条件…… 577
二、继电保护及自动装置安全运行的基本条件…… 578
三、继电保护装置、自动装置及仪表巡视、检查、校验的周期和项目内容…… 579
四、继电保护装置、自动装置、仪表异常运行及事故处理方法…… 580
五、电气盘、柜、仪表及其二次回路安全运行注意事项…… 581
六、互感器运行维护注意事项…… 582
第二节 电工仪表及自动装置运行规定及要求…… 583
一、供电部门对电工仪表的一般规定…… 583
二、供电部门对电能表的运行规定…… 584
三、供电部门对盘、柜上电工仪表的规定…… 585
四、国家标准规范对盘、柜、电工仪表及二次回路接线的总体要求…… 585
五、仪表盘、柜安装的具体要求…… 586
六、盘、柜上的仪表、电器安装具体要求…… 588
七、仪表盘、柜的二次接线具体要求…… 589
八、仪表盘、柜交接验收具体要求…… 590
九、电气盘、柜上运行仪表的管理…… 590
第十章 架空线路及电缆线路的运行维护…… 592
第一节 架空线路的运行维护…… 592
一、架空电力线路安全运行的条件…… 592
二、架空线路巡视检查的周期及项目内容…… 593

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三、架空线路检修的周期及项目内容…… 595
第二节　电力电缆的运行维护…… 596
一、电力电缆安全运行的条件…… 596
二、电缆线路巡视检查的周期及项目内容…… 598
三、电缆线路停电检查、试验的周期及项目内容、缺陷处理的方法…… 599
第三节　室内低压配电线路的运行维护…… 601
第十一章　电动起重机械的维护保养及运行…… 607
第一节　桥式起重机的控制线路…… 607
一、凸轮控制器的电气线路…… 607
二、主令控制器的电气线路…… 609
三、桥式起重机常用的控制线路…… 610
第二节　其他形式起重机的控制线路…… 616
第三节　电动起重机械的安全装置及维护…… 616
一、电动起重机械的安全要求…… 616
二、电动起重机械的电气安全装置…… 618
三、电动起重机械的机械安全装置…… 619
第四节　电动起重机械运行维护…… 627
一、电动起重机械运行注意事项…… 627
二、电动起重机械的巡视检查…… 628
三、电动起重机械的检修试验…… 629
第十二章　电梯的维护保养及运行…… 632
第一节　电梯的安全装置及维护…… 632
一、电梯的安全要求…… 632
二、电梯安全运行的管理制度…… 637
三、电梯安全运行的条件…… 638
四、电梯安全装置的试验…… 639
第二节　电梯的运行维护…… 641
一、电梯的巡视检查…… 641
二、电梯的检修…… 642
第三节　电梯常见故障判断及处理…… 645
一、继电器·双速电动机式电梯故障判断及处理…… 645
二、PLC·变频电动机式电梯故障判断及处理 …… 647
第十三章　机床电气设备的修理和维护…… 663
第一节　基本要求…… 663
一、标识及技术文件…… 663
二、技术要求…… 663
三、保护装置…… 664
四、控制和信号要求…… 666

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

五、电气元件布置…… 667
六、控制元件要求…… 668
七、线缆要求…… 670
八、检查和试验…… 671
第二节 机床及机械传动设备的安全运行…… 672
一、基本要求…… 672
二、安全措施…… 673
三、电气故障检查…… 676
第三节 常用机床电路分析…… 678
一、CW6163B 型车床的电路 …… 678
二、X62W 型万能铣床的电路 …… 679
三、T68 型镗床的电路 …… 686
第四节 机床维修要点…… 689
一、CW6163B 型车床 …… 689
二、X62W 型万能铣床 …… 690
三、T68 型镗床 …… 690
第十四章 自动化仪表系统及装置故障排除、调整试验…… 692
第一节 测试、调整及试验基础…… 692
一、故障排除、调整试验及试运行的准备工作…… 692
二、系统调整试验…… 692
第二节 试运行及故障排除方法…… 696
一、试运行的条件…… 696
二、投入试运行的程序…… 696
三、试运行及故障排除方法…… 696
第十五章 空调系统及装置故障排除、调整试验…… 703
第一节 空调系统及装置的图样和接线…… 703
第二节 系统维修调整试验方法及试运行…… 706
一、工艺流程图及设置…… 706
二、调节控制原理图…… 706
三、送风机的控制原理图…… 707
四、调试程序内容…… 710
五、维修调试及试运行方法…… 710
六、维修调整试验总体要求…… 712
七、常用测试方法…… 714
第十六章 弱电系统及装置故障排除方法…… 723
一、弱电系统及装置的构成及基本排障方法…… 723
二、弱电维修作业规则…… 724
三、弱电维修基本要求…… 724

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十七章　运行维护电工安全技术要点 …… 727
第一节　电工操作程序和要求 …… 727
第二节　电工安全注意事项及安全管理措施 …… 730
一、安全注意事项 …… 730
二、电气安全措施 …… 747
第三节　电工安全技术基本常识 …… 749
一、电工不安全行为和习惯性违章作业 …… 749
二、电气作业常用安全警语 …… 758
第十八章　运行维护电工作业质量管理与监督 …… 762
一、运行维护电工作业质量管理与监督的总体要求 …… 762
二、运行维护质量保证体系的建立 …… 762
三、电气检修技术质量总体要求 …… 763
四、变配电所检修技术规程 …… 774
五、运行维护相应管理制度和规定 …… 777
附录 …… 783
附录 A　常用线路垂度表 …… 783
附录 B　润滑脂的品种、代号、物理化学性质及用途选用表 …… 785

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第一章　电气工程运行维护技术概述

在近200年的历史中，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微机的普及，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，电气安装调试完毕且合格并投入运行的电气工程的运行维护就尤为重要了。电气工程的运行维护是一项电气综合技术体系，融入电气设备的设计、安装、测试、试验、调试、维护、保养、检修、修理、运行管理、运行规程实施、原材料及设备元件选择测试、运行故障处理、记录运行日志、安全防范、运行质量评估及监督、质量及安全管理等众多科目，这是电气工程运行维护人员、技术管理人员必须具备的技术技能，也是电气工程安全运行的必备条件。

电气工程交付使用投入运行后，变配电所变压器及电气装置、配电室及盘柜仪表、室内外的电气线路及电缆、架空电气线路、车间内外的电气装置（包括电动机、自动装置、起动设备、控制系统及元器件、检测系统及元器件等）、照明系统及线路、生产机械设备电气装置及控制系统、自动化仪表装置、空调系统电气装置、弱电系统及其供电装置（弱电主要包括火灾、防盗、通信、网络、电缆、集中监控、办公自动化、微机自控装置等），还包括民用、办公、商贸、公共场所、特殊环境等各种用电配电装置及系统都在运行维护范围之内。

然而由于种种原因，除了国家电网所属的供配变电所及输电线路、大型国企和一些国家重点装备场所外，电气工程的运行维护上都不同程度地出现经常断电、设备损坏、元器件更换频繁、所带系统不能正常运转、维修费用增加等现象，并造成不良影响，特别是一些居民小区电气系统的运行维护几乎无人问津，出现问题基本上是用户自行处理，有时还埋下了隐患。

这些问题的出现往往是由几种原因造成的，一是管理者对这方面的管理欠缺经验和技术或管理不严，二是运行维护人员不到位或是对工作不负责任，三是运行维护人员技术技能低下或是不懂运行维护的内涵，四是产权单位这方面的运行维护没有监管部门及详细条款等，进而导致了上述问题的出现。

电气工程的运行维护必须有严谨的实施条款并能滴水不漏地实施，进行周期性的检查、测试或更换，做到防微杜渐、未雨绸缪，运行维护人员应具备一定的技术技能，再加上管理者的监督和管理、质量和安全方面措施到位以及运行维护人员的职业道德，电气工程的运行维护就能确保电气工程安全、可靠、稳定的运行。

电气工程运行维护技术是电工技术的综合技术，对电气运行维护人员的技术技能、职业道德要求较高。有条件的产权单位或国家电网所属变配电所及输电线路、大型国企、国家重点装备场所其运行维护的分工明确、运行规程完整、监督管理到位有序、事故率较低。其运行一般是指变配电所及其高压线路的运行，而维护是指低压系统及其各类用电场所、照明、动力、自动装置及仪表、弱电系统的维护、检修和修理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一般的中小型企业和产权单位，其电气工程的运行维护统一均由维修电工进行，分工不是很明确，或是运行、维护、检修、修理各个岗位轮班进行。每个维修电工要轮流在运行、维护、检修、修理的岗位周期性或不定期的工作，或是几个技术老练的岗位较为固定，其他人则轮换岗位工作。

无论怎样分工，运行就是指变配电所、变配电装置及高压线路进行监视、监测、功能操作以及维修、保养的岗位；而维护则是指低压系统及其用电场所的动力、照明、自动装置、仪表、弱电系统进行维修、保养、检修、修理的岗位。对于每个岗位的工作人员其技术技能的要求是一致的，对其职业道德的要求更是一致的。

一、电气工程运行维护人员应具备的技术技能

1）具有电气工程安装调试的技术技能和实践经验，能解决工程中的疑难问题。

2）熟悉常用电气设备、元件、材料的估算技术和方法，正确选用电气设备、元件、材料。

3）熟悉本单位供配电系统、用电部门、车间的电气线路及设备，能解决出现的故障。

4）具有质量管理和监督的实践经验，能在运行维护中及时发现不合格或瑕疵。

5）具有安全管理、监督、实施的实践经验，能在运行维护中及时发现并阻止不安全行为和安全事故隐患，能及时处理安全事故。

6）具有电工基本操作技能，如常用工具的正确使用、登杆登塔、物件运输吊装、钳工及焊工基本操作、导线连接、常用设备接线、安全器具的使用，线路敷设（明装及暗装）等。

7）熟练掌握电工测试、试验、检修仪器仪表的正确使用，并对设备、元件、线路进行测试、试验、调整、调试等作业。

8）熟练掌握变压器及其一、二次线路、变配电装置、继电保护装置、屏幕显示系统、安全操作系统、常见故障排除等相关技术技能。

9）熟练掌握电动机及其供电线路、起动装置、保护装置、控制起动线路、安全操作系统、常见故障排除及修理等相关技术技能。

10）熟练掌握自动化仪表、空调系统、弱电系统、常用机床、电动起重机械等电气装置的线路、控制、保护、信号、执行机构、记录装置等相关运行维护的技术技能及故障排除等。

11）熟练掌握电气工程运行规程，并按其要求、精细地对电气设备、线路、装置进行检修、维护、保养、巡视、监测、记录、处理不正常状态。

12）学习新材料、新设备、新技术、新工艺并积极推广，能在工作中将微机技术、传感器技术、自动化技术等弱电技术与强电技术相结合，确保电气系统正常、稳定、安全运行。

13）统筹企业用电情况、技术装备及人员能力并进行技术分析，并按企业的发展准确细致地做出电气系统的评估和发展策划及规划。

14）制定相应的能够指导运行维护的制度、规程、方法、方案并付诸实践，根据其在运行维护实践的效果不断修订使其更完善、更可行，逐步提高运行维护技术。

由上述可以看出，电气系统运行维护人员是具备电气综合技术的群体，不仅具备丰富的实践经验还要具备一定的技术管理能力。因此，常把他们分为管理层和作业层两个部分。管理层的人员均为在作业层技术技能高超且具备一定的文化程度，经选拔推荐而到管理岗位的，而具备大专、本科文化程度的电气专业毕业生参加工作后必须先到作业层的岗位实践

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2～4年，然后再经过选拔推荐才能走上管理层。无论哪种情况，管理层的人员还是应定期或不定期地到作业层中深入实践，掌握“四新”运行维护情况。而那些技术精湛但文化较低的人员根据工作需要，有时也要到管理层中，出主意、想办法，乃至培训新员工。

准确地讲，电气工程运行维护技术人员，既是电气工程师，又是电气技术工人，只有这个群体结合为一个技术队伍，才能真正地保证电气工程安全运行。

上述技术技能的掌握非一日之寒，需热衷于电气工程运行维护的、具有一定文化程度和电工实践经验的电气工作人员付出百倍乃至千倍的努力。对于刚刚走上工作岗位的大学生来讲，除了在实践中向工人师傅学习外，还要付出更艰辛的劳动和汗水乃至万倍的努力。

二、电气工程运行维护基本条件及规程

1. 基本条件

1）产权单位的电气技术人员必须全程参与电气工程的规划、设计、招标等前期各项工作，提出要求和合理化建议和意见，审核并核实设计单位、中标单位的技术力量、装备实力、工程业绩、社会评价、公信名誉、资质条件以及工程主要设计人员、主要安装技术人员的资质及业绩、职业道德等相关内容，以确保设计的质量。

2）产权单位的电气技术人员必须全程参与电气工程安装及调试、竣工验收试运行的全过程，特别是变配电所、主要或大型电动设备、自动装置及自动化仪表、控制监控系统、隐藏工程及线路等重要场所；对于贵重、大型、重要、特殊的设备、元件、材料从制造商、供应商到运输到工程现场要有一套完整、严密的程序和技术手段，进场时必须进行实时检查、试验和测试，确保其质量的可靠性。

上述两条是保证工程整体质量的重要条款，这是保证电气工程运行维护的基本条件，一旦先天不足将会引来无穷后患。一个质量不合格的工程或产品，运行维护搞得再好其结果也是一个零，很多这样的事例已经告诫我们，一定要吸取成功的经验、剖析失败的教训而引以为戒，以防后患。

3）有一支技术过硬、认真负责的具备上述技术技能的运行维护队伍，在工作中认真执行运行规程和维护条例，能做到滴水不漏，万无一失，分工明确、相互协作、互相监督。

4）制定严格的运行规程细则和维护条例细则，从变压器、变配电装置直到每条线路、每个螺母、每个接点、每台设备均有维护保养细则，做到“勤”、“管”、“严”，做到防微杜渐，并严格实施。

5）有成套的精良的检测、试验、测试、调试用的仪器、仪表，能完成各种设备、装置元件、材料的各种试验及测试，能完成各种装置的调试。

6）有质量和安全监督管理体系及机制，所有员工或电气装置使用人员乃至民用电器使用人员均能主动监督和汇报电气装置的现状，及时处理电气装置的隐患，使故障在萌芽状态时得到及时处理。

7）所有使用的设备、元件、材料、工具、仪器、仪表应由正规渠道进货，并有严格的测试、试验、检定、校准的技术手段和程序，杜绝假、冒、伪、劣产品混入电气工程，一旦发生则要追究法律责任。

8）有防止自然灾害侵袭的能力及相应的措施，减少雷电、大风、暴雨、洪水、降雪、风沙、小动物、灰尘、化学粉尘对电气装置危害。

9）广泛宣传安全用电技术措施，人人学会安全用电，形成全社会注重安全用电，构筑

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

运行维护、安全用电的铜墙铁壁。

10）运行维护中，大型、贵重、重要设备的检修或修理必须有专家审定、技术可行的技术方案和保障措施，其过程应全程监督检查测试，确保质量安全、万无一失。

系统中每一条线路、每台设备、每个元件乃至每条螺栓、每个接点都在有人监控检查，防止没人管，防止出现了事故，才去修复。操作人员应及时向运行维护人员反映设备运转情况，防止出现盲点。

2. 运行维护基本规程

电气工程的运行维护规程是保证电气工程安全、稳定、可靠、正常运行的基本技术文件，也是每个运行维护人员必须遵守的执业条款。而在工程实践中由于种种原因，运行维护人员没有按照规程中的条款去严格执行而导致电气运行事故频发。因此，规程的制定必须严格而缜密，而执行者更应严格缜密，不要成为一纸空文。

电气工程运行维护基本规程的要点主要是“勤、管、严”三大准则。

1）“勤”就是对电气线路、电气设备及元件、自动装置及仪表、微机及其控制保护系统的每一部分、每一参数、每一信号节点勤检、勤测、勤校、勤查、勤扫、勤修、勤验、勤紧。这里的“勤”是指按一定的周期，只是各类线路、设备、元件、装置、仪表、系统的周期不同而已。同时周期的制定也不是一成不变的，而是随着运行维护的效果而及时修订的。也就是说按照一定的周期对某一装置进行严格的维护保养，其运行非常良好，几个周期内没有任何瑕疵，则可将其周期放长一点；其运行中还有瑕疵发生，则可将其周期缩短一点。当然，这个放长和缩短还是要看其运行的效果，其基点是按周期“严格维护保养”，还有维护保养的质量，除了国家电网及其下属站所外，一般企业的电气系统维护保养质量监督几乎是空白，这也是本书提出的一个基点。

电气系统及装置除了按周期维护保养外，还必须利用停电、系统检修、供电部门调整负荷等的机会彻底清扫、检查、紧固、测试、试验、调整、校验、更换等维护保养工作，做到滴水不漏、万无一失。

2）“管”就是对电气系统运行维护的管理，主要有管理机构及其管理人员的设置、组织措施和技术措施的制定及实施中的监督管理、运行维护中质量和安全的监督和管理、运行维护人员技术技能和职业道德的监督和培训、大型重要设备的运行维护检修修理方案的编制及实施中的监督、设备更新方案的编制及实施中的监督管理等。其中管理机构及人员的设置应具有权威性，应由实践经验丰富、资深的专家及行政主管组成，具备电气工程方面相关技术技能的讲、画、写、干、管、读的能力，能解决处理有关规划设计、安装调试、运行维护、设备材料元件质量安全等方面的难题，同时组织一个由上到下直至每个用电者的强大的运行维护安全协作网，做到信息畅通、管理到位、检修及时，确保运行。

3）“严”就是在运行维护、管理监督、各种电气及相关作业及操作中，严格执行操作规程、试验标准、作业标准、安全规程及措施、运行维护规程及各项管理监督考核制度。每个运行维护人员严格要求自己的作业行为，该做的必须做得更好，不该做的坚决不做，做到一丝不苟、兢兢业业。一般应该做到凡是自己经手完成的运行维护项目，符合标准规程，没有瑕疵，没有丝毫的漏洞，经得住管理监督人员的检查和检验。凡是做不到的应让其从事别的工作，离开运行维护队伍，做到精中有精，细中有细，真正做到万无一失。

作为电气运行维护人员，无论职务大小、职称高低、工龄长短、技术技能优劣、工资待

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

遇多少、文化程度高低都应时时刻刻做到上述三点，确保工作的质量，并用职业道德约束自己，勇敢地承担从事过的工作的质量和安全，否则应自动退出电气工程运行维护这个队伍。同时，也只有所有从事电气运行维护的人员都能做到这点，电气系统的安全性、稳定性、可靠性才能得到充分的保障。因此，电气工作人员除了按照运行维护基本规程的要求进行运行维护工作外，最重要的是要提高技术技能，加强职业道德的修养和磨炼。

电气工程运行维护人员必须在“勤、管、严”上下工夫，做到技术上精益求精、工作上兢兢业业、管理上尽心尽责，必须做到防微杜渐，才能确保电气工程及系统安全、可靠、正常、稳定地运行，这也是本书编写的初衷。

3. 电气工程运行规程

国家电网及其所属变配电所、用电设备及生产运营单位场所有完备的运行规程，从变配电所到用电设备及场所、从高压到低压、从强电到弱电样样俱全、滴水不漏，详细规定了运行管理、巡视检查、停电清扫、检修试验、异常运行或事故缺陷处理、仪表校验或检定等具体项目、方法、指标、周期、安全、质量等，是所有用电单位的运行规程指南。

非国家电网的大、中、小企业单位应有更加完备的运行规程，从变配电所到所有的高、低压电气设备、线路到最简单的照明装置、弱电系统、起重机械、机床、电梯、仪表、空调等均应有详细可行的运行规程。一般情况下，可参照国家电网的规程并按自身的设备情况详细制定，这也是本书的重点。

电气工程运行维护规程的主要内容有：

（1）运行管理和调度组织　有健全及技术保障的用电管理技术机构，与供电部门有相应的协议，建立严格的电气设备运行、检修、试验等制度并严格执行，对电气工作人员进行技术和职业道德培训，对运行和质量、安全等情况定期或不定期的检查、监督和管理，制定相应设备的检查、检修、试验周期，并按实际情况进行修订和补充，制定相应的节电技术措施和落实保障条件，结合季节气候特点和单位生产运行实况，安排停电检修和贯彻预防事故措施，组织指挥消除威胁人身安全和设备安全重大缺陷的应急处理，落实预防技术措施和管理方案等。

（2）高压配电装置　高压电气设备安装、检修、试验、调试后必须进行质量检验和试验，合格后才能投入运行并详细记录；规定高压配电装置的巡视、检查、停电清扫、检修试验的详细项目、方法、检验标准及周期；高压配电装置的异常运行及事故处理方法、合格验收；分、合闸操作规程等。

（3）低压配电装置及低压电器　低压电气设备安装、检修、调试后必须进行质量检验和试验，合格后方能投入运行并详细记录；规定低压系统巡视、检查、清扫、检修、试验的详细项目、方法、检验标准及周期；异常运行及事故缺陷处理方法、验收合格标准等。

（4）电力变压器　详细记录变压器的油温（上层、下层）和外壳温度，按周期对变压器进行测试和试验，有条件的应有备用变压器；规定变压器巡视、检查、检修、试验的详细项目、方法、标准及周期；异常运行及事故缺陷处理方法、验收合格标准等。

（5）电动机及其起动控制设备　详细记录电动机外壳、轴承温度、转速，按周期对电动机进行测试试验；规定电动机及其起动设备的巡视、检查、检修、试验的详细项目、方法、标准及周期；异常运行及事故缺陷处理方法、验收合格标准等。

（6）移相电容器和过电压保护装置　设备元件的测试和试验以及详细记录；巡视、检

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

查、清扫、检修、试验详细项目、方法、标准及周期；异常情况及缺陷事故处理方法、验收合格标准等。

（7）继电保护、自动装置、二次回路、微机系统及其盘柜　元件的测试和试验、接口电路的校正、接线端子的确认必须由专业人员进行质量检验和试验，合格后才能投入运行并详细记录；详细规定其巡视、清扫检查、校验、检修试验的项目、方法、检验标准及周期；异常运行及缺陷事故处理方法，验收合格标准等。

（8）变配电所直流设备及蓄电池　有详细的充电—放电操作程序及详细记录，确保直流设备可靠运行；详细规定巡视、检查、检修、试验的项目、方法、检验标准及周期等；缺陷处理方法及记录等。直流设备其他同（7）继电保护。

（9）接地装置　电气系统中的接地装置必须有详尽的图样，新增项目必须及时标注在图上，所有的接地点不得随意变更；有详细的接地电阻测试记录及测试人姓名、日期；详细规定检查、巡视、检测、测量的项目、方法、使用仪表、检测标准及周期；缺陷处理方法及记录等。

（10）架空线路　架空线路应按电压等级区分，确保线间距离、与其他物件设施包括地、建筑物、公共设施、道路、树木的垂直距离符合要求；详细规定巡视、检查、检修、测试的项目、方法、检验标准及周期等；详细规定风、雨、雪、雷电等恶劣天气的巡视和检查，并详尽记录。

（11）电缆线路　电缆线路应按电压等级区分，确保与管道、沟豁、河流、道路的距离以及穿金属管敷设电缆管的良好状况；详细规定巡视、检查、试验、测试的项目、方法、检验标准及周期；详细规定大雨、洪水等恶劣天气的巡视检查，并详尽记录；缺陷处理的方法及详细记录等。

（12）室内配线、常用电器及照明　详细规定巡视、检查、试验、测试、维修的项目、方法、检验标准及周期；缺陷、故障处理方法及详细记录；纠正操作人员不正确的操作方法等。

（13）弱电系统　弱电系统应参照上述条款做好巡视、检查、清扫、测试、试验，确定周期，详细规定元件测试试验、接口电路校正、接线端子的确认以及使用仪器仪表，并详尽记录。

上述条款的制定和执行必须做到防微杜渐、认真负责、落实到位、监管并存、记录真实、坚持不懈、严格交接、杜绝走马观花、粗枝大叶，提倡精雕细刻，一丝不苟。

三、电气工程运行维护的质量管理与监督

国家电网及其所属变配电所、用电设备及生产运营单位等场所的运行维护有着完备的质量管理与监督机制，按照国家标准，电力部门标准对其进行严格的监督、检查、检验和验收，确保电气系统的质量和安全。

非国家电网的一些企业、单位，也应该和国家电网及其所属变配电所、用电设备及生产运营单位一样，对电气系统进行运行维护的质量管理和监督，这是本书的重点，也是作者的初衷。

四、实践经验是保证运行维护的法宝

运行维护技术是电气工程的综合技术，因此，对电气工程的运行维护人员来说实践经验是最重要的。作为电气工程人员本身来说实践经验、理论知识是缺一不可的，但最重要的还

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是实践经验，是电气工程技术中的首把交椅，在电气工程这个庞大的行业里，很多像中铁一局电气工程专家窦铁成一样的同行已经证明了这一点。详见《电气工作人员职业道德修养概论》（机械工业出版社出版）一书。

运行维护是保证电气工程安全可靠运行的最后一个程序，在这个程序中，运行维护人员的实践经验是重中之重。由上分析可以看到，设计、安装调试、电气产品质量均是在合同条款下进行，也就是说，电气工程的质量是由法律保障的。作为建设单位的工作人员和管理人员，要想在工程交验后保证安全可靠运行，最好的办法就是从工程设计策划开始就介入这项工程，然后进入安装调试阶段，全程掌握工程各个阶段的技术、质量要点，关键技术，从工程开始就积淀自己的实践经验，等到竣工验收时，对工程的多个部位、各个细节可以说是了如指掌。在这个过程中向设计、安装人员虚心学习，建立和谐的同志关系，做好详细记录，关键部位应图文并茂。同时，在这个过程中还要做好质量的监督工作，及时发现瑕疵以及不妥，及时与施工单位沟通协商，在保证工程质量上具有非常重要的作用，我们把这个职位叫做甲方代表。甲方代表应由多人组成，从不同的角度去参与工程，掌握各个环节的技术、质量内涵，甲方代表一般应由具有电工实践经验的人员组成。

作为运行维护人员应在电气工程的运行维护中增加积累自己的实践经验，特别是故障处理及排除、测试、试验是技术技能的关键技术。

实践经验在运行维护中有着是否能保证系统正常安全可靠运行的决定性作用，特别是在系统出现异常或发生事故时，实践经验丰富的运行人员能迅速做出判断并及时处理，使系统短时恢复运行状态，减少损失，而经验不足的运行人员则束手无策或处理不当，导致事故漫延，以致造成很大的损失，这是不允许的。

因此必须要求运行维护人员应利用所有的手段和方法深入实践，一是在做甲方代表时掌握工程中各个环节的安装、调试、测试及疑难问题的处理技术；二是利用传、帮、代的方法，培养更多的愿意从事电工这个职业的年轻人，让他们能顺利接过师傅们的工作，顶起运行维护的重任，让系统安全、可靠、正常运行。

实践经验这个法宝是在实践中磨炼出来的，也不是一时一事能掌握的，每个电气工作人员必须在这点上下工夫，这也是本书主要讲述的内容。

五、崇尚职业道德、确保安全运行

职业道德是每个从业人员最基本的执业行为准则，只有具备从业技术技能和相应的职业道德，才能干好运行维护工作，只有这两点均做到了才能确保系统的安全运行。简单地讲，职业道德就是对工作兢兢业业、认真负责、一丝不苟、任劳任怨、精益求精、防微杜渐、诚信为本、环保节约。

1. 电气工作人员职业道德的范围

电气工作人员作为电气工程、自动化工程的设计、安装、调试、运行、维护、修理、检修保养以及管理、后勤保障的直接责任人，其职业道德的范围很宽广。从自律到标准、规程、规范，从个人勤奋到团队精神，从实践到向别人学习，从严和勤到节约理财，从诚信负责到勇于纠正错误，从公共道德到安全环保，从帮助别人进步到提携新人，包罗万象、五花八门。只要是涉及工程质量、安全、进度、投资，涉及工程项目的服务和运行，涉及设计安装、运行维护，涉及管理和后勤保护等内容都属于职业道德的范围，同时这些内容也应有利于从业人员职业道德的修养和磨炼。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 电气工作人员职业道德总体要求

前面详细讲述了职业道德的概念、内涵、重要性以及电气工程及自动化工程概述、保证条件、在国民经济及人民生活中的地位和重要性等内容。我们可以清楚地看到，作为一名电气工作人员肩负重任而任重道远，这是一个漫长、艰苦、需要付出更多代价和努力的过程，这是一个职业道德磨炼和修养的过程，特别是要在这个岗位上取得成就，需要走更长的路，需要付出更多的精力，还需提升自身职业道德的修养。尤其是在提升职业道德修养上是考验能否成为一名优秀的电气工作人员（包括电气设计师、工程师、技术工人、其他相关电气工作人员等）的重要关口，过了这一关，优秀电气工作人员的花环就会降临到你的头上。有些人在这方面表现得较为脆弱，吃不了苦、受不了累、经受不了各种利益带来的诱惑，享受不了“高调做事、低调做人”的那种清贫的乐趣，最终徒有虚名。如果能放下架子、丢掉面子，真诚地投入到火热而极有挑战性的电气工程中去，拜高人为师、向同事虚心学习，勤奋好学、杜绝浮躁，做到严、管、勤，学会观察、善于模仿，学会总结、善于分析，防微杜渐、循序渐进而得到全面发展，增加职业生涯的阅历，提升职业道德的修养磨炼，你就必将成为一名真正的、优秀的、名副其实的电气工作人员。与你工作相关联的每个人都会永远记住你的名字，因为你是一名技术技能高超、职业道德高尚的诚实有信的工作人员，是一名职业道德的楷模。

3. 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，练就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，滴水不漏，天衣无缝，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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、勤紧、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其贵重、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），惯于总结，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。

六、电气工程运行维护的质量和安全

电气工程的质量和安全是永恒的主题，作为产权单位应由电气技术管理人员和具有实践经验技术工人联合制定有关运行维护质量和安全监督、检查、测试、验收的详细的条款细则，并发布于电气系统相关人员，严格认真执行，这些条款规则应按其执行实际情况和效果

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

进行修订，保持其可行性、效果性和实用性。

这些条款细则应参照国家和电网公司发布的电气装置安装工程质量验收、交接试验、安全运行相关的标准和规范，并结合单位实际情况进行编制，特别是低压动力系统，包括电动机、起动装置、低压配电装置、控制装置及电路结构、自动控制装置及自动化仪表、弱电系统及微机装置等更应有详细的条文，不放过任何一个环节，确保监督到位可行。

当然，这些条款细则不是摆设，不是应付上级检查的文件，而是在工程运行维护中认真执行的依据，要和运行维护规程有机地结合起来，才能确保质量和安全，这里将常用电气标准规范列出，详见本书第二章。

七、电气工程运行维护的重大意义

电气工程的运行维护是电气工程的最后一道工序，它既要在设计策划、安装调试、试车交工的基础上保持系统的正常运行，又要发现纠正工程存在的瑕疵，并要继承发扬工程的优势，这对电气工程有着重大的意义。

1）促进电气工程设计工作的改进，提高电气工程的实用性、可行性和先进性。

2）促进电气工程的安装调试向更安全、更可靠方向发展，使工程质量进一步提高。

3）可节约能源、节约电气工程的运行成本，进而降低企业产品的投入，提高服务质量(特别是在写字楼、居民小区、商贸场所更是这样)。

4）保证电网安全运行，所有的用电单位、企业都能在运行维护上下工夫，本企业单位的电气系统正常了，国家电网的安全性就提高了。

5）保证生产、运营单位的正常生产和经营活动，提高生产力，提高电气系统的满意度、信誉度。

6）电气系统安全、可靠、正常运行，促进国民经济发展，提高人民生活水平。电气系统是国民经济发展的基础，其运行维护意义重大。

八、电气工程运行维护人员的职责和义务

电气工程及自动化在国民经济、人民生活中有着举足轻重的作用，交付使用投入运行的电气工程其运行维护人员的责任重大、担当的义务非同小可。电气工程运行维护人员应做到以下几点：

1）熟练掌握运行维护电工的技术技能，准确无误地进行运行操作、巡视检查、测试试验、处理故障、修理检修，与同事协作，确保系统安全可靠正常运行。

2）崇尚电气工程人员的职业道德，严格遵守电气工程运行维护规程，执行规范标准，为系统运行做出不懈努力。

3）班上尽心尽责，兢兢业业，班后随时观察或看到系统的线路、设备、元件有不妥或异常，及时与值班人联系，必要时应参与处理。

4）随时随地积极宣传安全用电常识、节电方法、用电操作规程等，遇到不妥要耐心讲解、示范动作，确保正确安全用电。

5）保护电气系统的设备、线路、元件，发现丢失、破损、被盗及时报告保卫部门，妥善处理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二章　电气工程运行维护基本技术技能

运行维护技术是一个综合技术体系，往往是安装调试人员进到运行维护岗位时，对一些故障排除、检修维护上的作业则是束手无策；而一些运行维护人员对安装调试作业、特别是国家标准规范规程上较为严格的要求则是一无所知，往往是随意进行安装调试，最后造成不良作业，导致事故频发或设备元件损坏，使电气系统运行出现问题。最重要的是对设备、元件、材料上的使用一般不进行测试，拿来就用，这样便给运行维护带来了隐患，自己班上的问题解决了，而给后续值班人或以后运行带来不良后果。对于电气系统的运行这是不允许的。

对于运行维护人员来讲掌握全面技术技能不是一件简单的事情，也并非一日之为，只有通过扎扎实实的实践中的磨炼、只有将安装调试技术和运行维护技术系统地掌握并在实践上验证才能具备综合技术技能。本章只就基本技术技能进行讲述，后续章节将一一详尽讲述运行维护的综合技术技能。

第一节　电气工程安装调试技术

电气工程安装调试技术内容很多，这里只将其要点列出，其他详尽内容敬请读者参阅由机械工业出版社出版的《电气工程安装及调试技术手册（第3版)》。

要特别指出的是安装调试的工艺程序、测试和试验、标准规范、规程是重中之重，不容忽视。

一、中心要点

(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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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（见图 2-1）

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

(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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

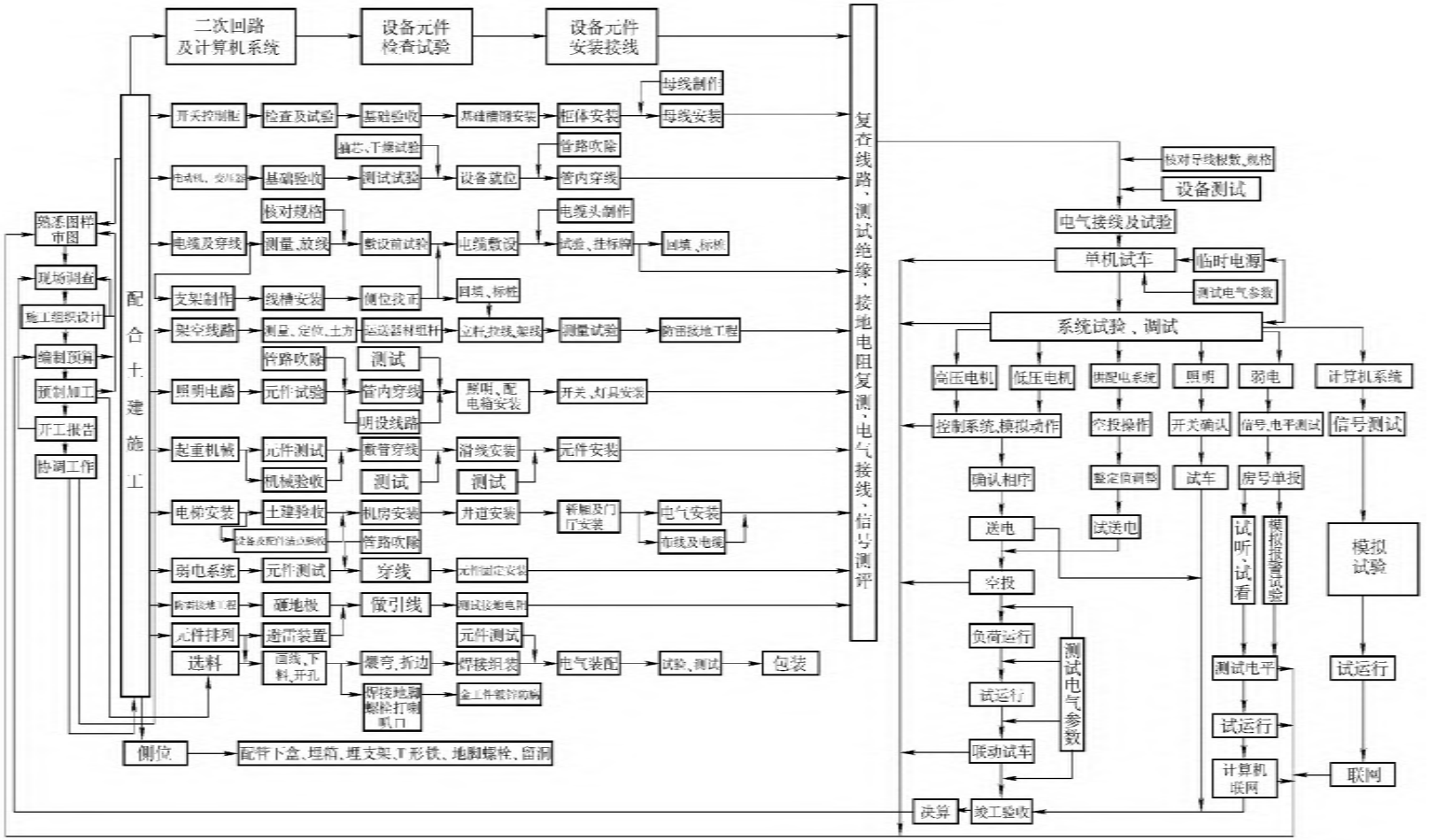


图 2-1　电气工程安装程序框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

近年来，在利益的驱动下，发生了一些工程质量重大事故，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家标准更为严格，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—1992　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—2013　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

24）GB 50252—2010　工业安装工程质量检验评定统一标准
25）GB 50300—2013　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 4728.1～.13—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～.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 5009.1～.3—2002～2013 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 50500—2013 建设工程工程量清单计价规范
49）GB 50278—2010 起重设备安装工程施工及验收规范
50）GB 50601—2010 建筑物防雷工程施工与质量验收规范

二、主要作业内容及技能

1. 预埋管路、箱盒及管线布置安装
2. 照明电路及单相电气设备安装
3. 动力电路及低压配电装置、起动设备安装
4. 架空线路及室外变压器的安装
5. 电缆安装敷设
6. 变配电装置及高压变电室的安装
7. 防雷与接地系统的安装
8. 自动化仪表及自动装置的安装
9. 空调系统电气设备安装
10. 弱电系统的安装
11. 常用装置及箱柜制作加工

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

12. 电气设备、元件、材料的测试和试验
13. 起重机械电气设备的安装
14. 电梯的安装调试
15. 常用低压发电设备的安装调试
16. 其他电气设备的安装调试

第二节 运行维护基本技术技能

一、变配电装置运行维护通用技术技能

(一) 一般常识

1. 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 ±10%。10kV 及以下供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 ±7%。220V 单相供电电压正负偏差为额定电压的 7% ~10%。

2. 线路停电操作的顺序是，先停一次设备，即先断开该线路断路器，然后拉开断路器两侧隔离开关，隔离开关先拉负荷侧，后拉母线（电源）侧，其目的是从程序上防止带负荷拉隔离开关。最后停保护、自动装置，使操作过程中不失去保护。

3. 线路送电操作的顺序是，先投入保护、自动装置，使操作过程中带有保护。再合上线路断路器两侧隔离开关，先合母线（电源）侧，后合负荷侧，最后合上断路器。其目的是从程序上防止带负荷合隔离开关。

4. 变压器在充电状态下及停送电操作时，必须将其中性点接地开关合上。中性点接地开关合上的主要目的是防止单相接地产生过电压和避免产生某些操作过电压。变压器送电时，先合电源侧断路器，停电时先断开负荷侧断路器。500kV 联络变压器，一般在 220kV 侧停（送）电，在 500kV 侧解（合）环。

5. 线路停电操作时，先断开中间断路器，后断开母线侧断路器；拉开隔离开关时，由负荷侧逐步拉向母线侧。送电操作与此相反。正常情况下，先断开（合上）中间断路器都没有关系，之所以要遵循一定顺序，主要是为了防止停、送电时发生故障，导致同串的线路或变压器停电。

6. 有多电源或双电源供电的变电站，线路合环时，要经过同期装置检定，并列点电压相序一致，相位差不超过允许值，电压差不得超过下面数值：220kV 线路一般不超过额定电压的 20%。500kV 线路一般不超过额定电压的 10%，最大不超过 20%。频率误差不大于 0. 5Hz。新投入或线路检修后可能改变相位的，在合环前要进行相位校对。

7. 倒母线操作时，母联断路器应合上，并断开母联断路器操作电源。这是因为若倒母线过程中由于某种原因使母联断路器分闸，此时母线隔离开关的拉、合操作实质上就是对两条母线进行带负荷解列、并列操作，在这种情况下，因解列、并列电流较大，隔离开关灭弧能力有限，会造成弧光短路，从而引起母线短路事故。因此，母联断路器在合闸位置取下操作电源，可以保证倒母线过程中母线隔离开关等电位，是重要技术措施。

8. 断路器操作前应注意的事项：

1）操作前应检查控制回路、辅助回路控制电源、液压回路是否正常，储能机构已储能，即具备运行操作条件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）油断路器的油色、油位应正常；SF_6 断路器气体压力和空气断路器储气罐压力应在规定范围之内。

3）长期停运的断路器在正式执行操作前应通过远方控制方式进行试操作 2 ~ 3 次，无异常后，方能接操作票拟定方式操作。

4）断路器检修后恢复运行时，所设置安全措施已拆除。

5）操作前，投入断路器有关保护和自动装置。

6）操作前，断路器分、合闸位置指示正确。

9. 断路器操作中和操作后注意事项：

1）操作过程中，应同时监视有关电压、电流、功率等表计指示，以及断路器控制把手指示灯的变化。

2）操作控制把手时，用力不能过猛，防止损坏控制把手。

3）断路器合闸后应检查其内、外部有无异常和异味。

4）操作后，分、合闸位置指示正确，三相一致。

5）利用监控机选线操作的，应检查选线是否正确。

10. 就地操作断路器的基本要领是，要迅速、果断。就地操作断路器的方式适用于线路无运行负荷，有条件时应该做好防止断路器出现故障而威胁人身安全的有关措施。运行中的断路器禁止手动慢分、慢合的就地操作。

11. 主变压器在运行中，当值运行人员应根据控制盘上的仪表（电流表、电压表、有功表、无功表、温度表等）来监视变压器的运行情况，使负荷电流不超过额定值，电压不能过高，温度在允许的范围内等，并每小时记录表计参数一次。若变压器在过负荷下运行，除应积极采取措施（如改变运行方式或降低负荷等）外，还应加强监视，并将过负荷情况记录在配电盘运行日志及有关记录簿中。

12. 变压器外壳接地主要是保障人身安全。当变压器的绝缘损坏时，变压器外壳就会带电，如果有了良好、正确的接地措施，变压器的漏电电流将通过外壳接地装置导入大地中，可以避免人身触电事故。

变压器外壳接地装置的要求：

1）大于 100kV · A 的变压器接地电阻为 4Ω 以下；小于 100kV · A 的变压器的接地电阻为 10Ω 以下。

2）接地体与接地线应焊接牢固，接地线与变压器外壳必须用螺栓固定。

3）接地体采用圆钢时，其直径应不小于 8mm，采用扁钢时，其截面积应不小于 4mm × 12mm。

13. 一般大型电力变压器都装有电接点压力式信号温度计，它装在变压器油箱外，便于监视变压器的上层油温情况。当油温上升到限值位置时，表的接点便把电路接通，开动风扇或发出信号。

14. 变电所的倒闸操作主要内容如下：

1）电力线路的停、送电操作。

2）电力变压器的停、送电操作。

3）发电机的起动、并列和解列操作。

4）电网的合环与解环。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）母线接线方式的改变（倒母线操作）。

6）中性点接地方式的改变。

7）继电保护自动装置使用状态的改变。

8）接地线的安装与拆除。

15. 分相隔离开关，分闸操作时先拉中相，后拉边相。合闸操作时先合边相，后合中相。

16. 在操作有远方操作的隔离开关时，不得在带电压的情况下就地手动操作，以免失去电气闭锁，或因分相操作引起非对称开断，影响继电保护的正常运行。

17. 隔离开关操作后，应到现场检查其实际位置，以免传动装置或控制回路有故障，出现拒分或拒合。同时检查触头的位置应正确，即合入后，工作触头应接触良好；拉开后，断口张开的角度或拉开的距离应符合要求。

18. 断路器的操作要求如下：

1）拉、合控制开关，不得用力过猛或操作过快，以免合不上闸。

2）根据断路器机械指示位置、仪表指示、“红、绿灯”指示，检查判断断路器触头的实际位置与外部指示应一致。

3）对于外壳带电的断路器，倒闸操作时应与其保持安全距离，间隔门或围栏不得随意打开。

4）断路器合闸送电或跳闸试送，人员应远离现场，以免带故障合闸造成断路器损坏，发生意外。

19. 变压器自动跳闸，运行人员应立即检查以下方面：

1）根据保护掉牌或信号、事件记录器或其他监视装置的显示或打印记录等，判断是什么保护动作。

2）变压器跳闸时的负荷。油面、温度、油色、有无喷油、冒烟火、瓷套管闪络破裂，释压阀或防爆管动作，或其他明显故障迹象，气体继电器有无气体。

3）跳闸的外部现象，如保护区内区外的短路故障，合闸励磁涌流等。

4）故障录波器的波形。

在检查的同时，如有备用变压器，可按现场规程规定及调度值长的命令，将备用变压器投入运行。

20. 断路器合闸前应检查的项目：

1）油色、油位指示应正常。

2）断路器是否在分闸位置。

3）断路器两侧隔离开关是否已合好。

4）断路器的分合闸位置指示器是否指示在“分”上。

5）断路器操作电源与合闸电源是否正常并已投入。

6）有关保护和自动装置是否按规定投入或解除。

21. 断路器合闸后应检查的项目

1）断路器是否已合好。

2）断路器分合闸位置指示器是否指示在“合”上。

3）电流、电压表的指示是否正常，负荷分配是否得当。

4）断路器内部是否有不正常的声音或气味。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）应投入或断开的保护与自动装置运行是否正常、准确。

22. 避雷器正常巡视内容：

（1）巡视阀型及磁吹避雷器内容如下：

1）瓷质应清洁、完整无损、无闪络痕迹。

2）导线、接地引下线应有足够的截面，导线不得过紧或过松、接触应良好，不锈蚀、无烧伤痕迹。

3）铸铁和胶合剂无裂纹，漆皮不脱落。

4）组合式避雷器上下各节应垂直，不倾斜。

5）均压环无损伤，环面应保持在水平位置。

6）基础座和瓷套、瓷垫应完整无损。

7）放电记录器应完整无损，内部不进潮（从玻璃窗上检查），各元件正常，动作指示应正确。

8）低放式布置的避雷器，遮栏内无杂草，防止高草将瓷套短接。

9）拉线吃劲要均衡，无过紧、过松现象，拉线本身无严重锈蚀和断股现象。

10）每年雷雨季前应进行一次全面检查和预防性试验，并及时投入运行，雷雨季后要退出运行，磁吹型避雷器则应常年投入运行。

（2）管型避雷器的巡视内容：

1）安装要牢固，角度要符合要求。外部间隙应无严重烧损，间隙距离应保持不变，刮风时间隙基本保持稳定。

2）管子表面不应有脱皮、裂纹及烧痕，喷口上金属网应完整。

3）接地引下线无严重锈蚀或损伤，靠地面部分应不腐蚀和断线，地中接地体不应被掘出暴露在地表外面。

4）动作指示器应完整，动作指示应正确。

5）雷雨季后断开的接地引下线，雷雨前是否已接好，并检查接触是否良好。

6）安装处短路容量发生变化或运行方式改变时，应审查其容量是否能够适应安装处短路电流的上、下限，不合适时应及时做调整。

7）当发现管型避雷器有严重缺陷，以及动作三次以上时，应立即拆下来进行检修。

23. 特殊天气的巡视内容：

1）雷雨时严禁接近防雷设备，可在一定范围内检查避雷器和避雷针的摆动情况。

2）雷雨后检查放电记录器动作情况，避雷器表面有无闪络。

3）大风天气检查避雷器和避雷针有无搭挂物，以及摆动情况。

4）大雾天检查避雷器瓷套表面有无放电现象。

24. 当发现避雷器瓷套有裂纹时，应立即报告调度员，建议停下损伤相，更换合格的避雷器。无备件时，可考虑在不致威胁安全运行的条件下，做临时性处理（如涂抹绝缘漆或环氧树脂，以防避雷器内部受潮），并安排短期内更换。

25. 雷雨天气发现避雷器瓷套有裂纹时，应尽可能不使避雷器退出运行，待雷雨过后再进行处理。如果因瓷套裂纹已造成闪络，但未接地者，在可能的情况下，将故障相避雷器停用，并做如下处理：

1）避雷器爆炸尚未造成接地时，在雷雨过后拉开相应的刀开关，将避雷器停用更换。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）避雷器瓷套裂纹或爆炸已造成接地者，必须停电更换；禁止用隔离开关停用故障的避雷器。

26. 组合电器检修周期

1）一年检查一次运行状况，并详细记录。

2）定期检修可 2 ~ 6 年进行一次，也可根据制造厂的规定和运行经验制定一个检修规程加以实施。

3）临时检修，GIS 断路器操作达到规定的开断次数或累计开断电流时，应进行解体维修；各厂家对容许开断次数和累计开断电流值的规定差别较大；通常在负荷电流下的容许开断次数为 2000 ~ 3000 次，累计开断电流可达 1000 ~ 3500kA 以上。

GIS 隔离开关和接地开关无负荷分合闸 2000 ~ 3500 次以上时，应检查一次磨损等情况，环流电流和感应电流分合在 100 ~ 200 次以上时应进行检查。

27. 隔离开关巡视检查的内容如下：

1）隔离开关的支持绝缘子应清洁完好，无放电声音或异常声音。

2）触头、接点接触应良好，无螺栓断裂或松动现象，无严重发热和变形现象。

3）引线应无松动、无严重摆动和烧伤断股现象，均压环应牢固且不偏斜。

4）隔离开关本体、连杆和转轴等机械部分应无变形，各部件连接应良好，位置正确。

5）隔离开关带电部分应无杂物。

6）操动机构箱、端子箱和辅助触头盒应关闭且密封良好，能防雨防潮。

7）操动机构箱、端子箱内应无异常，熔断器、热继电器、二次接线、端子连接、加热器等应完好。

8）隔离开关的防误闭锁装置应良好，电磁锁、机械锁应无损坏现象。

9）定期用红外测温仪检测隔离开关触头、接点的温度，这是一种十分有效、快捷的方法。

28. 粘贴示温片的注意事项：

1）应避免贴在阳光直射的地方，以减少外界温度的影响。

2）应粘贴在不易被雨水冲刷掉，不易因检修、试验、维护工作碰掉的地方。

3）应粘贴在容易目视检查的地方。

4）如果一个接头有许多个接触面，可考虑粘贴在多接触面中心。

5）如果接头涂有相位漆，粘贴示温蜡片时，应选用与相位漆不同颜色的示温蜡片，以便于区别和检查。

6）不得用糨糊代替黏液。

29. 在手动拉开隔离开关时，应按“慢-快-慢”的过程进行。刚开始时应慢，其目的是，操作连杆一动，操作人要能看清是否是要拉的隔离开关，要看触头刚分开时有没有电弧产生，若有电弧应立即合上，防止带负荷拉隔离开关。若操作正确，应没有电弧，此时应迅速拉开。在切断小容量变压器的空载电流、一定长度架空线路和电缆线路的充电电流、少量负荷电流以及用隔离开关解环操作时，均会有小的电弧产生，此时，迅速地将隔离开关断开，以利于灭弧。当隔离开关在接近全部拉开时，也应慢，以防止不必要的冲击使瓷绝缘子损坏。

30. 在手动合隔离开关时，必须迅速果断，在合到底时不能用力过猛，以防合过头和损

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

坏支持瓷绝缘子。在合隔离开关时，如果发生弧光或误合时，则应将隔离开关迅速合上。隔离开关一经合上，不得再行拉开，因为带负荷拉开隔离开关会使弧光扩大，造成弧光短路故障。误合后只能用断路器切断该回路，才允许将隔离开关拉开。

31. 操作隔离开关应注意以下事项：

1）操作隔离开关前，应检查与隔离开关有关的断路器的合分位置。

2）用隔离开关拉开带负荷的电路时，应先核算所拉开的负荷是否超过规定允许值。

3）操作中如果发现隔离开关有严重缺陷，继续操作有危险时，应立即停止操作。

4）操作中如果隔离开关有振动现象，应查明原因，不要使蛮劲硬拉、硬合。

5）操作中隔离开关的联锁装置未开时，应查明原因，不能任意解除联锁装置。

6）操作完毕，应进行检查，并将锁栓锁好，或将套环套好，然后再加锁。

32. 隔离开关误操作的处理，当隔离开关在拉闸过程中，发生误操作，并引起电弧时，不得继续拉开，应迅速果断地重新将隔离开关合上，熄灭电弧。如果隔离开关已拉开，并已切断电弧时，不必将已误拉的隔离开关再合上。

33. 测量直流母线电压时应将其电压表转换开关 SA 的手柄放在竖直位置即“断开”，可以测出直流母线电压。

将 SA 手柄逆时针转 45°旋转到“负对地”位置时，测量负极对地电压。如果正极对地绝缘良好，电压表的读数也应为 0V。

将 SA 手柄顺时针转 45°旋转到“正对地”位置时，测量正极对地电压。如果负极对地绝缘良好，电压表的读数也应为 0V。

在测量时如果发现某一极对地电压不为 0V，则说明另一极对地绝缘电阻下降或直接接地。

34. 当发现直流系统有接地故障时，可采用“分割电网法”短时断开直流供电回路寻找接地点。当断开某回路时，直流系统恢复正常，说明接地点在该回路中，然后进一步查明处理即可。短时切断寻找接地的顺序一般是：①首先切断不重要的、易发生接地的回路；②蓄电池组回路；③中央信号回路；④6～10kV 输电线路的控制电源；⑤35kV 以上输电线路的控制电源；⑥中央控制屏所接各控制回路。

（二）巡视检查及监视常识

1. GIS 日常巡视项目和内容如下：

1）巡视检查 GIS 的断路器、隔离开关、接地隔离开关、快速接地隔离开关的位置指示器是否正常。

2）断路器、隔离开关、接地隔离开关、快速接地隔离开关的闭锁位置是否正常；各种指示灯、信号灯的指示是否正常；加热器是否按规定投入或切除。

3）隔离开关、接地隔离开关从窥视孔中检查其触头是否正常。

4）密度计、压力表的指示是否正常。

5）断路器、避雷器的指示器动作次数是否正常。

6）裸露在外的母线，其温度的指示是否正常。

7）二次端子有无发热现象；熔丝、熔断器是否正常。

8）在 GIS 设备附近有无异味、异声。

9）设备有无漏气、漏油的现象。

10）所有阀门的开、合位置是否正确，金属支架有无锈蚀，有无发热现象。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11）可见的绝缘元件，有无老化、剥落、有裂纹的现象。

12）所有金属支架和保护罩、外壳有无油漆剥落的情况。

13）SF_6 气体的分解物有无泄漏。

14）接地端子有无发热现象，金属外壳的温度是否超过规定。

15）所有设备的防护门是否关严、密封。

16）所有照明、通风设备、防火器具是否完好。

17）所有设备是否清洁、齐整、标识完善。

18）室内应保持清洁。

2. 户内硬母线的一般检查项目：

1）表面相色漆正常、无开裂、无起层和变色。各部粘贴的示温蜡片无熔化现象。

2）运行中的电流应不超过允许值、声响平衡、无较大的振动声。

3）支持绝缘子正常、无扭曲和断裂现象。

4）伸缩接头正常、无过热、无断裂现象。

5）母线上各个连接部分的螺栓压接正常、无松动、无振动、无过热，母线上不能搭挂杂物。

3. 电力电缆的巡视检查项目：

1）电缆头无漏油、漏胶现象，冷缩工艺电缆头无开裂现象。

2）外皮无损伤、过热现象，接地良好。

3）电缆是否过负荷，有无放电异常声音。

4）接头连接正常，无松动、无过热现象。

5）充油式电缆油压是否正常。

4. 电压互感器的巡视检查项目：

1）互感器内油位、油色正常，外皮清洁，无渗漏油现象。

2）瓷质部分应无破损、无裂纹、无放电闪络痕迹。

3）吸湿器内所装吸潮剂应无变质、变色和潮解现象。

4）高低压熔断器接触良好，无断路和短路现象。

5）内部无放电声和其他异常声音。

6）接地线良好，各部连接应牢固，无松动、无过热现象。

5. 运行人员在巡视时，有以下要求：

运行人员在巡视时，应按各次巡视分工规定和重点内容以及巡视路线进行。巡视前应先普遍了解各回路或主要设备负荷，然后携带钥匙、电筒（在夜间时）或望远镜等工具进行。两个巡视应一前一后，或在设备的一左一右。

每次巡视工作结束，均应将巡视情况和结果详细地向值班负责人或其他有关人员说明。说明时，要避免只有结果（如无事、正常、良好等）。而应将巡视内容详细说明，并将内容情况和结果详细记录在记录簿中。

6. “四细”是细看、细听、细闻、细摸（指不带电的设备外壳）。“五不准”是不准做与巡视无关的工作；不准观望与巡视范围以外的外景；不准交谈与巡视无关的内容；不准嬉笑、打闹；不准移开或超过遮栏（确需移开时，应按有关规定进行）。

7. 特殊条件下巡视项目和要求有以下几点：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）过负荷时，巡视负荷、油温、油位、接头等现象有无变化，冷却系统应正常运行。

2）大风天气时，巡视引线摆动情况和有无搭挂杂物。

3）雷雨天气时，瓷套管有无放电、闪络现象，避雷器放电计数器的动作情况。

4）下雾天气时，瓷套管有无放电、打火现象，重点监视污秽瓷质部分。

5）下雪天气时，根据积雪融化情况，检查接头发热部位，及时处理冰棒。

6）严重短路故障后，巡视检查引线和接头有无异状，内部声音是否正常。

7）政治任务或重大节日，除按当天天气情况巡视以外，还应增加巡视次数。

8）突发重大自然灾害发生时应将一级总断路器拉闸，并投入备用电源。

8. 正常巡视检查继电器的外部有以下内容：

1）金属盖子漆层应无龟裂、脱皮现象。金属盖子不锈蚀。胶木、塑料或有机玻璃盖子，应无裂纹、破损和变形等缺陷。

2）盖子应上正、上牢、不偏斜、不松动。盖子底座接口应严密、胶垫不老化、不胀出。

3）盖上的玻璃应与盖壳嵌接良好，无裂纹和破损缺陷。玻璃内壁应无潮气凝结，内部无烟雾现象。

4）铅封良好，外壳或玻璃窗应清洁。

5）外部接线柱或接线端子应不松动，接线极性应正确。

6）监视继电器线圈、触点的指示灯应正常。

9. SF_6 断路器运行中主要监视项目：

1）检查并记录如各气室的 SF_6 气体压力及当时环境温度。

2）注意辨别各种异常声音，如放电声、励磁声等。

3）注意辨别外壳、扶手端子等处温升是否正常，如有无过热变色，有无异常气味。

4）检查法兰、螺栓、接地导体的外部连接部分有无生锈。

5）检查操动机构连板、连杆有无脱落下来的开口销、弹簧、挡圈等连接部件。

6）检查压缩空气系统和油压系统中储气（油）罐、控制阀、管路系统密封是否良好，有无漏气、漏油痕迹，油压和气压是否正常。

7）检查结构是否变形、油漆是否脱落、气体压力表有无生锈和损坏、SF_6 气体管路和阀门有无变形，以及导线绝缘是否完好。

8）检查 SF_6 气体监控箱（GMB）门关紧与否，箱内有无受潮、生锈等情况。

9）检查动作计数量的指示状态和动作情况。

10）检查合分指示器及指示灯显示的正确与否。

10. 消弧线圈在运行中的巡视检查与变压器相似，但其重点如下：

1）消弧线圈在运行中要按时检查和记录电感电流和中性点位移电压（应同时注明消弧线圈实际分头运行位置），同时检查和记录三相电压表的变化及气候、系统运行等情况。

2）当系统发生单相接地故障或断线故障时，除应检查和记录消弧线圈的电感电流、中性点电压位移和系统三相电压表及有关继电保护装置外，还应记录故障发生的时间、接地线路名称及保护与重合闸动作情况，以及故障种类（持久性的、间断性的、瞬间性的）、天气等。

3）根据经验，消弧线圈动作时间与季节有很大关系，在大风、鸟害及雷雨（包括雨夹雪）季节消弧线圈动作较为频繁，为此应在频繁动作季节之前，核对网络电容电流的变化，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

检查消弧线圈分头运行位置是否符合规程要求，并根据规定进行实测。

4）在寻找单相接地短路故障或带地线接地运行进行分相检修工作时，2h 之后，应每隔30min 检查一次消弧线圈的上层油温。最高温度不得超过厂家允许值。

11. 断路器大修后验收工作的要点是，大修竣工后验收是在断路器大修调整和电气试验后进行的，并在运行后进行实际巡检。

1）检查大修调整记录、电气试验记录和特性试验记录，检查和测量主要部位数据是否符合标准。

2）检查大修项目和特殊项目的完成情况。

3）检查大修前已知和大修中所需消除的缺陷是否已经消除。

4）本次大修遗留的缺陷及原因。

5）进行外部检查。

6）投入直流主合闸及操作电源，进行手动、电动操作试验。

7）恢复常设遮栏，收拾现场，撤出工作人员，收回工作票。

8）向调度员汇报大修工作已结束，断路器可以合闸送电。

9）做好有关记录，汇报车间和有关部门。

12. 绝缘子铸件与胶合部位裂纹有以下原因：

1）铁质成分或铸造工艺不良，如内部有夹碴、气泡或厚薄不匀等。

2）水泥胶合剂质量不良或化学变质。

3）铸铁件、瓷体及水泥胶合层三者膨胀系数不同。

4）电气安装工艺不当或运行中经受较大的机械应力。

铸铁件裂纹的部位，一般都靠近胶装部分。有的裂纹在巡视检查中可以发现，有的则需要将设备停电，从底盘部分检查，才能检查出来。

（三）一般技术技能

1. 变电所的防水要求是，在雨季时，要防止地面水侵入户内配电装置和电缆沟进水而造成的不应有的事故。

采取的措施是，疏通变电所的排水系统；加装挡水板以防止地面水侵入；电缆沟、建筑墙壁加抹防水砂浆。

2. 变电所防雪是在冬季与防冻雨同时进行的一项工作；若冻雨和雪积聚在高、低压配电装置上，很容易发生接地短路故障，危及安全运行。

防止措施是，变电所开关室等建筑的窗子应加装通风百叶窗，防止雨水和雪花飘入室内；对室外设备上的雪和冻雨要加强监视，必要时，在保证安全的前提下，可用绝缘杆进行小面积排除。

3. 变电所的防火工作很重要。因变电所内好多设备都装有油，在运行中电气设备会产生很多热能，使油受热而外渗，电缆设备的绝缘部分、仪表外壳都是易燃品。另外，在运行中发生短路故障时温度上升很快，很可能造成设备起火，其后果不堪设想。

防止措施是，保持电气设备清洁；在设备区禁止吸烟和放烧明火；经常清扫电缆沟；垒好防火墙，并在现场配足配好消防设备。要使每个值班人员均会使用，并严格遵循防火规定办事。

4. 变电所的防小动物的工作也很重要。近几年，由于小动物而造成的事故不断上升。小

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

动物是指老鼠、蛇、黄鼠狼、猫等，它们一旦进入电气设备区，就会造成短路或接地故障。

防止措施，门窗加装挡板和小眼的铁砂网；变电所内有关的施工结束或间断时，要及时防堵；同时可安放新型的电气捕鼠器和放置毒饵；要勤巡视观察，一旦发现痕迹，要彻底追查，并且不要在变电所内存放和乱丢食物，以免诱入小动物。

5. 判断设备在运行中是否发热，常用的有以下几种方法：①示温蜡片监视方法；②热气流观察法；③色漆变化观察法；④观察霜雪融化情况；⑤观察雨中局部干燥和蒸汽的情况；⑥用蜡棒带电测试的方法；⑦用测温仪带电测试的方法。

6. 常用的示温蜡片有三种，即黄色的、绿色的和红色的。黄色的熔化温度是60℃，绿色的熔化温度是70℃，红色的熔化温度是80℃。

7. 光字牌不亮的原因和一般简单检查方法如下：

1）光字牌本身灯泡故障，灯丝熔断，应更换灯泡。

2）灯具各连接部位断线或接触不良时，要进行必要的测量和紧固。

3）冲击继电器 KIP 是否有故障。

4）控制电源熔断器 FU 是否有熔丝熔断或接触不良现象，可进行检查和更换。

5）时间继电器 KT 触点接触不良或有其他故障。

6）转换开关 SA 是否有故障，引起切换失灵。

7）降压电阻故障，可进行测量检查和更换；查找处理时，可从电源熔断器开始逐步查找。

8. 查找和处理直流接地故障注意事项如下：

1）查找接地点禁止使用灯泡寻找的方法。

2）用仪表检查时，所用仪表的内阻不应低于20000Ω/V。

3）当直流发生接地故障时，应禁止在二次回路上工作。

4）处理时不得造成直流短路和另一点接地故障。

5）查找和处理工作，必须由两人进行，所断线头应做好记录，线头应挂牌做标记，处理结束后应及时恢复。

6）瞬间断电的时间应不超过3s，断开回路前应采取必要的措施，防止直流失电压可能引起有关保护或自动装置误动作。

7）复杂的保护只允许运行人员查找保护盘的端子排处，防止引起保护误动作。

8）带有高频的保护盘，在查找直流接地时，必须按调度命令，停止高频保护。

9）有整流器件的回路，摇测绝缘时，不得给整流器件加压，防止硅器件两端短路。

9. 电力电缆中间接头或终端头故障后，应进行以下现场分析：

1）接头套管或终端匣是否完善，有无水分侵入的痕迹。

2）瓷套管有无碎裂或闪络现象。

3）绝缘胶是否灌满，内部有无空隙，电缆油有无变质现象。

4）导体接续是否完好（对于压接导体，必要时需测量其接触电阻）。

5）缆芯纸绝缘有无水分，在弯曲部分有无损伤。

6）绝缘被击穿或发生闪络的路径。

7）铅（铝）包封的状况。

8）铠装剥切处和附近铅（铝）包的情况。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9）铠装和铅包间的等电位连接情况。

10）分相铅包电缆的屏蔽情况。

10. 电力电缆本体故障后，在现场分析如下情况和内容：

1）线芯导体倒刺、尖角以及绞线折断和不均匀情况。

2）纸绝缘有无水分，纸带上有无皱纹与折痕，各层叠盖是否均匀，间隙有无多次重合，绕包是否过紧过松；浸渍是否充分，绝缘油有无变质或变成蜡状，以及纸带是否干脆，表面有无碳化树枝纹。

3）屏蔽带有无裂断情况。

4）金属护套中有无混杂粒子、氧化物或气孔，压铅（铝）是否均匀，有无明显的接缝，护套有无机械损伤，受振动变形或龟裂、拉裂等现象。

5）金属护套的护层是否正常，沥青浸渍的情况是否良好。

6）铠装层是否包得正确，有无腐蚀或受外力的损伤，铠装的外护层是否完好。

11. 电缆进出墙体孔、楼层孔应堵死。墙体孔的堵塞方法是用两道砖砌起，两道砖之间填放细沙土，细沙土中渗入碎玻璃碴或防鼠药品等。电缆沟盖应完好、不缺少、不断裂，盖板之间的连接缝隙应尽量地小。

（四）微机保护装置注意事项（以 WXH-11 微机保护装置为例）

1. WXH-11 型微机保护插件中距离保护告警灯亮，说明距离保护跳闸出口正电源已为该告警继电器的这一触点断开，失去出口跳闸功能，即相当于距离保护已退出。

2. 总告警灯亮说明保护的某个插件处于不正常状态或与接口插件发生通信关系的接口元件、电缆发生故障，保护在接到巡检令后失去正常的反馈信息。此时，接口插件驱动“总告警”信号灯，并始终使信号继电器动作，通知运行人员处理。此时，只有“总告警”灯点亮，但不闭锁保护。

3. WXH-11 型微机保护装置正常，全部投入运行时，信号插件，告警插件面板上的信号灯均暗灯运行。稳压电源插件面板上的电源指示灯应点亮。高频、距离、零序、重合闸、接口五个插件“运行”灯应点亮，“运行、调试”拨轮均应置于“运行”位置。四个保护插件固化开关均应置于“禁止”位置。接口插件的巡检开关应置于“投入”位置。

4. WXH-11X 微机保护装置在高频通道检测中，发现下列情况之一时，表明收发信机或高频通道不正常：

1）收发信机电源插件 +5V、+15V、+48V、-15V 任一指示灯熄灭。

2）功率放大插件过载指示灯发光。

3）载供电路“锁定指示”灯灭。

4）“裕度告警”、“载供异常”或“通道异常”灯亮。

5）手动检测结果不合说明书要求或现场规程的规定。

发生以上情况时，应向调度报告，申请停用微机高频保护，断开高频保护投入连接片。这时微机保护中高频插件运行灯熄灭，但其运行方式开关仍应保留在“运行”位置，其他保护仍可继续运行。

5. 微机故障录波器的特点：

1）接入量多：单台微机录波器接入模拟量一般在 48～96 路（每路 A、B、C、D 四个信号），开关量为 64～128 个。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）维护调试方便：由于微机录波器本身具有很强的自检、互检功能，使调试工作量和日常维护工作量减至最少。

3）有很高的灵敏度和可靠性：微机录波器兼有模拟量和开关量两种起动手段，且起动后可以将故障前50ms及整个故障过程的波形记录下来。

4）功能齐全：微机录波器能将故障波、数据分析（测距、故障判断、故障前后故障量计算）、打印报告及远传集成为一体。

6. 微机故障录波器在运行中应注意：

1）微机故障录波器面板时钟应行走正常。

2）各指示灯明/暗应正确。

3）每月至少手动操作录波器一次，检查录波器动作是否正常，波形是否完好。

4）对于没有安装半导体固化盘的录波器，严禁在软盘驱动器中插入非录波器专用软盘，防止病毒的侵入。如已使用升级的录波器，应严格按其要求使用，不得随意使用。

（五）安全常识

1. 所谓跨步电压触电，是指人进入接地电流的散流场时的触电。由于散流场内地面上的电位分布不均匀，人的两脚间电位不同，这两个不同电位的电位差称为跨步电压。在跨步电压的作用下，电流便通过人体，造成对人体的危害。

2. 发生人体电击事故时，通过人体的电流大小对人体的受害程度起很大作用。若通过人体的工频交流电流不超过0.01A，直流电流不超过0.05A，对人体基本上是安全的。电流大于上面提到的数值，就会使人感觉麻痹和剧痛，并且呼吸困难，甚至自己不能摆脱电源，有生命危险。通过人体的电流不论是交流还是直流，大于0.1A时，只要很短的时间就会使人呼吸窒息，心脏停止跳动，失去知觉而死亡。

通过人体电流的大小，取决于外加电压和人体的电阻。人体的电阻是因人而异的，一般为800～1000Ω。皮肤潮湿、有损伤、带有导电性粉尘等都会降低电阻数值。经验证明，在一般场所，对于人体只有低于36V的电压才是安全的。

3. 发生人体触电时，电流通过人体的持续时间越长，人体电阻降低越多，后果越严重。另外，人的心脏每收缩、扩张一次，中间约有0.1s间歇，试验证明，这0.1s的间歇对电流最为敏感。电流通过人体的持续时间越长，与心脏最敏感的间歇重合次数越多，所以危险性越大。

4. 水冲洗电气设备操作规程及注意事项

1）水冲洗需三人进行，其中一人负责指挥和监护，一人负责移动水管，一人负责操作水枪。

2）使用水质应经化验检查合格。

3）水冲洗应在晴天进行，气温应在0℃以上，风力应不大于3～4级。

4）水冲洗时，操作人员应处在被冲洗设备的上风位置。冲洗的水柱角度（水柱与被冲物体中轴线之夹角）以90°最佳，如果不能做到，也可60°，但绝不允许0°。

水冲洗设备的相位顺序应与风向相反，并一相一相进行，防止水柱同时接触两相。对于垂直安装的绝缘子，应自下而上逐个瓷裙或逐片裙瓶进行。对于水平装置的绝缘子，应从导线端逐个向接地端冲洗。高层安装的配电装置，应先冲洗低层设备，后冲洗高层设备。冲洗直径较大的瓷套，应用两个水枪在不同角度对着一个瓷套进行冲洗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）水枪口与带电体之间要保持规程规定的安全距离。

6）水枪出水口的水柱要有足够的压力。规程规定喷嘴内径为8～12mm，水压为0.5～1.0MPa。

7）注油设备进行水冲时，应尽量避免将水打入设备内部的油中。冲洗隔离开关时，应防止水柱将处于合闸位置的隔离开关冲开。单位爬电距离严重不足的设备应严禁水冲。

8）悬挂式绝缘子在水冲前，应确认无零值瓷绝缘子时才可进行。支柱式棒形绝缘子在水冲前应确认其绝缘良好、无断裂缺陷时才可进行。

二、低压电器及动力装置

低压电器及动力装置是运行维护电工最常遇到的技术问题，也是运行维护中的重点。低压电器及动力装置最主要的是掌握电动机及其起动控制装置的安装调试、运行维护、故障分析及修理等技术技能，这方面的技术技能很多，这里就重点内容讲述，其他相关内容详见机械工业出版社出版的《电气工程安装及调试技术手册（第3版）》一书。

（一）电动机常用起动控制装置及线路

笼型电动机的起动分直接起动和间接起动两种，其中，间接起动又有自耦减压器起动、Y－△起动和串联电抗起动等几种。绕组转子电动机的起动都采用转子串联电阻或频敏变阻器起动。

1. 直接起动

直接起动的电路如图2-2所示。

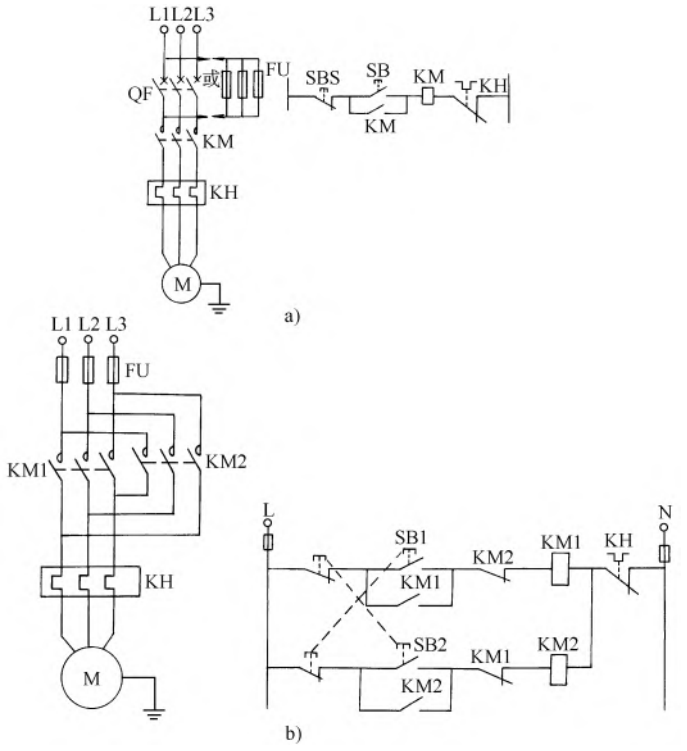


图2-2 电动机的直接起动电路

a）直接起动 b）可逆直接起动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）由图 2-2a 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 的常闭触头和 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。有关熔断器、热继电器选择参见本书第四章相关内容。

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 2-2b，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 2-2a，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 2-3 所示。

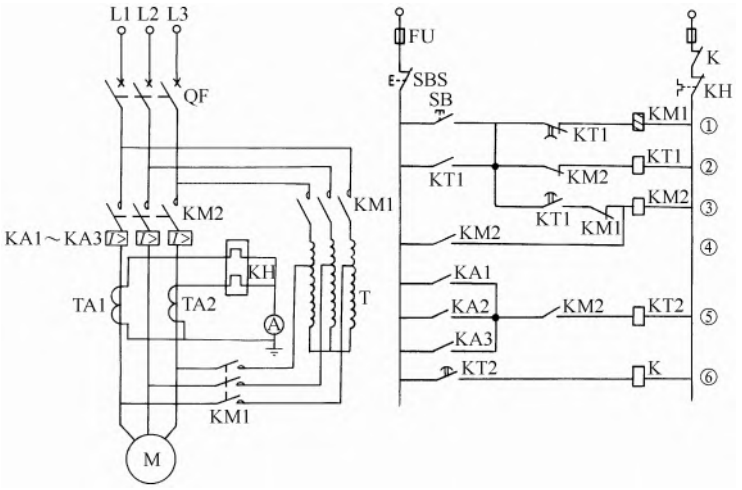


图 2-3　电动机自耦减压器起动控制电路

1）将 QF 合上，主电路有电，准备起动。

2）按动 SB，①控制电路被接通，六极接触器 KM1 经 SBS、SB、时间继电器 KT1 常闭触头、KH 常闭触头和中间继电器 K 的常闭触头得电吸合，电动机 M 经 KM1 的主触头与自

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

耦变压器 TA 接通，电动机得到了经自耦变压器 T 减压后的较低电压（电源电压的 65% 和 80%）而小电流（较直接起动的起动电流）、低转速起动。同时②控制回路 KT1 经 KM2 常闭触头得电吸合并开始延时；KT1 瞬时常开触头闭合将 SB 短接，实现自保。在这个过程中，电流继电器 KA 和热继电器 KH 没有接入电路，因此不会发生起动时过载而误动作。

3）当 KT1 到达整定时间时，①回路的常闭触头 KT1 打开，使 KM1 失电。KM1 失电后 T 退出运行且被 KM1 隔离，电动机惯性运转；而③回路的常开触头 KT1 闭合，同时 KM1 的常闭触头复位使 KM2 得电吸合，④回路的常开触头 KM2 闭合自保，⑤回路 KM2 常开触头闭合，为 KT2 得电作准备。KM2 将电动机接入额定电压运转。KM2 得电后，②回路的常闭触头复位打开使 KT1 失电，其触头复位。

4）当需要停车时，按动 SBS，控制回路失电，KM2 释放切断电源，电动机停止。

5）当电路或电动机内部短路时 QF 跳闸，切断电动机电源，电动机停止；当电动机电流较大超过 KH 整定值 1.1 ~ 1.5 倍额定电流时，KH 动作，使控制回路失电，进而电动机停止；当电动机某相电流超过 2 倍额定电流时，由过电流继电器的 KA1 ~ KA3 常开触头组成的或门电路均使 KT2 得电吸合，只要过电流时间超过 KT2 整定值时，其常开触头 KT2 闭合，⑥回路 K 吸合，使控制回路常闭触头打开而失电，KM2 失电，电动机停止，保护了电动机。图 2-3 中电流表 A 是为测量中相电流而设置的，能测量正常运行时的电流以便监视运行。手动操作的起动器只是用手动触头代替 KM1 和 KM2，人眼观察电流表或转速代替 KT1。

3. Y-△起动器的间接起动（星-三角起动）

Y-△起动器的起动电路如图 2-4 所示。

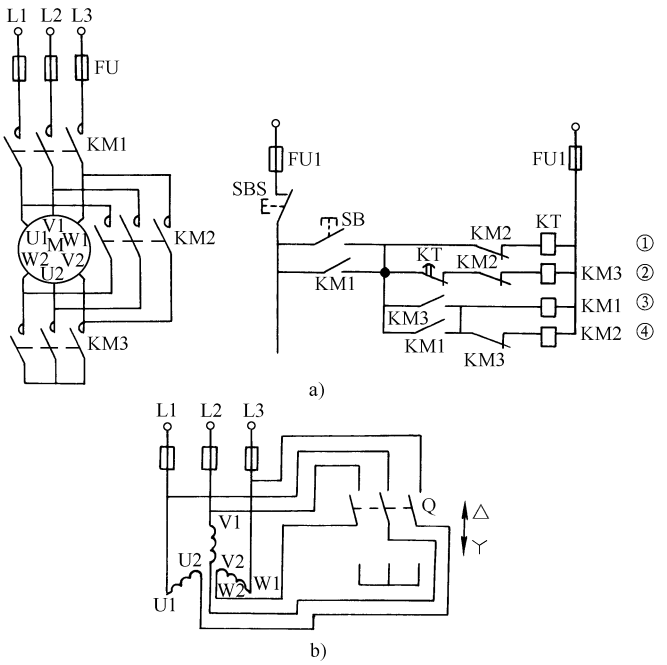


图 2-4 电动机Y-△起动控制电路

a）自动电路 b）手柄操作

1）将 FU、FU1 装好后电路有电，准备起动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）按动 SB ①控制回路的时间继电器 KT 经 KM2 常闭触头得电吸合并开始计时；②控制回路的 KM3 经 KM2 常闭触头、KT 延时打开的常闭触头和 SB 得电吸合，KM3 主触头闭合将 M 的 U2V2W2 引出端封为星点；③控制回路的 KM1 经已闭合的 KM3 常开触头和 SB 得电吸合，使电动机 U1V1W1 接入主电源，M 作星形起动；④控制回路的 KM2 不会吸合，因为 KM3 常闭触头已打开，KM2 和 KM3 是互锁的，不会同步吸合。

3）KT 经调整后的起动时间到达后，其②回路的常闭触头打开，KM3 失电，电动机靠惯性运转，而 KM3 的常闭触头复位，使 KM2 ④回路得电吸合，KM2 的主触头将电动机按 U1/W2、V1/U2、W1/V2 接为三角形，电动机继续运转，完成起动过程。KM2 吸合后其①回路的常闭触头打开，KT 失电，②回路的常闭触头也打开。

4）发生短路时，FU 熔断，切断电动机电源。容量较大的电动机也可按图 2-3 设置断路器，电流继电器、热继电器进行保护。

5）当需要停车时可按动 SBS 切断控制电源，KM1、KM2 失电，电动机停止。

4. 串联阻抗的间接起动

串联阻抗的起动电路如图 2-5 所示。

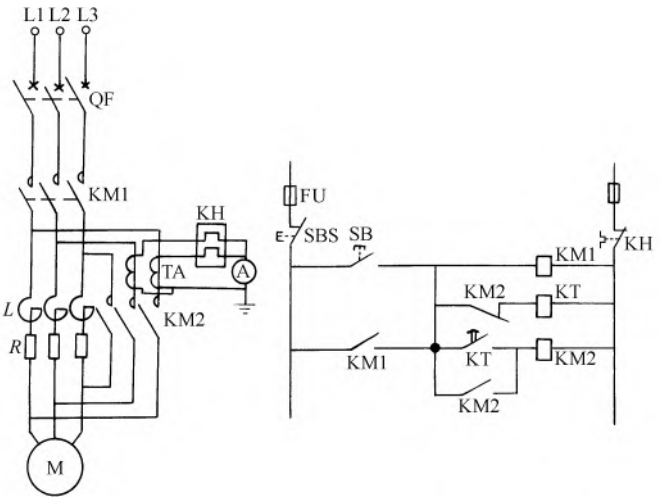


图 2-5　电动机串联阻抗起动控制电路

1）闭合 QF，KM1 上闸口有电，M 准备起动。

2）按 SB，KM1 得电吸合，M 在串联阻抗 *R* 和 *L* 下起动，电流较小；同时 KT 得电并开始延时；KM1 的常开触头将 SB 短接实现自保。

3）到达 KT 整定时间后，其常开触头闭合，将 KM2 接通，KM2 主触头闭合将 *R*、*L* 短接，电动机完成起动，KM2 常开触头闭合实现自保，KM2 常闭触头打开使 KT 失电。

4）系统短路或过载时，QF 或 KH 动作，使电动机脱离电源。TA 和 KH 设置在 KM2 的回路里，使电动机起动时 KH 不误动。

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 2-6）

1）闭合 QF 和 S，准备起动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

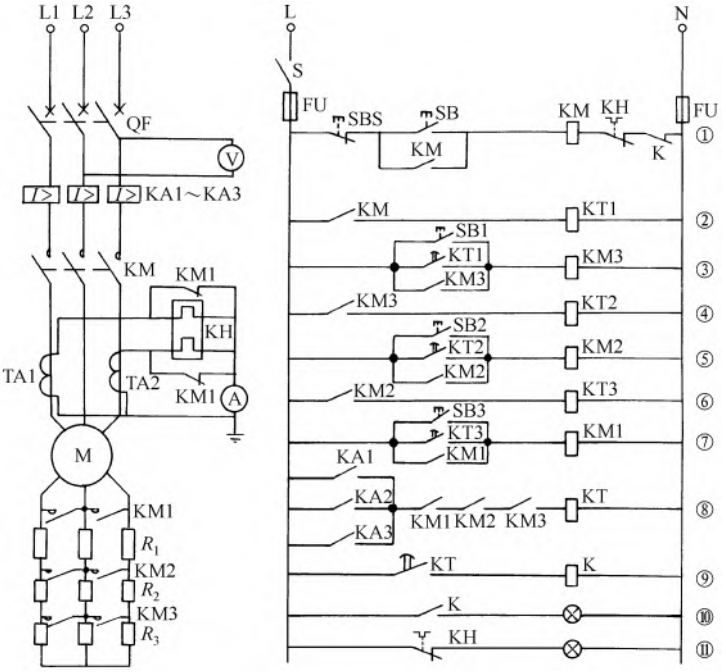


图 2-6 绕线转子电动机电阻起动控制电路（①～⑪为回路标号）

2）按动 SB，KM 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控制电路（见图 2-7）

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回路的常闭触头看出），④回路的常闭触头立即打开，为 KM2 得电作准备。另外，指示灯 HLR 点亮，表示控制回路有电，可以起动。

2）按动 SB1，KM1 经 SBS、SB1、KM4 常闭触头、KH 常闭触头得电吸合，其主触头闭合，电动机转子在串联频敏变阻器 L 下慢速起动，其自保触点 KM1 闭合，使 SB1 断开后保持①回路为通路。②回路中 KM1 闭合，KM3 得电吸合与 KM1 同步，③回路中 KM3 常闭触

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

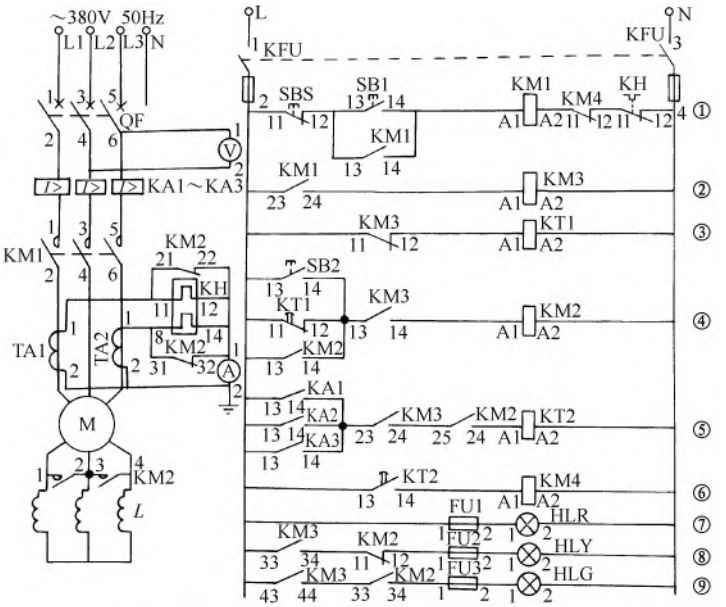


图 2-7　绕线转子电动机频敏变阻器起动控制电路

头打开，使 KT1 失电并开始延时。

3）为 KT1 的整定时间（起动时间）达到时，④回路的 KT1 常闭触头闭合，这时 KM2 得电吸合（KM3 常开触头已闭合），其主触头闭合将 *L* 短接，电动机全速运转，完成起动过程。由于 KM2 的常闭辅助触头并接在 KH 上，因此起动过程中的较大起动电流不会使 KH 动作。起动过程中指示灯 HLY、HLG 进行切换，表示系统的运行方式。

4）当系统发生短路时，QF 动作，切断电源；KA1～KA3 有一动作时⑤回路为一通路，KT2 吸合并延时，超时后⑥回路的常开触头闭合，使 KM4 动作，串联①回路的常闭触头打开，使 KM1 失电，电动机停止；起动后并联在 KH 上的常闭触头 KM2 打开，若运转中出现电流过大 KH 动作，同样切断①回路的 KM1，电动机停止。需要停车时可按动 SBS。SB2 的设置是为了手动起动使 KM2 得电的。

上述电路中时间继电器 KT 动作时间得整定，是用手表或秒表标定的，第一次起动时先将其定的大一些，起动后即开始计时，当电流表的读数降到大约为额定电流的 80%～90% 时的一段时间即为整定时间，然后空试控制电路将其整定在这个时间值上。然后正式起动，再进行微调，最后将其锁定在起动时间上。图 2-7 中 KT2 的整定时间（允许过电流时间）应比 KT1 的整定时间（起动时间）略大一点，以保护起动时不动作。

6. 三台电动机循环定时工作控制电路

由于系统工艺要求，对电动机的控制有一定要求，如三台电动机为循环定时工作，三台电动机容量较小，均采用直接起动，控制电路如图 2-8 所示。

（1）主回路的设置及功能

1）主回路设置一只低压断路器 QF，作为三台电动机的总开关，并作为短路保护，每台电动机均由交流接触器直接起动。

2）每台电动机设置热继电器 KH，作为过负荷保护和断相保护。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

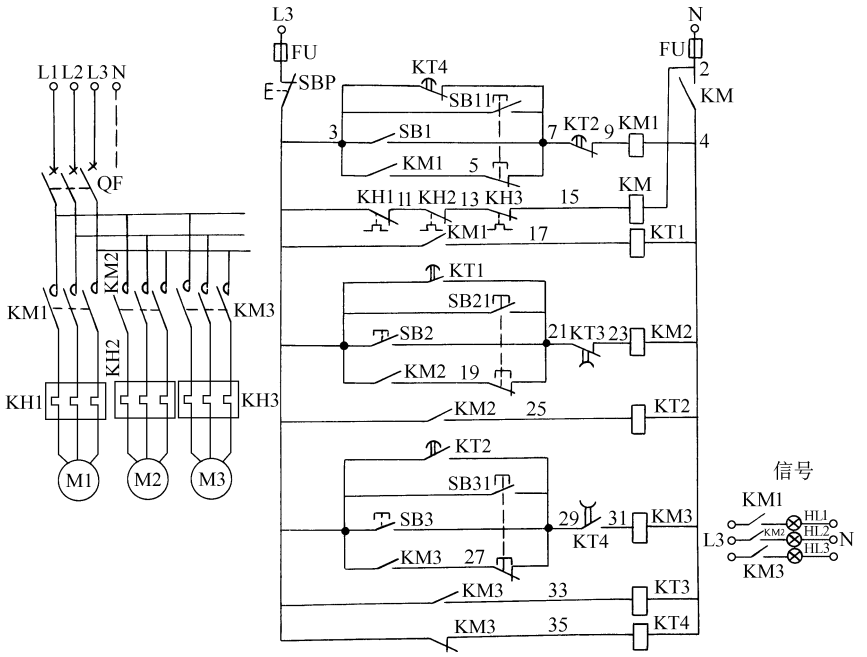


图 2-8 三台小型电动机循环定时工作线路图

（2）控制回路的功能和控制原理

1）起动前先将熔断器 FU 装好，KM 得电，其常开触头 KM（2-4）闭合，控制回路有电，时间继电器 KT4 得电，其常闭触头 KT4（3-7）打开，常开触头 KT4（3-29）闭合，为 KM1 自动得电、KM3 自动失电作准备。

2）起动时将断路器 QF 闭合，接触器 KM1～KM3 上闸口有电，为起动作准备。

3）按下起动按钮 SB1、KM1 得电，电动机 M1 起动，其常开触头 KM1（3-5）闭合自保，常开触头 KM1（3-17）闭合，使时间继电器 KT1 得电并开始延时。

4）到达 KT1 整定时间后，其常开触头 KT1（3-21）闭合，KM2 得电，电动机 M2 起动。KM2 常开触头（3-19）闭合自保，常开触头 KM2（3-25）闭合，使时间继电器 KT2 得电并开始延时。

5）到达 KT2 整定时间后，其常开触头 KT2（3-29）闭合，KM3 得电，电动机 M3 起动，同时 KT2 常闭触头（7-9）打开，KM1 失电，M1 停转同时 KT1 失电，其触头复位，为下次动作作准备。KM3（3-27）常开触头闭合自保，常开触头 KM3（3-33）闭合，使时间继电器 KT3 得电并开始延时。常闭触头 KM3（3-35）打开，使时间继电器 KT4 失电并开始延时。

6）到达 KT3 整定时间后，其常闭触头 KT3（21-23）打开，KM2 失电，M2 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，M3 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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接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

由于系统工艺要求，对三台电动机的控制为顺序起动、顺序停止工作制，因容量较小，可采用直接起动，顺序控制电路如图 2-9 所示。

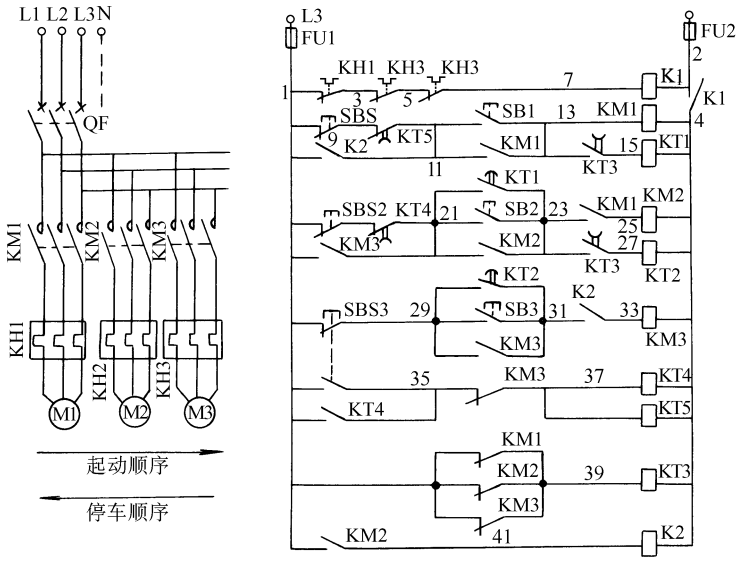


图 2-9　多台电动机顺序控制电路原理图

（1）主回路的设置及功能

主回路的设置及功能同图 2-8。

（2）控制回路的设置及控制原理

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 K1 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 M2 和 M3 不能先行起动，只能先起动 M1。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，M1 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 M2 自动起动作准备。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，M2 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，常开触头 K2（1-11）闭合将 KT1 失电回路封死，使 M1 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 M3 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，M3 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，M1、M2 和 M3 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（2-1）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 M3 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，M2 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，M3 停止，这样 M3、M2、M1 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 常开触头（1-21）并联在 KM2 的断电接点上，K2 常开触头（1-11）并联在 KM1 的断电接点上。另外，SBS3 是双联按钮，常开常闭触头同时运作，但常闭先于常开断开。

8. 215kW、10kV 电动机直接起动电路

高压电动机有直接起动、串联电抗起动和转子串联频敏变阻器起动，后两种主要是为了减小起动电流，其保护和联锁与直接起动相同。图 2-10 是 215kW、10kV 电动机起动控制原理图，由图可知以下内容。

（1）主回路的设置和功能

1）主回路设置隔离开关 QS 和断路器 QF，由 QF 直接起动。

2）主回路设置两组电压互感器 TV1 和 TV2，作为线路电压保护继电器及测量仪表电压线圈的电压信号源。同时设置控制变压器 TC，为整流装置 UR 提供电源。

3）主回路设置两组电流互感器，其中 TA1 作为线路的过电流保护，TA2 作为测量仪表电流线圈的电流信号源。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

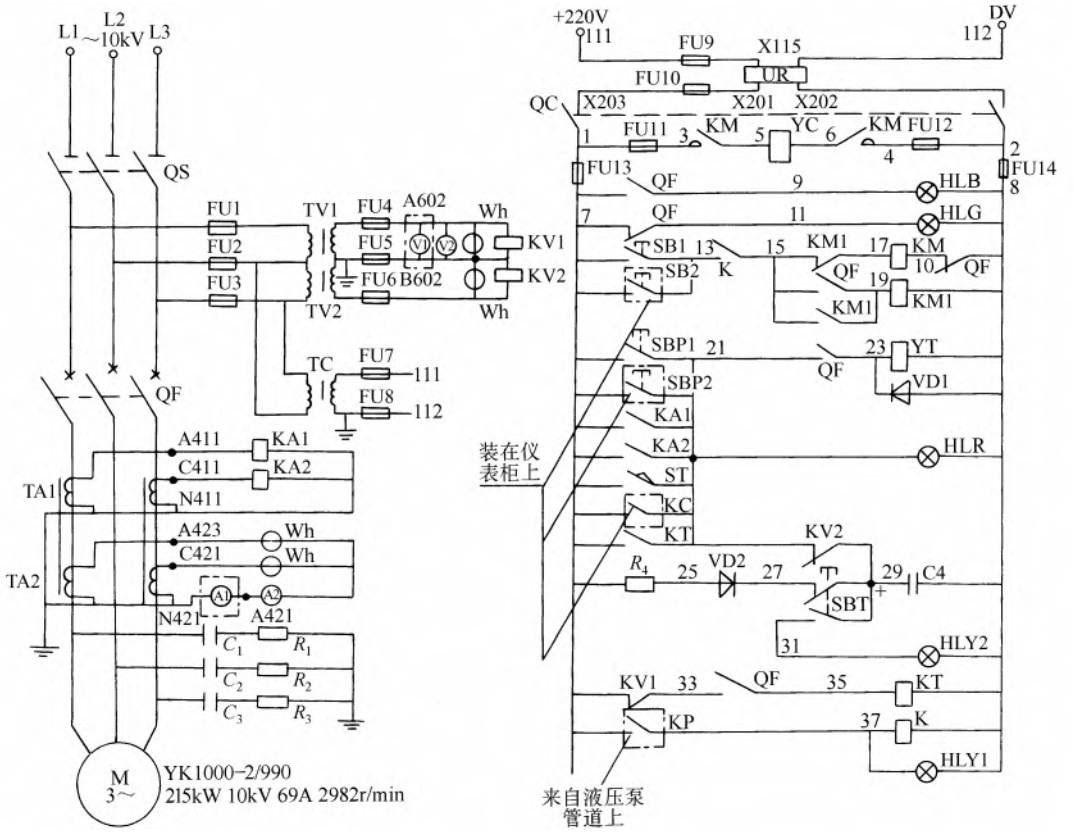


图 2-10　215kW、10kV 交流异步电动机起动控制电路图

4）主回路设置阻容吸收装置 $C_1 \sim C_3$ 和 $R_1 \sim R_3$，当停车时，将高压线圈产生的自感过电压吸收。

（2）控制回路的功能和控制原理

1）控制回路采用直流 220V 电源，由 UR 供给。

2）起动时，先闭合主回路的 QS，电压表有指示，同时闭合组合开关 QC，控制回路有电。

3）起动液压泵，并使系统油压达到额定值，油压继电器 KP 动作，其触头 KP（7-37）闭合，使中间继电器 K 得电吸合。K 得电后，其触头 K（13-15）闭合，为起动作准备。油压继电器装设在液压泵管道上。

4）按动常开按钮 SB1，直流接触器 KM 得电吸合，其主触头 KM（3-5、6-4）闭合，断路器的合闸线圈 YC（装在断路器上）得电吸合使断路器合闸，电动机全压起动。

5）电动机起动时电压下降，电压继电器 KV1、KV2 欠电压释放，其触头 KV1（7-33）复位闭合，时间继电器 KT 得电，但其动作时间大于起动时间，所以触头 KT（7-21）不会动作；KV2 触头（21-29）复位闭合，把电容器 C4 并联于跳闸线圈 YT 上，因此起动时虽然电流继电器 KA1、KA2 动作，但电容两端电压不能突变、保持 YT 不动作，因此电动机正常起动。

6）电动机起动后，断路器辅助触头 QF（15-19）闭合，KM1 得电，其常闭触头（15-17）打开，常开触头（15-19）闭合使其长期得电自保，使 KM 不能发生跳跃，KM1（15-17）和 QF 辅助触头（10-8）使 KM 脱离电源，只有它们复位后，KM 才能重新得电起动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）电动机起动后，KV1、KV2 正常吸合，其常开触头打开。KV2（21-29）打开后，电容器 C_4 为一通路，C_4 充电，R_4 和 VD2 是限制充电电流的，按钮 SBT 是 C_4 放电按钮，按动 SBT，C_4 通过 HLY2 放电，并能鉴别 C_4 的好坏。

8）与跳闸线圈（装在断路器上）串接的 7 个并联的常开触头均为跳闸输入信号，其中 SBP1、SBP2 是停车按钮，SBP2 装在仪表柜上；KA1、KA2 是过电流信号触头，电动机起动后电流超过 KA1 或 KA2 的整定电流（一般为 1.1 ~ 1.25 倍额定电流）便动作，使 YT 得电跳闸；行程开关 ST 是装设在电动机轴上测量轴位移的，轴位移超过允许值时 ST 便动作，使 YT 得电跳闸；中间继电器 KC 是来自仪表柜的或门电路，见图 2-11，当电动机或设备各部的温度超过允许值时 KC 动作，使 YT 得电跳闸；时间继电器 KT 是测量欠电压时间超过允许值时 KT 动作，使 YT 得电跳闸。电动机运行时，只要有一个跳闸信号输入，电动机便跳闸停车，保护电动机。信号灯 HLR 与 YT 并联，是表示跳闸信号的。二极管 VD1 是为 YT 失电后提供放电回路的。

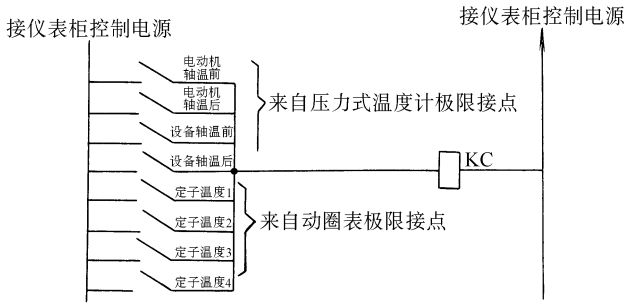


图 2-11　仪表柜上动作信号的或门电路

9）信号灯 HLB、HLG 是表示电动机运行状态的，HLY 是表示油压信号的。

10）高压电动机一般都设置仪表监控柜，与起动柜并列，并将电流表、电压表、起动按钮、停车按钮引至仪表柜内，把仪表柜的控制触点引到控制上。

9. 多台电动机的联锁起动及控制电路

多台小型电动机传动的系统，由于设备的要求，如输煤廊的带输送机，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 2-12 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动合辅助触头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动合辅助触头并联在即将停止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。

10. 延边三角形起动及控制电路

如图 2-13 所示，起动时，KM1 和 KM2 吸合，定子绕组一部分接成△联结，总体上接成Y联结，电动机在减压后起动，当转速或电流达到近似额定值时，KM2 释放，而 KM3 吸合，并通过 KM1 将电动机接成△联结，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

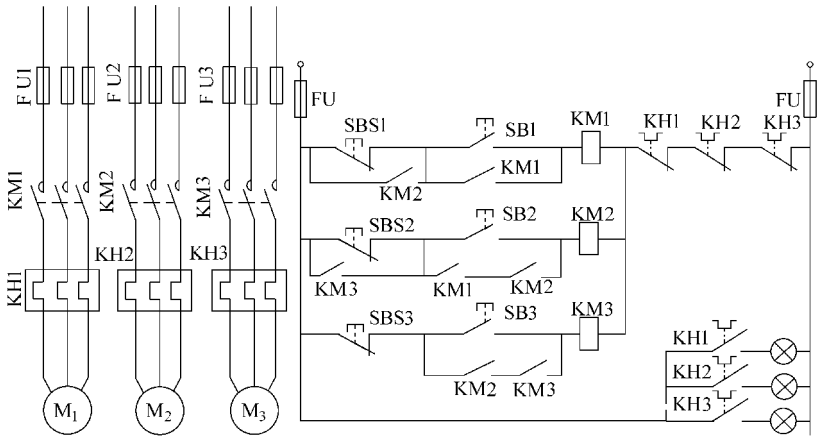


图 2-12　三台电动机的联锁控制电路

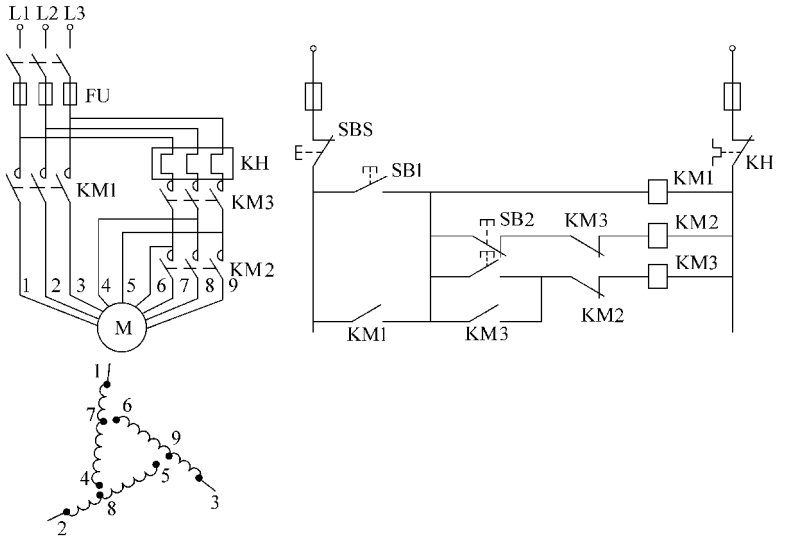


图 2-13　电动机延边三角形起动控制电路

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，但是由于电动机构造不普及，也限制了它的应用。图中 KH 的整定应按相电流整定。

11. 多速电动机的起动及控制电路

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。

1）双速电动机的起动控制电路如图 2-14 所示，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 KM1 吸合，电动机接成△联结 4 极，快速时 KM1 断开，KM2 吸合，电动机接成双丫联结 2 极。KM2 为 6 极接触器。

2）三速电动机的起动控制电路如图 2-15 所示，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 KM1 吸合，电动机接成△联结，中速时只有 KM2 吸合，电动机接成丫联结，高速时只有 KM3 吸合，电动机接成双丫联结。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

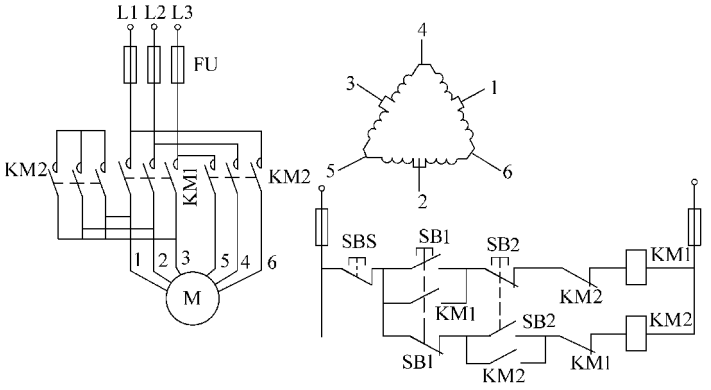


图 2-14 双速电动机的起动控制电路

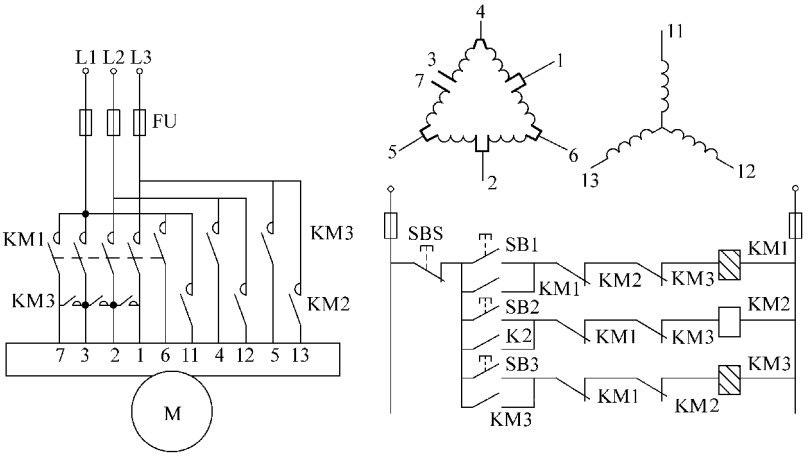


图 2-15 三速电动机的起动控制电路

3）四速电动机的起动控制电路如图 2-16 所示。四速电动机有 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，且控制回路有联锁装置，杜绝误动作。接触器组 K1 吸合时，电动机接成⚠联结 4 极，接触器组 K2 吸合时，电动机接成 2△联结 6 极，接触器组 K3 吸合时，电动机接成⚠联结 8 极，接触器组 K4 吸合时，电动机接成 3 ⅄联结 12 极。

由图可见，接触器组的同步性必须良好可靠，包括辅助触头在内，必须经试验合格。

12. 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，图 2-17 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

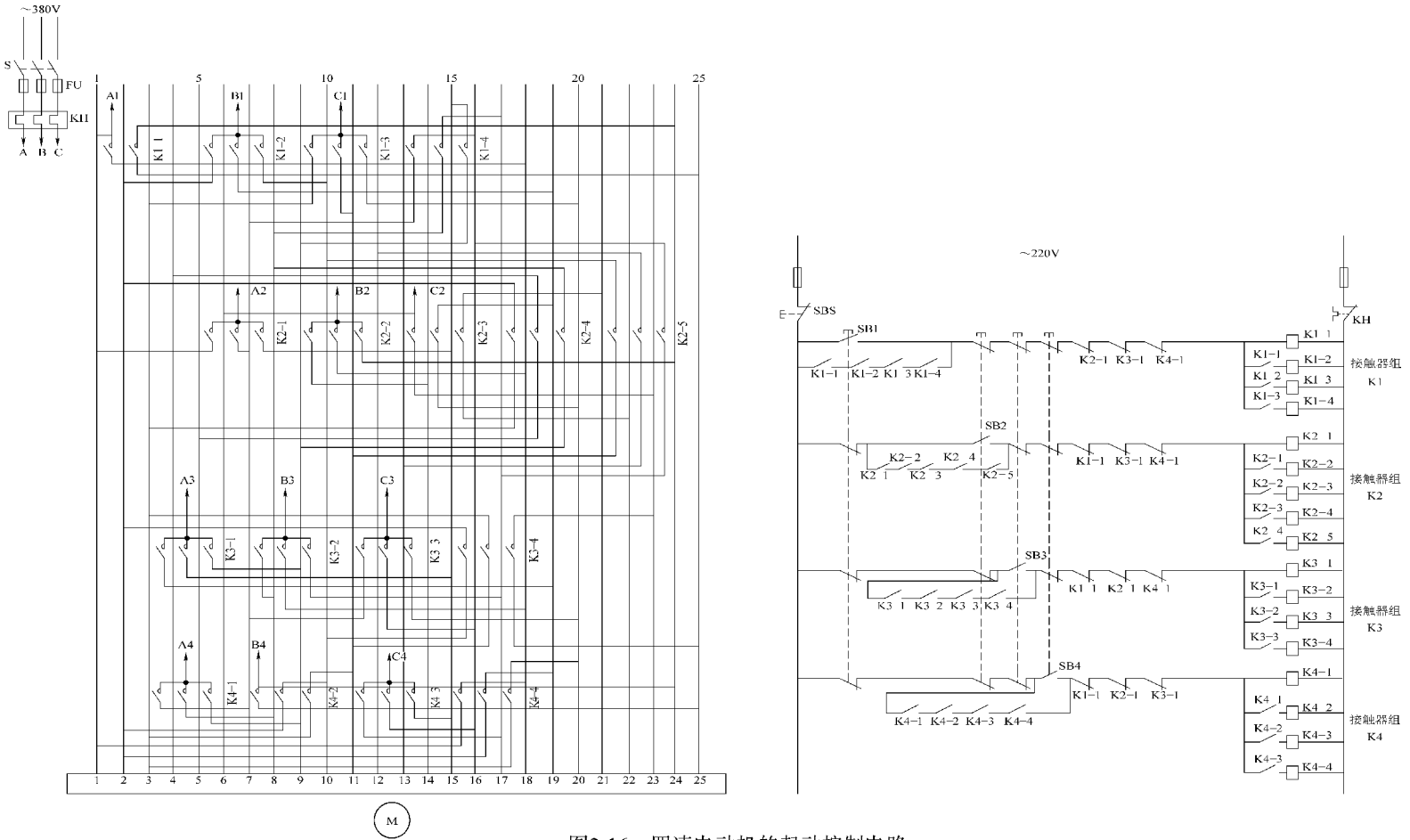


图2-16　四速电动机的起动控制电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

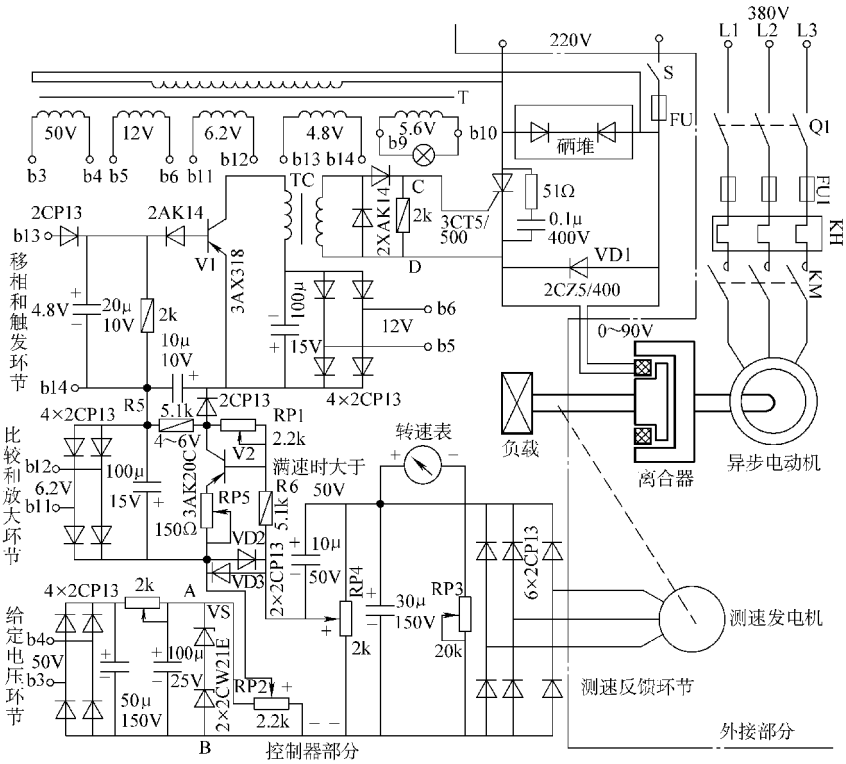


图 2-17 电磁调速电动机的起动控制电路

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 V2 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，晶闸管的触发延迟角 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 V2 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，晶闸管的触发延迟角 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，既可在输出端 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，手转动电动机转动，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绕组的电压，应和图中标注相同。

13. 电动机常用的几种辅助电路

1）机械制动电路：如图 2-18 所示，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

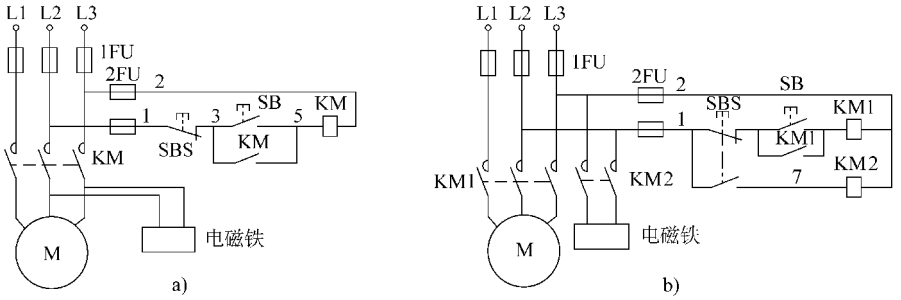


图 2-18　电磁抱闸制动控制电路

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

2）能耗制动电路：如图 2-19 所示，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：如图 2-20 所示也叫做零序保护，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。实测时可人为地将其电源断相，而测量中性点电压，如图 2-21 所示。电动机正常运转时，操作 SBS2 即时读取电压表的读数，操作时间越短越好。

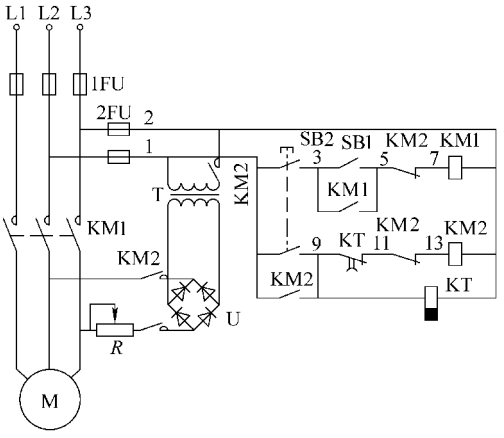


图 2-19　能耗制动控制电路

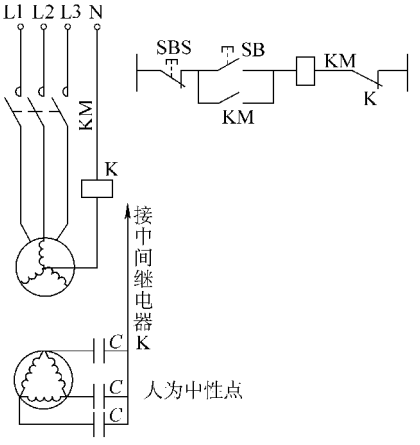


图 2-20　断相保护电路

4）具有点动功能的自动往返电路的调整：如图 2-22 所示，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。

14. 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减压起动等几种；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。内容较多，篇幅较大，详见机械工业出版社出版的《怎样阅读电气工程图（第 3 版）》一书。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

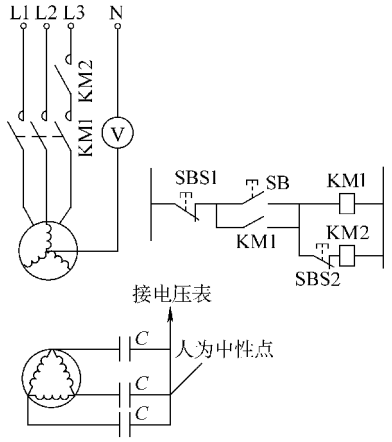


图 2-21 断相保护的调整

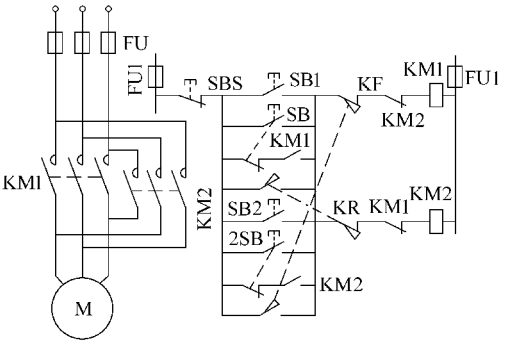


图 2-22 具有点动功能的自动往返电路

15. 单相电动机起动控制电路

单相电动机的控制电路较为简单，一般用单相小型断路器或小型负荷开关进行，只设短路保护，如图 2-23 和图 2-24 所示。也可用接触器或中间继电器控制，如图 2-25 所示。

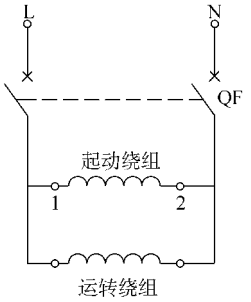


图 2-23 单相电动机断路器起动线路

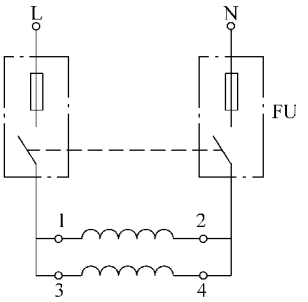


图 2-24 单相电动机负荷开关起动线路

需要进行正反转控制的单相电动机可用接触器或中间继电器进行，如图 2-26 和图 2-27 所示，由图可知改变运转绕组或改变起动绕组的头尾即可改变电动机转向。

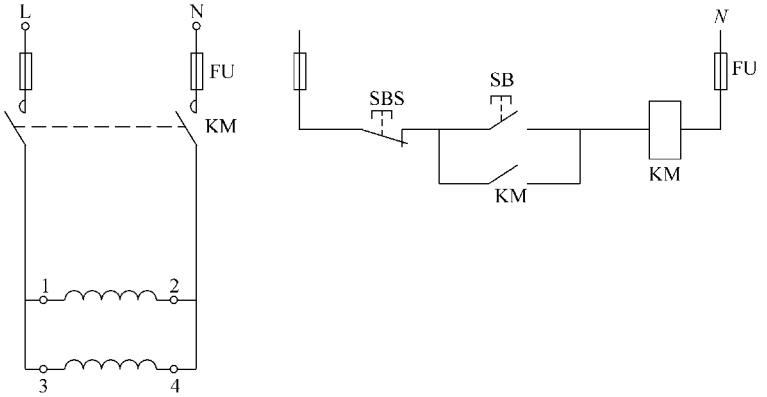


图 2-25 单相电动机接触器或中间继电器起动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

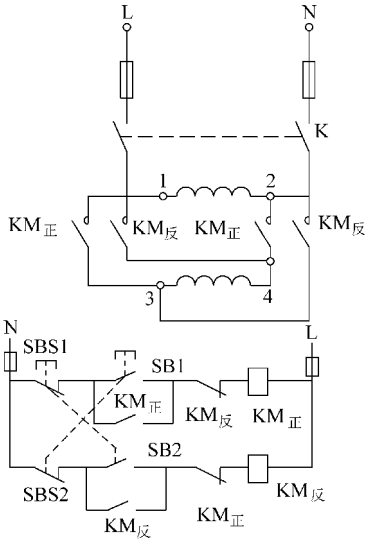


图 2-26　单相电动机正反转控制电路（一）

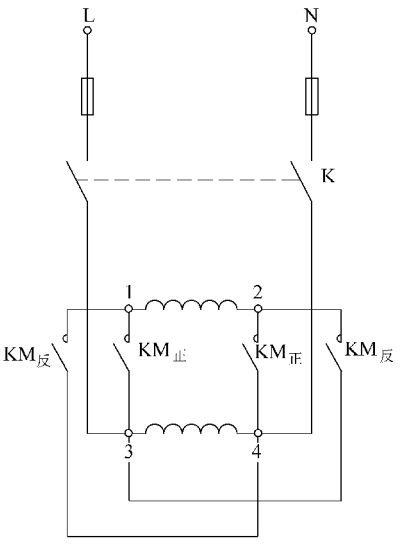


图 2-27　单相电动机正反转控制电路（二）（主回路）

（二）电动机运行故障的分析

（1）电动机发生下列情况之一者应立即停止运行

1）电动机或起动器内冒烟起火。

2）电动机剧烈振动，危及安全运行。

3）轴承温度超过允许最高温度值。

4）电动机温度超过允许值且转速下降。

5）单相运行。

6）电动机内部发生撞击或扫膛。

7）电动机堵转运行。

8）电动机声音不正常、吼叫、绞磁声。

9）电动机转速不正常时等。

（2）运行中的电动机发生故障后的处理程序

1）切断电源并拆下传动带或解开联轴器。

2）检查电源电压是否正常。

3）检查起动设备是否正常，保护装置及空投试验是否正常。

4）电动机驱动的设备是否正常，能否盘车，有无卡阻。

5）电动机有无故障，有无断线、碰壳，直流电阻三相是否相等，绝缘电阻是否正常；有无局部发热烫手。

6）电动机轴承是否损坏卡住，润滑脂是否干枯、变质或严重缺油，手能否转动电动机。

7）打开电动机端盖，检查定子有无烧焦、烧断，转子铜条断裂及扫膛。

8）电动机是否空载运行，空载电流三相是否相等且近似为额定电流的 1/3，空载运行是否正常等。

9）没有找出原因时，不得强行起动。

10）电动机及起动器周围温度是否过高等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）电动机起动时的故障判断　电动机起动后，电动机不转、达不到全速、“嗡嗡”声严重且不转、起动困难或有焦煳味、打火、冒烟等异常现象，这时应立即将电源切断，并检查原因，原因可能是：

1）电压电源太低或断相。

2）定子回路有断线现象。

3）转子回路断线或接触不良。

4）电动机被拖设备或机械卡阻。

5）转子与定子相碰扫膛。

6）负荷太重。

7）电动机内部有局部短路现象。

8）电动机绝缘电阻太低。

9）起动设备故障或起动设备选择不当或操作有误。

10）电动机绕组极性或接线方式有误、电动机平衡性能不良或电动机与被拖设备不匹配等。

（4）电动机运行中产生过热的原因

1）电压、电流或转速不正常。

2）负荷太重或过负荷时间太长。

3）内部错误接线或内部局部短路。

4）绕组包扎不紧或浸漆不充分，绝缘材料之间存在空隙。

5）绝缘电阻太低，漏电严重。

6）周围空气温度太高或通风不良。

7）轴承损坏或严重缺油或装配时配合不良。

8）传动带过紧或联轴器装配不好。

9）单相运行或通风槽堵塞。

10）电刷与集电环不匹配、质量低。

11）风叶故障。

12）电动机与负载不匹配等。

（5）电动机集电环上严重冒火的原因

1）电刷压力调整不均匀。

2）电刷与引线接触不良。

3）集电环表面不平、有麻点、砂眼或有污垢。

4）电刷选择不当，质量低。

5）维护不当，长时间不清扫检查。

6）检修质量低，刷架调整不当。

7）电刷在刷握内被轧住。

8）电刷与集电环不匹配等。

（6）电动机振动太大的原因

1）转子不平衡。

2）带轮不平衡或轴孔偏小。

3）轴头弯曲。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）被拖设备不平衡或偏小。

5）电源质量不良。

（7）电动机运行时电流不稳定的原因

1）绕线转子电动机一相电刷接触不良。

2）绕线转子电动机集电环短路装置接触不良。

3）绕线转子电动机转子一相断路。

4）电动机转子断条或起动设备某相接触不良。

5）所带负载不稳定，或电源质量不良。

（8）电动机运行时声音异常的原因

1）定子与转子相碰。

2）电动机单相运行。

3）转子风叶碰壳。

4）转子与绝缘纸摩擦。

5）轴承严重缺油。

6）轴承损坏。

7）绕组接线有误。

（三）小型电动机的修理

电动机的线圈烧毁后一般采用“照猫画虎”的方法进行更换，因此记录原线圈的数据则尤为重要。记录的数据主要有：额定功率、转速、电压、电流，线圈个数、匝数、线径、节距（两边所跨槽数）、大小形状几何尺寸等。这些数据掌握了则可按其绕制相同的新线圈并把它置于定子槽内，然后按照常规的接线规则进行接线，即可将电动机修好。

1. 准备

1）按照前述的方法将电动机解体，同时量取线圈伸出槽口部分的长度。绕制线圈时伸出槽口部分的长度必须与原线圈相同，若较原来长者，则端盖装配困难并易产生短路；若较原来短者，则槽口部分易被铁心划破，使绝缘性能降低而短路。

2）将定子直立，下部用两块砖垫起来，并使砖与砖之间有一定的空隙。定子中间放置干燥木材，并点燃后将线圈的绝缘烧坏。点燃时火力不应太大，应慢火且时间较短，以免将线圈烧化或使定子铁心受热过度而使磁性下降。烧完后小心取出线圈，至少保留一只完整的线圈且不得损坏，并记下每个槽中线圈边放置的个数（是1还是2）。然后用布、毛刷或金属刷子将槽内外污物清除干净，任何时候不得用液体清洗。烧烤时要慢火温火，不得急于求成。

3）测量旧绕组有关数据，将保持完整的那只线圈取出后详细记录上述要求的数据。清除污物时应数一下槽内灰迹的层数，以便确定放置绝缘材料的层数。测量线圈线径时应先用粗糙的布将其表面的灰渍拭干净露出金属光泽，然后用千分尺测量。有时则是应在电动机没有用木材点燃烧烤以前剪下一段导线进行测量。

2. 绕制线圈

（1）线圈个数

线圈组和线圈组中线圈个数应按以下的规则确定。

$$\text{线圈个数} = \text{槽数}$$

$$\text{每相线圈数} = \text{线圈个数}/3$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

每极线圈数 = 线圈个数/极数

线圈组数 = 3 × 极数

每个线圈组中线圈数 = 线槽个数/线圈组数

如一台 36 槽三相四极电动机

线圈个数 = 36

每相线圈数 = 36/3 = 12

每极线圈数 = 36/4 = 9

线圈组数 = 3 × 4 = 12

每个线圈组有 36/12 = 3 只线圈

（2）线圈的绕制

线圈绕制时是按每个线圈组中线圈数一同绕制的，线圈之间的连线不切断，这完全是为接线的方便。一般情况下应制做绕制线圈的木模，也可用应急简便的方法，如图 2-28 所示，其中 6 个用轮子组成的挂线点必须按拆时保留的线圈数据确定，以避免下线时困难。将模子卡在绕线机上，将确定好的漆包线轴支好，即可摇动手把绕线。当第一只线圈匝数与原匝数相同时则将漆包线绕在第二层上，直至线圈组绕成。将每只线圈的 6 个轮子前后处用细尼龙绳系好，即可把线圈取下，取下时一定要标注线圈组的首和尾，并保证所有线圈组首、尾的一致性。这个线圈组也叫做极相组。

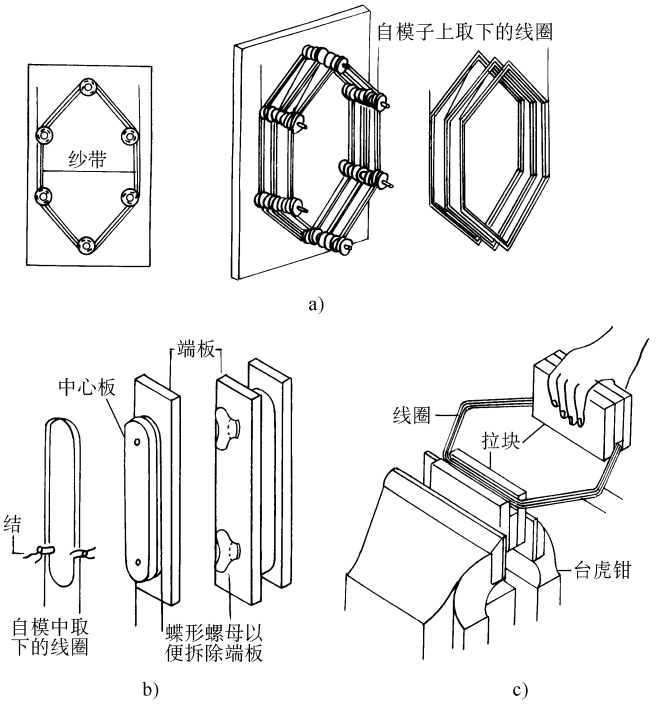


图 2-28 绕制线圈的模子及其使用

a）极相组线圈的制作 b）木模 c）把线圈拉成一定形状

3. 放置槽绝缘

绝缘材料很多，一般采用先放一层聚酯薄膜，再放一层青壳纸，长度大致为槽长加 5 ~

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6mm，折成与定子槽相同的形状并把青壳纸的两端折成图 2-29 所示的形式，以防止聚酯薄膜移动，并能防止下线时槽口槽边划伤漆包线。

4. 将新线圈嵌入线槽（下线）

下线是一项细致的工作，必须一根一根地依次放入槽内，不得伤及漆包线。由于绕制的关系，有时用滑线板（用竹片或塑料做成刀形的薄片）插入槽口滑动或摆动放入的漆包线。把定子放在桌子上后，面对接线盒侧，这时可观察接线盒距定子两端的距离，其中距离较小侧应为线圈首、尾端的放置侧。

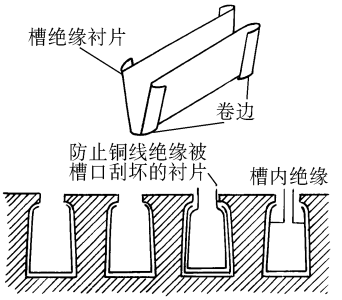


图 2-29　放置槽绝缘

（1）把线圈放入线槽

半闭口槽嵌线时，线圈应一匝匝地依次放入槽内，槽口线圈的露出部分在绕组嵌入槽内以后再包纱带，但也可不包。

嵌线圈的方法如下：先将第一只线圈的一边散开，握持线圈方法如图 2-30 所示，以便将线圈放入槽内。嵌线时必须将导线放入绝缘物内，有时由于工作时的疏忽，将导线放于绝缘物与铁心之间，结果造成接地。线圈一边嵌入槽内以后，另一边则暂时留在外面，如图 2-31 所示，注意这里线圈的一边只占线槽的一半。

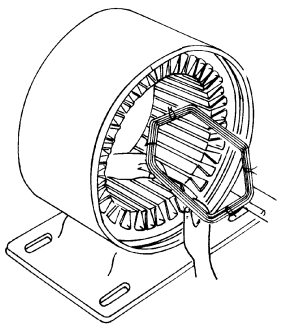


图 2-30　把线圈置于槽内示意图

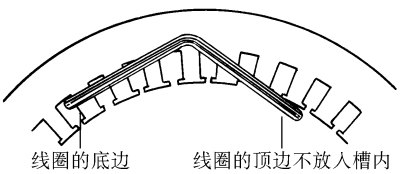


图 2-31　先把线圈一边放入

第一只线圈的一边嵌入槽内之后，继续将第二只线圈的一边如图 2-32 所示嵌入槽内，其他线圈均以同样情形嵌入，直至一个节距内槽的底层均嵌入了线圈以后，等另一线圈组的线圈的底边放入线槽后，将线圈留在外面的一边，根据节距，再嵌入相应线槽的顶层。这样将相应线槽（按节距数）的底层放入另外线圈的一边。用同样的方法将所有的线圈均放入定子的槽内并将所有的槽占满。

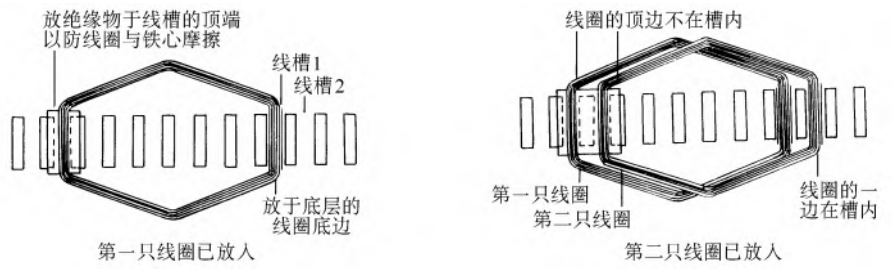


图 2-32　将线圈两个边均放入槽内

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在这一方法中，每只线圈的一边，位于线槽的底层，另一边则位于另一线槽的顶层，两槽间的距离，根据线圈的节距而定。每只线圈的两边，必须伸出线槽的两端，不可压在铁心的角上，图 2-33 即表示两种不同的情形。篮式绕组的线圈每边占有一个线槽，同一电动机的节距是一致的。

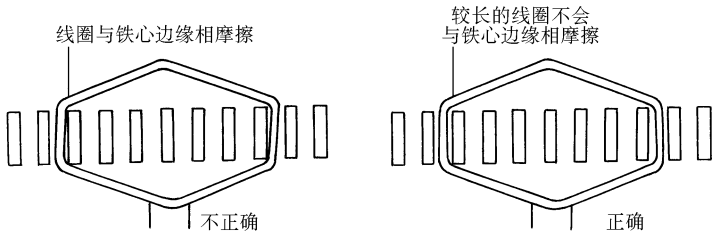


图 2-33　将线圈两个边放入槽内的正确方法

没有将线圈的第二边嵌入以前，必须在上下层线圈边之间放入一层绝缘材料，同一槽内，线圈与线圈间的绝缘，可参照图 2-34 所示而放置，这种方法同样适用于开口槽与半闭口槽。

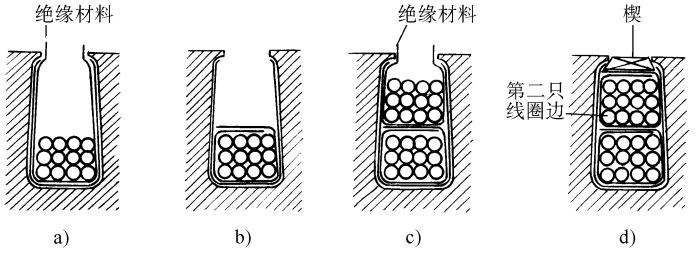


图 2-34　槽内绝缘的放置

同一槽内，放线圈与线圈间绝缘的另一种方法如图 2-35 所示，将一张约 0.5mm 厚的绝缘纸或纸隔层放于底层线圈的上面，这张绝缘纸应剪成比槽宽 6mm，这样就把顶层线圈以及底层线圈的两旁完全隔绝起来；这绝缘纸还要伸出槽两端至少约 13mm。

（2）包纱带

如果线圈绕成后需要包纱带，可以采用下面的方法：如图 2-36 所示，先自靠近线圈终端的引线处包起，沿着线圈一直包到第二个引线为止。包纱带时，第二匝纱带必须叠盖前一匝的一半，此法适用于开口槽。

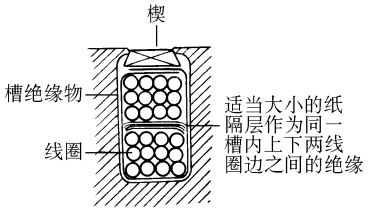


图 2-35　同槽线圈间放置绝缘

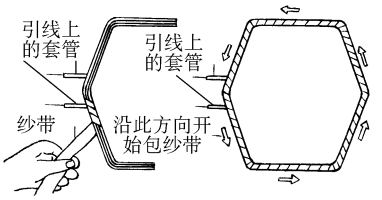


图 2-36　开口槽线圈的包纱带

因为线圈伸出槽口的部分是直的，有碍于转子的穿入，因此先在每只线圈与其他线圈接触部位垫上一层青壳纸，然后用力压动或者垫厚皮布用木锤轻敲伸出槽口部分，使其总体上成为喇叭口形。其中槽楔用干燥的竹棍削制而成，其截面成梯形并与槽口相吻合，长度一般为槽长加 5～6mm，每端露出长度应一致，一般为 2.5～3mm。槽楔的作用是把线圈紧紧地压住不能甩出。加槽楔时应先将绝缘垫好，用锤子将其轻轻打入槽内。上述的操作要特别小

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

心，不得使漆包线受伤或触及铁心。

5. 定子线圈的连接

1）把每组线圈的首和尾找出，并做标记，一般是用白布带系好，用笔在上写清楚标记，这里要注意，每相线圈组的第一只线圈组应选在靠近接线盒的部位，这样当每相引出线引至接线盒处时有足够的长度，否则还要接线就麻烦了。

2）将 U 相第一只线圈组的尾与第二只线圈组的尾、第二只线圈组的头与第三只线圈组的头、第三只线圈组的尾与第四只线圈组的尾紧紧沿着喇叭口的顶端先暂时搭接起来，搭接部分各预留 20～30mm，然后把多余部分剪掉。用砂纸把每端的 20～30mm 打磨露出金属光泽，然后从首或尾的根部套上直径相应的黄蜡管至打磨处，并再用 50mm 长的一段比前一黄蜡管直径大一号的黄蜡管套在较细的黄蜡管上。最后用锡焊将 20～30mm 搭接部分焊好，风凉后将较粗蜡管推至焊接处。用同样的方法把 V 相、W 相的线圈组连接好，但必须保证相邻线圈组瞬间电流的方向是相反的，如图 2-37 和图 2-38 所示。最后将每相的首和尾套上黄蜡管从接线盒处引出，但必须保持原样的标记。这时应用 500V 绝缘电阻表测量相与相绕组间、相绕组与地的绝缘电阻，一般应大于 2MΩ。

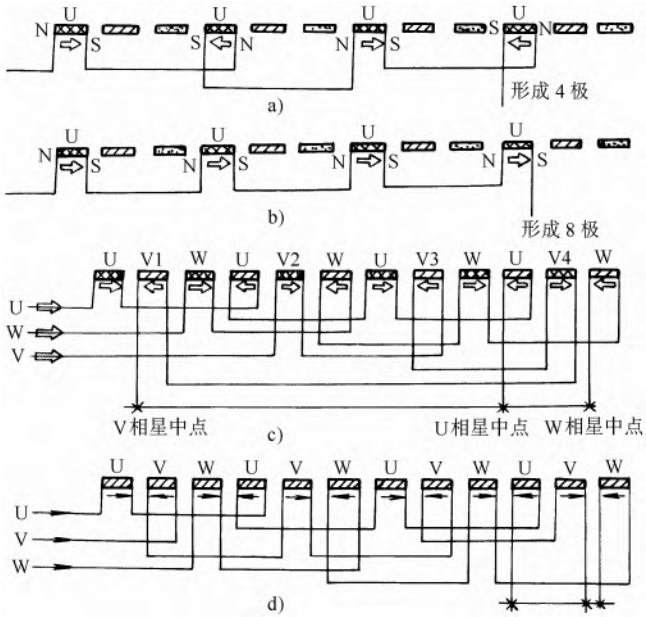


图 2-37　电动机定子绕组的接线方法

a）绕组的反串接法　b）绕组的正串接法　c）电动机丫联结之一　d）电动机丫联结之二

为了验证接线的正确与否，可进行这样一个试验，在接线盒处将定子接成电动机原来的接法（丫或△），并接上三相电源，如果有一台三相调压器更好，可把电压调至 150V 左右，把一直径较大的圆钢球放在定子内，合上开关，如果连接正确，钢球会沿着定子铁心内壁回转，如果连接错误，钢球则静止不动。

验证正确后，即可用尼龙细绳在线圈喇叭口顶端将上述套了黄蜡管的连接线和引出线绑扎紧固，但不得妨碍转子的穿入。

6. 试装配

1）将引出线接在接线盒上，并按电动机原来的接法（丫/△）接好。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

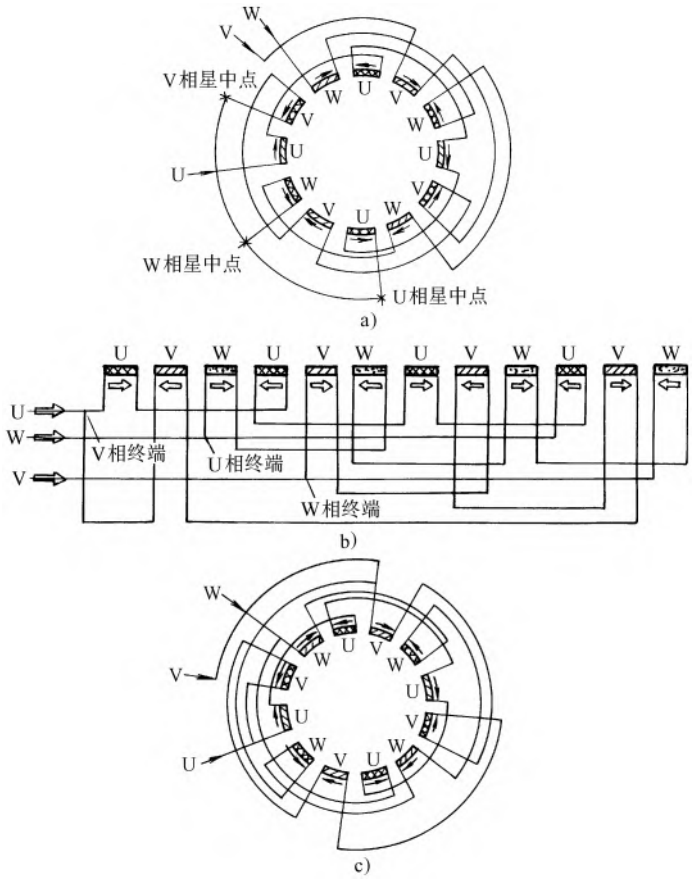


图 2-38 电动机定子绕组的接线方法

a）丫联结 4 极电动机圆形接线 b）电动机△联结法 c）△联结 4 极电动机圆形接线

2）将转子穿入定子并将端盖装好，用手转动主轴，电动机应转动灵活。装端盖时应用锤子打击铜棒，使铜棒直接接触端盖，以免端盖变形破裂。装设端盖时应将端盖的螺孔与定子上的螺孔对正，必要时应先用螺栓固定好，然后再用锤子敲击铜棒。穿入转子时不得碰击定子线圈。

3）用 500V 绝缘电阻表测量电动机相与相、相与地（外壳）的绝缘电阻，至少应大于 2MΩ，当电阻很小时，说明端盖与线圈接触太紧密，不利于今后的运行。除了再次修整线圈的喇叭口外，必要时应在端盖与线圈间垫以绝缘材料，再次绕制线圈时，必须把握住尺寸。

4）接通电源试转，测量转速、电流，测听轴承及定子的声响，应正常。

7. 烘干和浸漆

1）将电动机解体，解体时应检查穿入定子和装配时对绕组有无损害和损伤，否则要及时处理。然后用煤油和毛刷清洗轴承并加润滑脂，如轴承有损坏应更换同型号新轴承。取轴承时可用锤子敲击铜棒将其打出，也可用拔轮器。加油脂时达到 70% 即可，不要太满。

2）烘干。烘干的方法很多，由于受到现场和烘干设备的限制，可根据条件选择，参见本章有关干燥处理的内容。

① 常用的绝缘漆，见表 2-1。

www.789pdf.com 789书库网

表 2-1　常用的绝缘漆

牌号		名称	用途	特性	主要成分	溶剂和稀释剂	干燥温度/℃	干燥时间/h	电气强度/（kV/mm）		耐热等级
新牌号	旧牌号								20℃时	浸水24h后	
1010	5012	黑烘漆	电机绕组浸渍	抗老化性好，耐潮	沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	105～110	6	55	22	A
	5012-A	黑烘漆	电机绕组浸渍	抗老化性好，耐潮	沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	125		50		A
1011	5013	黑烘漆	电机绕组浸渍	干燥快，防潮好，抗老化性差	沥青、桐油、松节油、干燥剂	甲苯、二甲苯或工业汽油	105～110	3	55	20	A
1210	5014	黑烘漆	电机绕组浸渍	防潮，耐热	树脂、沥青、植物油等	二甲苯、松节油	100～110	10	60	22	A
1211	5031	黑绝缘漆	代替灰磁漆，涂刷浸渍后的电机绕组的表面	防潮好，漆膜坚硬光洁，耐油性差	沥青、桐油、亚麻仁油、甲苯	二甲苯、200号溶剂油	20	3	50	12	A
1012	5054	清烘漆	牵引电机绕组浸渍	耐油性良好	松香、甘油、桐油	松节油	105±5	2	60	20	A
1013	5065	水乳漆	电机绕组浸渍	耐油、无毒、干燥快	桐油、甘油、松香、乳化剂	乳化剂和水	100～110	3	30	8	A
1030	5057	清烘漆	变压器绕组浸渍	漆膜坚韧，耐油	醇酸树脂漆，酚醛树脂漆	甲苯	100～110	2	70	20	B
1031		丁基酚醛醇酸漆	湿热带电机浸渍	耐潮，耐热	三聚氰胺树脂漆，醇酸树脂漆	二甲苯、200号溶剂油	115～125	2	70	40	B
1032		三聚氰胺醇酸漆	湿热带电机、电器浸渍	耐热，耐油，耐电弧	改良松香、桐油、亚麻仁油	甲苯、二甲苯	105～110	2	70	40	B
1611	5053	硅钢片磁漆	涂刷硅钢片表面	漆膜坚硬，耐油防潮	改良松香、桐油、亚麻仁油	松节油	210	1/5			B
1321	5173	灰磁漆	涂刷于浸渍后的电机绕组表面	漆膜坚硬，耐油耐涨	5057漆、立德粉、二氧化锰	苯、甲苯	20	24	30	8	E
1213	5143	半导体漆	涂刷高压定子绕组的端部	黑色	1211漆、炭黑	苯、甲苯	80±5	3			A
1214	5144	半导体漆	涂刷高压定子绕组的槽部	黑色	1211漆、炭黑	苯、甲苯	80±5	3			A
	5121-1	酚醛清漆	绝缘胶合剂	粘着力强，耐油，红色	酚醛树脂、酒精						
	5122-1	酚醛黑漆	绝缘胶合剂	粘着力强，耐油，黑色	酚醛树脂、酒精						

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 浸漆与烘干工艺过程见表 2-2 和表 2-3，这里仅列出 A 级和 E 级绝缘的工艺过程。

表 2-2 A 级绝缘绕组浸漆与烘干的工艺过程

工序	工艺过程	温度/℃	时间	绝缘电阻	注意事项
1	预烘	110～120	4～8h	3MΩ 以上	预烘必须彻底
2	第一次浸漆（1010 号漆）	绕组 60～70	至少 15min		应将电机立式浸漆，漆的黏度为 18～22s
3	流滴过多的漆		20min		
4	第一次浸漆后的烘干	110～120	12h	2MΩ 以上	立式烘干
5	第二次浸漆前的预烘	110～120	6h	2MΩ 以上	应彻底烘干
6	第二次浸漆（1010 号漆）	绕组 60～70	10min		立式浸漆，漆的黏度为 30～35s
7	流滴过多的漆		20min		
8	第二次浸漆后的烘干	110～120	16h	3MΩ 以上	立式烘干
9	将 1321 号灰磁漆涂在线圈表面				
10	烘干		至少 7h		到不粘手为止

注：表中漆的黏度是在温度为 20℃时用 4 号福特杯测得的。

表 2-3 E 级绝缘绕组浸漆与烘干的工艺过程

工序	工艺过程	温度/℃	时间	绝缘电阻	注意事项
1	预烘	125～135	4～6h	3MΩ 以上	
2	第一次浸漆（1032 号漆）	绕组 60～70	至少 15min 不冒气泡为止		漆的黏度为 18～22s
3	流滴过多的漆		20min		
4	第一次烘干	100～110 125～135	3h 6～8h	2MΩ 以上	
5	第二次浸漆（1032 号漆）	绕组 60～70	至少 10min 不冒气泡为止		漆的黏度为 30～35s
6	流滴过多的漆		20min		
7	第二次烘干	100～110 125～135	3h 10～12h	3MΩ 以上	

8. 装配、测试和试运行

将电动机重新装配，装好后用手转动轴颈，应灵活无卡阻，并再次测量绝缘电阻，主要是为了避免由于浸漆使定子内壁流上绝缘漆或由于轴承的油脂太满而使定子转子间隙有卡阻或轴承转动困难。绝缘电阻的再次测量是为了防止装配上的过失而使线圈与外壳绝缘性能降低或短路。

测试和试运行详见第六章内容，一般情况下，修理后的电动机应空载运行 72h，并测试电流、温升、转速、振动、声音等参数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

修理后的电动机应做好详细记录，包括测试和试运行记录，以便选用时或再次修理时参考。记录应装入电动机的设备档案中。

（四）变频起动器/软起动器的应用

随着电子技术、电力电子技术、微型计算机技术、自动控制技术及其硬件的发展和改进，一种新型的电动机起动器正在兴起壮大，有取代传统的间接起动器的趋势，因为它有着传统间接起动器无法比拟的优点和广泛的用途，并且有着节能、环保的功能。这种新型的起动器就是变频起动器/软起动器。

常见接线方法见图 2-39 ~ 图 2-46。

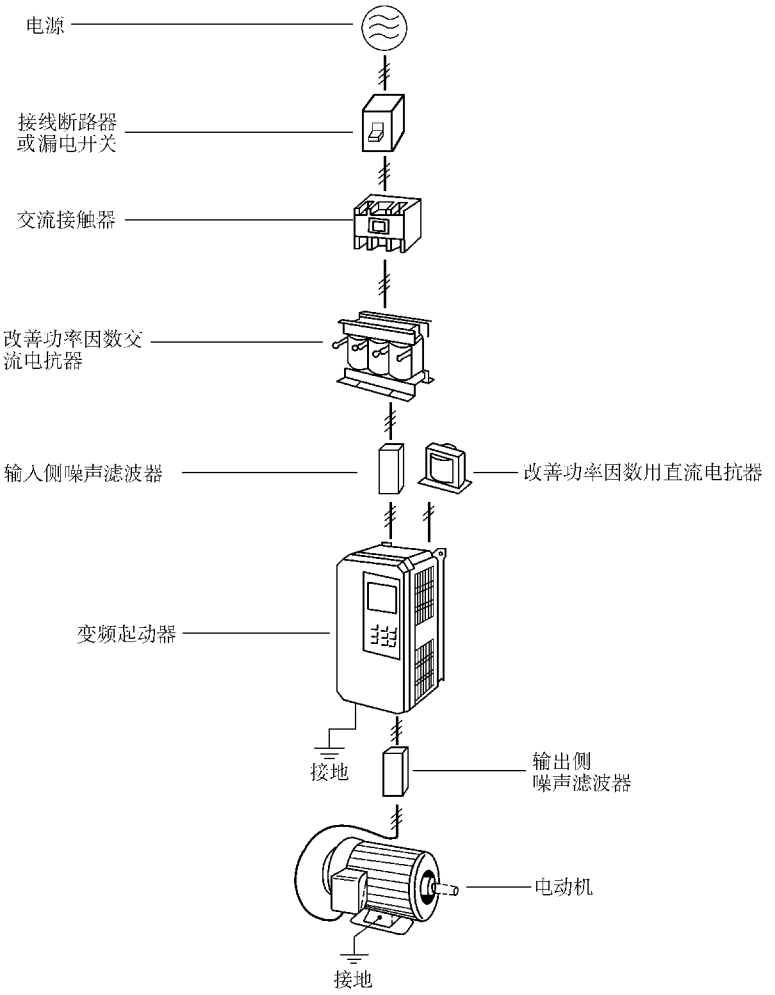


图 2-39　变频器与设备连接示意图

1. 变频起动器的安装和运行

（1）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 2-47。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

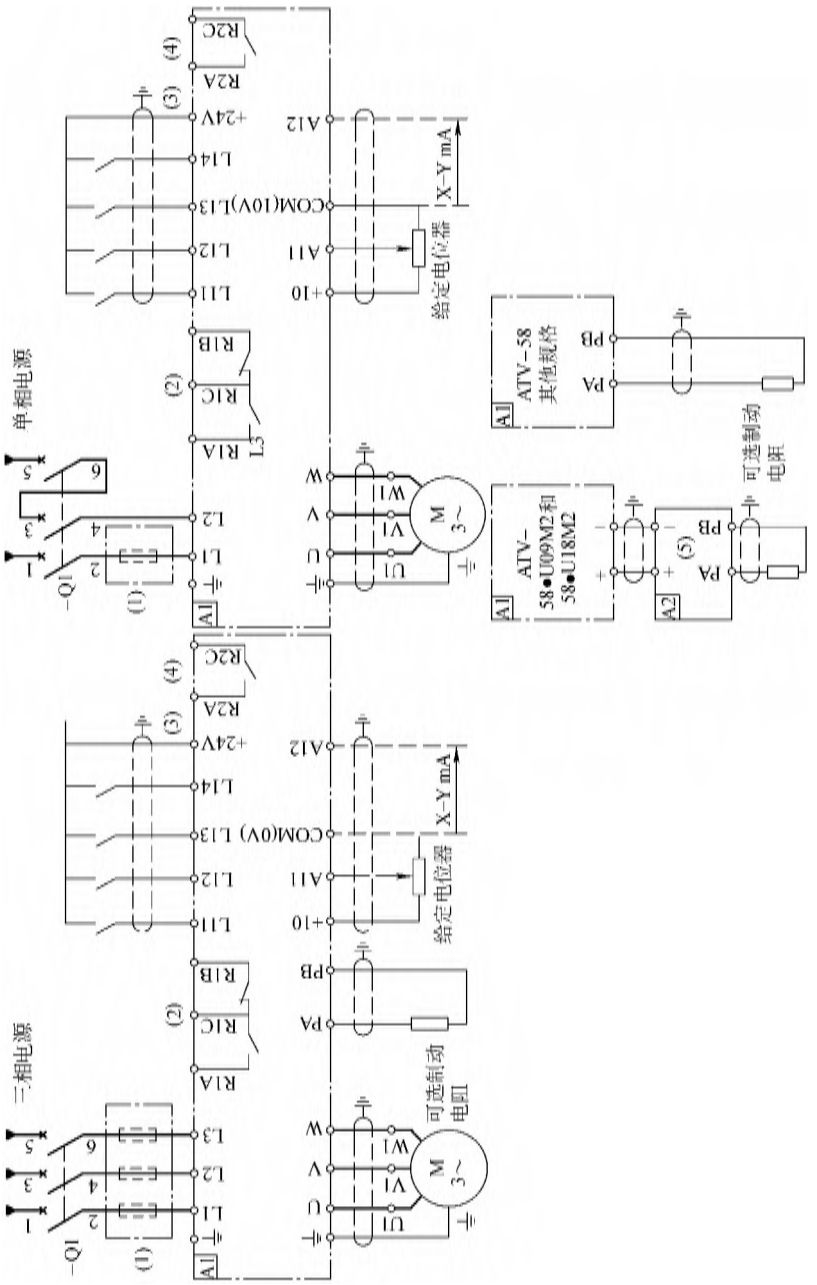


图 2-40 无控制接触器适用于驱动无潜在危险设备的变频器接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

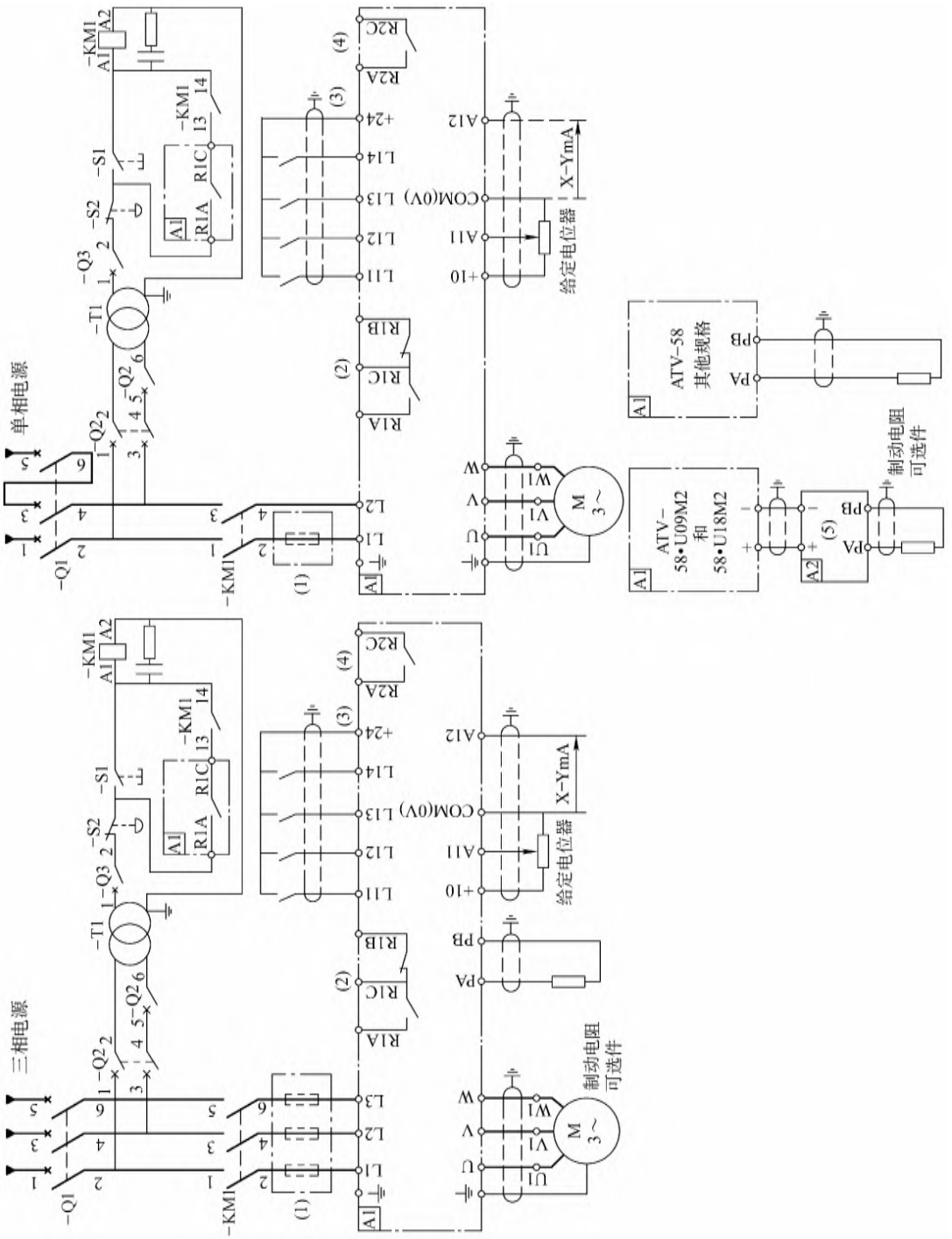


图 2-41　有进线控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

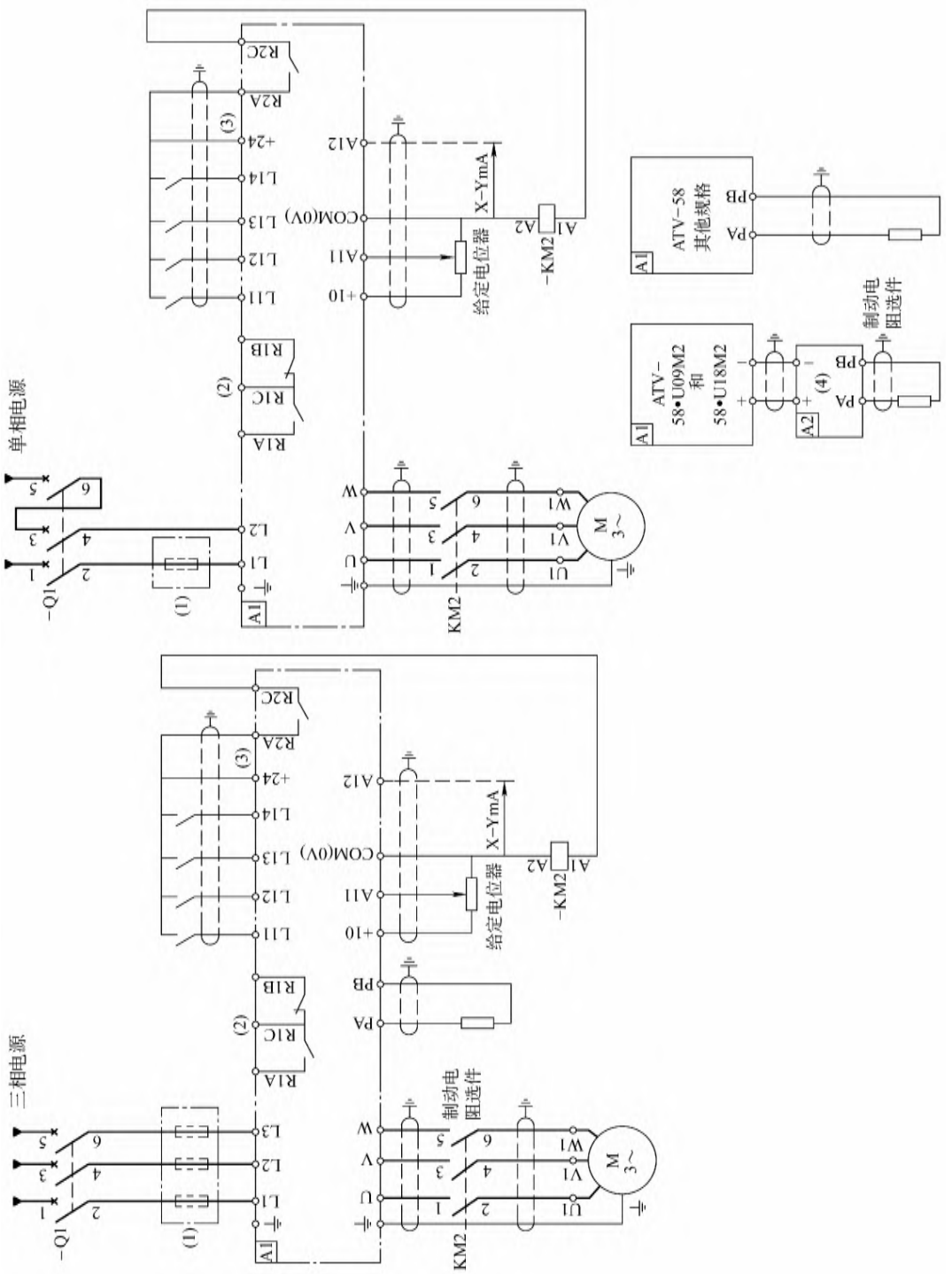


图 2-42 有出口控制接触器适用于驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

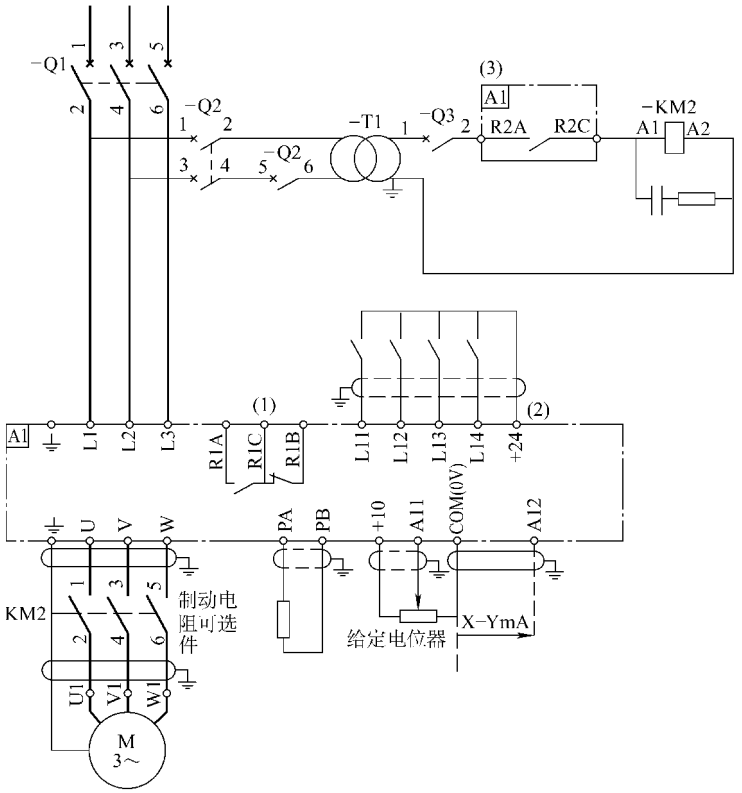
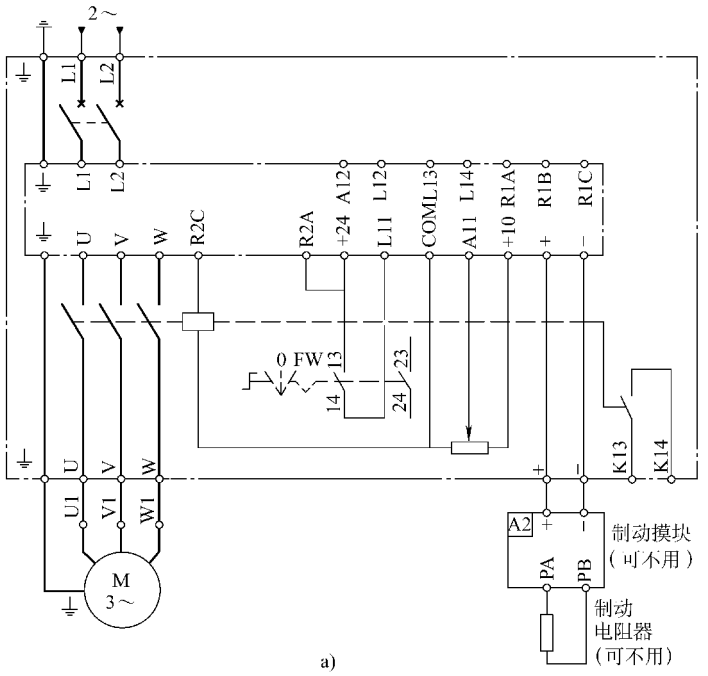


图 2-43　有出口接触器适用驱动频繁接通、断开且具有潜在危险设备变频器接线图（仅用于三相）

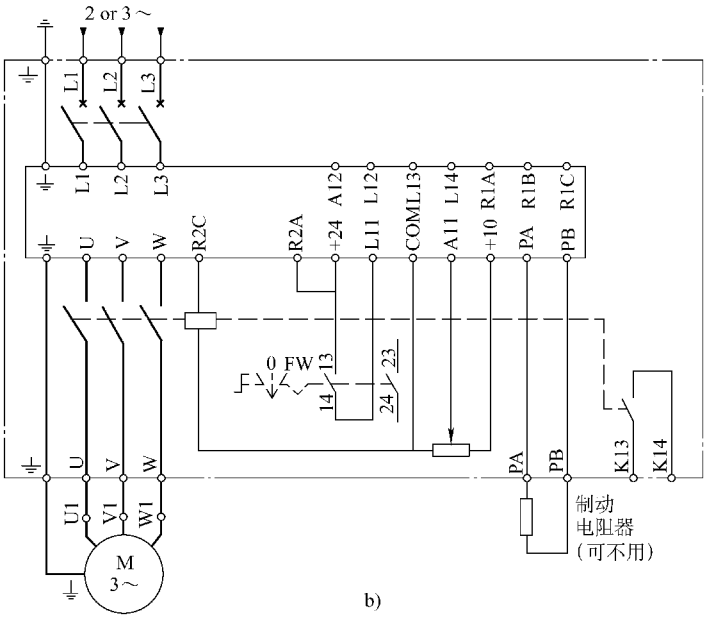


a)

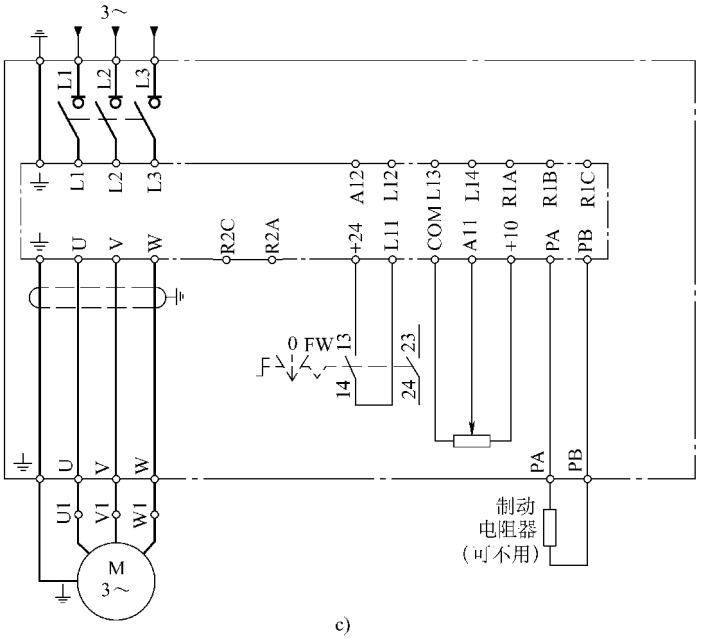
图 2-44　成套变频器接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

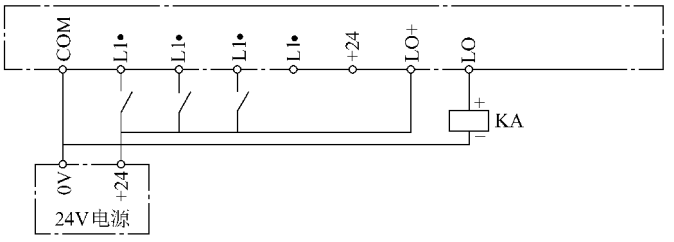


b)



c)

图 2-44 成套变频器接线图（续）

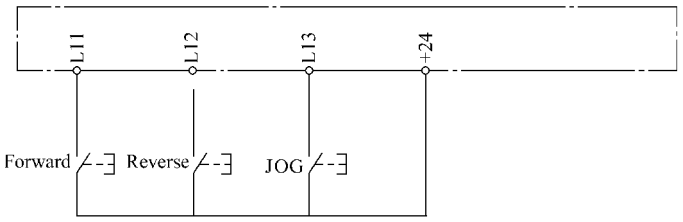


24V 外部电源作为逻辑输入 / 输出口电源

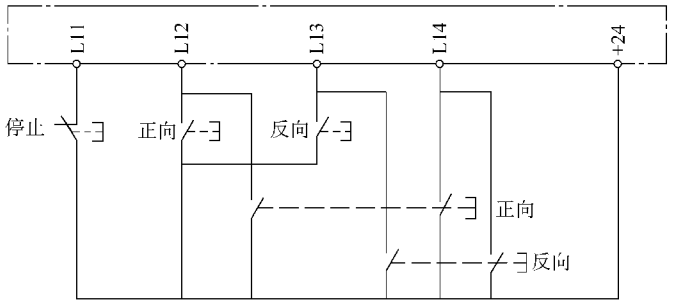
图 2-45 变频器附属电路的连接

www.789pdf.com 789书库网

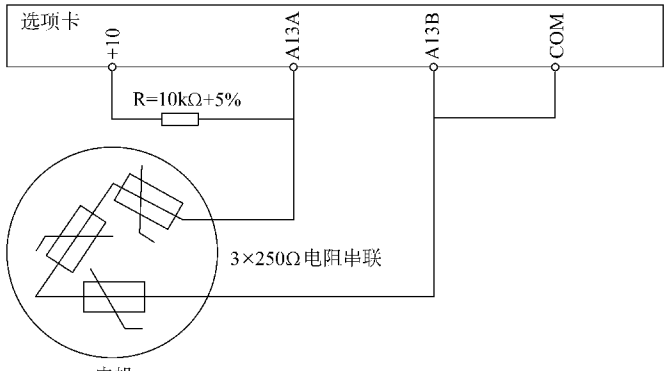
www.789pdf.com 789书库网



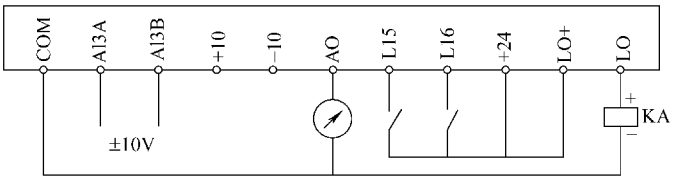
2- 线控制和寸动 JOG 操作



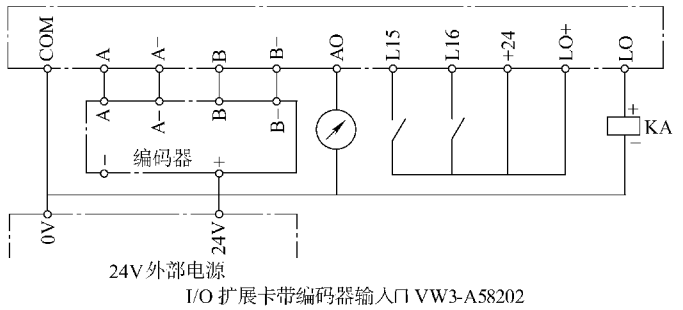
3- 线控制和寸动 JOG 操作



热敏电阻型电机过热保护，带可选模拟输入扩展卡



I/O 扩展卡带模拟输入口 VW3-A58201

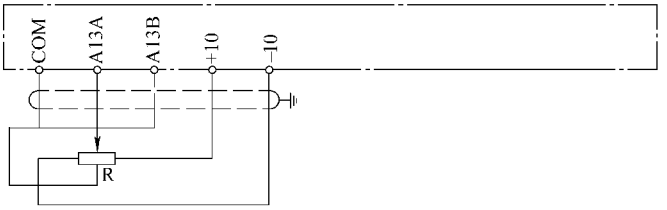


I/O 扩展卡带编码器输入口 VW3-A58202

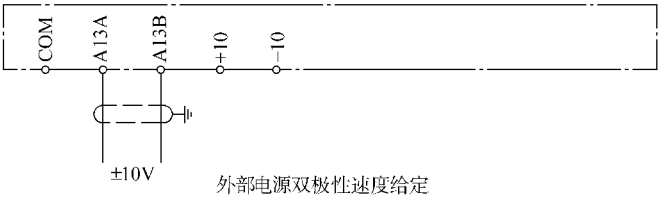
图 2-45　变频器附属电路的连接（续）

www.789pdf.com 789书库网

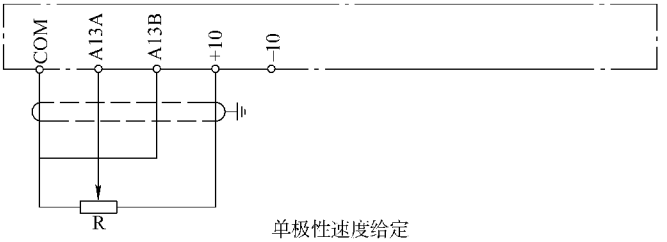
www.789pdf.com 789书库网



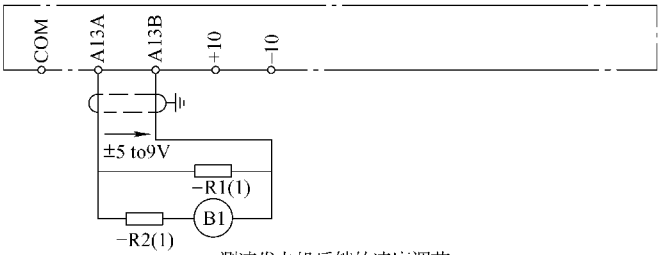
I/O 扩展卡应用举例 VW3-A5820● 双极性速度给定



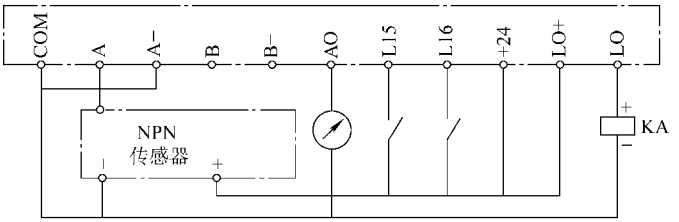
外部电源双极性速度给定



单极性速度给定

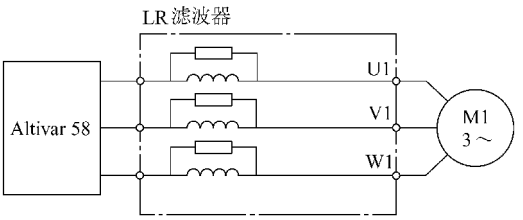


测速发电机反馈的速度调节



VW3-A58202 I/O 扩展卡，编码器为 3 线感应式或光电式传感器低速调速时降低精度，增大响应时间，仅一个方向

图 2-45 变频器附属电路的连接（续）

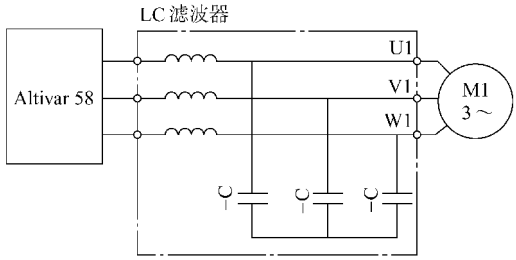


LR 型：包括 3 个高频线路电抗器和 3 个电阻器

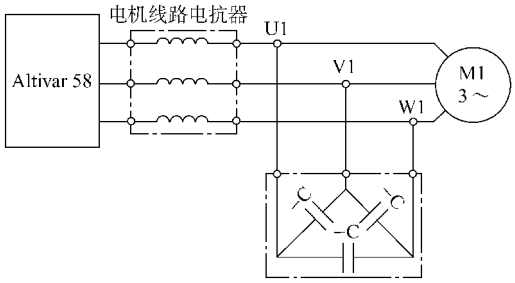
图 2-46 与滤波器、电抗器的连接

www.789pdf.com 789书库网

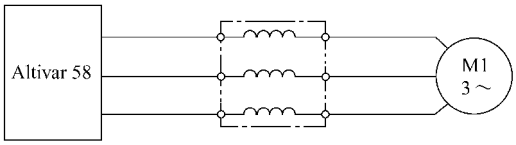
www.789pdf.com 789书库网



LC型：由3个高频线路电抗器和3个电容器组成



线路电抗器与电容器组合：由3个“△”接线的电容器（安装在一个箱体中）并与3相线路电抗器（VW3-A6650●）



标准电机电缆长度大于100m（屏蔽电缆50m）
线路电抗器限制电机侧过电压

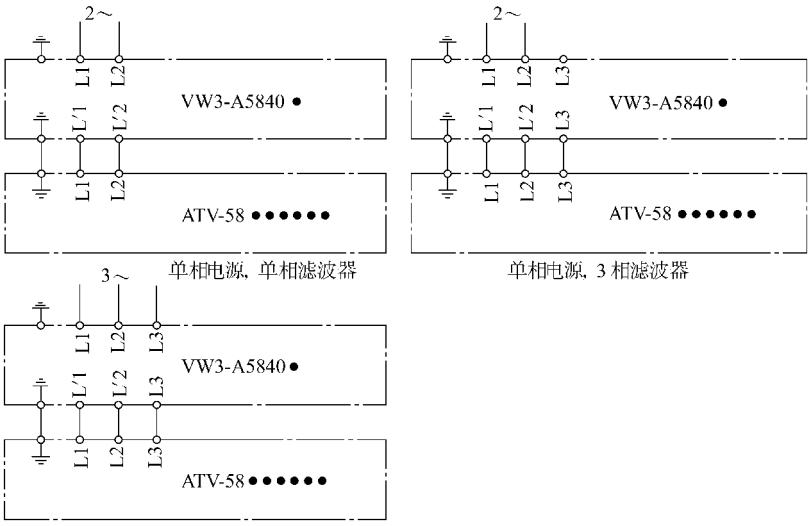


图2-46　与滤波器、电抗器的连接（续）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

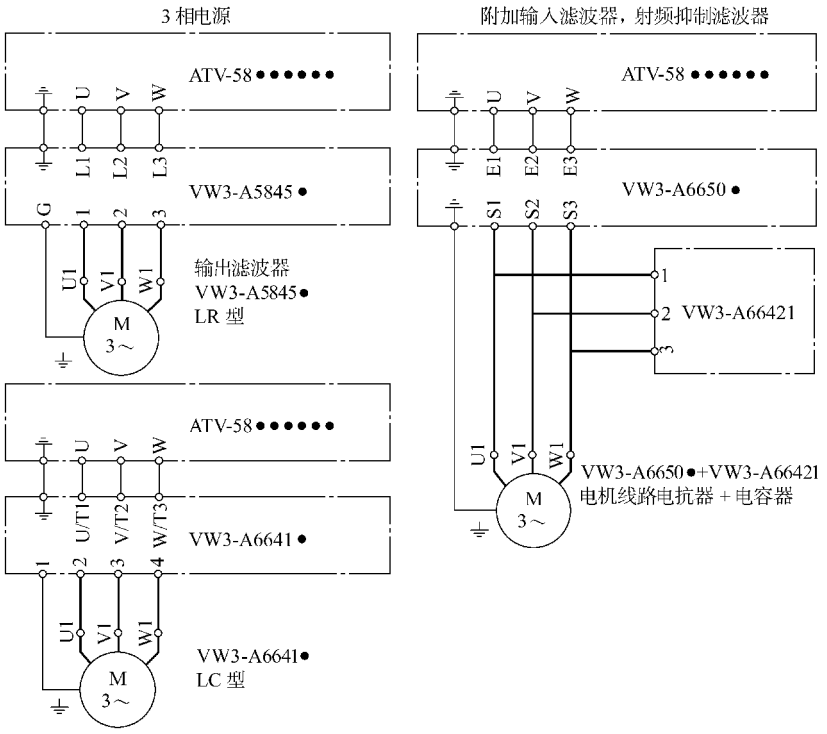


图 2-46 与滤波器、电抗器的连接（续）

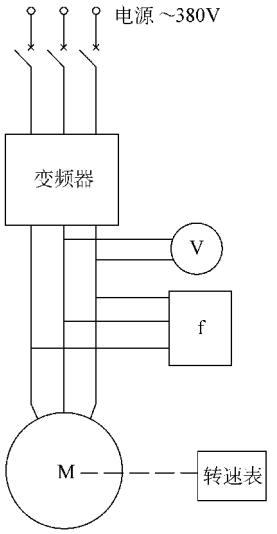


图 2-47 变频起动器安装试验连接示意图

（2）运行注意事项

变频起动器属电力变流设备，因此变频起动器与电力变流设备一样，请参阅第六章相关内容。

2. 变频起动器的调试和维修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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）制定运行计划

1）制定调试或维修技术文件、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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

3. 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得不正确，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，如加减速时间设定得太短，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

4. 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 EEPROM 故障信息，这只要对 EEPROM 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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水平降低；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。

5. 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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漏和辐射。

6. 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，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

7. 变频器的维护保养

由于温度、湿度、灰尘、振动等使用环境对变频器的影响，变频器内部零部件会发生变化或老化，为了确保变频器的正常运行，必须进行维护保养，维护保养工作可分为日常维护和定期维护，定期维护检查周期一般为 1 年，维护保养项目与定期检查的周期标准见表 2-4。重点部位是主回路的滤波电容器、控制回路、电源回路、逆变器驱动及保护回路中的电解电容器、冷却风扇等。

表 2-4　变频器维护保养与定期检查周期标准

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期 1 年			
整机	周期环境	确认周围温度、湿度、有毒气体、油雾等	√		注意检查现场情况是否与变频器防护等级相匹配。是否有灰尘、水汽、有害气体影响变频器。通风或换气装置是否完好	温度计、湿度计、红外线温度测量仪	温度在 -10 ~ +40℃内、湿度在 90% 以下，不凝露；如有积尘应用压缩空气清扫并考虑改善安装环境
	整机装置	是否有异常振动、温度、声音等	√		观察法和听觉法，振动测量仪	振动测量仪	无异常
	电源电压	主回路电压、控制电源电压是否正常	√		测定变频器电源输入端子排上的相间电压和不平衡度	万用表、数字式多用仪表	根据变频器的不同电压级别，测量线电压，不平衡度≤3%
主回路	整体	（1）检查接线端子与接地端子间电阻		√	（1）拆下变频器接线，将端子 R、S、T、U、V、W 一起短路，用绝缘电阻表测量它们与接地端子间的绝缘电阻 （2）加强紧固件 （3）观察连接导体、导线 （4）清扫各个部位	500V 绝缘电阻表	接地端子之间的绝缘电阻应大于 5MΩ。（2）、（3）没有异常。（4）无油污
		（2）各个接线端子有无松动		√			
		（3）各个零件有无过热的迹象		√			
		（4）清扫	√				
	连接导体、电线	（1）导体有无移位		√	观察法		（1）、（2）没有异常
		（2）电线表皮有无破损、劣化、裂缝、变色等		√			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期1年			
主回路	变压器、电抗器	有无异味、异常声音	√	√	观察法和听觉法		没有异常
	端子排	有无脱落、损伤和锈蚀		√	观察法		没有异常。如有锈蚀应清洁，并减少湿度
	IGBT模块整流模块	检查各端子间电阻。测漏电流		√	拆下变频器接线，在端子R、S、T与PN间，U、V、W与PN间用万用表测量。0Hz运行时测量	指针式万用表整流型电压表	符合要求
	滤波电容器	（1）有无漏液	√		（1）、（2）观察法 （3）用电容表测量	电容表、LCR测量仪	(1)、(2) 没有异常，(3) 额定容量的85%以上。与接地端子的绝缘电阻不少于5MΩ。有异常时及时更换新件，一般寿命为5年
		（2）安全阀是否突出、表面是否有膨胀现象	√				
		（3）测定电容量和绝缘电阻		√			
	继电器、接触器	（1）动作时是否有异常声音		√	观察法、用万用表测量	指针式万用表	没有异常。有异常时及时更换新件
		（2）接点是否有氧化、粗糙、接触不良等现象		√			
	电阻器	（1）电阻的绝缘是否损坏		√	（1）观察法 （2）对可疑点的电阻拆下一侧连接，用万用表测量	万用表、数字式多用仪表	（1）没有异常 （2）误差在标称阻值的±10%以内 有异常应及时更换
		（2）有无断线	√	√			
控制回路、电源、驱动与保护回路	动作检查	（1）变频器单独运行		√	（1）测量变频器输出端于U、V、W相间电压。各相输出电压是否平衡 （2）模拟故障，观察或测量变频器保护回路输出状态	数字式多用仪表、整流型电压表	（1）相间电压平衡200V级在4V以内、400V级在8V以内。各相之间的差值应在2%以内 （2）显示正确、动作正确
		（2）顺序做回路保护动作试验、显示，判断保护回路是否异常		√			
	零件	全体 (1) 有无异味、变色		√	观察法		没有异常 如电容器顶部有凸起，体部中间有膨胀现象应更换
		全体 (2) 有无明显锈蚀		√			
		铝电解电容器 有无漏液、变形现象		√			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

检查部位	检查项目	检查事项	检查周期		检查方法	使用仪器	判定基准
			日常	定期1年			
冷却系统	冷却风扇	（1）有无异常振动、异常声音 （2）接线有无松动 （3）清扫	√	√	（1）在不通电时用手拨动旋转 （2）加强固定 （3）必要时拆下清扫		没有异常； 有异常时及时更换新件，一般使用2～3年应考虑更换
显示	显示	（1）显示是否缺损或变淡	√		（1）LED的显示是否有断点 （2）用棉纱清扫		确认其能发光；显示异常或变暗时更换新板
		（2）清扫		√			
	外接仪表	指示值是否正常	√		确认盘面仪表的指示值满足规定值	电压表、电流表等	指示正常
电动机	全部	（1）是否有异常振动、温度和声音 （2）是否有异味 （3）清扫	√	√	（1）听觉，触觉，观察 （2）由于过热等产生的异味 （3）清扫		（1）、（2）没有异常 （3）无污垢、油污
	绝缘电阻	全部端子与接地端子之间、外壳对地之间	√		拆下U、V、W的连接线，包括电动机接线在内	500V绝缘电阻表	应在5MΩ以上

（1）日常检查和定期检查

1）日常检查

① 键盘面板显示是否正常，有无缺少字符。仪表指示是否正确、是否有振动、振荡等现象。

② 冷却风扇部分是否运转正常，是否有异常声音等。

③ 变频器及引出电缆是否有过热、变色、变形、异味、噪声、振动等异常情况。

④ 变频器周围环境是否符合标准规范，温度与湿度是否正常。

⑤ 变频器的散热器温度是否正常，电动机是否有过热、异味、噪声、振动等异常情况。

⑥ 变频器控制系统是否有积聚尘埃的情况。

⑦ 变频器控制系统的各连接线及外围电器元件是否有松动等异常现象。

⑧ 检查变频器的进线电源是否异常，电源开关是否有电火花、断相、引线压接螺栓松，电压是否正常等。

⑨ 检查变频器安装是否符合要求，底脚是否松动，工作时手感柜体是否振动，也可用耳听法判断。对于振动冲击较大的场合，应在保证控制精度的前提下，调整变频器的输出频率和载波频率尽量减小脉冲转矩，或通过调试确认机械共振点，利用变频器的跳跃频率功能，使共振点排除在运行范围之外。也可采用橡胶垫避振等措施。

⑩ 检查变频器的工作环境，是否潮湿或有有害气体。潮湿、腐蚀性气体及尘埃等将造

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

成电子器件性能下降、接触不良、绝缘能力降低甚至形成短路故障。必要时可对控制电路板进行防腐、防尘处理，并尽量采用封闭式开关柜结构。

⑪ 检查变频器工作环境温度是否与说明书相符。因为温度是影响变频器的电子器件寿命及可靠性的重要因素，特别是半导体开关器件，若结温超过规定值将立刻造成器件损坏，因此，应根据装置要求的环境条件使通风装置运行流畅并避免日光直射。为防止通用变频器的微处理器因温度过低而不能正常工作，应采取设置空间加热器等必要措施。

2）定期检查

定期检查时要切断电源，停止变频器运行，并卸下变频器的外盖。检查周期通常为 6 ~ 12 个月。

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，有利于维修。

② 检查所有接线点、连接点和螺钉有无松动、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。检查时可用螺钉旋具、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

a. 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

于1MΩ。

b. 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。

c. 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：

a. 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。

b. 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2-48，并按其选择测量仪表，采用的仪表类型见表2-5。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。

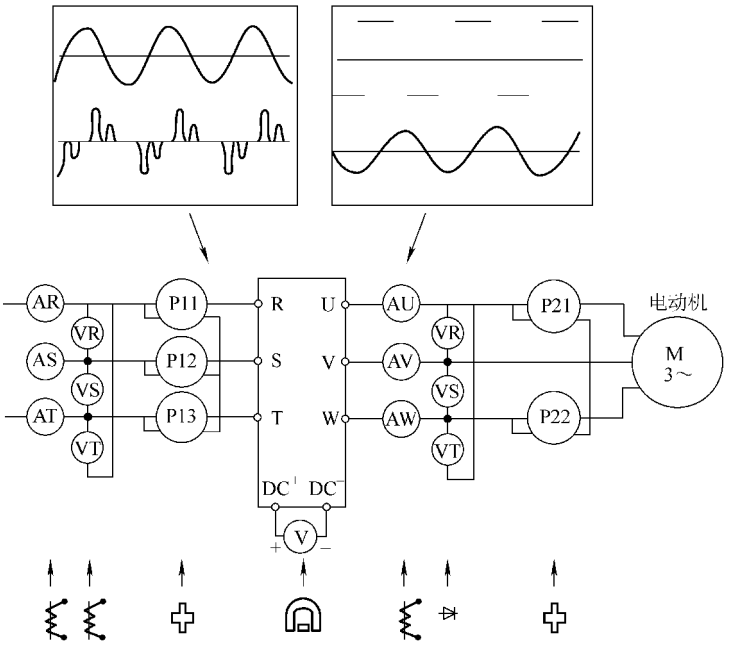


图2-48　变频器的测量电路

表2-5　主电路测量时推荐使用的仪表

测定项目	测定位置（见图2-48）	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	电磁系仪表	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	电动系仪表	$P_1 = P_{11} + P_{12} + P_{13}$（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	整流系仪表	各相间的差应在最高输出电压的1%以下

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

测 定 项 目	测定位置（见图2-48）	测定仪表	测定值的基准
输出侧电流 I_2	U、V、W 的线电流	电磁系仪表	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	电动系仪表	$P_2=P_{21}+P_{22}$，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级电磁系（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。一般选择整流系电压表（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精度，可以采用阻容滤波器与整流系电压表配合使用，见图2-49所示。输入电压的测量可以使用电磁系电压表或整流系电压表。考虑会有较大的谐波，推荐采用整流系电压表。

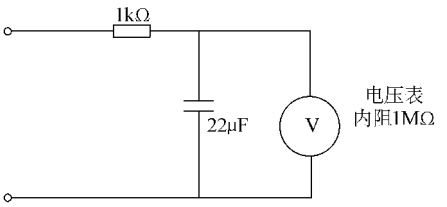


图2-49 阻容滤波器的使用

③ 变频器的输入/输出功率的测量。使用电动系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。使用电磁系电流表测量有效值。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AC5V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。将整流系电表（万用表、整流系电压表）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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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2-50所示，用万用表电阻挡，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2-6进行判定。

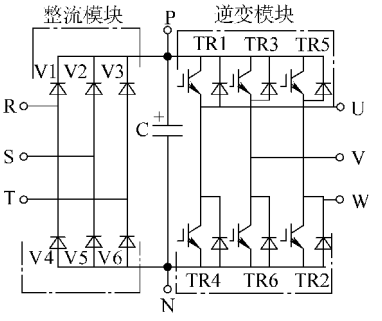


图2-50　变频器模块测试图

表2-6　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

测试项目	测试点	电表极性 +	电表极性 −	测定值
逆变模块	TR5	W	P	不导通
		P	W	导　通
	TR4	U	N	导　通
		N	U	不导通
	TR6	V	N	导　通
		N	V	导　通
	TR2	W	N	导　通
		N	W	不导通

8. 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。

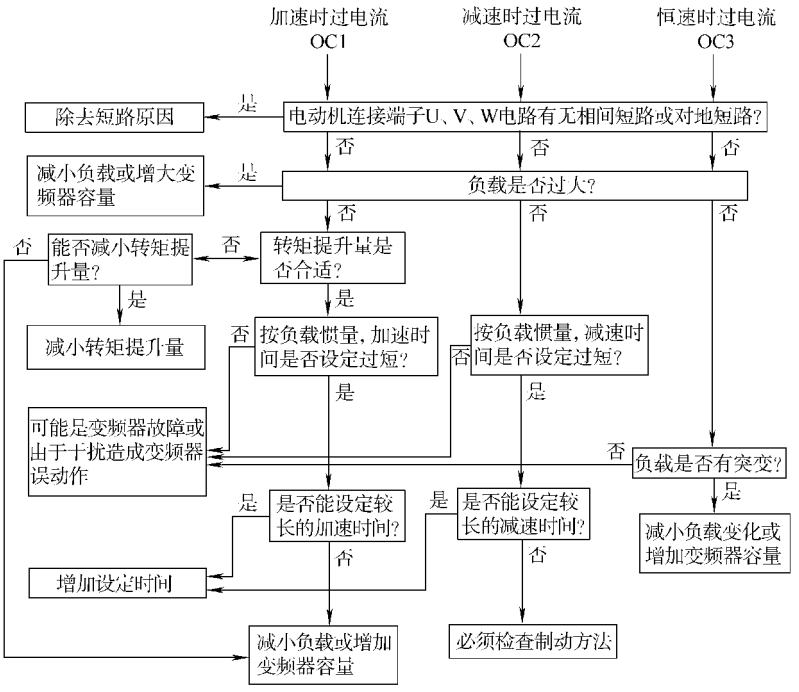
（1）变频器控制系统常见故障分析

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：



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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电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。

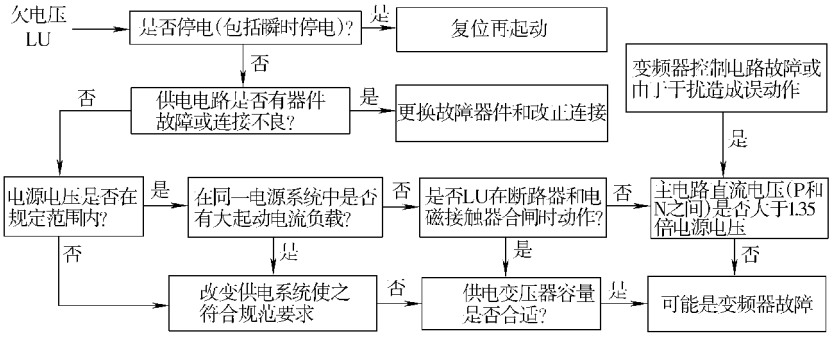
跳闸原因：交流电源欠电压、断相、瞬时停电。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

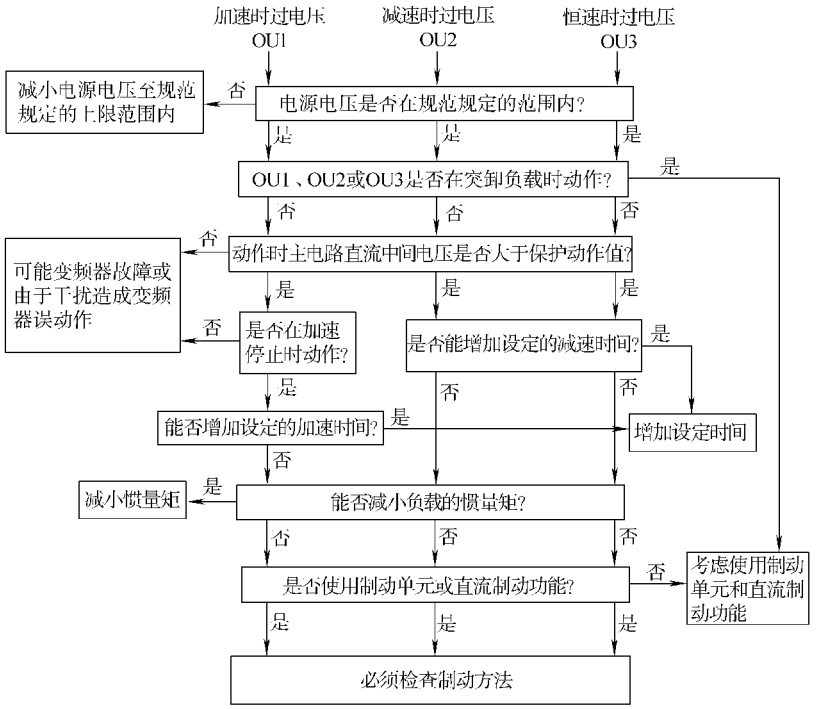


3）过电压。

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/减速时间设定得太短、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，就将加速时间设得长一些。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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

障、载波频率设定值不合适等。

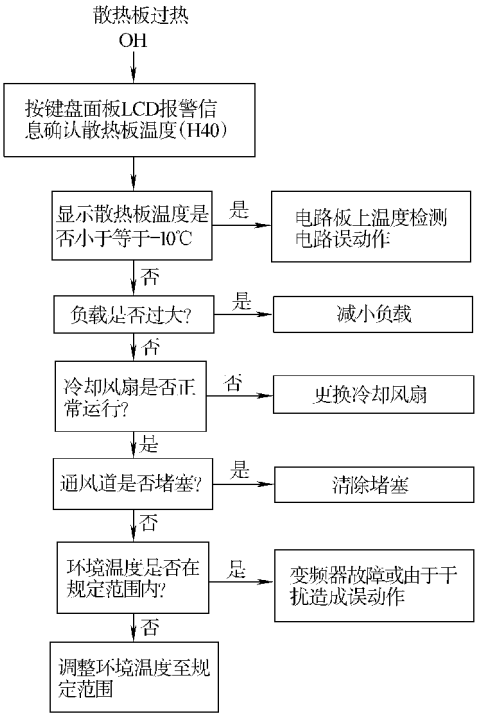
如果变频器一起动就将起动电路中的起动电阻烧坏，同时变频器显示过电压保护动作，原因一般是变频器内部的起动电阻两端的继电器触点接触不良或晶闸管导通不良所引起的。

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。

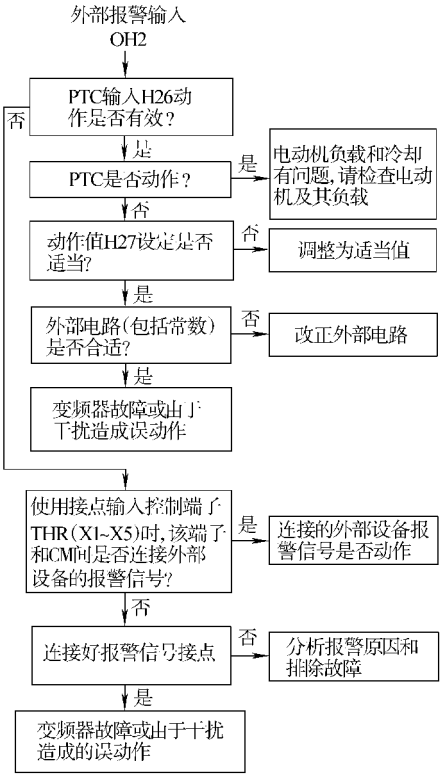
跳闸原因：外部电路异常。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

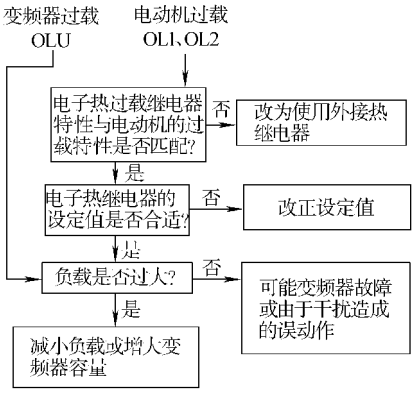


6）变频器过载、电动机过载引起跳闸。

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。

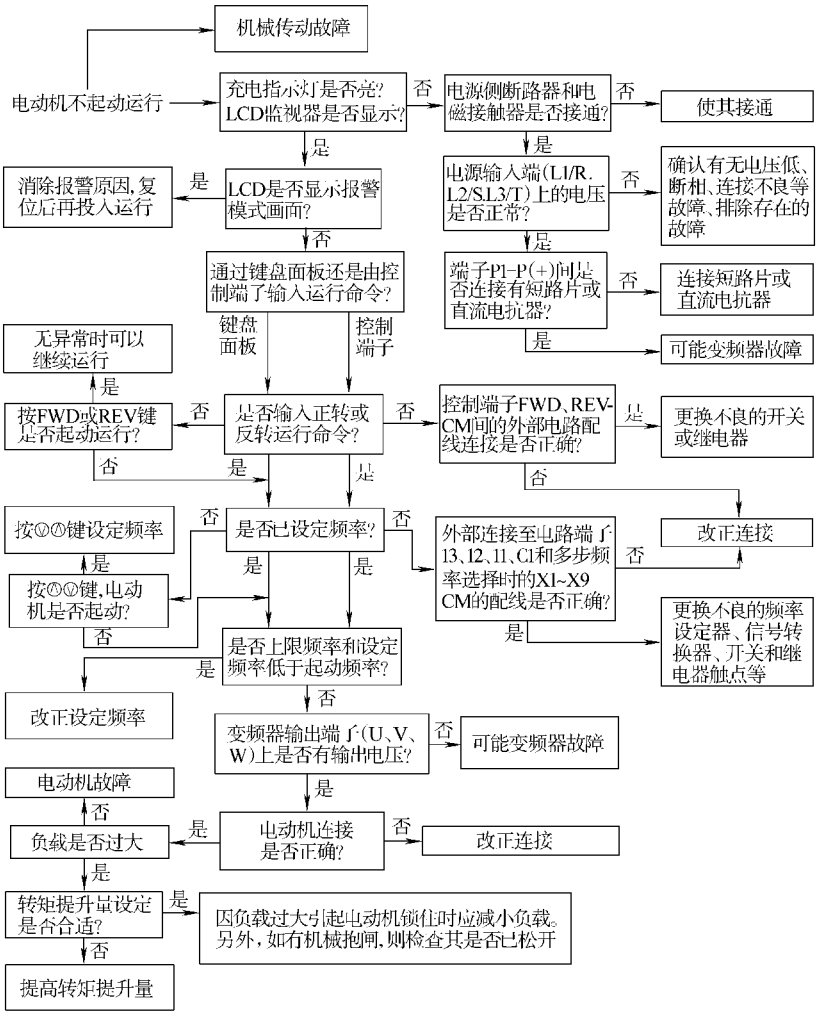
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，在保证控制精度的前提下，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：



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

a. 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。

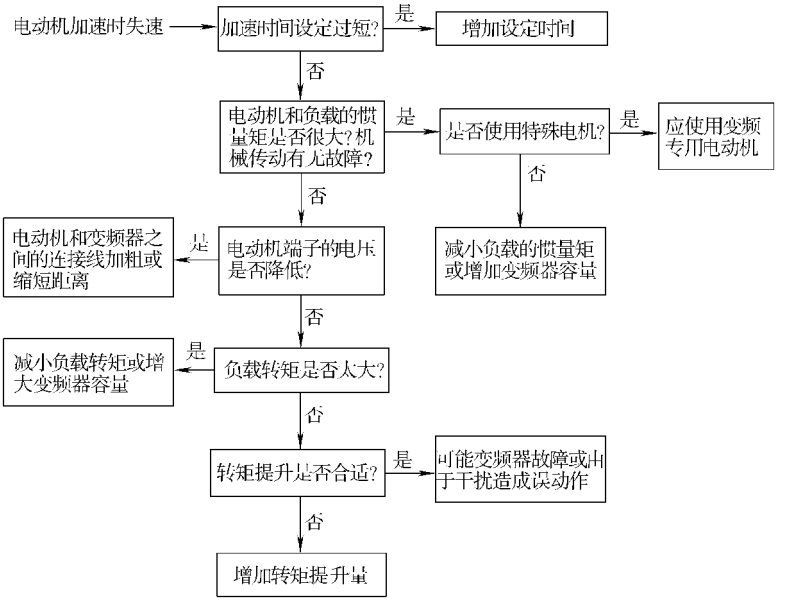
b. 检查是否输入起动信号和 FWD、REV 信号，是否已设定频率或上限频率过低。

c. 检查各种功能代码设置是否正确。

d. 检查负载是否太大或者机械系统有堵转现象。

e. 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：

a. 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。

b. 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。

c. 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。

d. 电动机绕组接线错误，如定子绕组某相端接头接反等。

e. 电动机绕组存在故障，如绕组匝间或层间短路、绕组接地。

f. 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。

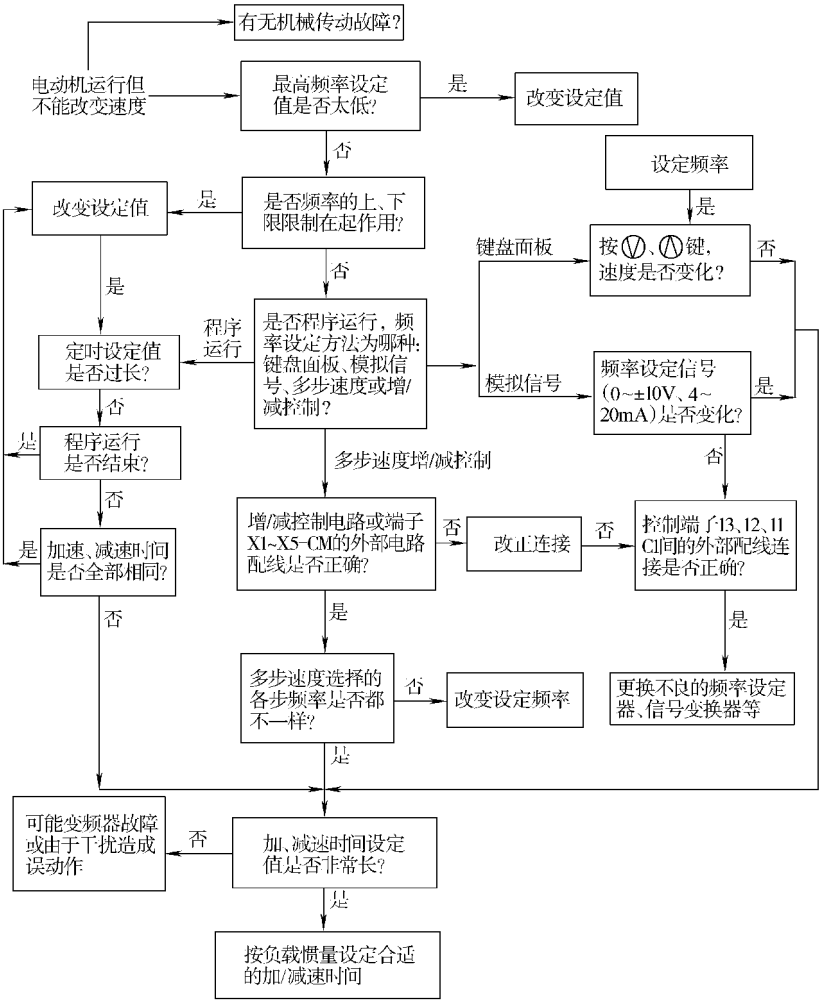
g. 起动频繁、电动机风道阻塞，通风不良或风叶破损风力不够。

h. 电动机周围环境温度过高，散热不良、冷却效果差。

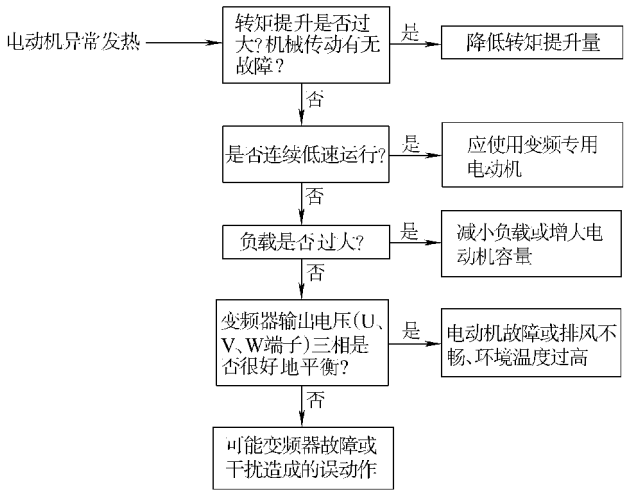
i. 超载运行时间过长。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



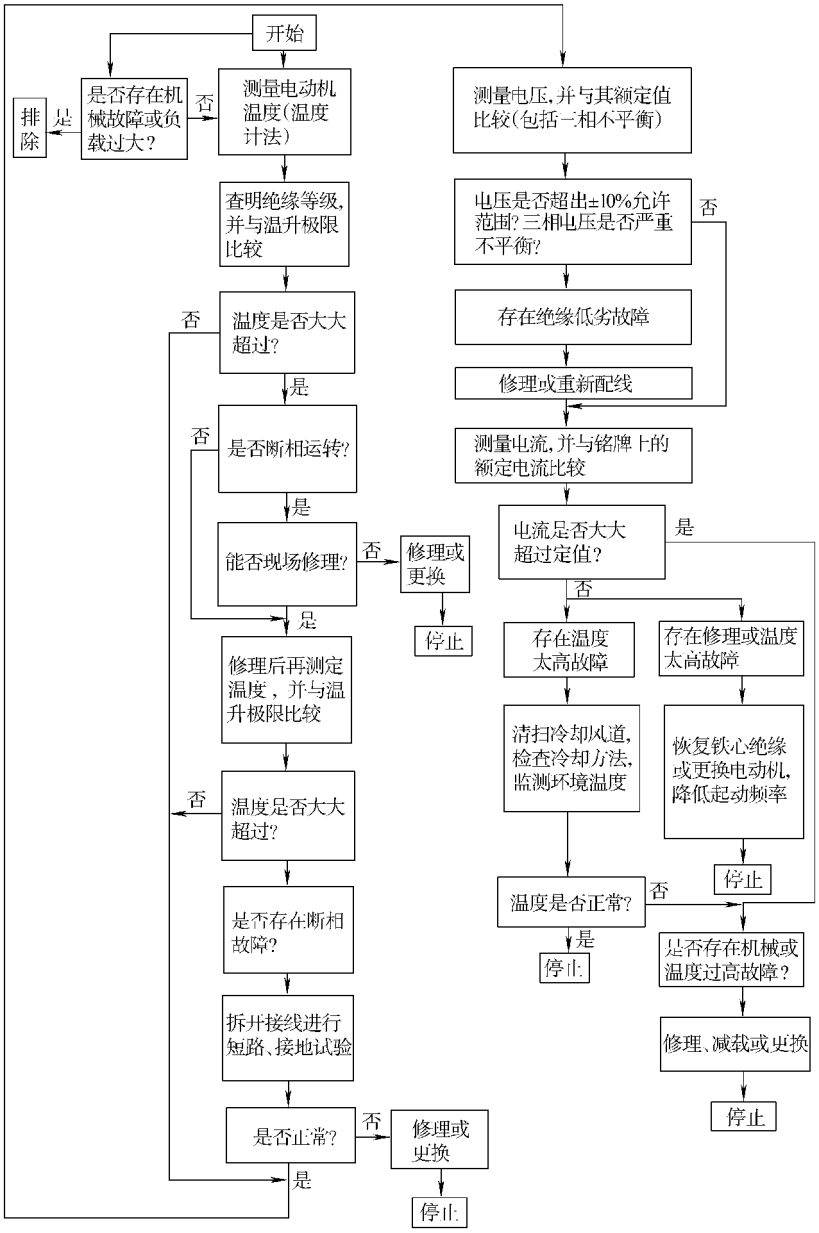
电动机异常发热故障判断程序如下：



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，这里举几个常见的例子，供读者参考。

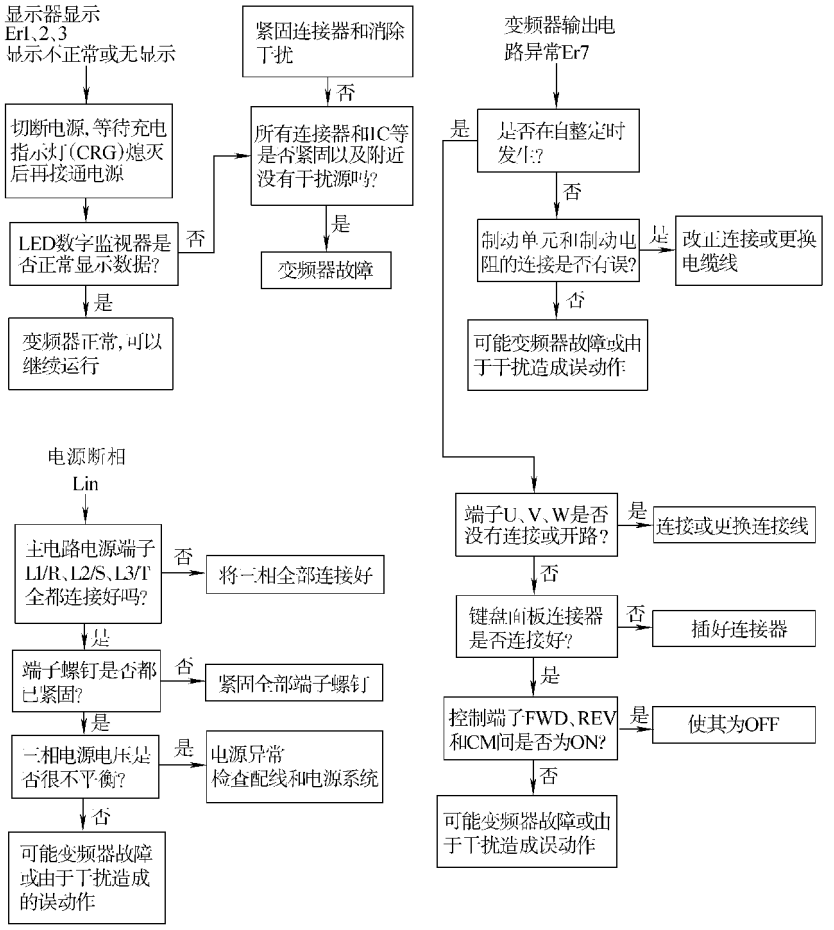
① 键盘面板通信异常、CPU 异常故障、内部存储器异常、输出电路异常、电源断相等，故障判断程序如下：

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



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、绝缘能力降低等，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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能力降低；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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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；PLC 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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：

a. 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

b. 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。

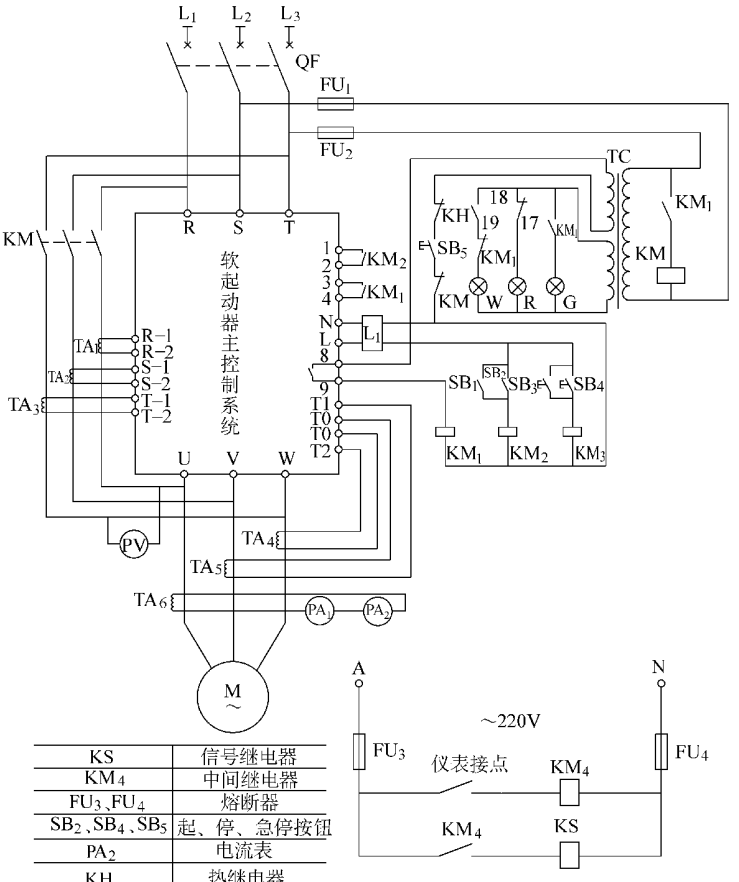
9. 软起动器

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，常用接线图见图 2-51。

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。编程键盘见图 2-52。故障处理见表 2-7。

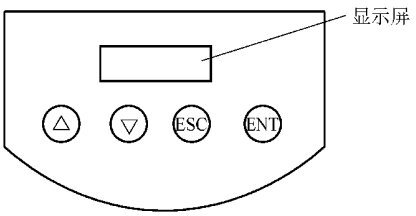
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



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 2-51 常用软起动器接线图



△ 向上键、返回键或增加显示值
▽ 向下键、显示下一内容或减少显示值
ESC 退回菜单或参数，或放弃显示值返回内存中的先前值
ENT 输入菜单或参数，或保留显示参数值

图 2-52 ATS48 软起动器编程键盘示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-7　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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 tHP 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）

（1）起动功能

1）电压控制软起动。电动机的起动加速按照电压斜坡进行控制，对于多个电动机并接在一个起动器上或者电动机功率相对于起动器额定值非常小的情况下，应使用电压控制软起动。

2）转矩控制软起动。起动按照转矩斜坡进行控制，能够显著降低机械应力和电应力。

3）带定子损耗补偿的软起动/停止。在加速或减速阶段，起动器与电动机按△联结或转差率较大的电动机中，振荡是最常见的现象，定子损耗补偿设置后选取合适的参数值，能够使设备正常运行。

4）带电压提升的软起动。由于停止时的摩擦或机械间隙等造成电动机起动时的阻转矩比较大。带电压提升的软起动可以在运行命令开始时，施加一个可调整的电压，使电动机在起动开始阶段以较大的转矩起动，经 100ms 后，再按照标准的加速斜坡起动。

5）带电动机预热的软起动。为了防止电动机结冰或冷凝等现象，可以采用预热功能（可通过逻辑输入端的设置激活）。此设置会使一个可调整的电流（0～100%）在电动机停机并延时后、通入电动机，该电流对电动机进行加热但不会使其转动。

（2）停止功能

软起动有 3 种停车形式：自由停车、减速停车、制动停车。

1）自由停车。电动机自由停车，起动器对电动机不施加任何控制。这是出厂默认设置。

2）减速停车。这是通过控制电压或转矩的软停车。起动器通过调节半导体的开通和关断时刻使电动机按照电压或转矩斜坡逐渐减速。避免快速停止。这类停机适用于泵类，能够降低液压瞬态变化，防止水锤效应。

3）制动停车。如果电动机存在相当大的惯性，则起动器在电动机中产生一个制动转矩，以使电动机快速减速。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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（50%～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。

10. 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，接线的确认必须由两个以上人员确认，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。

三、弱电系统及装置

随着电子技术的飞速发展，弱电已进入电气工程的各个领域，有以“弱”控“强”的趋势。特别是微机继电保护、模块装置、电子式自动化仪表及装置，以及通信网络、电视网络，火灾报警装置、空调系统、智能化建筑等给电气运行维护人员带来了很多难题，也是促使技术技能提高的动力。

弱电系统是一个非常复杂的系统，涉及的知识面非常之广，几句话、几本书、几年的专业学习是不能讲清楚的，其中最主要的还是实践经验。我们在《电气工程安装及调试技术手册（第 3 版）》、《弱电系统的安装调试及运行（第 2 版）》、《微机技术在电气工程中的应用》、《变配电装置及变配电所的安装调试（第 2 版）》、《常见电气故障排除技术技能手册》等书中都讲到了这方面的实用技术技能，可供读者参考。

这里我们就读者最常用、也是必须具备的技能讲两个方面的内容，一是对弱电装置剖析，二是常用电子线路板的制作技术。

（一）剖析弱电装置的方法

任何一个复杂的弱电装置都是由不计其数的单元电子电路组成，也称其为“模块”。一是要掌握模块本身的功能，二是要掌握模块组成复杂电路的功能。

1）模块本身最重要的是要掌握三点，一是电源是交流、直流，其电压值是多少；二是其输入信号的个数、信号是模拟信号、数字信号、接点信号，模拟信号是交流、直流、脉动，数字信号的点数、容量，接点信号是常开、常闭以及各类信号的阻抗。三是其输出信号，内容与输入信号相同。这些信号确认后便可断定其是否正常。

2）几个模块组成电路后按照其层次一级一级确认上述信号，便可找到其症结。详见本章第二节“四、读图及分析复杂电路图的方法技巧”。

（二）电子线路板制作技术

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 ×

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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 2-8 所列数据。

表 2-8　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。

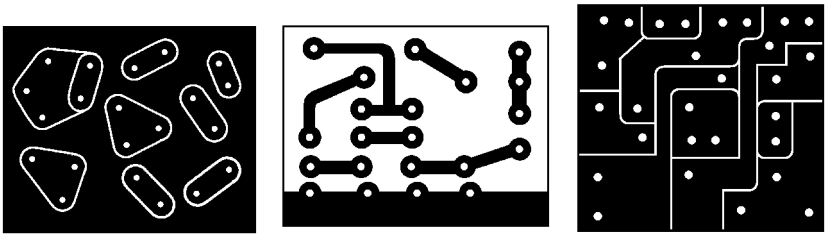
岛形焊盘：板上的空余位置尽量由地线覆盖，使其有良好的静电屏蔽，进而抑制焊盘间的寄生耦合和分布电容。采用机器锡焊时，地线宜用阻焊剂涂覆。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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2-53。



a) b) c)

图2-53 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2-9。

表2-9 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2-10。

表2-10 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 2-54；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 2-55。同时要注意一点接地的合理性，见图 2-56。

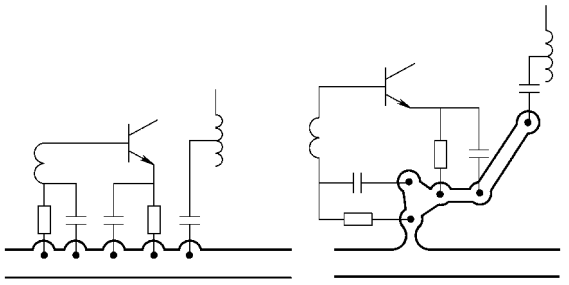


图 2-54　一点接地示意图

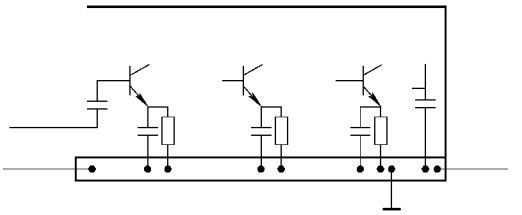


图 2-55　一字形接地示意图

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 2-57；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 2-58。

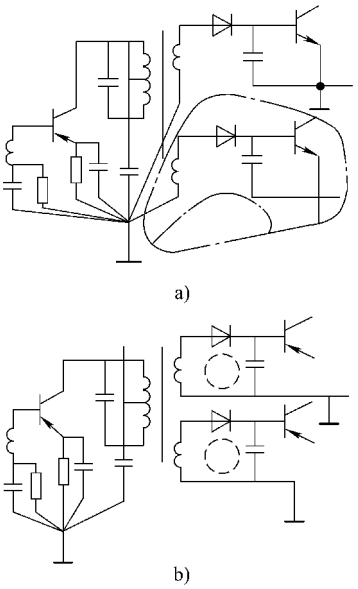


图 2-56　多组检波器的一点接地

a）不合理　b）合理

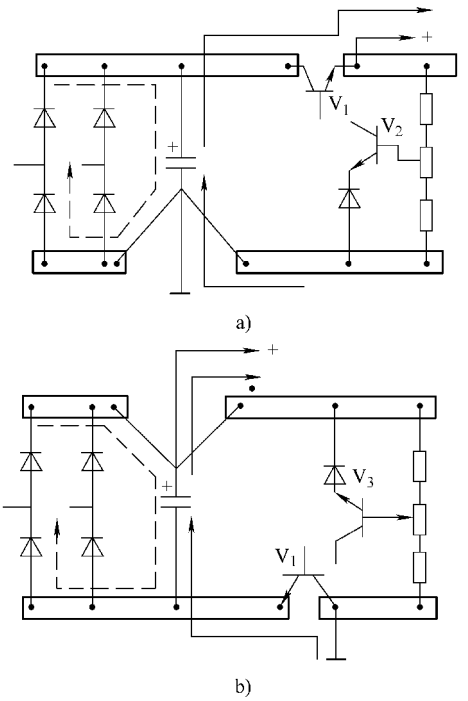


图 2-57　稳压电源的两种合理布局

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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正面画好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。

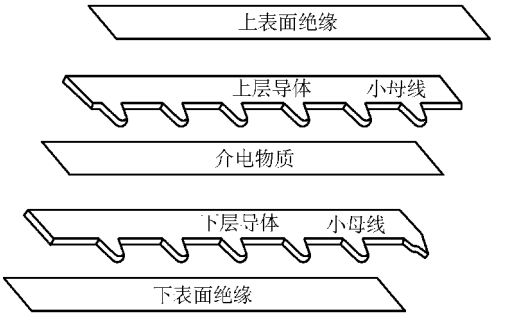


图 2-58 小母线的做法

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，两份水）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. 用刻字小刀将印制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% 三乙醇胺混合配制）。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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当的。焊接时应准备两把尖嘴或扁嘴钳子或金属镊子，作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 2-59a；一般元器件采用卧式贴板安装，见图 2-59b；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 2-59c；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 2-60。大型晶闸管、功率管、整流管一般应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。

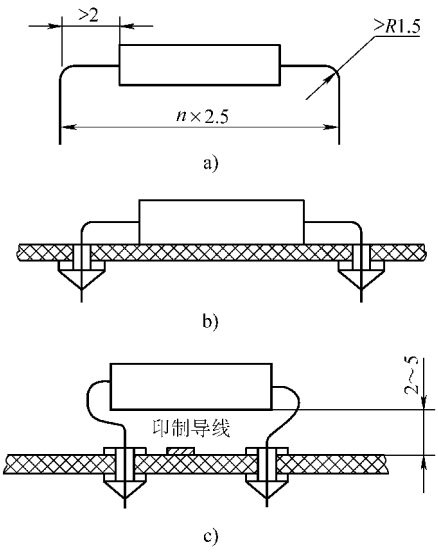


图 2-59　元器件在板上的放置

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

对较重的元器件，应有固定措施，见图 2-61。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 2-62。

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 2-63。

c. 元器件在板上排列规则。分布应均匀、疏密要适当；元器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。

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摩擦，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浑圆的焊点。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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

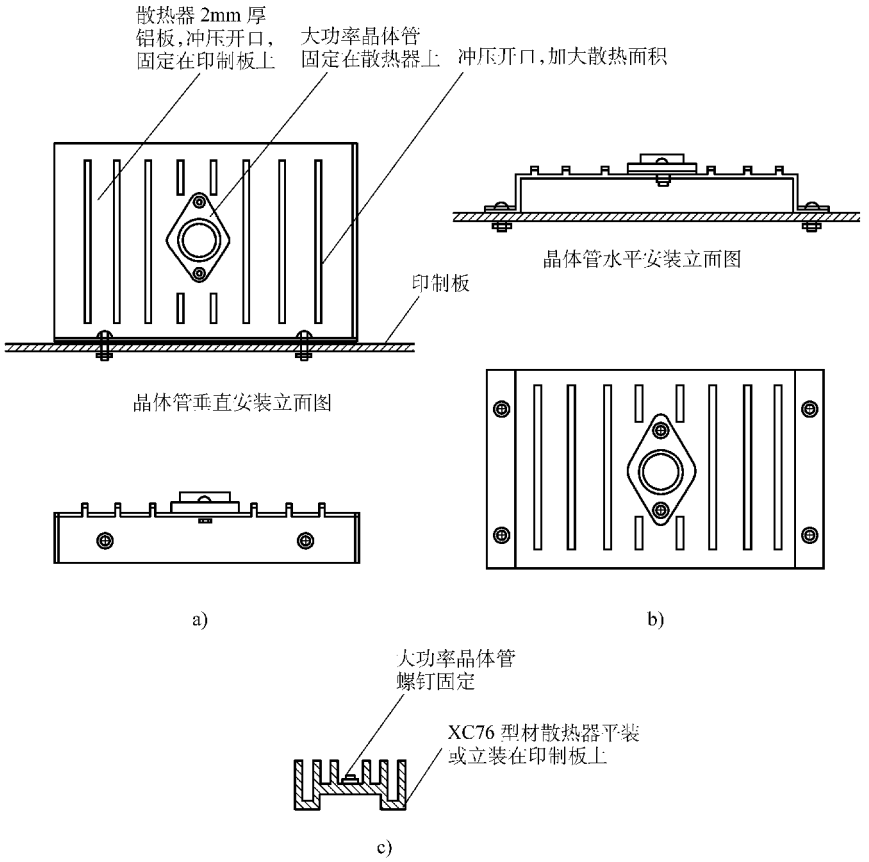


图 2-60 大功率晶体管在印制板上的安装

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

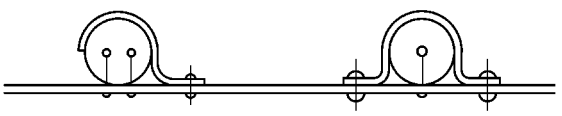


图 2-61 较重元器件的固定

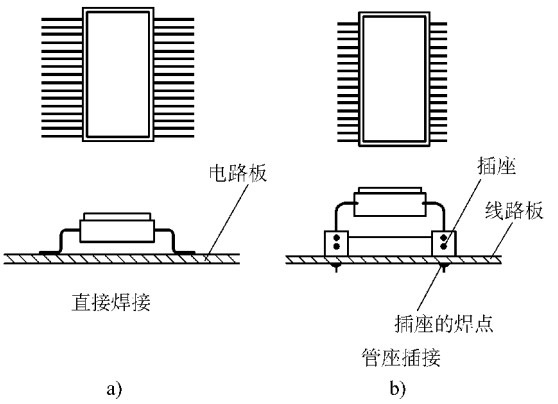


图 2-62 集成电路器件在板上的焊接

a）直接焊接 b）管座插接

接触的情况见图 2-64。然后把多余部分的引脚用桃嘴钳子剪掉。有些人焊接时先把引脚剪短再焊，效果相同。只是应把图 2-64 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

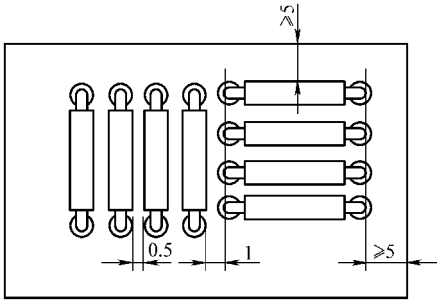


图 2-63　元器件间及元器件与印制板边缘的尺寸

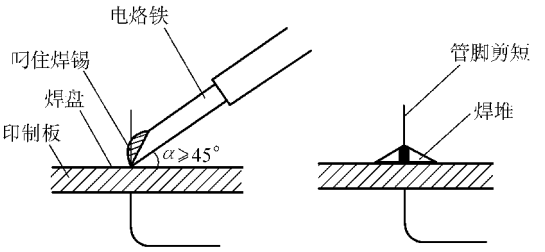


图 2-64　焊接工艺过程示意图

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 2-62。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，叼上锡，按图中所标的方向，叼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 2-65 形罩在引脚和印刷导线上，再施焊。

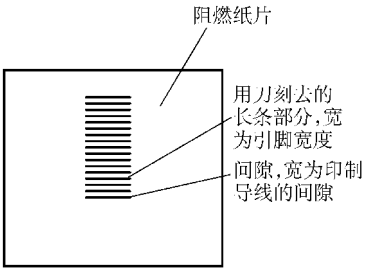


图 2-65　集成电路的焊接

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三章和第五章的相关内容。

四、读图及分析复杂电路图的方法技巧

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。读图步骤及方法、读图注意事项、对常见电路图的分析解读内容较多，请参见《怎样阅读电气工程图（第 3 版）》或《电气工程读图常用技术技能手册》等书。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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件的功能和作用。第三步是确定每个元件的电源设置，如交流、直流、电压等。第四步是确定各个元件的输入及输出是什么信号，以及信号值或范围，如接点信号（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。第七步是确定各元件间、各单元间的反馈回路及其元件或电路，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、重要负荷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、气体、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点的动作结果在所在回路里起到的作用，是断开、接通及回路元件的动作情况。

3）2）中的回路触点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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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机控制装置的枢纽。实质上它是一个模－数转换器，是把模拟信号转换成数字信号的装置，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）确定模－数转换器，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、瓦斯、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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三节 运行维护相关基本技术技能

运行维护电工除了对电气设备、线路正常的维修以外，还要对一些小型的电气设备改造、扩建工程进行安装、调试及试运行。因此，除了运行维护电工必须掌握的技术技能外，还应掌握一些电气设备及电气线路的安装技术技能以及一些调试技术。本章将讲述运行维护电工应该掌握的一些相关工种的基本操作技能，主要有钳工基本操作技能、吊装运输基本操作技能、焊接基础知识及操作、设备安装要点、线路测量技术等内容。作为一名运行维护电工，他是企业、用电单位最基本的电气技术力量，特别是规模较小的单位，分工不是很细。因此，运行维护电工是多技能的工种，有时称其为“万能电工”。所以对运行维护电工的要求往往要高一些，如果你要从事这个职业，就应付出更多的努力，这样你才能成为一名真正的运行维护电工。

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、锯割、钻孔、攻螺纹和套螺纹、刮削、矫正、弯曲等。

（一）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 2-66 所示，其精度为 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。

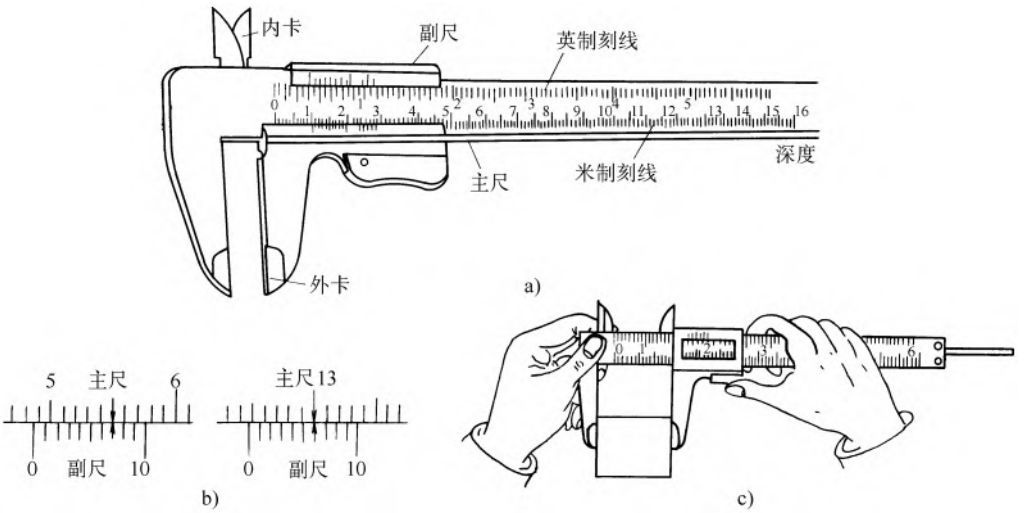


图 2-66 游标卡尺外形及使用读数

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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2-66b中的实例分别是48.7mm和124.6mm。

2）千分尺外形如图2-67所示，其精度为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。

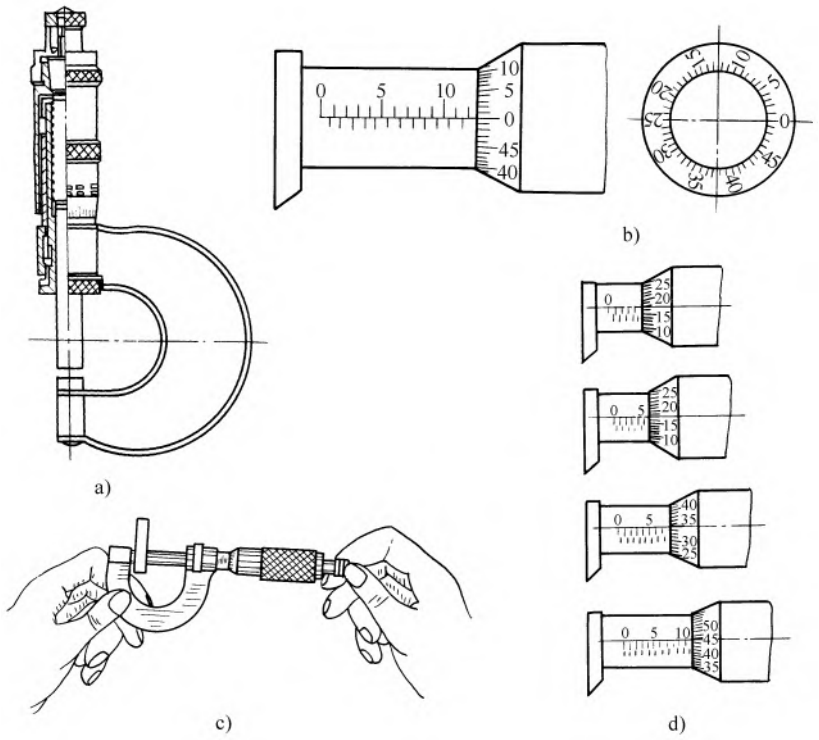


图2-67　千分尺外形及使用读数

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2-67d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。

（二）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2-68a～d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。在圆柱形工件上（如钢管）划线，则用条形直边薄片可卷物（如油

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

毡）卷在圆柱工作上，直边对齐，即可沿直边划线，见图 2-68e。

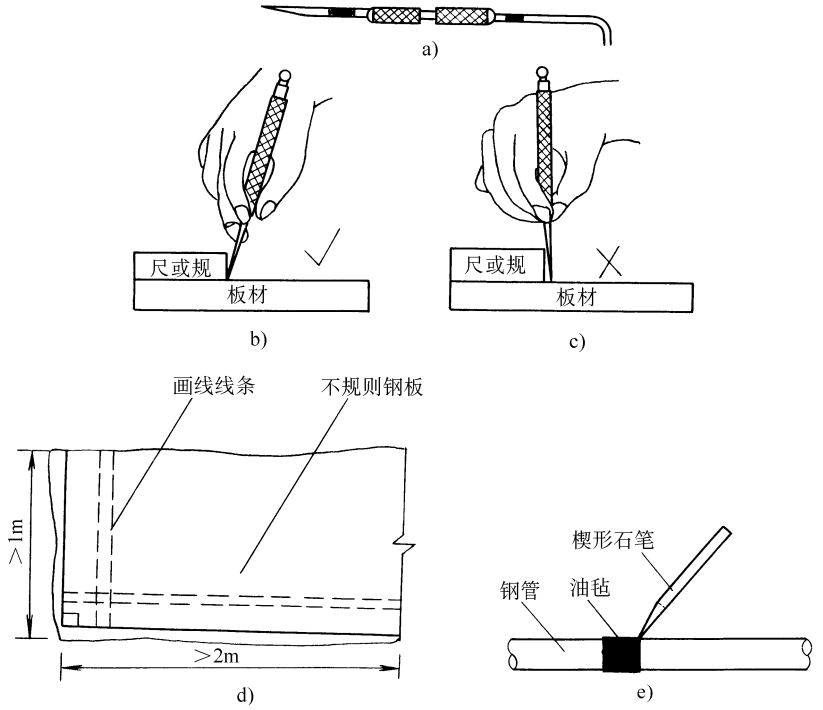


图 2-68 划针及其划线方法

a）划线针 b）正确划法 c）错误划法 d）不规则钢板上划线 e）在管子上的划线方法

（三）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，如电动机键槽；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，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，而离开錾子时应慢。錾子的刃部应经常磨锐，其角度可参考表 2-11 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，如图 2-69 所示。

表 2-11 工件材料和錾子尖角大小

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

（四）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，单绞锉刀用来锉铜、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 2-12。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

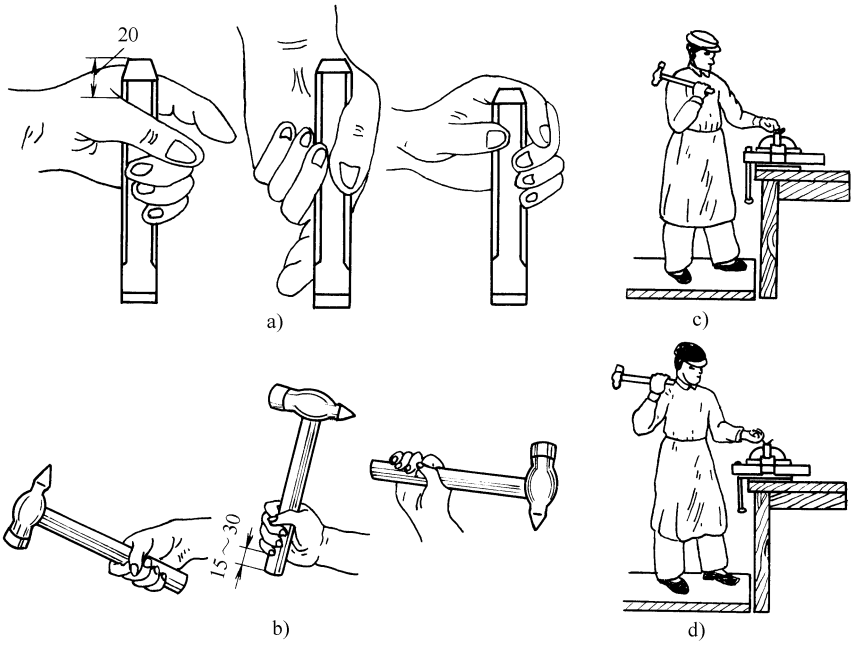


图 2-69　凿子的使用方法

a）錾子握法　b）锤握法　c）肘挥　d）臂挥

表 2-12　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

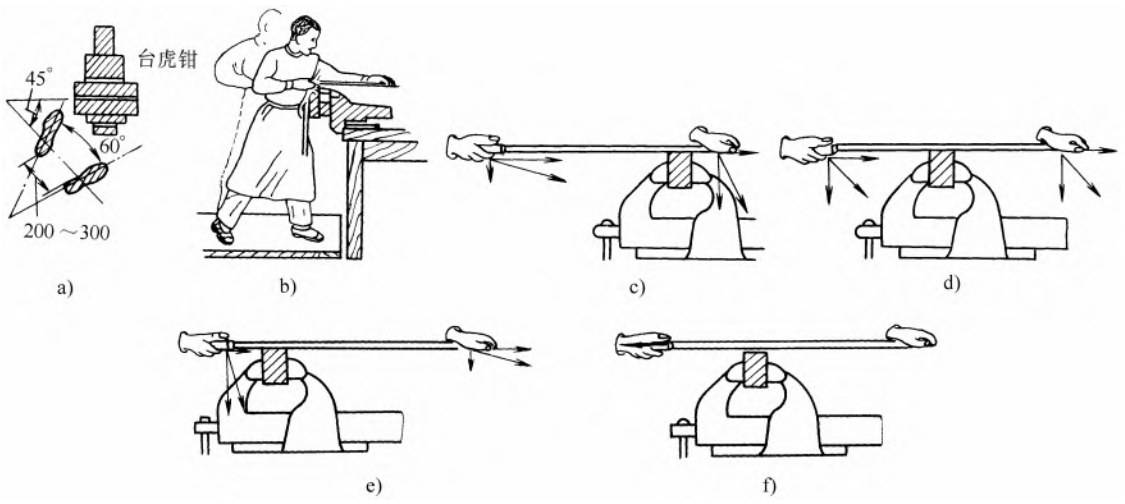


图 2-70　锉刀的使用方法

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 2-70 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 2-71。

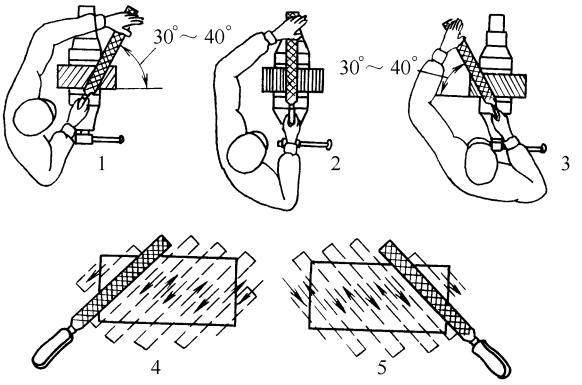


图 2-71 锉平面方法

注：1、2 和 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。

（五）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 2-13。

表 2-13 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 2-72 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 2-14。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

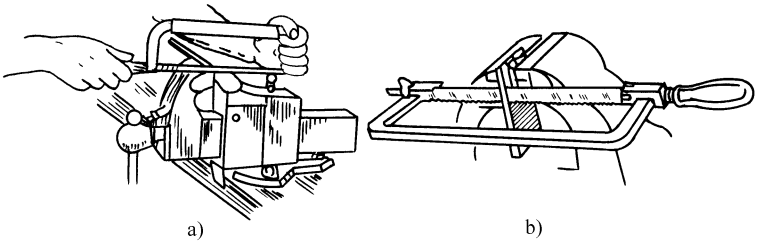


图 2-72　钢锯的使用方法

a）锯削方法　b）深缝锯削方法

表 2-14　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
安全规则	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

（六）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 ψ，如图 2-73 所示各角的度数见表 2-15。操作时，先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。然后起动开关，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。

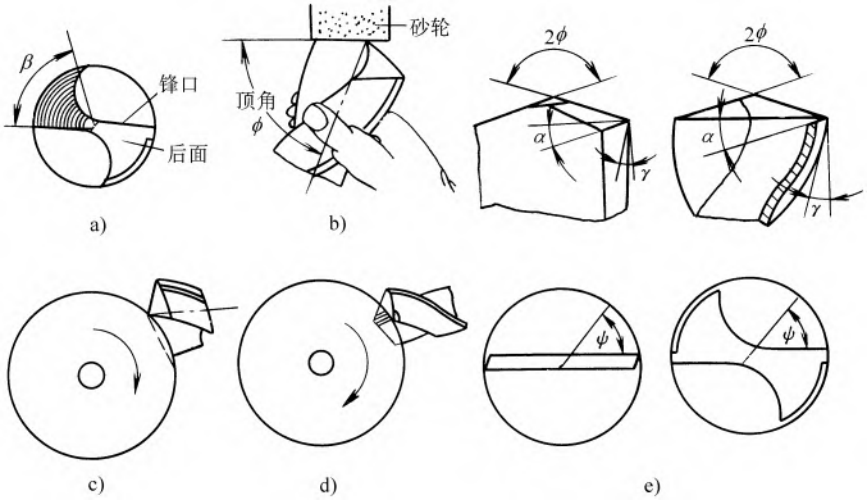


图 2-73　钻头的修磨方法

a）刃磨部位　b）钻头与砂轮的斜度　c）修磨前角

d）磨掉横刃　e）麻花钻头角的位置

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-15 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 ψ	50°～55°	

（七）攻螺纹和套螺纹的操作

1. 攻螺纹

攻螺纹的主要工具是丝锥，攻螺纹前应在工件上钻孔（螺纹底孔），孔径与钻头的直径选择见表 2-16，操作方法如图 2-74 所示。

表 2-16 螺纹底孔直径选择表 （单位：mm）

螺纹大径	钻头直径		螺纹大径	钻头直径	
	材　料			材　料	
	生铁和青铜	钢和黄铜		生铁和青铜	钢和黄铜
3.0	2.5	2.5	12	10.0	10.0
3.5	2.9	2.9	14	11.7	11.8
4	3.3	3.3	16	13.8	13.9
5	4.1	4.2	18	15.1	15.3
6	4.9	5.0	20	17.1	17.3
7	5.9	6.0	22	19.1	19.3
8	6.6	6.7	24	20.6	20.7
9	7.6	7.7	27	23.5	23.7
10	8.3	8.4	30	26.0	26.2
11	9.3	9.4			

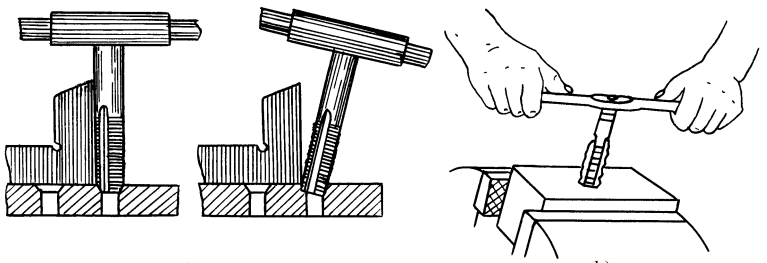


图 2-74 攻螺纹的操作方法

a）左面正确，右面错误 b）攻螺纹

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 小扳手轻轻按顺

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。钢板攻螺纹应涂菜籽油，严禁用全损耗系统用油（机油）或其他矿物油，这些油质阻力大，对表面粗糙度和丝锥都有不良影响。

2. 套螺纹

套螺纹的方法如图2-75所示，套螺纹前先将圆钢的端头稍微锻成锥形；选择板牙时应使其螺纹大径大于圆钢直径0.2～0.4mm，否则板牙有扭裂的可能；套螺纹时板牙应和圆钢垂直，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板牙。试螺母时手感应紧密无松动，且拧入、旋出时手感不太费力。套出的螺纹应光洁无毛刺，整齐规则。套好后一般应涂上一层黄油，以免生锈。

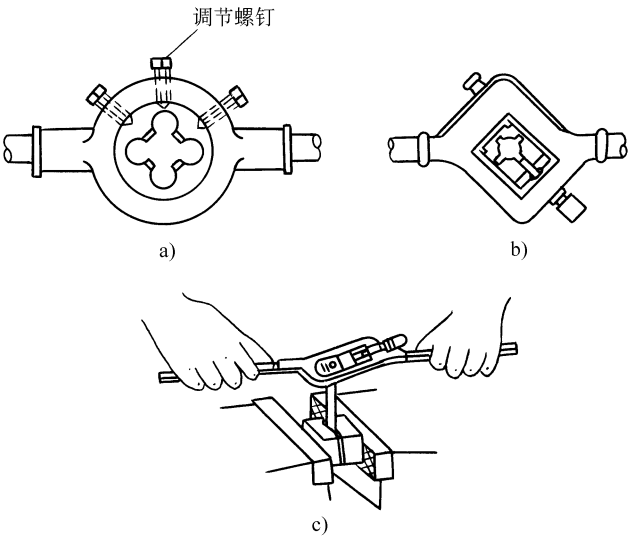


图2-75　板牙和套螺纹的方法

a）整体可调节板牙　b）活动板牙　c）用板牙套螺纹

大量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，要求同上。

（八）刮削的操作

刮削是一项很细微的工作，主要工具是刮刀，用以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，擦净后并用同样方法进行检验。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（九）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（与被矫正料的接触面应为圆形），薄料或有色金属则使用铜锤或木锤（均为圆形面，木锤则用硬木制成）。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钳口内且两侧垫以硬木，夹紧后用木锤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，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，详见机械工业出版社出版的《电工操作技能自学读本》一书。

二、吊装运输基本技能

（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。撬杠一般有大号（长 1500mm）、中号（长 1000mm）、小号（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 2-17 和表 2-18 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 2-17 滚杠规格

物体重量/t	无缝钢管规格/mm
<10	ϕ76×6
10～30	ϕ89×4.5～ϕ89×6
30～50	ϕ89×10～ϕ114×10
50～100	ϕ114×10～ϕ114×14
100～200	ϕ114×14～ϕ133×14
200 以上	ϕ136×16～ϕ159×16

表 2-18 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
ϕ89×4.5	10 钢	2
ϕ108×6	10 钢	4
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

20°～30°坡面，以便于滚杠出入，如图 2-76 所示。木制排子应选用优质枕木制成，并根据吨位选用，见表 2-19。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，如图 2-77 所示。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。

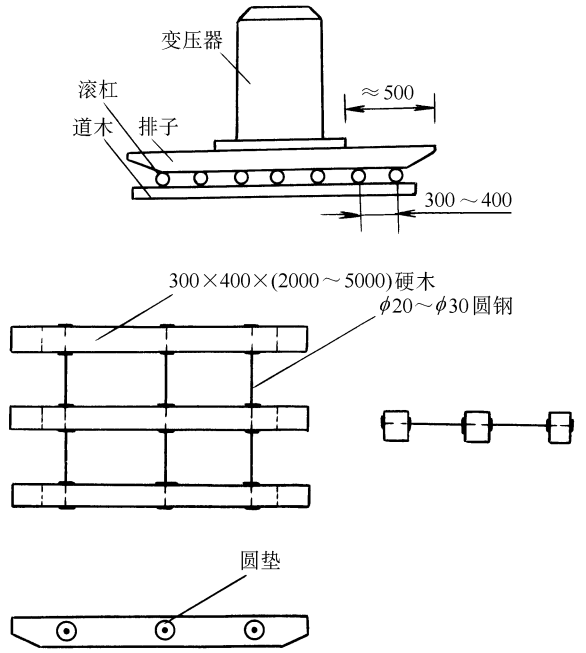


图 2-76　排子及其应用

表 2-19　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	220×300 280×350	3～4	2
50～100	300×400 320×400	5～6	4
100～200	400×500	5～6	4
200～300	400×500	5～6	4
300～400	400×500	5～6	6

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

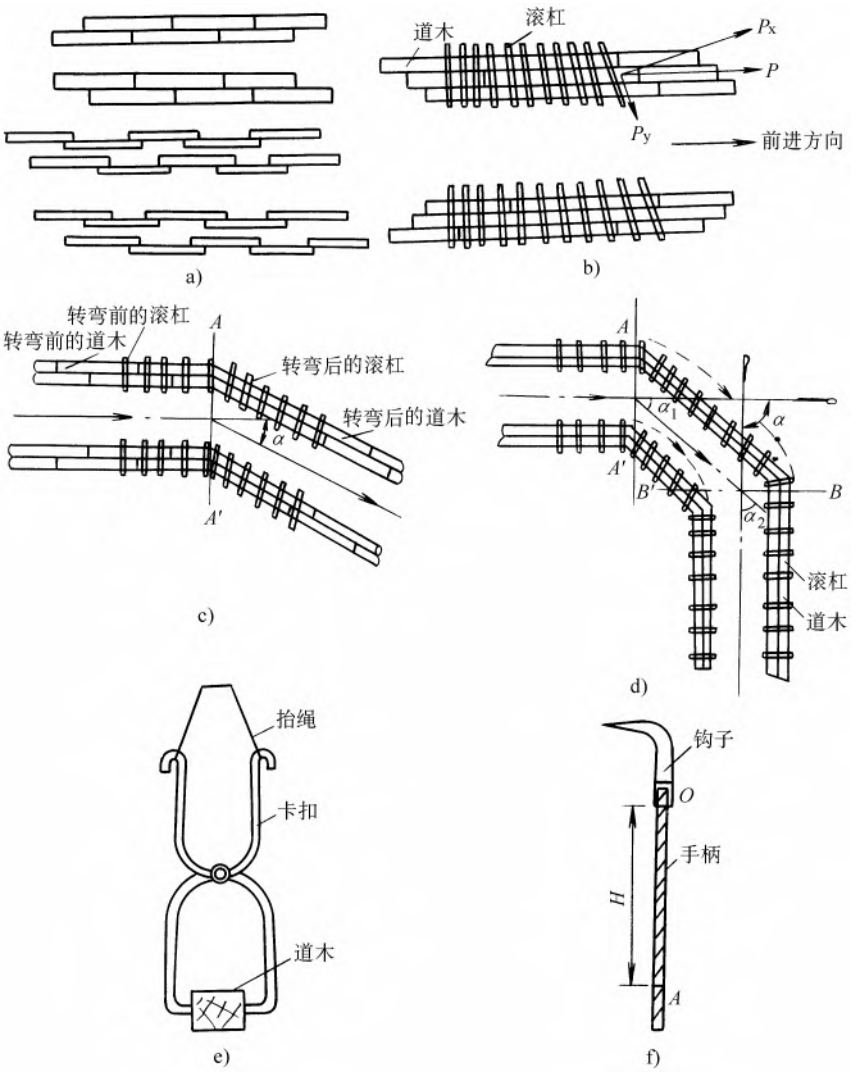


图 2-77 滚道的设置及调整工具

a）两根道木并列布置示例 b）滚杠在道木上的放置及调整 c）运输变压器的转弯（$\alpha<45°$）
d）运输变压器的转弯（$\alpha=90°$） e）抬送道木的卡具 f）调整道木的钩具

（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 2-20 和表 2-21。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-20　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 2-21　白棕绳的安全系数 K

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

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 2-22 和表 2-23。

表 2-22　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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-23 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	

选用钢丝绳时应用下式进行估算：

$$F \geqslant Kf \tag{2-1}$$

式中 F——所选钢丝绳的破断拉力（kN）；

K——安全系数，见表 2-24；

f——钢丝绳工作时的最大拉力（kN），由重物的吨位和运输方式决定。

表 2-24 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	用于吊索	6~7
起重机自身安装用	2.5	用于捆绑	8
用于手动起重设备	4~5	用于载人升降机	12

按计算结果去表 2-22 和表 2-23 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。

使用钢丝绳前应对其进行检查，当断丝数达到表 2-25 和表 2-26 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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-25　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 2-26　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

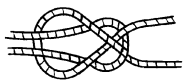
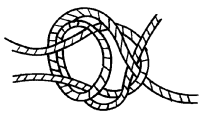
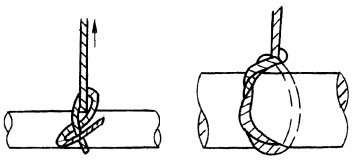
注：d——钢丝绳直径。

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 2-27。

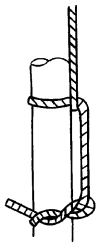
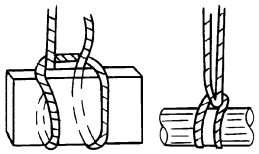
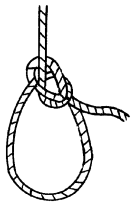
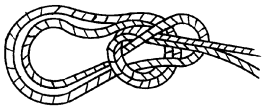
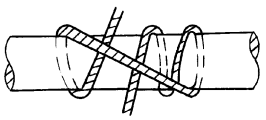
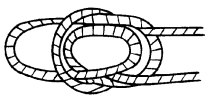
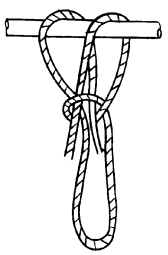
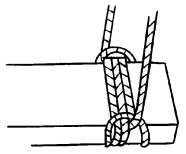
表 2-27　常用结绳结法

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
	系木结（背扣）	用于麻绳横向系吊圆木、管子等物件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

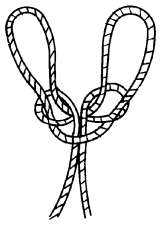
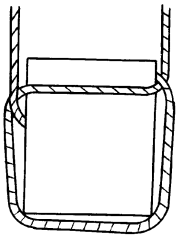
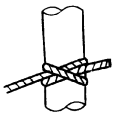
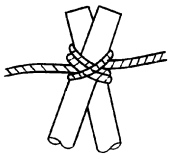
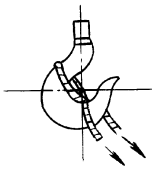
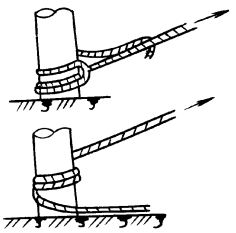
（续）

结 绳 法	绳的名称	用途和说明
	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
	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

结　绳　法	绳的名称	用途和说明
	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
	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 2-78 和表 2-28 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

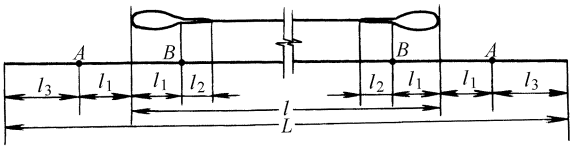


图 2-78 吊索及其展开长度

表 2-28 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 2-79 和表 2-29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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

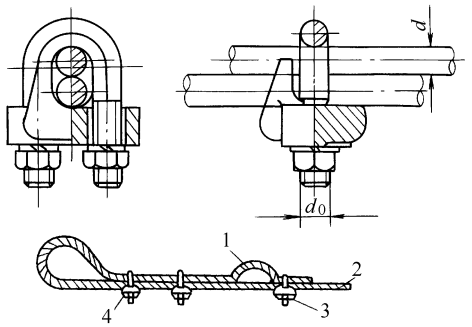


图 2-79　绳卡及使用

1—绳头　2—钢丝绳　3—绳卡（保险）　4—绳卡

表 2-29　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	不小于钢丝绳直径的 6 倍	3
Y2—8		7.7～8.7	M8		3
Y3—10		9.3～11.0	M10		4
Y4—12		12.5～13.0	M12		4
Y5—15		14.0～17.5	M14		4
Y6—20		18.5～20.0	M16		4
Y7—22		21.5～23.0	M18		5
Y8—25		24.0～26.0	M20		5
Y9—28		28.0～30.0	M22		6
Y10—32		31.0～34.5	M24		6
Y11—40		36.5～40.0	M24		7

（三）吊具

1. 卸扣

也称卡环，常与吊索配合使用，外形如图 2-80 所示，有关数据见表 2-30。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。

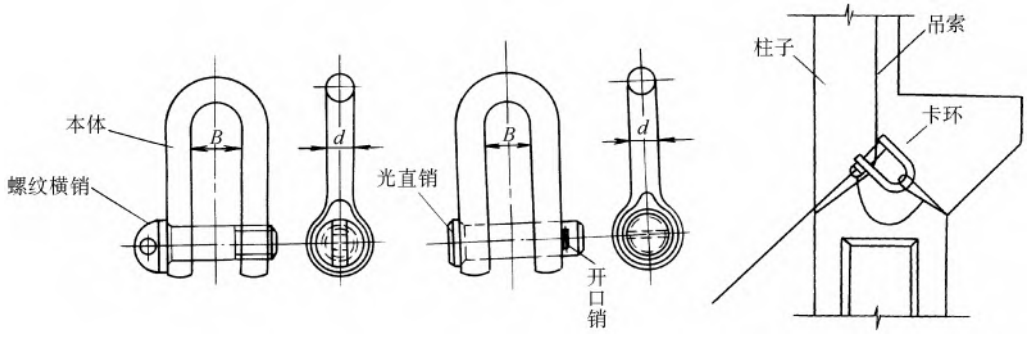


图 2-80　卸扣及使用方法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-30 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 2-31。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 2-31 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%

3. 螺旋扣

也称花篮螺丝，常用于拉紧钢丝绳并有调节松紧作用，外形如图 2-81 所示，有关数据见表 2-32。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

开式索具螺旋扣

闭式索具螺旋扣

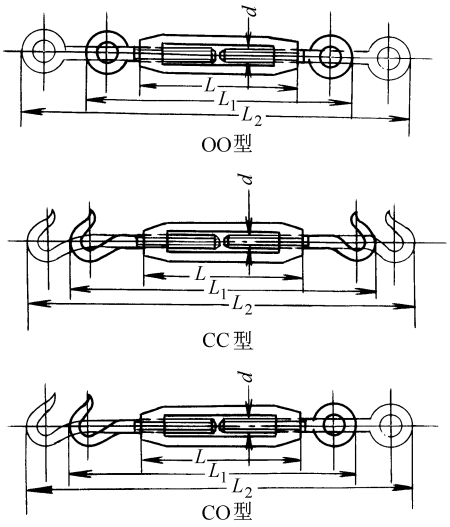


图 2-81　螺旋扣外形

表 2-32　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	—	—
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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

4. 横吊梁

也称铁扁担，铁扁担的使用方式如图 2-82 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。

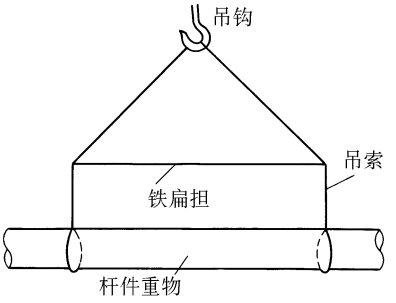


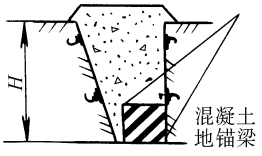
图 2-82　铁扁担的使用方法

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 2-33 和表 2-34。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，以防发生意外。

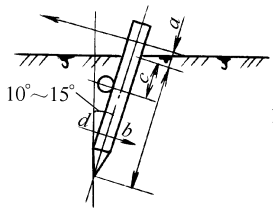
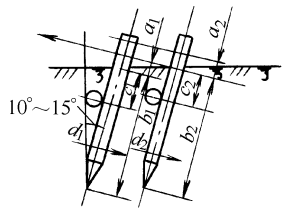
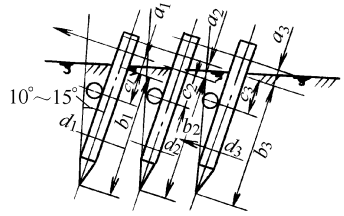
表 2-33　混凝土梁坑式地锚



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

www.789pdf.com 789书库网

表 2-34　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～a_3	30				30			32		
	b，b_1～b_3	120				120			120		
	c，c_1～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

www.789pdf.com 789书库网
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（五）滑车、滑轮及滑轮组

外形如图 2-83 所示，有关数据见表 2-35 和表 2-36，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。

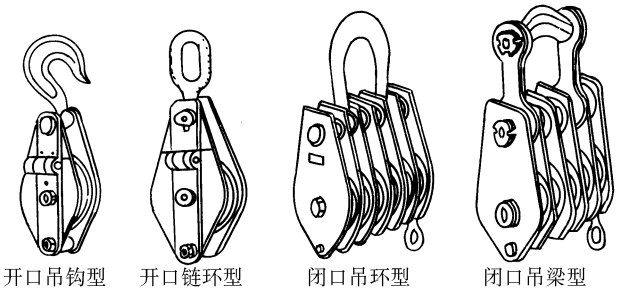


图 2-83　滑轮及滑轮组

表 2-35　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 2-36　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

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
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

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。铭牌不清的应用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。多轮滑车当作1～2轮使用时应使用中间的且应保持对称，载荷不得超过1～2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。

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2-22、表2-23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2-37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2-84所示。

表2-37　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：本表列有三种型号，WA型是在HS型基础上改进的，SBL型采用新的传动机构，机械效率较高，但自重比HS型增大。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，必须保留至少 5 个以上的链环。被吊件到达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。

图 2-84 手拉葫芦外形

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 2-38 和表 2-39 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。

表 2-38 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 2-39 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，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、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 2-40。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 2-40　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
JJK—5	50	220	600	32	500 ϕ22	40

（七）人字架及三脚架

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。人字架的设置如图 2-85 所示，圆木人字架的选择见表 2-41。钢管人字架的容许轴心受力见表 2-42。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

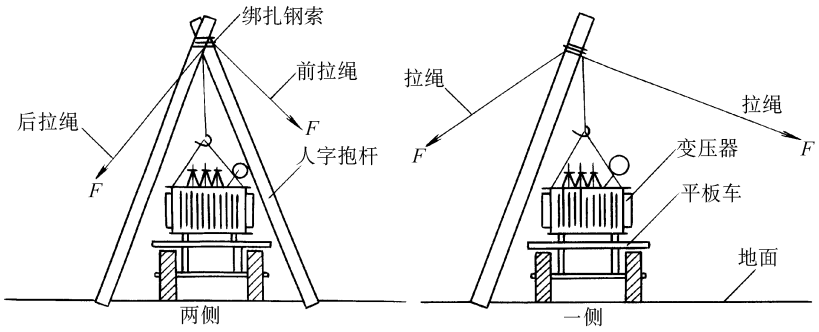


图 2-85 人字抱杆的应用

表 2-41 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 2-42 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）。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 2-27），另一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 2-27）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。

三脚架也称三木搭，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其他物品相碰。

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（曾称油枕）、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，应采取防震、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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。大型电动机及其抽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。

三、焊接技术基础及操作

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、拉力及强度限制的小型构件的焊接和点焊上。

（一）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 2-43 和表 2-44。

表 2-43 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 /kV·A	铜线 /mm^2	铝线 /mm^2	熔丝 /A	铜线 /mm^2	铝线 /mm^2	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 2-44 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 3. 焊机外壳及铁心未可靠接地或接地极设置不符合要求	1. 检查并消除碰壳处 2. 消除碰罩壳现象 3. 接妥地线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）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 2-86 所示。

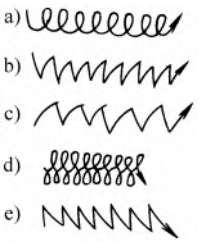


图 2-86　焊条的横向摆动
a）各种位置第一层焊缝
b）、c）平、立仰焊表面焊缝
d）平面表面焊缝
e）横缝焊缝

收弧时应在焊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 2-45 和表 2-46。其中，电流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 2-45　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-46 焊接电流与焊条直径的关系

焊条直径/mm	2	3.2	4	5
电流/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℃，烘干时间为 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。

四、机电设备安装技术要点

（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 2-47。

（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

地脚的复核见表 2-47。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 10‰，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 2-47 设备基础尺寸和位置的允许偏差

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　次	项　目	允许偏差/mm
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 2-48 和表 2-49 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 2-48　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 2-49　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	11	10.50	28	21	18	2
12	13.50	13	35	24	21	
16	17.50	17	45	30	28	3
20	22	21	55	37	34	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

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	
24	26	25	65	44	39	4
30	33	31	80	56	50	
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

应遵照本节“二、吊装运输基本技能”的有关内容进行，并且应注意以下内容：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2-50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2-50 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脚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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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2-87进行。

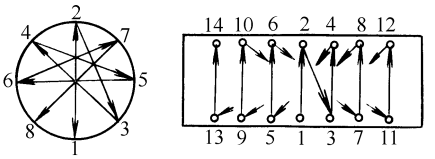


图2-87　地脚螺栓紧固的顺序

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。二次浆灌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2-51。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2-51　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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三章　常用电工检修测试仪表及仪器

常用电工检修测试仪表主要指检修测试用的携带式仪表，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携带式仪表。

电工检修测试仪表可以帮助运行维护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，从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，进而对生产或生活产生了损失性的不良影响。

因此，作为运行维护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。本章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、携带式电工检修测试仪表的种类

携带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　俗称兆欧表、摇表，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，因此通常称之为兆欧表或兆欧计。

（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，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 3-1 所示。

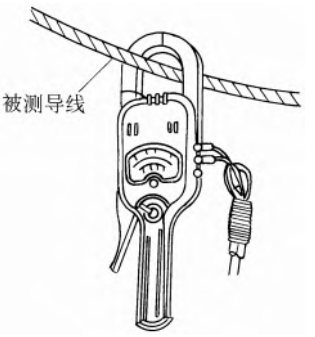


图 3-1　钳形电流表外形

（4）接地电阻测试仪　俗称接地摇表，目前使用较多的接地摇表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　它是一种常用的携带式测温仪表，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

（6）高压验电器　高压验电器的结构示意如图 3-2 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。

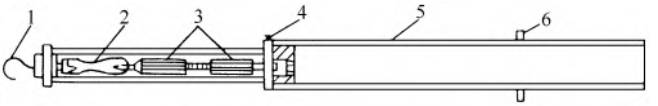


图 3-2　高压验电器结构示意图

1—工作触头　2—氖灯　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、氖灯、弹簧及绝缘笔形外套组成，如图 3-3 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，有氖灯发红光，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。

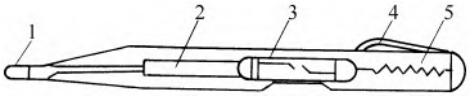


图 3-3　低压验电器结构示意图

1—工作触头　2—碳精电阻　3—氖灯

4—握柄　5—弹簧

除了上述的七种常用仪表外，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 3-1。

表 3-1　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进行判断
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 还能同时测定最大放电电荷 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

检测器名称	测试方法与原理
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

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。其体积较小，质量不大于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。

6）绝缘油试验器。可现场进行绝缘油试验。

7）携带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。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。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。基本同3）。

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，由于篇幅的关系这里不详细讲述。

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挡位，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挡位上。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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，也可用钳形表测量，先选择钳形表的最小一级电流挡，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，如果选挡不当，应先将导线取出钳口再调整转换开关，不得带负荷调整，以免将指针打弯。

（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电流表进行测量，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；先把挡位打在电阻欧姆（Ω）挡上，将表笔相碰，观察指针是否指向零位，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，并且每换一个挡位均应调零一次。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挡位上，如电阻挡 Ω、电压挡 V、电流挡 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 $\underline{A}$ 或

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

mA、直流电压V上，电阻500kΩ、10kΩ、1kΩ、100Ω、10Ω、1Ω上等，有的表上交流用AC表示，直流用DC表示，晶体管放大倍数用h_{FE}表示，二极管用⊣表示，两点的通断用•))表示，使用时，应与测量电阻的接线相同。不同型号的万用表表示方法不尽相同，因此，应对照说明书，一一核对确认。

（3）测量电压时，应将表笔触及在被测物的两端，即并联在被测物上；测量电流时，应将表笔触及在被测物断开点的两端，即串联在被测物的回路上；测量电压、电流时，不得断开被测物的电源，如果是直流参数，还应注意表笔的正负极，否则指针反偏。有的万用表测量高电压、大电流还得变换表笔的插孔，使用时要注意与导线的连接应用鱼嘴夹，而不用表笔，以防接触不良。测量电阻、电感、电容时，应先将被测物的电源断开，容量较大的电感、电容得先放电，然后再测量；测量导线的通断，也得先断开电源。在电路板上测量电阻、电感、电容、二极管等两端元器件时，至少应将其在板上的焊点断开一点，否则，测量不准。测量晶体管时，至少应断开两个点，测量放大倍数时，应将其取下插入万用表的h_{FE}插孔内测量，并且要注意管子是NPN型还是PNP型。对于数字万用表黑表笔始终插入COM孔，测量电压和电阻时，红表笔插入V·Ω孔；测量电流时红表笔插入mA，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 V。

当转换开关打在欧姆（Ω）挡上，且测量范围打在欧姆（Ω）的某个测量范围时，应从欧姆线上读取读数，将读出的读数乘以测量范围的倍数，即为被测电阻的实际值。

当转换开关打在V或A挡上，测量范围打在V或V，或mA或μA的某个测量范围时，先看一下第二条刻度线或第三条刻度线的满刻度值与测量范围所指的值是否相符，相符则从这条刻度线上直接读数即可；如果不符，则根据满刻度值与转换开关所指值的整倍数的关系读取，如满刻度值为250，所指值为500，则指针指数乘以2即为所测量值；如满刻度值为50，所指值为10，则指针指数除以5即为所测值。所指值为100，则指针指数乘以2即为所测值。所指值为1，则指针指数除以50即为所测值。所指值为2.5，则指针指数除以20即可。

对于有其他测量功能且有其他刻度值线时，应详细阅读说明书并参照上述方法读取读数。

（5）其他注意事项：万用表用完后应将转换开关打在交流电压挡上或将其打在标有“·”的位置上，以免下次用时将指针打坏或将表烧坏。

万用表的电池应根据使用频率的多少及时检查，以免电池长时间搁置后，电液流出腐蚀电极或元器件，导致万用表损坏。长期不用时，应将电池取出保管。

四、绝缘电阻表的使用及注意事项

（1）用绝缘电阻表测量电气设备的绝缘电阻　绝缘电阻表由手摇直流发电机和磁电系流比计组成，测量时将手摇直流发电机的直流电压加在被测物上，测得的泄漏电流经流比计

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

换算后将绝缘电阻值显示在表盘上。

使用绝缘电阻表测量时的接线如图 3-4 ~ 图 3-6 所示。

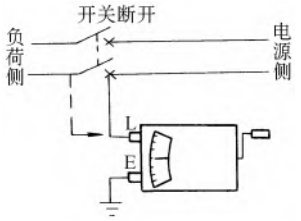


图 3-4　用绝缘电阻表测量线路对地绝缘电阻

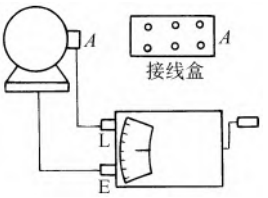


图 3-5　用绝缘电阻表测量电机对地绝缘电阻

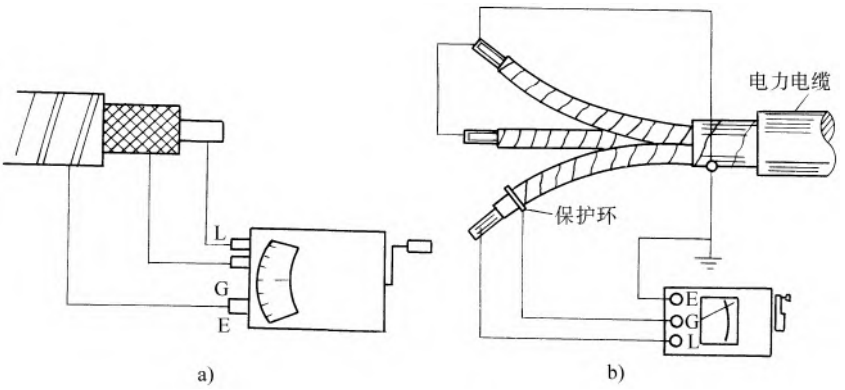


图 3-6　用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻

a）线芯对外皮的接线　b）消除表面泄漏的接线

使用绝缘电阻表时应注意以下几点：

1）绝缘电阻表的转速应由慢到快，转速不得时快时慢，当达到 120r/min 时则应保持稳定，转速稳定后，表盘上的指针方能稳定，指针的指示即为测得的绝缘电阻的阻值。使用时应水平放置。

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 3-2。

表 3-2　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，一般低压电器设备可选用0～200MΩ量程的表，高压电器设备或电缆、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3-2选择不同的挡位，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3-7所示。

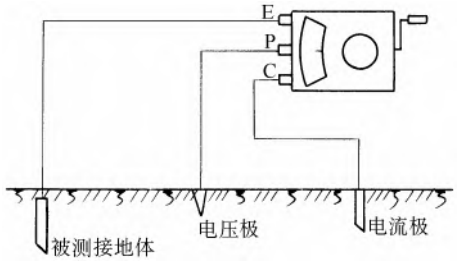


图3-7　接地电阻测试仪测量接地电阻的接线

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

装置，如图 3-8 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。

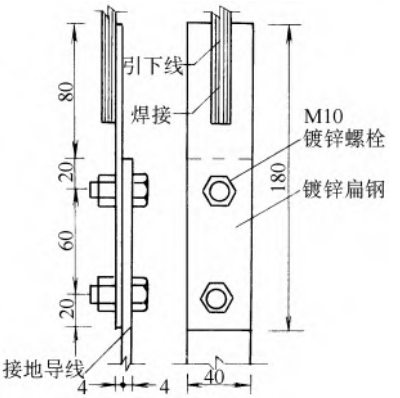


图 3-8　接地引线与接地体之间的可拆卸的连接点

六、场强仪的使用

1）拉杆天线的选择：根据被测频道的信号频率选择天线，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。RR_3 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 RR_8 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。RR_8 场强仪与 RR_3 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 3-9 所示。

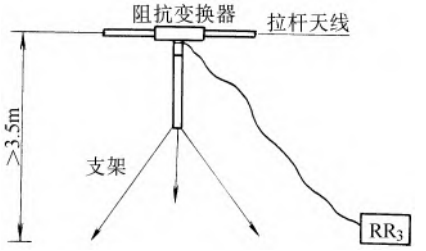


图 3-9　组装好的天线及场强仪示意图

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”挡上，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。

七、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 挡，即 ×0.001、×0.01、×0.1、×1、×10、×100、×1000；另有 4 挡是千位、百位、十位、个位的读数盘，每个读数盘上有 ×0、×1、×2、…、×9 共 10 挡。

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挡，倍率挡为 ×1000，读数盘分号为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，仍不为零，则应调节倍数挡至×100，并把读数盘恢复至最大挡 9，仍按前述方法调节，仍不为零，则应调节倍数挡至×10、×1、…、×0.001，直至指针指向于零。假如倍率挡在 0.01 挡，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，我们是先用万用表欧姆挡粗略地测量一下被测电阻的阻值，然后再合理地选择倍数挡和读数盘，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 Ω，为了准确起见，可选用倍数盘为×0.001 这一挡，读数盘千位可先打在×5 挡，百、十、个位可在任意挡。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）再继续调高；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（1～10^6Ω），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 3-3。

表 3-3 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

八、万用电桥的使用

这里以 WQ-5A 型万用电桥（如图 3-10 所示板面结构）说明电桥的使用方法。

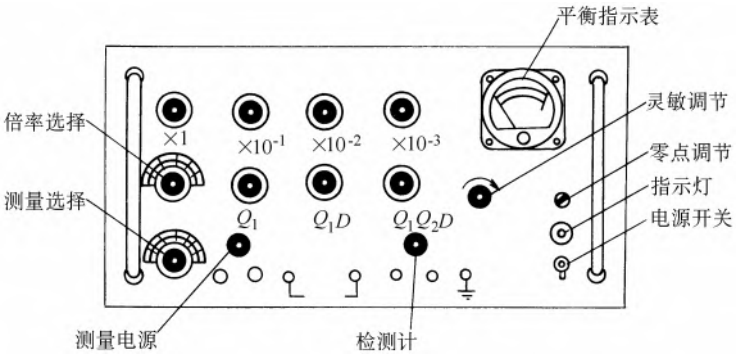


图 3-10　WQ-5A 型万用电桥板面布置图

1. 电阻的测量

1）将桥臂读数开关“×1”、“$\times 10^{-1}$”、“$\times 10^{-2}$”、“$\times 10^{-3}$”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）将被测元器件接入测量接线柱，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”置于电阻挡。

7）根据被测电阻的标称值范围，将“倍率选择”开关打在适当的挡位。

8）按顺序调节“×1”、“$\times 10^{-1}$”、“$\times 10^{-2}$”、“$\times 10^{-3}$”4 个读数开关，平衡指示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，指针都稳定指示在满刻度而不摆动，说明电桥已达到平衡。

9）将读数开关指示数值的总和即□·□□□（□为指数值），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，由于被测元器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，平衡指示表的指针就不能偏转到满刻度 100。

2. 电容的测量

电容的测量应用交流电桥，或用万用电桥，有的万用表也可以测量电容。使用 WQ-5A

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

型万用电桥测量电容时1）~5）同电阻测量的1）~5）。

6）将“测量选择”开关置于电容挡。

7）根据被测电容的标称范围，将“倍率选择”开关置于适当的挡位。

8）顺序调节读数开关，使平衡指示表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“Q_1D”及“Q_1Q_2D”旋钮，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. 电感的测量

电感的测量通常用万用电桥，也可用交流电桥，有的万用表也可以测量电感。

使用WQ-5A型万用电桥测量电感时1）~5）同电阻测量的1）~5）。

6）将“测量选择”开关置于电感挡，选择电感挡时要根据电感的品质因数 Q 值的大小，当被测电感的 $Q<10$ 时，“测量选择”置于电感挡的 Q_1 位置；当 $Q>10$ 时，“测量选择”开关置于电感挡的 Q_1Q_2D 位置。

7）根据被测电感的数值范围，选好相应的“倍率选择”挡位。

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，使平衡指示表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，就是被测电感量的 Q 值。当“测量选择”开关放在电感“Q_1Q_2D”挡时，只用“Q_1Q_2D”的读数，以红字红线刻度直接表示被测电感量的 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。

九、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。

（一）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。常用的接线图如图3-11所示。

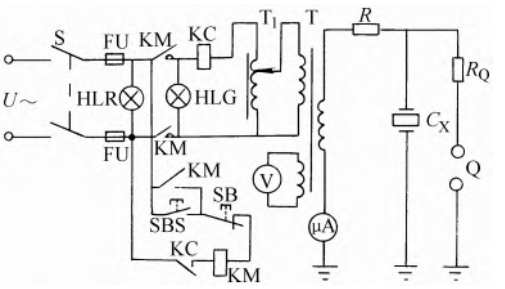


图3-11 工频耐压试验的接线

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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（3-1）进行估算

$$I_{SC} = 2\pi f C_S U \times 10^{-6} \tag{3-1}$$

式中　f——试验电源频率（Hz），取 50Hz；

C_S——被试品电容量（μF），通常由 tanδ 试验中测得；

U——试验所加的电压（V）。

试验变压器的容量 S 可按式（3-2）计算

$$S \geqslant 2\pi f C_S U^2 \times 10^{-9} \tag{3-2}$$

一般情况下，试验变压器的容量应按表 3-4 选择。

表 3-4　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/kV·A	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（25kV·A 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，使球隙不致烧坏，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 3-5。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（3-3）来计算。

$$\delta = \frac{51.4p}{(273 + t)} \tag{3-3}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 p——测量时的大气压力（Pa）；

t——测量时的温度（℃）。

表 3-5 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					
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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
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 101332Pa（760mmHg），周围空气温度 20℃。

2. 括号内数字准确度较低。

当空气密度与 1.0 相差很大时，δ 按表 3-6 中的数值选取。

表 3-6　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 3-12 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（3-4）计算

$$U = U_2 \frac{C_2}{C_1} \tag{3-4}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 U_2——电压表测得的电压（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。

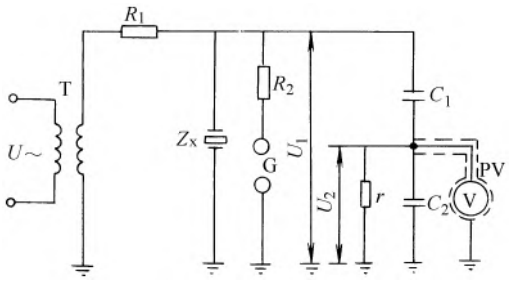


图 3-12 用电容分压测量电压的接线

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

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。

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 3-5 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）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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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3-4来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，同时应满足下式的条件：

$$C_S < 3.18\frac{10^9}{X_\Sigma} \tag{3-5}$$

式中　C_S——被试品电容（pF）；

X_Σ——试验变压器与调压器漏抗之和（Ω）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式（3-5）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（3-5）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：

$$S_C > 0.4S_e \tag{3-6}$$

$$S_C < 0.03S_e \tag{3-7}$$

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 6～10mm^2 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，绝对不得接错，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。

（二）直流耐压试验

直流耐压试验的接线原理图如图 3-13 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。

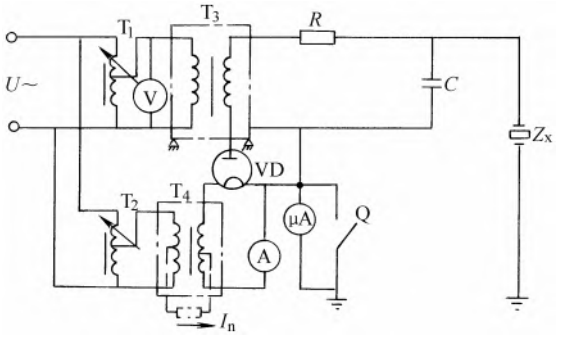


图 3-13 直流耐压试验的接线原理图

T_3—试验变压器 T_4—灯丝变压器 T_1—单相调压器（容量 0.5～1kV·A） T_2—单相调压器（容量 0.5～1kV·A）

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）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

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，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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10Ω/V。

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。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3-14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（3-8）计算：

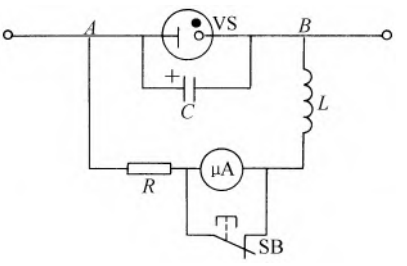


图3-14　用稳压管保护微安表的线路

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）

$$R = 1.2\frac{U_{VS}}{I_{\mu}} \tag{3-8}$$

式中　U_{VS}——稳压管放电电压（V）；

I_{μ}——微安表满刻度电流（μA）。

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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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℃时的泄漏电流。

对B级绝缘的发电机，应用式（3-9）换算到75 ℃时的泄漏电流：

$$I_{75} = I_t \times 1.6^{\frac{75-t}{10}} \tag{3-9}$$

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，用式（3-10）进行换算：

$$I_{t2} = I_{t1} e^{\alpha(t_2-t_1)} \tag{3-10}$$

式中 I_{t2}——换算到温度为 t_2 时的泄漏电流值（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，要防止振坏耳膜，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3-15所示的方法测量，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

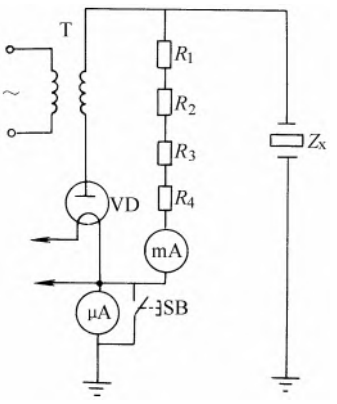


图3-15 直接测量直流高压接线示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

十、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 5min 后才可进行试验，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 3-16 所示。只有短路试验无误后才可进行试验。

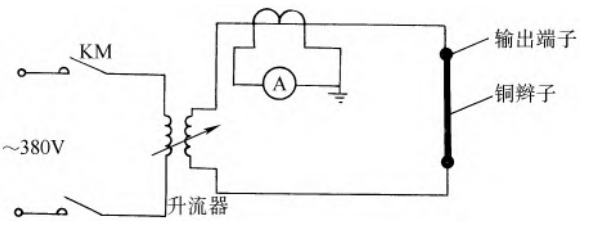


图 3-16　升流器的短路试验接线

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。

十一、示波器及其使用

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，一般需要重新调整聚焦状态。

“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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

“*Y* 轴衰减”：分 1、3、10、30、100、300 和 1000 等 7 挡，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 三挡，供选择适当的输入电压。在“扫描”挡时，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”：扫描时间速度挡级开关，在 0.1μs/cm ~ 10ms/cm 范围内从 0.1 ~ 10，共分 5 挡。

“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 挡，“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。如时标挡级在 1μs 时，时标脉冲振荡器的输出频率 1MHz。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

“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 挡，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 轴选择应置于扫描挡，并视被测信号为正、负极性分别将触发选择于“内 +”或“内 -”挡。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 -”挡。

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 挡时，荧光屏上呈现约 5cm 宽度的单个脉冲；若将扫描时间置于 100μs 挡级时，荧光屏上就

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 轴衰减挡（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 3-7。

表 3-7 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3-17。

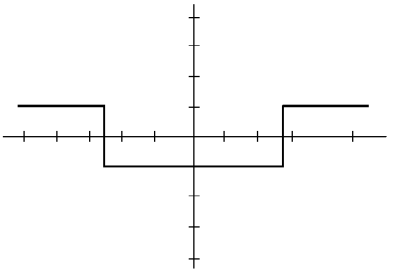


图 3-17 仪器典型使用状态时的波形

从图 3-17 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：

$$S_Y = \frac{\text{输入电压}}{\text{显示幅度}} \tag{3-11}$$

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

此外，“Y 轴增幅”的覆盖系数应符合下列关系式：

$$A_{覆盖}=\frac{最大幅度}{最小幅度} \tag{3-12}$$

如最大幅度应大于 6cm，最小幅度应小于 1.8cm，即

$$A_{覆盖}=\frac{（大于）\ 6\text{cm}}{（小于）\ 1.8\text{cm}}>3.3$$

$A_{覆盖}$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，可知此挡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 3-18 所示的波形，这时可进一步证实方波宽度为 500μs。

4. 用示波器测量波形幅度

先将“Y 轴选择”置于 1MΩ 挡，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 3-19，其操作方法如下：

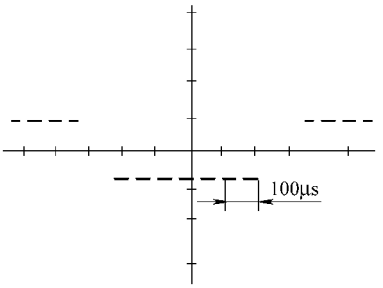


图 3-18　100μs 时标所显示的方波

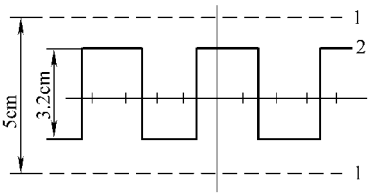


图 3-19　测量波形幅度示意图
1—比较信号　2—被测信号

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 挡，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 3-19 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 3-20 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

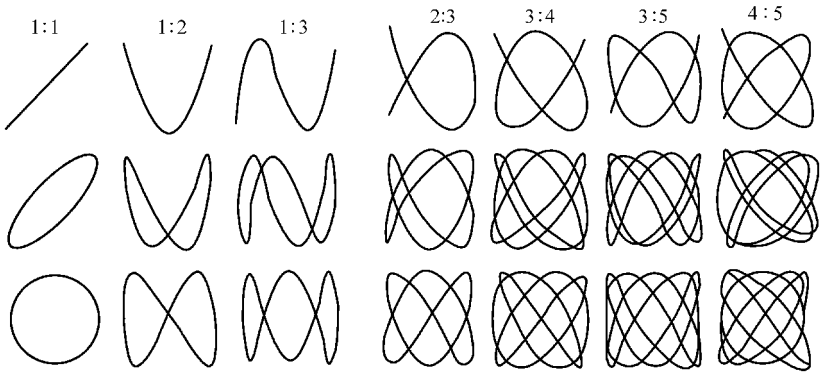


图 3-20 常用的频率比图形（李沙育图形）

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 3-21。

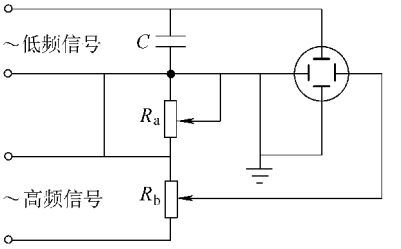


图 3-21 分相比较法

已知低频的信号，通过 C 与 R 的移相网络，送入 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 3-22 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。

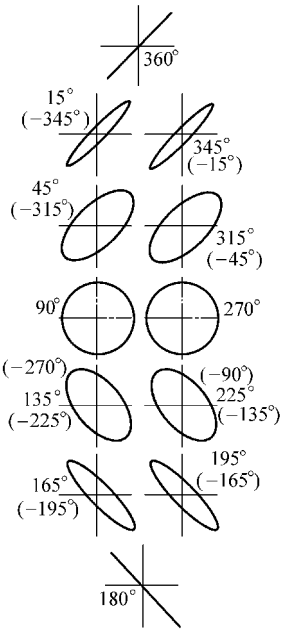


图 3-22 波形的相位比较图

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 3-19 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

$$t = 100\mu s/cm \times 2cm = 200\mu s$$

周期为两倍宽度，即

$$T = 2t = 400\mu s$$

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：

$$t = \sqrt{t_1^2 - t_2^2} \tag{3-13}$$

式中 t_1——荧光屏上读出的前沿数值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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3-23为一快速脉冲前沿的测量方法。

若此时扫描速度为0.1μs/cm，则上升时间为

$$t_1 = 0.5\text{cm} \times 0.1\mu\text{s/cm}$$
$$= 0.05\mu\text{s} = 50\text{ns}$$
$$t_2 = 40\text{ns}$$
$$t = \sqrt{50^2 - 40^2}\,\text{ns} = 30\text{ns}$$

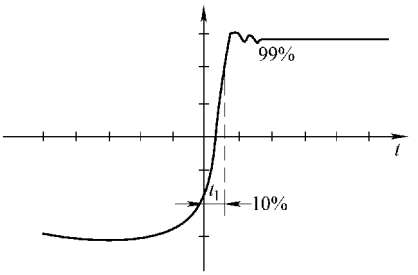


图3-23　快速脉冲前沿测量

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3-24，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3-25，τ就是被测延迟装置的延迟时间。

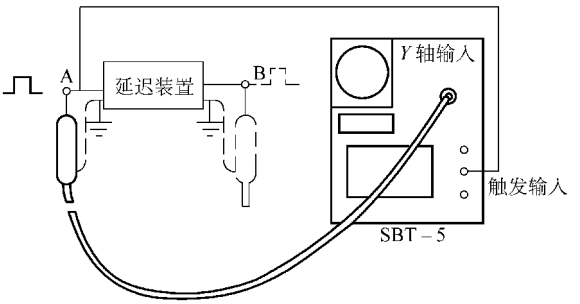


图3-24　延迟时间测量框图

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。

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3-26所示为一已调制的信号，其调制系数为

$$m = \frac{a-b}{a+b} \times 100\% \tag{3-14}$$

式中　a——最大幅度；

b——最小幅度。

例如，图3-26中b为10mm，a为37mm，则调制系数为

$$m = \frac{37-10}{37+10} \times 100\%$$
$$= \frac{27}{47} \times 100\% = 58\%$$

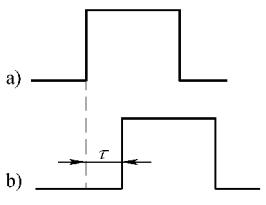


图3-25　两信号的对应关系

a）延迟前　b）延迟后

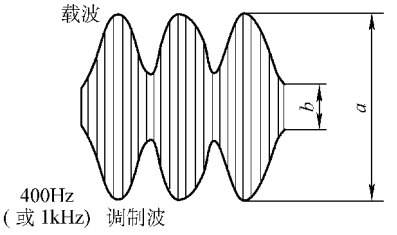


图3-26　已调制信号波形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

十二、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 3-27。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。

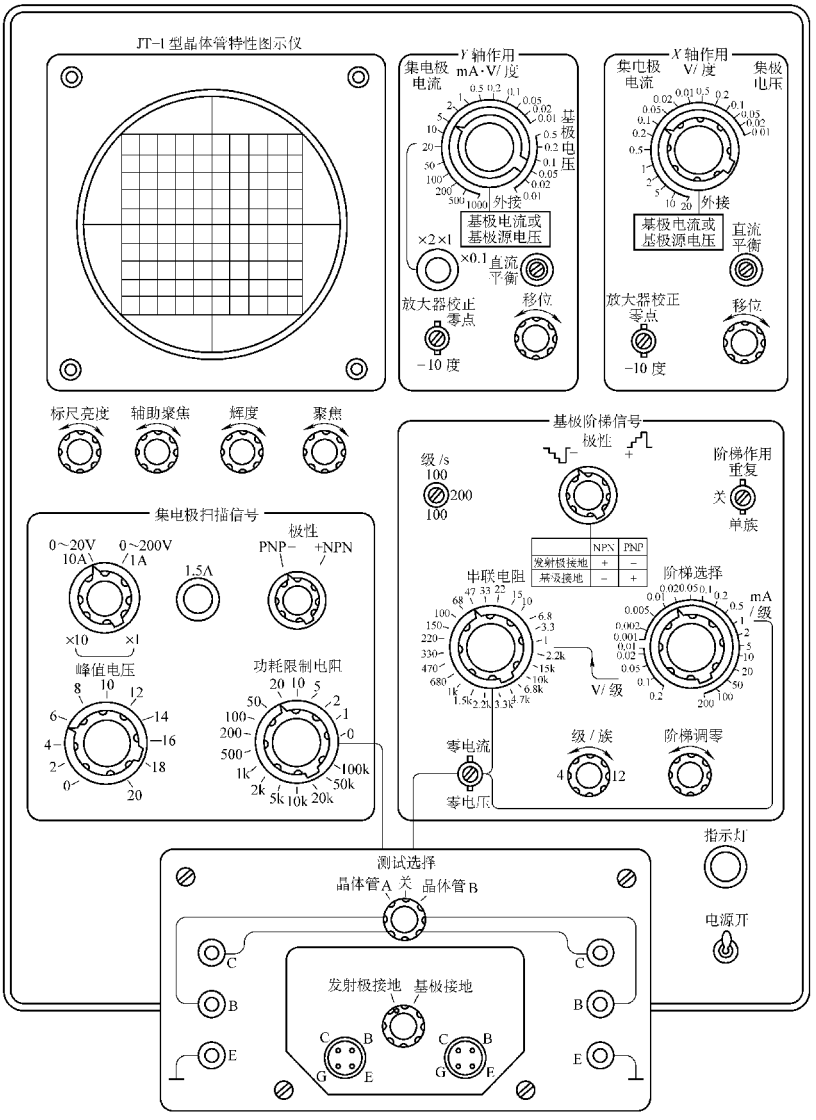


图 3-27 JT-1 型晶体管特性图示仪面板

（1）*X* 轴或 *Y* 轴作用单元的“外接”挡 当要显示外接信号时，将开关拨至“外接”挡，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 三挡，如置于 ×2 挡，表示将“mA/度”开关的集电极电流的读数加倍。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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”开关的挡位。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”挡（最下面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”挡。

（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）阶梯作用开关分三挡，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”按键有三挡，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”两挡，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”挡，“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 3-28a 所示。

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 3-28b。同时要求 Y 轴作用开关置于不同的“基极电压”挡时，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/级各挡亮点都不产生上下移动为止。

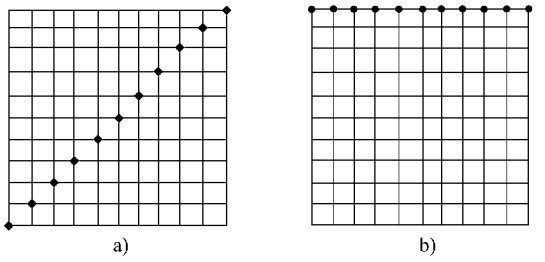


图 3-28　图示仪的检查

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，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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”挡，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* 个挡位，都应逐挡进行上述校正。

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 3-29 所示的图形。

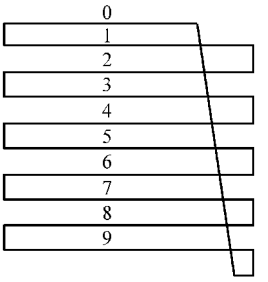


图 3-29 检查阶梯波时显示的图形

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”电压范围为 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 型或 NPN 型）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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 型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”置于“mA/级”，“级/s”为 200，“阶梯作用”为重复。

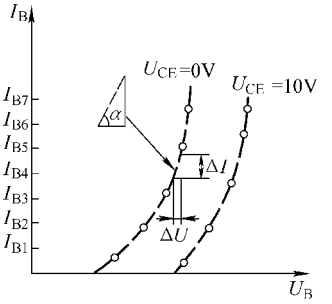


图 3-30　晶体管输入特性曲线

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 3-30。

3）由图 3-30 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 挡或（0～200）V 挡（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 3-31。

5）由图 3-31 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，$\beta = \Delta I_C/\Delta I_B$。

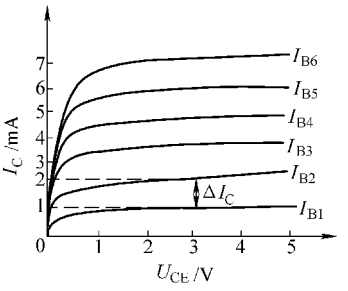


图 3-31　晶体管输出特性曲线

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 型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 型锗管。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 型晶体管，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，分别插入 E、C、B 孔内，然后仔细检查机壳接地是否良好。

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线见图 3-32，10kΩ 电阻为外接电阻，发射极应接地。

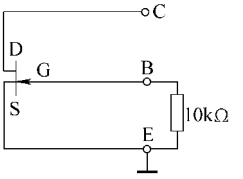


图 3-32 场效应晶体管在测试台上的接线

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”范围为 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 3-33。

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_{DS}；放大倍数跨导 $g_m=\triangle I_{DS}/\triangle U_{GS}$，条件为 U_{DS} 固定不变；$I_{DS}\rightarrow 0$ 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 3-34。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。

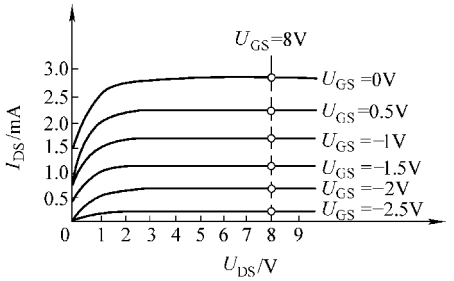


图 3-33 场效应晶体管输出特性曲线

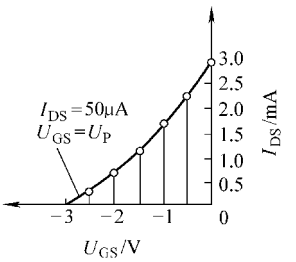


图 3-34 场效应晶体管转移特性曲线

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 3-35a 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“＋”。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

调节集电极扫描电压，即可得到二极管正向特性曲线，见图 3-35b。测试时，应适当选择集电极功耗电阻，一般取 1kΩ。

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 3-35b。

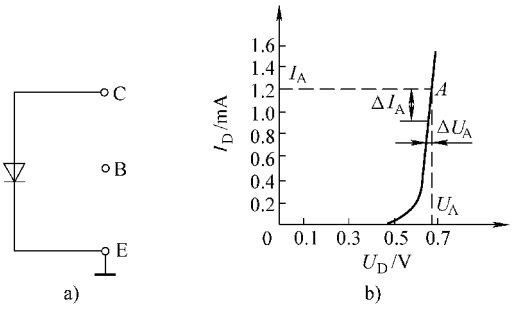


图 3-35　二极管的测试

a）二极管在测试台上的接线

b）二极管的正向特性曲线

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 3-36a 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”（1V/度），Y 轴作用单元为“集电极电流”（2mA/度），“阶梯作用”开关为“关”，功耗电阻为 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 3-36b。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。

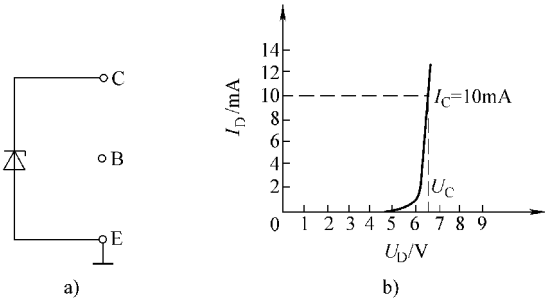


图 3-36　稳压管的测试

a）稳压管在测试台上的接线　b）稳压管的反向特性曲线

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 3-37a 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”为 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 3-37b。

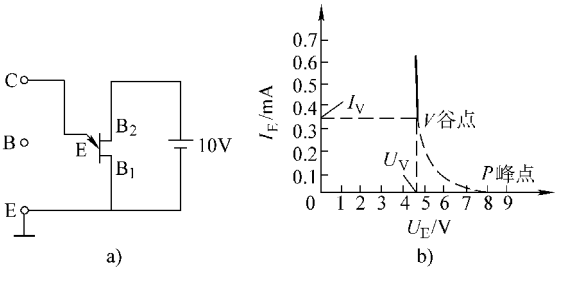


图 3-37　单结晶体管的测试

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 3-38a 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”为 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 3-38b。

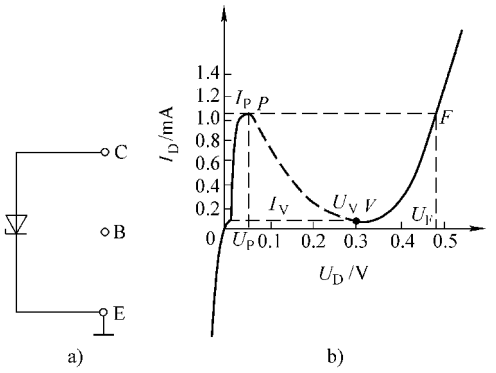


图 3-38 隧道二极管的测试

a）接线图 b）特性曲线

2）P 点为峰点，对应的 U_P 为峰值电压，I_P 为峰值电流；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 型双踪示波器、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 型双踪示波器：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 挡；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”挡，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挡位；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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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”挡。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 型双踪示波器面板布置见图 3-39。

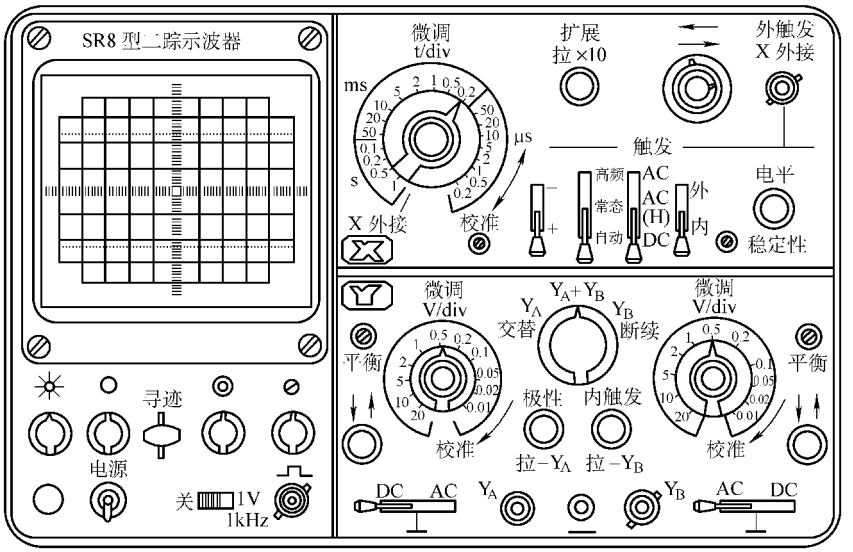


图 3-39　SR8 型双踪示波器面板示意图

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_- 挡，“测量范围”钮置 1V 挡，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_- 挡，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_- 挡，被测信号由 V_- 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 挡，一端接于 Ω 接线柱，另一端接于探针。

用直流中心零位指示时，“测量选择”开关置 ⊥ 挡，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 型超高频电子管电压表面板布置见图 3-40。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

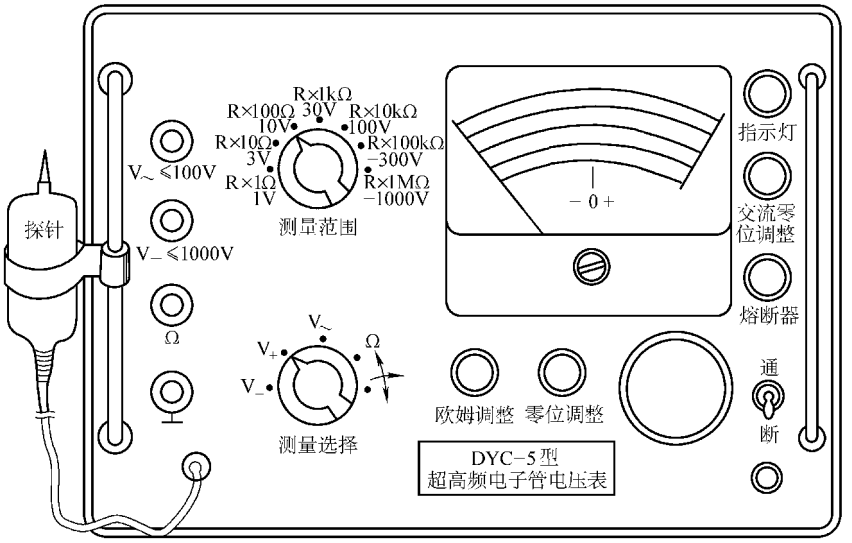


图 3-40 DYC-5 型超高频电子管电压表面板示意图

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 挡，“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 3-41。

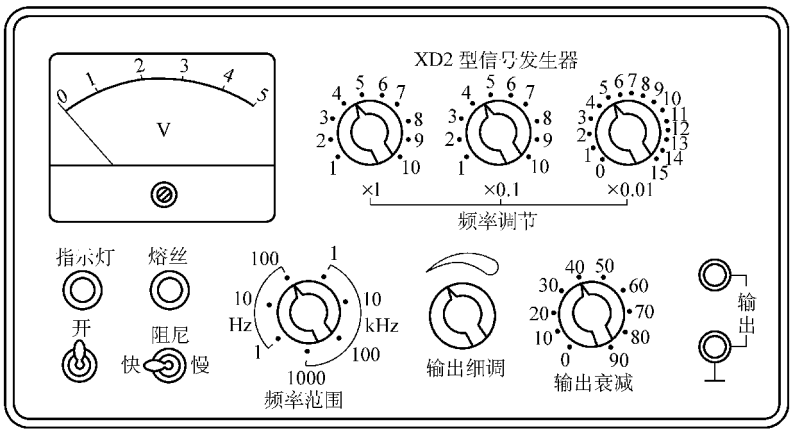


图 3-41 XD2 型信号发生器面板示意图

（2）参数的测量

1）输入失调电压 U_{os} 的测量：按图 3-42 将电路搭好，集成运放的引脚使用引脚插座，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

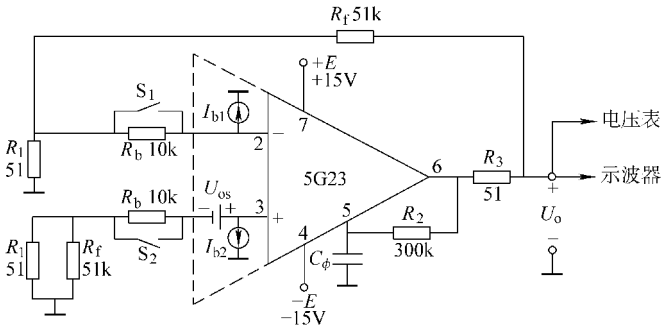


图 3-42　输入误差参数 U_{os}、I_{os}、I_b 的测量电路

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_+ 挡，并调节“零位调整”，使指针指向零位。

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 3-8 列出了 5G23 型集成运放的补偿电容值。

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 $U_{os}=U_{o1}\times10^{-3}$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 挡，读出 I_+ 和 I_-，然后代入 $P=EI_++EI_-$算出 P。

表 3-8　5G23 型集成运放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

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 $I_b\approx\dfrac{1}{2}(U_{o3}-U_{o4})\times\dfrac{R_1}{R_b(R_1+R_f)}$，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 3-43 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。

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_-”挡测量 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。

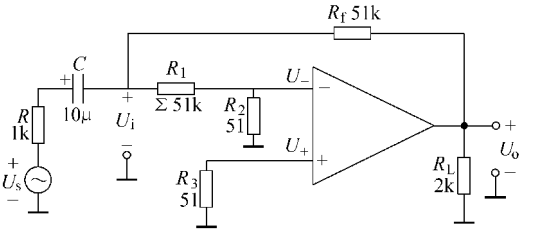


图 3-43　开环电压增益 K_d 的测量电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这里应注意，从∑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 3-44 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_”挡测量输出电压 U_o，代入 $CMRR=40+20\lg\frac{U_{ic}}{U_o}$，即可算出共模抑制比。

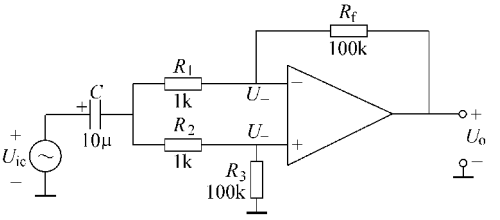


图 3-44 共模抑制比 *CMRR* 的测量电路

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引脚见图 3-45。

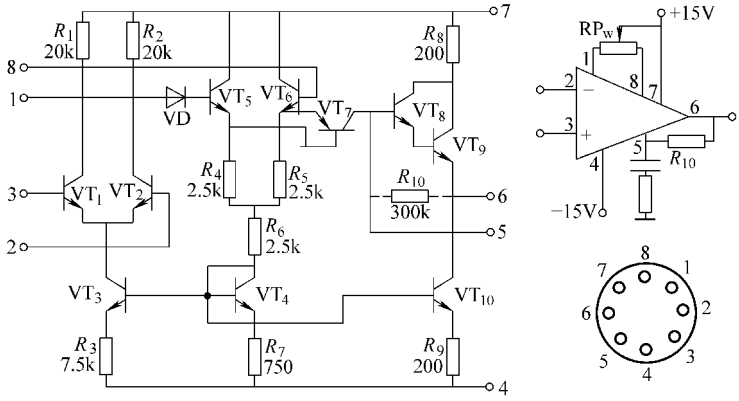


图 3-45 5G33 通用Ⅱ型运算放大器原理及引脚图

（4）可以从波形的畸变判断是否自激，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 3-46。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 3-47。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。

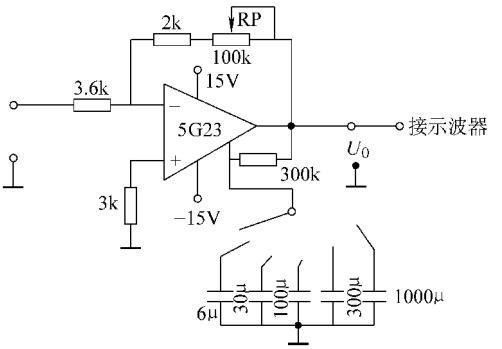


图 3-46 自激的消除测试电路

十三、双臂电桥的使用

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 电桥比例臂的倍率和相对误差的关系见表 3-9。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

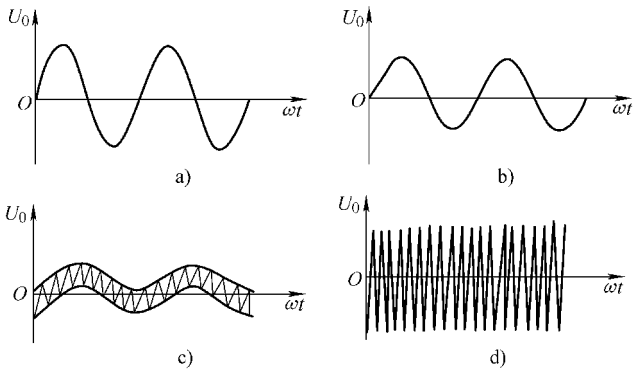


图 3-47　自激波形的判定

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

表 3-9　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 3-48。要使用铜质粗导线连接。

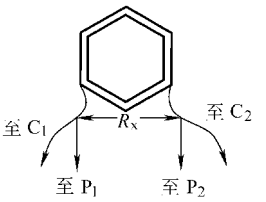


图 3-48　被测电阻电压端与电流端的接法

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 3-48 接好，接通电源，再接通检流计，从最大挡位即 0.11 ×100Ω = 11Ω，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。

十四、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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 3-49。

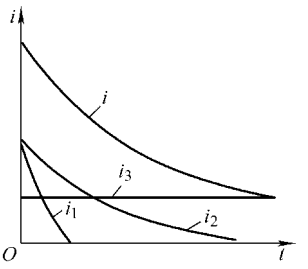


图 3-49 直流电压作用下，介质内所产生的各电流及总电流随时间变化的曲线

i_1—电容电流 i_2—吸收电流

i_3—传导电流 i—总电流

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。

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

$$K_1 = \frac{R_{60s}}{R_{15s}} \tag{3-15}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

$$K_2 = \frac{R_{600s}}{R_{60s}} \tag{3-16}$$

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、4000kV·A 及以上的变压器，吸收比不得小于1.3。220kV 及以上、120MV·A 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：

$$R_{75} = \frac{R_t}{2^{\frac{75-t}{10}}} = \frac{R_t}{K_{t1}} \tag{3-17}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 K_{t1}可在表3-10中查找。

表3-10 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		

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

$$R_{75}=\frac{R_t}{10^{\frac{75-t}{40}}}=\frac{R_t}{K_{t2}} \tag{3-18}$$

式中 K_{t2}可在表3-11中查找。

表3-11 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		

十五、新型电测仪器及其使用

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型试验变压器、Q-50-250型放电球隙测压器、ZBC-1型电压比自动测试仪、YM-942型继电保护校验仪、KJTC型开关

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机械性能测试仪、JF 型局部放电测试仪、HYBL 型氧化锌避雷器测试仪、DWR 型大接地网接地电阻测试仪、ZGF/ZGC 型直流高压发生器、SB2204 型智能介质损耗测试仪、GZ 型智能高压绝缘电阻表、SB2230 型直流数字电阻测试仪、MD911 型电缆故障测试仪、双钳相位伏安表、UT 型数字钳形表、LCR 型测量仪等，也是我们必须掌握的。

1. TSB 型高压试验变压器的使用和注意事项

（1）按图 3-50 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。

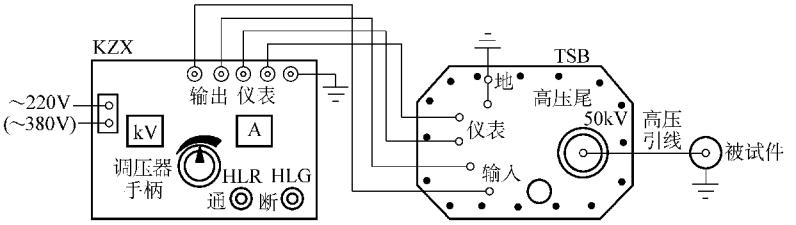


图 3-50　单台 TSB 型试验变压器外部接线图

（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 1.5～2kV/s 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 3-51。

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Y/△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 3-52。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

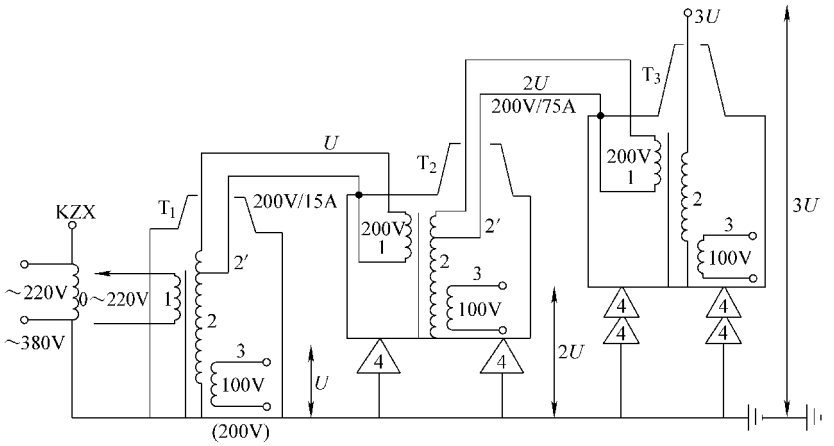


图 3-51 TSB 型高压试验变压器三台串级使用的原理接线图

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。

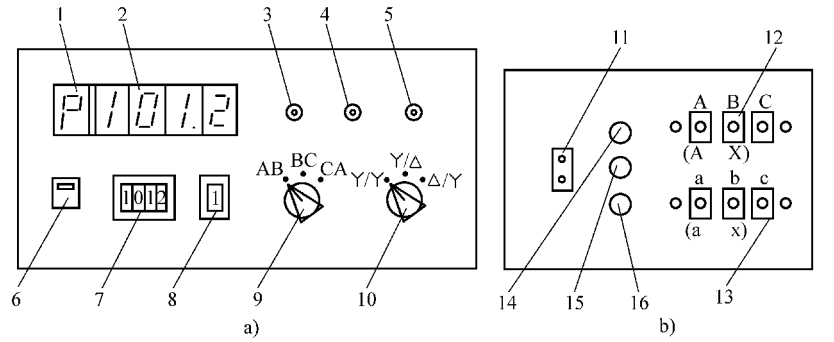


图 3-52 测试仪面板、背板各部件分布及名称

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Y/Y组、Y/△组和△/Y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

（1）使用前必须已知试件的联结组标号，分清线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Y/Y。

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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Y/Y、Y△和△/Y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

Y/Y　　$K_L = \dfrac{U_1}{U_2}$，$K_L = K_\phi$　　（3-19）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Y/△ $$K_L=\frac{\frac{2}{\sqrt{3}}U_1}{U_2}$$ (3-20)

△/Y $$K_L=\frac{U_1}{\frac{2}{\sqrt{3}}U_2}$$ (3-21)

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 $E=\frac{y-P}{P}\%$

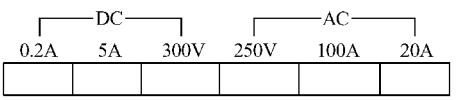
3. YM-942 型继电保护校验仪的使用方法

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 3-53a，后板排列及功能见图 3-53b。YM-942B 型机面板排列及功能见图 3-54。

（1）测量挡位选择开关，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。

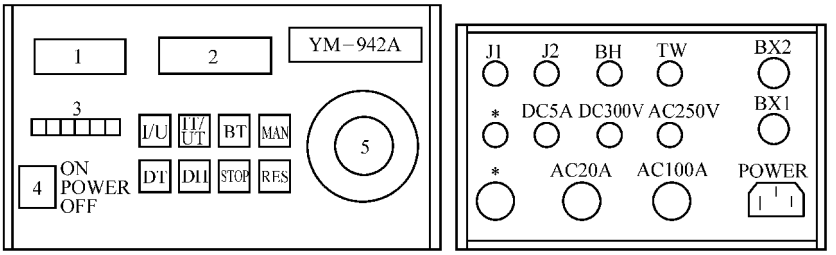
选择开关排列位置如下：



测量挡位选择见表 3-12。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



a)　　b)

图 3-53　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

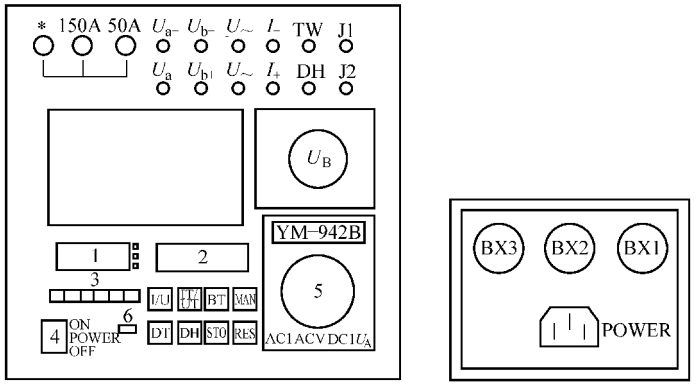
MAN—人工信号键　J1、J2—继电器触点信号端　＊—电压、电流输出公用端

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



a)　　b)

图 3-54　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—重合闸继电器充电启动键　BT—冲击试验键/重合闸信号启动键/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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-12 测量挡位选择

测量项目 / 挡位参数	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 挡或 5A 挡。选择 0.2A 挡测量时，显示器显示满刻度应为 200mA；选择 5A 挡测量时，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挡。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）挡测量。

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 型电流型继电器；DY-100、DY-20C、DY-30 型电压型继电器。

2）DL 型电流继电器接线见图 3-55。

3）DY 型电压继电器接线见图 3-56。

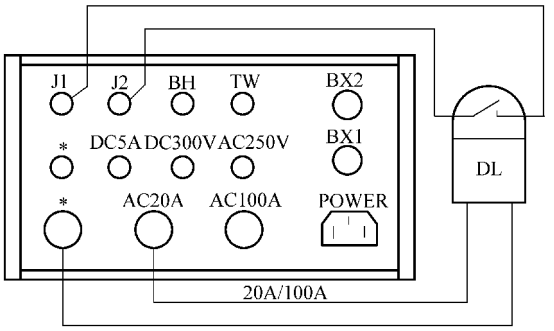


图 3-55 DL 型电流继电器接线图

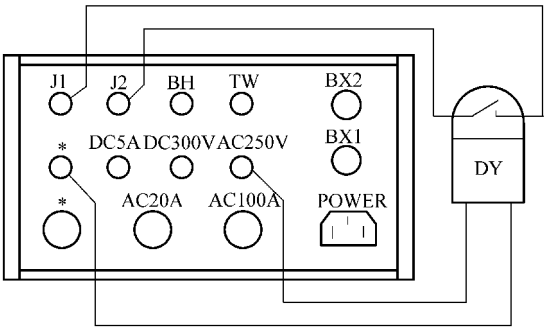


图 3-56 DY 型电压继电器接线图

4）动作电压 U_{DZ}、电流 I_{DZ}的测量。

① 按图 3-55、图 3-56 接好线且经非接线人员检查无误后，将图 3-53 或图 3-54 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 3-56 所示进行接线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）中动作电压 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）中①、②、③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 3-57 所示。

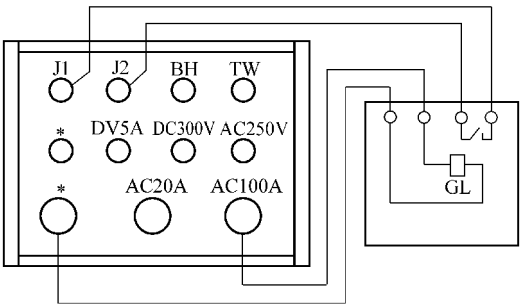


图 3-57　GL 型电流继电器测定接线图

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）合理地选择电流挡：GL 型继电器的内阻较一般电流继电器大得多的情况，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 3-58a，后面板见图 3-58b，左侧面板见图 3-58c。

2）铝合金壳单面板型见图 3-59。

3）传感器见图 3-60。

（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须接到 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

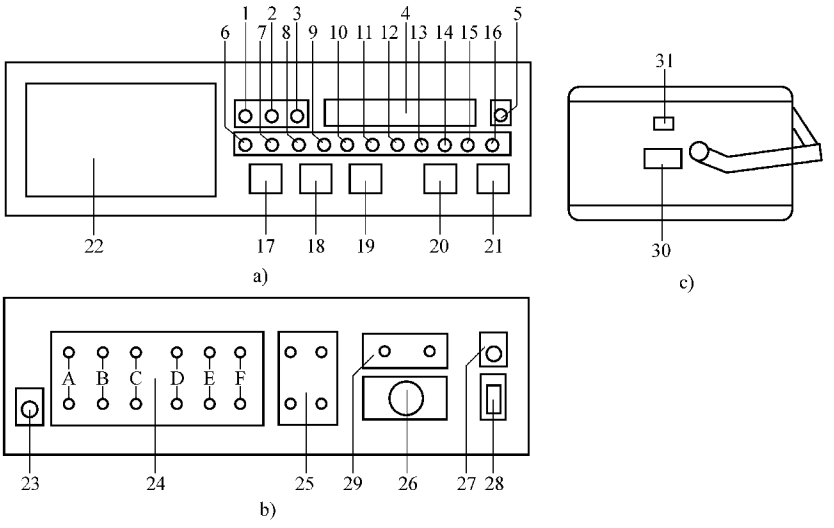


图 3-58　KJTC-Ⅲ型开关机械特性测试仪

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

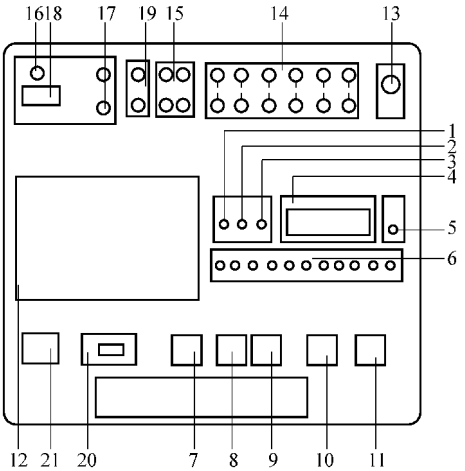


图 3-59　铝合金壳单面板型面板配置图

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 3-58a 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 3-61。

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 3-62。

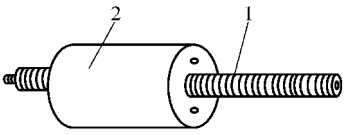


图 3-60 传感器

1—传感器滑标 2—传感器主体

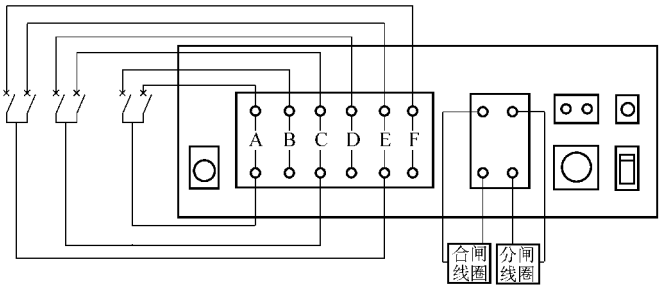


图 3-61 双断口九线制接法

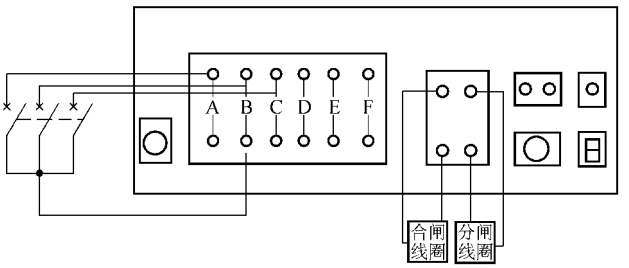


图 3-62 单断口四线制接法

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。

（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 100～300V 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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3-63，不测行程和速度时可不接传感器。

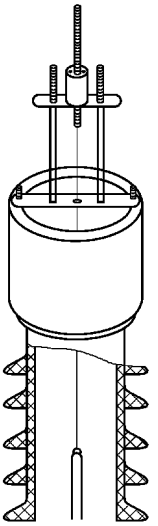


图3-63　传感器的安装

1）传感器的安装方法如下：

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，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3-64。

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品 C_x 为已知电量时，调节PC设定装置及放大器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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

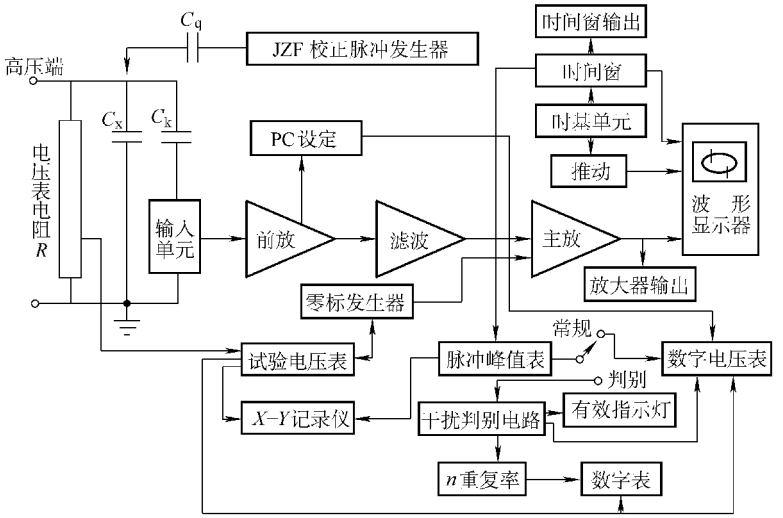


图 3-64 JF-2001 型干扰判别式局部放电仪原理框图

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 3-65。

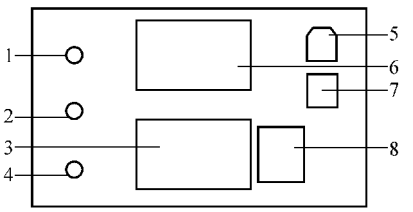


图 3-65 仪器面板示意图

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

（1）现场带电测试 现场带电检测应按图 3-66 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 3-67 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。

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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

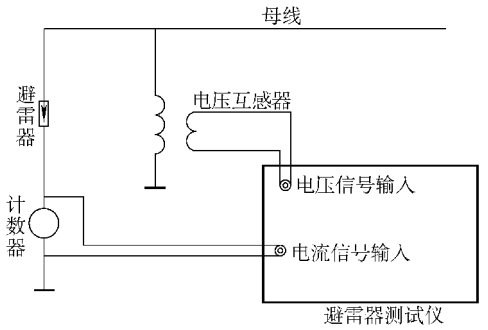


图 3-66　在线检测接线图

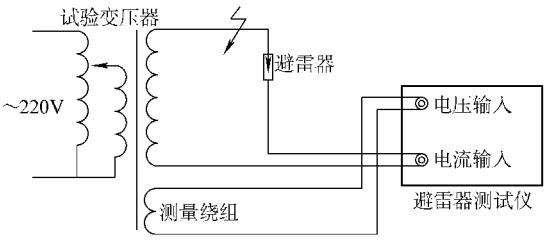


图 3-67　离线检测接线图

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 3-68。

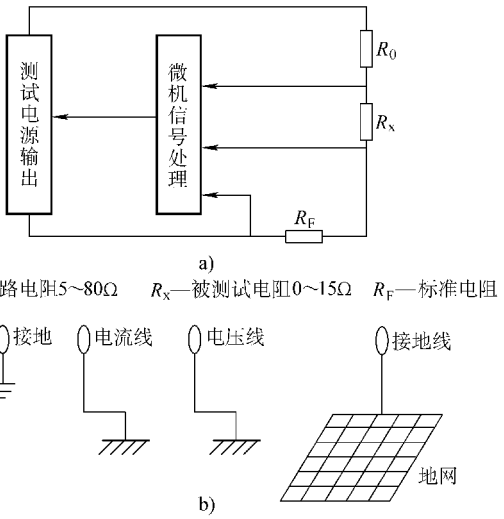


图 3-68　测试接线

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 3-68。

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 AC 220V/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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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3-69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3-70。

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。

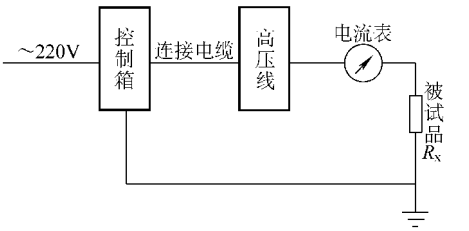


图3-69　试验接线图

（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，根据情况可随时换挡，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3-70连接好系统，但必须将图3-70中的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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

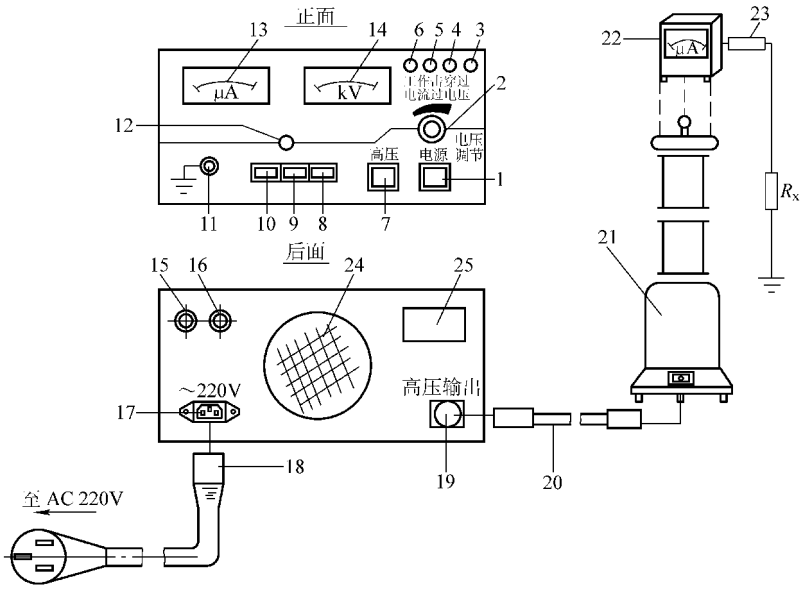


图 3-70　仪器结构图示说明

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—电压指示换挡开关　9—电流指示换挡开关　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

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 3-71。

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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

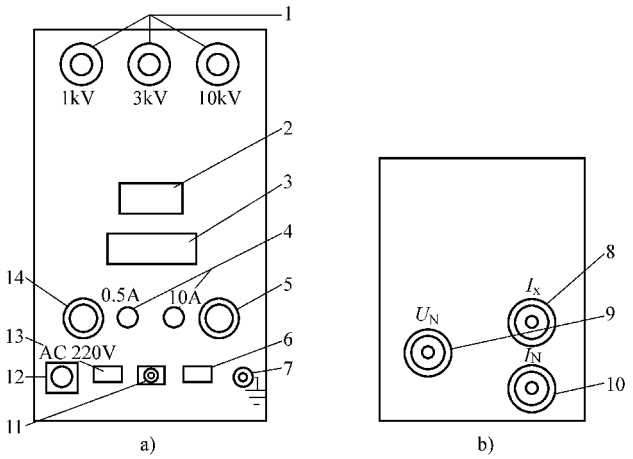


图 3-71 SB2204 型智能介质损耗测试仪

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

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。

工作方式选择开关 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 3-72。

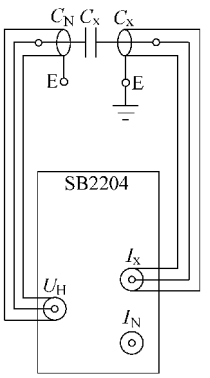


图 3-72 正接线法

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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3-73。

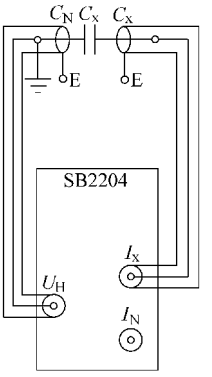


图3-73　反接线法

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3-74a、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。

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

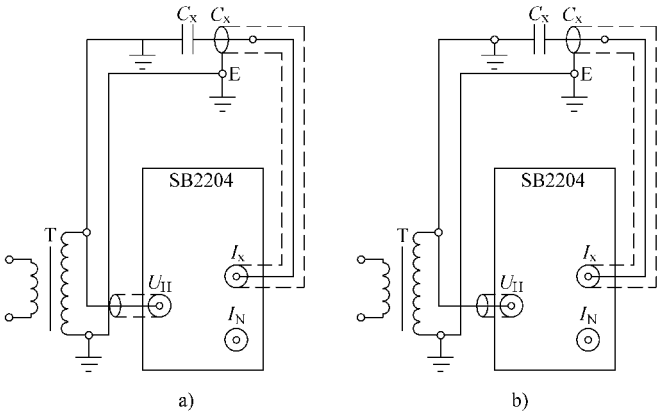


图 3-74 外接高压法

a）正接线 b）反接线

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，±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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）使用时必须使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型电阻测试仪很方便。前、后面板示意图见图3-75。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

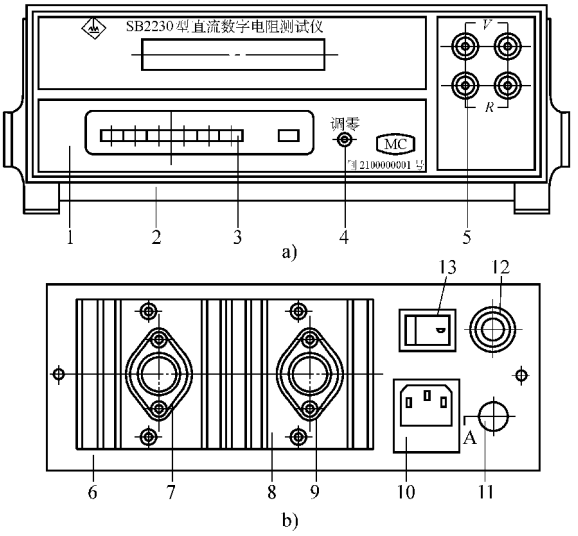


图 3-75 SB2230 型直流数字电阻测试仪

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 3-76。

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 1～5 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 3-77。

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。

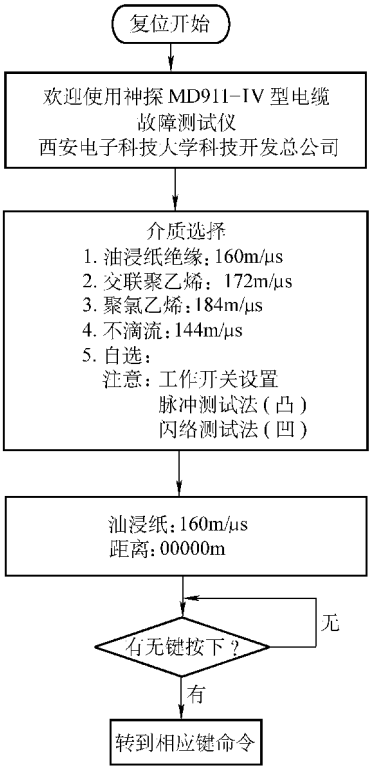


图 3-76 操作流程框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

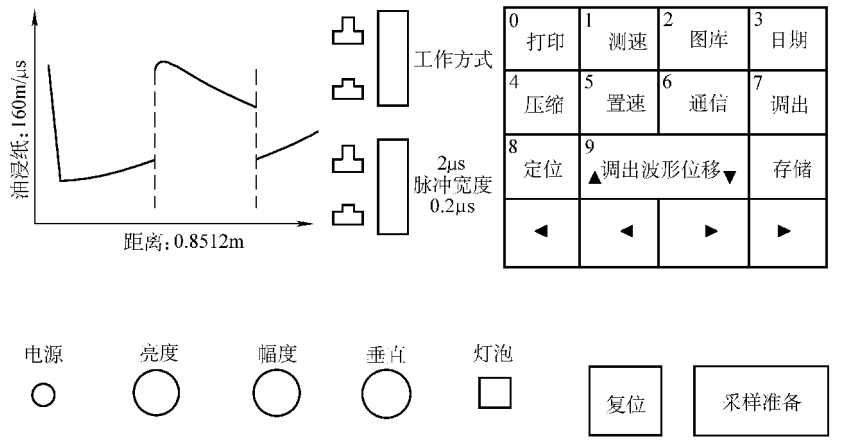


图 3-77　主机面板

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 3-13。

表 3-13　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	(50 ± 1)Hz		45～55Hz		对相位测量有影响
信号幅值	电压	(100 ± 5)V	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	(1 ± 0.1)A	电流	见备注	
导线在钳口中位置	中心位置		任意位置		
工作电源	(9 ± 0.1)V		(9 ± 1)V		

（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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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　功能分为两挡 20.00～59.99Hz/599.9Hz，通过开关更换挡位。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显示器上直接显示出来。

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 3-78。

（2）显示符号内容　见表 3-14。

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。

2）若表笔破损必须更换，并换上同样型号或相同电气规格的表笔。

3）仪表正在测量时，不要接触裸露的电线、连接器、没有使用的输入端或正在测量的电路。

4）测量高于直流 60V 或交流 30V 以上的电压时，切记手指不要超过表笔挡手部分，防止触电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

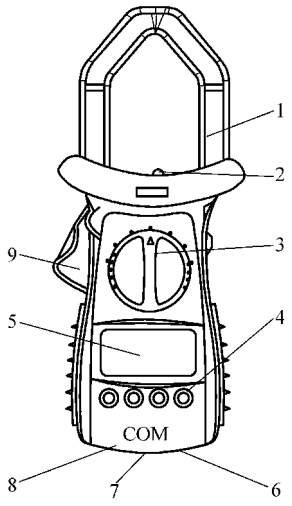
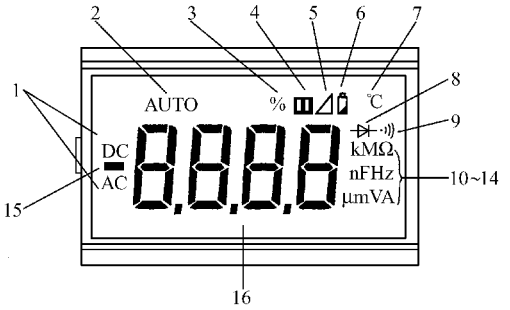


图 3-78 数字钳形表外形

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 3-14 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	H	数据保持
5	Δ	相对值测量
6	电池图标	电池电量不足
7	℃	温度测试（自带温度探头）
8	二极管图标	二极管测试
9	通断图标	电路通断测试
10	Ω kΩ MΩ	电阻单位：欧姆、千欧、兆欧

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序　号	符　号	说　明
11	nF　μF	电容单位：纳法、微法
12	Hz　kHz　MHz	频率单位：赫兹、千赫、兆赫
13	mV　V	电压单位：毫伏、伏
14	A	电流单位：安培
15	▬	显示负的极性
16	OL	对所选量程输入信号太高，表示溢出

5）不能确定被测量的大小范围时，将功能量程开关置于最大量程位置。切勿超过每个量程所规定的输入极限值。

6）不得测量高于允许输入值的电压或电流。

7）测量时功能开关必须置于正确的量程挡位，在功能量程开关转换之前，必须断开表笔与被测电路的连接，严禁在量测进行中转换挡位，以防损坏仪表。

8）进行在线电阻、电容、二极管或电路通断测量之前，必须首先将电路中所有电源关断并将所有电容器放电。

9）不要在高温、高湿、易燃、易爆和强磁场环境中存放、使用仪表。

10）不得随意改变仪表内部接线，以免损坏仪表和危及安全。

11）当 LCD 显示器显示“▯”标志时，应及时更换电池，避免电解液外溢，以确保测量准确度。

12）遵守安全操作规程。

15. ZL6 型自动 LCR 测量仪的使用

ZL6 型自动 LCR 测量仪用于测量电感 L、电容 C、电阻 R 及其相关的量 D、Q 以及上述元件的阻抗 Z。它是一种微机控制的全自动阻抗测量电桥，具有测量参数多、量程广、精度高、速度快、易于操作等特点。其测量范围见表 3-15。

表 3-15　测量范围

测试项目		基本测量范围		测量范围
		ZL6 型	ZL6A 型	
主量	电感 L	1mH ~ 10H	10mH ~ 100H	0.000μH ~ 9999H
	电容 C	1nF ~ 10μF	10nF ~ 100μF	0.000pF ~ 9999μF
	电阻 R、阻抗 Z	10Ω ~ 100kΩ	10Ω ~ 100kΩ	0.0000Ω ~ 9.999MΩ
副量	损耗因数 D	0.0000 ~ 15.99		0.0000 ~ 15.99
	品质因数 Q	0.0625 ~ 9900		0.0625 ~ 9900

该仪器有四位 LED 显示、读数清晰，机内设有测试架，易于操作，对不易直接插入的阻抗元件，仪器另附有四端测试线。

该仪器以微处理机作为实时控制和数据处理，从而实现对无源元件的自动测量，操作简单，控制功能强。仪器具有自动判别阻抗元件性质的能力，对 LCR 元件实现全自动测量；任何元件插入测试架在正常情况下显示 LCR 或 Z 的值，按下副量按钮则显示 D、Q 值。在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

最大显示为9999的LED数码管上显示出测量结果，在显示屏上仪器自动显示被测量的单位及小数点。仪器自动消除引线及测试夹具的分布参数对测量结果的影响，仪器能实现两端、三端、四端、五端测量。

使用该仪器时，必须先得将设备及元件的电源断开并充分放电，方可进行测试。测试时必须遵守安全操作规程。

十六、电工仪器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。携带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）携带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，检定具有法律效力，检定周期见表3-16。

表3-16 常用携带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

（6）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，不用时应使用双层绒布遮盖。

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）应在有经验的人的指导下使用仪器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四章　电气设备、元件、材料的核算及选择

电气设备、元件、材料的选择主要考虑的因素有电流承载能力（最大允许电流）、电压承载能力（最高允许电压）、短路电流承载能力（故障时的承载能力）以及单位时间内操作/动作次数、环境温度要求等。

上述因素必须具备一定的计算能力乃至估算技巧才能正确地选择，这对于一名运行维护电工来说非常重要。但是往往有些人对计算不太重视，认为那是设计人员的事情，实际这是极大的误区，也就是说，运行值班电工必须学会计算和选择，因为你肩负的责任与他人不同。

一、工业用电设备计算负荷核算的程序及方法

1. 计算负荷核算的程序

计算负荷的核算应从供电系统图的最末级用电设备出发，逐级计算，一直到供电电源的进口处，其中，P_{30}的单位为 kW，Q_{30}的单位为 kvar，S_{30}的单位为 kVA，电流的单位为 A，电压的单位为 kV，如图 4-1 所示。

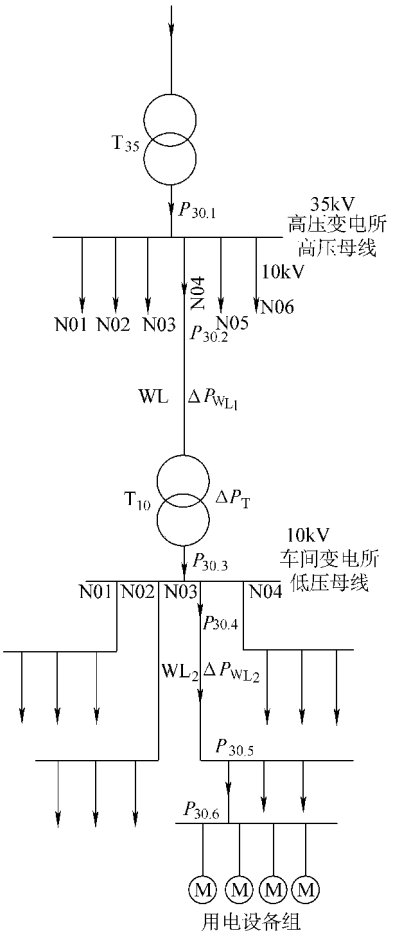


图 4-1　高压变电所负荷核算程序系统图

1）确定 380/220V 各个用电设备的设备容量 P_e，P_e 不包括备用设备在内，同时 P_e 是按一定法则折算的。根据 P_e 通过查表即可选择该设备的导线、穿管和开关元件，保护装置则应按其额定电流来选择。

2）根据用电设备的性质、用处、效率、工作制及拖动设备等因素将用电设备分组，并将同组设备的 P_e 相加，即为用电设备组的设备容量 ΣP_e。

3）查表 4-1 ~表 4-3，选取需要系数 K_x、$\cos\varphi$、$\tan\varphi$，即可确定用电设备组的计算负荷 $P_{30.6}$、$Q_{30.6}$、$S_{30.6}$和 $I_{30.6}$

$$P_{30.6} = K_x \Sigma P_e \qquad (4\text{-}1)$$

$$Q_{30.6} = P_{30.6} \tan\varphi \qquad (4\text{-}2)$$

$$S_{30.6} = P_{30.6} / \cos\varphi \qquad (4\text{-}3)$$

$$I_{30.6} = S_{30.6} / \sqrt{3} U_N \qquad (4\text{-}4)$$

4）将该回路（干线）上各用电设备组的计算负荷相加，并选取同时系数 $K_{\Sigma P}$、$K_{\Sigma Q}$，即可

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-1 各用电设备组的需要系数 K_x 及功率因数

用电设备组名称	K_x	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
单独传动的金属加工机床			
1. 冷加工车间	0.14～0.16	0.50	1.73
2. 热加工车间	0.20～0.25	0.55～0.6	1.52～1.33
压床、锻锤、剪床及其他锻工机械	0.25	0.60	1.33
连续运输机械			
1. 联锁的	0.65	0.75	0.88
2. 非联锁的	0.60	0.75	0.88
轧钢车间反复短时工作制的机械	0.3～0.40	0.5～0.6	1.73～1.33
通风机			
1. 生产用	0.75～0.85	0.8～0.85	0.75～0.62
2. 卫生用	0.65～0.70	0.80	0.75
泵、活塞式压缩机、鼓风机、电动发电机组、排风机等	0.75～0.85	0.80	0.75
透平压缩机和透平鼓风机	0.85	0.85	0.62
破碎机、筛选机、碾砂机等	0.75～0.80	0.80	0.75
磨碎机	0.80～0.85	0.80～0.85	0.75～0.62
铸铁车间造型机	0.70	0.75	0.88
搅拌器、凝结器分级器等	0.75	0.75	0.88
水银整流机组（在变压器一次侧）			
1. 电解车间用	0.90～0.95	0.82～0.90	0.70～0.48
2. 起重机负荷	0.30～0.50	0.87～0.90	0.57～0.48
3. 电气牵引用	0.40～0.50	0.92～0.94	0.43～0.36
感应电炉（不带功率因数补偿装置）			
1. 高频	0.80	0.10	10.05
2. 低频	0.80	0.35	2.67
电阻炉			
1. 自动装料	0.7～0.80	0.98	0.20
2. 非自动装料	0.6～0.70	0.98	0.20
小容量试验设备和试验台			
1. 带电动发电机组	0.15～0.40	0.70	1.02
2. 带试验变压器	0.1～0.25	0.20	4.91
起重机			
1. 锅炉房、修理、金工、装配车间	0.05～0.15	0.50	1.73
2. 铸铁车间、平炉车间	0.15～0.30	0.50	1.73
3. 轧钢车间、脱锭工部等	0.25～0.35	0.50	1.73
电焊机			
1. 点焊与缝焊用	0.35	0.60	1.33
2. 对焊用	0.35	0.70	1.02

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

用电设备组名称	K_x	cosφ	tanφ
电焊变压器			
1. 自动焊接用	0.50	0.40	2.29
2. 单头手动焊接用	0.35	0.35	2.68
3. 多头手动焊接用	0.40	0.35	2.68
焊接用电动发电机组			
1. 单头焊接用	0.35	0.60	1.33
2. 多头焊接用	0.70	0.75	0.80
电弧炼钢炉变压器	0.90	0.87	0.57
煤气电气滤清机组	0.80	0.78	0.80

表 4-2　3～6～10kV 高压用电设备需要系数及功率因数表

序号	高压用电设备组名称	K_x	cosφ	tanφ	序号	高压用电设备组名称	K_x	cosφ	tanφ
1	电弧炉变压器	0.92	0.87	0.57	9	试验电动机组	0.50	0.75	0.88
2	铜炉	0.90	0.87	0.57	10	高压给水泵（异步电动机）	0.50	0.80	0.75
3	转炉鼓风机	0.70	0.80	0.75	11	高压输水泵（同步电动机）	0.80	0.92	0.43
4	水压机	0.50	0.75	0.88	12	引风机、送风机	0.8～0.9	0.85	0.62
5	煤气站、排风机	0.70	0.80	0.75	13	有色金属轧机	0.15～0.20	0.70	1.02
6	空压站压缩机	0.70	0.80	0.75					
7	氧气压缩机	0.80	0.80	0.75					
8	轧钢设备	0.80	0.80	0.75					

表 4-3　各种车间的低压负荷需要系数及功率因数（供参考）

序号	车间名称	K_x	cosφ	tanφ
1	铸钢车间（不包括电炉）	0.3～0.4	0.65	1.17
2	铸铁车间	0.35～0.4	0.7	1.02
3	锻压车间（不包括高压水泵）	0.2～0.3	0.55～0.65	1.52～1.17
4	热处理车间	0.4～0.6	0.65～0.7	1.17～1.02
5	焊接车间	0.25～0.3	0.45～0.5	1.98～1.73
6	金工车间	0.2～0.3	0.55～0.65	1.52～1.17
7	木工车间	0.28～0.35	0.6	1.33
8	工具车间	0.3	0.65	1.17
9	修理车间	0.2～0.25	0.65	1.17
10	锻锤车间	0.2	0.6	1.33
11	废钢铁处理车间	0.45	0.68	1.08
12	电镀车间	0.4～0.62	0.85	0.62
13	中央实验室	0.4～0.6	0.6～0.8	1.33～0.75
14	充电站	0.6～0.7	0.8	0.75
15	煤气站	0.5～0.7	0.65	1.17
16	氧气站	0.75～0.85	0.8	0.75
17	冷冻站	0.7	0.75	0.88

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	车间名称	K_x	cosφ	tanφ
18	水泵站	0.5～0.65	0.8	0.75
19	锅炉房	0.65～0.75	0.8	0.75
20	压缩空气站	0.7～0.85	0.75	0.88
21	乙炔站	0.7	0.9	0.48
22	试验站	0.4～0.5	0.8	0.75
23	发电机车间	0.29	0.60	1.32
24	变压器车间	0.35	0.65	1.17
25	电容器车间（机械化运输）	0.41	0.98	0.19
26	高压开关车间	0.30	0.70	1.02
27	绝缘材料车间	0.41～0.50	0.80	0.75
28	漆包线车间	0.80	0.91	0.48
29	电磁线车间	0.68	0.80	0.75
30	线圈车间	0.55	0.87	0.51
31	扁线车间	0.47	0.75～0.78	0.88～0.80
32	圆线车间	0.43	0.65～0.70	1.17～1.02
33	压延车间	0.45	0.78	0.80
34	辅助性车间	0.30～0.35	0.65～0.70	1.17～1.02
35	电线厂主厂房	0.44	0.75	0.88
36	电瓷厂主厂房（机械化运输）	0.47	0.75	0.88
37	电表厂主厂房	0.40～0.50	0.80	0.75
38	电刷厂主厂房	0.50	0.80	0.75

注：序号1～20各项的cosφ系指自然平均功率因数。

确定该回路的计算负荷 $P_{30.5}$、$Q_{30.5}$、$S_{30.5}$和 $I_{30.5}$

$$P_{30.5}=K_{\Sigma P}\Sigma P_{30.6} \tag{4-5}$$

$$Q_{30.5}=K_{\Sigma Q}\Sigma Q_{30.6} \tag{4-6}$$

$$S_{30.5}=\sqrt{{P_{30.5}}^2+{Q_{30.5}}^2} \tag{4-7}$$

$$I_{30.5}=S_{30.5}/\sqrt{3}U_N \tag{4-8}$$

式中 $K_{\Sigma P}=0.85\sim0.95$，$K_{\Sigma Q}=0.9\sim0.97$。

5）如果从低压母线到干线的距离 WL_2 较长，应计取线路的功率损耗 ΔP_{WL_2}和 ΔQ_{WL_2}，即可确定该回路的总计算负荷 $P_{30.4}$、$Q_{30.4}$、$S_{30.4}$和 $I_{30.4}$

$$P_{30.4}=P_{30.5}+\Delta P_{WL_2} \tag{4-9}$$

$$Q_{30.4}=Q_{30.5}+\Delta Q_{WL_2} \tag{4-10}$$

$$S_{30.4}=\sqrt{{P_{30.4}}^2+{Q_{30.4}}^2} \tag{4-11}$$

$$I_{30.4}=S_{30.4}/\sqrt{3}U_N \tag{4-12}$$

6）将低压母线上各个回路的计算负荷相加，并选取同时系数 $K_{\Sigma P}$、$K_{\Sigma Q}$，即可确定低压母线上的计算负荷 $P_{30.3}$、$Q_{30.3}$、$S_{30.3}$和 $I_{30.3}$

$$P_{30.3}=K_{\Sigma P}\Sigma P_{30.4} \tag{4-13}$$

$$Q_{30.3}=K_{\Sigma Q}\Sigma Q_{30.4} \tag{4-14}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$S_{30.3}=\sqrt{P_{30.3}{}^2+Q_{30.3}{}^2} \tag{4-15}$$

$$I_{30.3}=S_{30.3}/\sqrt{3}U_{\mathrm{N}} \tag{4-16}$$

式中　$K_{\Sigma P}=0.8\sim0.9$，$K_{\Sigma Q}=0.85\sim0.95$；如果不计线路损耗，$K_{\Sigma P}=0.9\sim0.95$，$K_{\Sigma Q}=0.93\sim0.97$。

上述各级即可根据 I_{30} 选取导线、开关和保护装置。同时，根据 $P_{30.3}$、$Q_{30.3}$ 及低压补偿电容 Q_C 确定变压器 T 的容量 $S_{\mathrm{N.T}}$，$S_{\mathrm{N.T}}\geqslant\sqrt{P_{30.3}{}^2+(Q_{30.3}-Q_C)^2}$，其中 $Q_C=P_{30}\tan\varphi$（并联电容器前 φ_1 的正切值－并联容器后需要达到的 φ_2 的正切值）$=P_{30}(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2)$。

7）将低压母线的计算负荷加上变压器的损耗 ΔP_{T} 和 ΔQ_{T} 以及高压线路上的损耗 $\Delta P_{\mathrm{WL_1}}$ 和 $\Delta Q_{\mathrm{WL_1}}$ 即可确定高压母线上送出回路的计算负荷 $P_{30.2}$、$Q_{30.2}$、$S_{30.2}$ 和 $I_{30.2}$

$$P_{30.2}=P_{30.3}+\Delta P_{\mathrm{WL_1}}+\Delta P_{\mathrm{T}} \tag{4-17}$$

$$Q_{30.2}=Q_{30.3}+\Delta Q_{\mathrm{WL_1}}+\Delta Q_{\mathrm{T}} \tag{4-18}$$

$$S_{30.2}=\sqrt{P_{30.2}{}^2+Q_{30.2}{}^2} \tag{4-19}$$

$$I_{30.2}=S_{30.2}/\sqrt{3}U_{\mathrm{N}} \tag{4-20}$$

式中　$\Delta P_{\mathrm{WL}}=3I_{30}^2R_{\mathrm{WL}}$；

$\Delta Q_{\mathrm{WL}}=3I_{30}^2X_{\mathrm{WL}}$；

$\Delta P_{\mathrm{T}}=0.02S_{30.3}$（低损变压器取 0.015）；

$\Delta Q_{\mathrm{T}}=0.08S_{30.3}$（低损变压器取 0.06）；

I_{30}——该回路的计算电流；

R_{WL}——该回路每相导线的直流电阻；

X_{WL}——该回路每相导线的电抗。

R_{WL} 和 X_{WL} 的值可从表 4-6～表 4-9 中先查出每 km 的值，然后乘以输电距离 l 即可。

8）将高压母线上各个回路的计算负荷相加并选取同时系数 $K_{\Sigma P}$、$K_{\Sigma Q}$，即可确定送电回路的计算负荷 $P_{30.1}$、$Q_{30.1}$、$S_{30.1}$ 和 $I_{30.1}$

$$P_{30.1}=K_{\Sigma P}P_{30.2} \tag{4-21}$$

$$Q_{30.1}=K_{\Sigma Q}Q_{30.2} \tag{4-22}$$

$$S_{30.1}=\sqrt{P_{30.1}{}^2+Q_{30.1}{}^2} \tag{4-23}$$

$$I_{30.1}=S_{30.1}/\sqrt{3}U_{\mathrm{N}} \tag{4-24}$$

式中　$K_{\Sigma P}=0.85\sim1$，$K_{\Sigma Q}=0.95\sim1$。

如果该计算负荷上一级为 35kV 总降压变电所，即可用该计算负荷确定 35kV 变电所变压器的容量及台数。

用上述的方法亦可核算更高一级的计算负荷。

9）工厂的计算负荷还可以用以下几种方法进行核算，所不同的是只能确定总的计算负荷，而不能确定各个点的计算负荷。

① 将全厂各个用电设备的容量 P_{e}（不包括备用设备容量）相加，然后乘以需要系数 K_{d}，即可得到 P_{30}

$$P_{30}=K_{\mathrm{d}}\Sigma P_{\mathrm{e}} \tag{4-25}$$

$$Q_{30}=P_{30}\tan\varphi \tag{4-26}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$S_{30} = P_{30}/\cos\varphi \tag{4-27}$$

$$I_{30} = S_{30}/\sqrt{3}U_N \tag{4-28}$$

式中 K_d、$\cos\varphi$ 可由表4-4中查到，$\tan\varphi$ 可根据 $\cos\varphi$ 的反函数查三角函数表得到。

② 将全厂年产量 A 乘以单位产品电耗 a 即可得到全厂年耗电量，然后除以全厂年最大有功负荷利用小时数 T_{max} 即可得到 P_{30}

$$W_a = Aa \tag{4-29}$$

$$P_{30} = W_a/T_{max} \tag{4-30}$$

Q_{30}、S_{30}、I_{30} 与①相同，其中 T_{max} 可由表4-4查到。

表4-4 部分工厂的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参考值

工厂类别	需要系数 K_d	功率因数 $\cos\varphi$	年最大有功负荷利用小时数	工厂类别	需要系数 K_d	功率因数 $\cos\varphi$	年最大有功负荷利用小时数
汽轮机制造厂	0.38	0.88	5000	量具刃具制造厂	0.26	0.60	3800
锅炉制造厂	0.27	0.73	4500	工具制造厂	0.34	0.65	3800
柴油机制造厂	0.32	0.74	4500	电机制造厂	0.33	0.65	3000
重型机械制造厂	0.35	0.79	3700	电器开关制造厂	0.35	0.75	3400
重型机床制造厂	0.32	0.71	3700	电线电缆制造厂	0.35	0.73	3500
机床制造厂	0.2	0.65	3200	仪器仪表制造厂	0.37	0.81	3500
石油机械制造厂	0.45	0.78	3500	滚珠轴承制造厂	0.28	0.70	5800

③ 将全厂年产值 B 乘以单位产值耗电量 b 即可得到全厂年耗电量，然后用②中的方法即可得到该厂的计算负荷。

②和③中的 a、b 通常由同类工厂实测统计资料确定，或从有关设计资料查找。

2. 工业用电设备其设备容量 P_e 确定的法则

设备容量 P_e 不包括备用设备的容量，P_e 的计入与用电设备的工作制有关。在有些情况下，不是设备的额定容量，则应进行折算。而三相设备和单相设备的折算方法是不同的。

1）长期连续工作制和短时工作制的三相用电设备或用电设备组，其设备容量 P_e 就是该用电设备铭牌的额定容量（功率）或其额定容量之和。

2）断续周期工作制的三相用电设备或用电设备组，设备容量 P_e 就是将设备在不同负荷持续率下的铭牌额定容量统一换算到一个规定的负荷持续率下的功率或功率之和。

① 电焊机类负载要统一换算到负荷持续率 ε 为100%时的负载，持续率记为 ε_{100}

$$P_e = P_N\sqrt{\varepsilon_N/\varepsilon_{100}} = S_N\cos\varphi\sqrt{\varepsilon_N/\varepsilon_{100}} \tag{4-31}$$

$$P_e = P_N\sqrt{\varepsilon_N} = S_N\cos\varphi\sqrt{\varepsilon_N} \tag{4-32}$$

式中 ε_N——与铭牌额定容量对应的持续率；

$\cos\varphi$——铭牌规定的额定功率因数。

② 起重机类电动机负载要统一换算到 $\varepsilon=25\%$ 时的负载，记为 ε_{25}

$$P_e = P_N\sqrt{\varepsilon_N/\varepsilon_{25}} = 2P_N\sqrt{\varepsilon_N} \tag{4-33}$$

上述计算中 ε 宜采用小数或分数，持续率有时也称暂载率。

3）电炉变压器类负载的设备容量为额定功率因数时的有功负荷

$$P_e = S_N\cos\varphi \tag{4-34}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　S_N——电炉变压器的额定容量。

4）整流器负载的设备容量为其额定直流功率，即 $P_e = P_N$。

5）照明装置的设备容量通常指铭牌标出的额定功率 P_N，但对使用镇流器类的照明装置，P_e 应为 P_N 的 1.2 倍。

6）单相用电设备的 P_e 应根据其接法折算到三相负荷中去

① 均匀分配在三相上的单相负载，其 P_e 为全部单相负载额定容量之和。

② 单相负载接于相电压上时，等效三相设备容量 P_e 应为最大负荷相上所接单相设备容量总和的 3 倍；只有一台时则为其额定容量的 3 倍。负荷计算均按式（4-1）~式（4-4）计算。

③ 单相负载接于同一线电压上时，等效三相设备容量 P_e 一般为该线电压上所有负荷设备容量总和的$\sqrt{3}$倍；只有一台时则为其额定容量的$\sqrt{3}$倍，负荷计算均按式（4-1）~式（4-4）计算。

④ 单相设备分别接于线电压和相电压时，先将线负荷换算为相负荷，然后分相计算各相的设备容量和计算负荷，总的等效三相有功计算负荷就是其中相负荷量大的计算负荷 $P_{30\cdot m\varphi}$、$Q_{30\cdot m\varphi}$的 3 倍，即有

$$P_{30} = 3P_{30\cdot m\varphi} \tag{4-35}$$

$$Q_{30} = 3Q_{30\cdot m\varphi} \tag{4-36}$$

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^{\ 2} + Q_{30}^{\ 2}} \tag{4-37}$$

$$I_{30} = S_{30}/\sqrt{3}U_N \tag{4-38}$$

接于线电压的单相设备容量换算为接于相电压的设备容量，换算一般由下式各确定，即

$$P_A = p_{AB-A}\cdot P_{AB} + p_{CA-A}\cdot P_{CA} \tag{4-39}$$

$$Q_A = q_{AB-A}\cdot P_{AB} + q_{CA-A}\cdot P_{CA} \tag{4-40}$$

$$P_B = p_{BC-B}\cdot P_{BC} + p_{AB-B}\cdot P_{AB} \tag{4-41}$$

$$Q_B = q_{BC-B}\cdot P_{BC} + q_{AB-B}\cdot P_{AB} \tag{4-42}$$

$$P_C = p_{CA-C}\cdot P_{CA} + p_{BC-C}\cdot P_{BC} \tag{4-43}$$

$$Q_C = q_{CA-C}\cdot P_{CA} + q_{BC-C}\cdot P_{BC} \tag{4-44}$$

式中　P_{AB}、P_{BC}、P_{CA}——接于 AB、BC、CA 相间的有功负荷；

P_A、P_B、P_C——换算为 A、B、C 相的有功负荷；

Q_A、Q_B、Q_C——换算为 A、B、C 相的无功负载；

p_{AB-A}、q_{AB-A}…——接于 AB 等相间的负荷换算为 A 等相负荷的有功及无功换算系数，见表 4-5。

表 4-5　相间负荷换算为相负荷的功率换算系数

功率换算系数	负荷功率因数								
	0.35	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.8	0.9	1.0
p_{AB-A}、p_{BC-B}、p_{CA-C}	1.27	1.17	1.0	0.89	0.84	0.8	0.72	0.64	0.5
p_{AB-B}、p_{BC-C}、p_{CA-A}	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.2	0.28	0.36	0.5
q_{AB-A}、q_{BC-B}、q_{CA-C}	1.05	0.86	0.58	0.38	0.3	0.22	0.09	-0.05	-0.29
q_{AB-B}、q_{BC-C}、q_{CA-A}	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.8	0.67	0.53	0.20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、民用建筑用电负荷核算的程序及方法

民用建筑用电负荷的核算通常用需要系数法计算，然后再用负荷密度法或单位指标法去验证。

1. 用电设备容量的处理法则

1）反复短时工作制的用电设备应折算到负荷持续率为25%以上的有功功率。

2）消防泵、专用消防电梯以及在消防状态下才使用的送风机、排烟机等非正常状态下才投入运行的用电设备均不列入总设备容量之内。

3）备用生活水泵、备用电热水器、备用空调制冷机组及其他备用设备不列入设备容量之内。

4）夏季有制冷空调系统，冬季用锅炉采暖的建筑物，其设备功率不同时计取，应选择其中较大的一项计入总设备容量之内。

在进行负荷核算时要均衡考虑环境及社会因素、人民生活及收入的影响，将来发展也作为考虑的因素。为了核算方便，这里给出常用裸导线和电缆的相关数据，见表4-6 ~表4-9。

表4-6 LJ型铝绞线的电阻和感抗值 （单位：Ω/km）

截面积/mm²			16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
导线工作温度/℃	50	电阻	2.069	1.331	0.957	0.664	0.475	0.355	0.283	0.225	0.183	0.142
	55		2.106	1.354	0.974	0.676	0.483	0.361	0.288	0.229	0.186	0.144
	60		2.143	1.378	0.991	0.688	0.492	0.368	0.294	0.233	0.189	0.147
	65		2.180	1.402	1.008	0.700	0.500	0.374	0.299	0.237	0.193	0.143
导线几何均距/m	0.6	50Hz时感抗	0.363	0.349	0.339	0.327	0.317	0.304	0.297	0.289	0.283	0.275
	0.8		0.381	0.367	0.357	0.345	0.335	0.322	0.315	0.307	0.301	0.293
	1.0		0.395	0.381	0.371	0.359	0.349	0.336	0.329	0.321	0.315	0.307
	1.25		0.408	0.395	0.385	0.373	0.363	0.350	0.343	0.335	0.329	0.321
	1.5		0.420	0.407	0.396	0.385	0.374	0.361	0.354	0.347	0.340	0.332
	2.0		0.438	0.425	0.414	0.403	0.392	0.379	0.372	0.365	0.358	0.350

表4-7 LGJ型钢芯铝绞线的电阻和感抗值 （单位：Ω/km）

截面积/mm²			35	50	70	95	120	150	185	240
导线工作温度/℃	50	电阻	0.892	0.682	0.484	0.353	0.286	0.238	0.184	0.147
	55		0.907	0.694	0.493	0.359	0.291	0.242	0.187	0.150
	60		0.923	0.706	0.501	0.365	0.296	0.246	0.191	0.152
	65		0.939	0.719	0.510	0.372	0.301	0.251	0.194	0.155
导线几何均距/m	1.5	50Hz时感抗	0.385	0.376	0.365	0.354	0.347	0.341	0.333	0.326
	2.0		0.403	0.394	0.384	0.372	0.365	0.359	0.351	0.344
	2.5		0.417	0.408	0.398	0.386	0.379	0.373	0.365	0.358
	3.0		0.428	0.420	0.409	0.398	0.391	0.385	0.377	0.370
	3.5		0.438	0.429	0.419	0.407	0.401	0.395	0.387	0.379
	4.0		0.446	0.438	0.427	0.416	0.409	0.403	0.395	0.388
	4.5		0.454	0.445	0.434	0.423	0.416	0.410	0.402	0.395

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-8　TJ 型铜绞线的电阻和感抗值　　（单位：Ω/km）

截面积/mm²			16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
导线工作温度/℃	50	电阻	1.344	0.829	0.605	0.437	0.314	0.224	0.177	0.137	0.116	0.088
	55		1.368	0.844	0.616	0.445	0.319	0.228	0.180	0.141	0.118	0.090
	60		1.392	0.858	0.626	0.452	0.325	0.232	0.183	0.144	0.120	0.091
	65		1.416	0.873	0.637	0.460	0.330	0.236	0.186	0.146	0.123	0.093
导线几何均距/m	0.6	50Hz 时感抗	0.364	0.349	0.340	0.328	0.314	0.304	0.297	0.289	0.282	0.274
	0.8		0.381	0.367	0.357	0.346	0.332	0.322	0.315	0.307	0.300	0.292
	1.0		0.396	0.381	0.371	0.360	0.346	0.336	0.329	0.321	0.314	0.306
	1.25		0.410	0.395	0.385	0.374	0.360	0.350	0.343	0.335	0.328	0.320
	1.5		0.421	0.407	0.396	0.385	0.371	0.362	0.354	0.347	0.340	0.331
	2.0		0.439	0.425	0.415	0.403	0.389	0.380	0.372	0.365	0.358	0.349
	3.0		0.465	0.450	0.440	0.429	0.415	0.405	0.398	0.390	0.383	0.375

表 4-9　电缆的电阻和感抗值　　（单位：Ω/km）

截面积/mm²			2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
线芯工作温度/℃	55	铝芯电阻					2.209	1.414	1.010	0.707	0.505	0.372	0.294	0.238	0.195	0.152
	60		14.384	8.990	5.997	3.596	2.248	1.438	1.028	0.719	0.514	0.378	0.299	0.243	0.199	0.155
	75		15.128	9.445	6.307	3.782	2.364	1.513	1.081	0.756	0.540	0.398	0.315	0.255	0.209	0.163
	80						2.403	1.538	1.099	0.769	0.549	0.404	0.320	0.259	0.212	0.166
	55	铜芯电阻					1.311	0.839	0.600	0.420	0.300	0.221	0.174	0.142	0.116	0.091
	60		8.538	5.336	3.561	2.134	1.334	0.854	0.610	0.427	0.305	0.225	0.178	0.144	0.118	0.092
	75		8.979	5.612	3.745	2.245	1.403	0.898	0.642	0.449	0.321	0.237	0.187	0.152	0.124	0.097
	80						1.426	0.913	0.652	0.456	0.326	0.241	0.190	0.154	0.126	0.098
油浸纸绝缘三芯电力电缆额定电压/kV	1kV	50Hz 时感抗	0.098	0.091	0.087	0.081	0.077	0.067	0.065	0.063	0.062	0.061	0.062	0.062	0.062	0.062
	6kV						0.099	0.088	0.083	0.079	0.076	0.074	0.072	0.072	0.070	0.069
	10kV						0.110	0.098	0.092	0.087	0.083	0.080	0.078	0.077	0.075	0.073
聚氯乙烯绝缘三芯电力电缆额定电压/kV	1kV		0.100	0.093	0.093	0.087	0.082	0.075	0.072	0.072	0.069	0.069	0.069	0.070	0.070	0.070
交联聚乙烯绝缘三芯电力电缆额定电压/kV	6kV						0.124	0.111	0.105	0.099	0.093	0.089	0.087	0.085	0.082	0.080
	10kV						0.133	0.120	0.113	0.107	0.101	0.096	0.095	0.093	0.090	0.087

2. 计算方法

（1）需要系数法

1）用电设备组的计算负荷为

$$P_{30.1} = K'_x P_e \tag{4-45}$$

$$Q_{30.1} = P_{30} \tan\varphi \tag{4-46}$$

$$S_{30.1} = \sqrt{P_{30}{}^2 + Q_{30}{}^2} \tag{4-47}$$

$$I_{30.1} = S_{30} / \sqrt{3} U_N \tag{4-48}$$

2）配电干线或变电所的计算负荷为

$$P_{30.2} = K_{\Sigma P} \Sigma \ (K'_x P_e) \tag{4-49}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$Q_{30.2} = K_{\Sigma Q}\Sigma\ (K'_x P_e \tan\varphi) \tag{4-50}$$

$$S_{30.2} = \sqrt{{P_{30.2}}^2 + {Q_{30.2}}^2} \tag{4-51}$$

$$I_{30.2} = S_{30.2}/\sqrt{3}U_N \tag{4-52}$$

式中 P_e——用电设备组的设备容量；

K'_x——需要系数，见表4-10和表4-11；

cosφ、tanφ——用电设备的功率因数及正切值，见表4-11，tanφ由cosφ反函数查三角函数得到；

$K_{\Sigma P}$、$K_{\Sigma Q}$——同时系数，分别取0.8～0.9、0.93～0.97。

表4-10 全国建筑电气情报网推荐的10层及以上高层民用建筑需要系数 K'_x

户 数	需用系数	户 数	需用系数
20户以下	0.6以上	50～100户	0.5～0.4
20户～50户	0.6～0.5	100户以上	0.4以下

表4-11 中国民用建筑电气负荷研究专题组提供的旅游宾馆及主要用电设备组的需要系数及功率因数表

序号	用电设备组名称	K'_x		cosφ	
		平均值	推荐值	平均值	推荐值
1	全馆总负荷	0.45	0.4～0.5	0.84	0.8
2	全馆总电力	0.55	0.5～0.6	0.82	0.8
3	全馆总照明	0.4	0.35～0.45	0.9	0.85
4	冷冻机房	0.65	0.65～0.75	0.87	0.8
5	锅炉房	0.65	0.65～0.75	0.8	0.75
6	水泵房	0.65	0.6～0.7	0.86	0.8
7	通风机	0.65	0.6～0.7	0.83	0.8
8	电梯	0.2	0.18～0.22	DC0.5/AC0.8①	DC0.4/AC0.8①
9	厨房	0.4	0.35～0.45	0.7～0.75	0.7
10	洗衣机房	0.3	0.3～0.35	0.6～0.65	0.7
		全馆同时使用系数 $K_0 = 0.92 \sim 0.94$			

① DC（ ）/AC（ ）表示直流梯（ ）/交流梯（ ）。

（2）负荷密度法

$$P_{30} = \frac{W/\mathrm{m}^2 \cdot A}{1000} \tag{4-53}$$

式中 W/m^2——平均每平方米计算有功功率，单位为W；

A——建筑面积，单位为m^2。

（3）单位指标法

$$P_{30} = \frac{W/x \cdot N}{1000} \tag{4-54}$$

式中 W/x——平均用电有功功率，单位为W；x为人、床、户；

N——人数、床数、户数。

W/m^2、W/x的选取见表4-12和表4-13。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-12　某设计院提供的北京地区民用住宅用电指标推荐值

住宅类别	用电指标/（W/户）	备　注
普通住宅	370～433	当住户面积为 56m² 时，负荷密度为 6.6～7.7W/m²
普通高层住宅	480～526	当住户面积为 56m² 时，负荷密度为 8.5～9.4W/m²
中级住宅	3500	按每户一台空调器、一台电热水器考虑
高级住宅 1	4500	按每户两台空调器、两台电热水器、一台烘干洗衣机、没有电灶考虑
高级住宅 2	5800	按每户两台空调器、两台电热水器、一台烘干洗衣机、有电灶考虑

注：中级及高级住宅指外交公寓一类的建筑。

表 4-13　旅游宾馆的负荷密度及单位指标

序号	用电设备组名称	K/W·m^{-2}	K_n/W·床		
		平均	推荐范围	平均	推荐范围
1	全馆总负荷	72	65～79	2242	2000～2400
2	全馆总照明	15	13～17	928	850～1000
3	全馆总电力	56	50～62	2366	2100～2600
4	冷冻机房	17	15～19	969	870～1100
5	锅炉房	5	4.5～5.9	156	140～170
6	水泵房	1.2	1.2	43	40～50
7	风机	0.3	0.3	8	7～9
8	电梯	1.4	1.4	28	25～30
9	厨房	0.9	0.9	55	30～60
10	洗衣机房	1.3	1.3	48	45～100

有时用户的用电负荷常用估算的方法进行估算

$$S_g = K_c A + M \tag{4-55}$$

式中　S_g——住户的每户估算视在负荷，单位为 VA；

K_c——住户的估算负荷密度（除去大型用电设备），单位为 VA/m²；

A——住户的建筑面积，单位为 m²；

M——住户的大型用电设备，单位为 VA。

K_c 一般取 30～40VA/m²；M 一般取 2500～3500VA。

民用用电负荷的计算，其各种系数的选取，是随着工业的发展和人民生活水平的提高而应不定期进行修订。照明负荷的功率因数一般在 0.6～0.9，水泵负荷率一般在 0.7～0.8，风机一般在 0.75～0.85。

三、电力变压器的选择

电力变压器的选择有三个方面，即容量、台数和型号的选择。

1. 容量 S 的选择

1）变电所只装一台变压器时。主变压器的额定容量 S_{NT} 应满足全部用电设备的总计算负荷 S_{30}，即

$$S_{NT} \geqslant S_{30} \tag{4-56}$$

2）变电所装设两台变压器时。每台变压器的额定容量 S_{NT} 应同时满足如下两个条件：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 任意一台变压器单独运行时，宜满足总计算负荷 S_{30} 的 70% 左右的需要，即有

$$S_{NT} \approx 0.7 S_{30} \tag{4-57}$$

② 任意一台变压器单独运行时，应满足全部一、二级负荷 $S_{30(\mathrm{I}+\mathrm{II})}$ 的需要，即有

$$S_{NT} \geqslant S_{30(\mathrm{I}+\mathrm{II})} \tag{4-58}$$

3）变压器的容量有时用 $S_{NT} \geqslant \dfrac{P_{30}}{\beta \cos\varphi_2}$ 来确定，P_{30} 为全部用电设备总有功计算负荷，β 为变压器的效率，一般取 0.9～0.95，$\cos\varphi_2$ 为补偿后的功率因数，一般取 0.90 以上。

将上述计算结果套入变压器容量标准系列 R10，最后确定变压器的容量。

变压器的容量确定后应根据系统中最大负荷冲击的条件进行验算，特别是低压电动机直接起动更要引起重视。

电源容量允许全压起动电动机最大功率见表 4-14 和表 4-15。

表 4-14 10（6）/0.4kV 变压器允许全压起动的笼型电动机最大功率（单位：kW）

起动时的母线电压平均允许值（%）	供电变压器的容量/kVA													
	100	125	160 180	200	250	315	320	400	500	560	630	750	800	1000
90	20	22	30	40	55	75	55	90	110	115	135	155	155	200
85	30	40	55	75	90	100	100	155	185	185	225	240	260	280

注：1. 变压器高压侧短路容量假定为变压器额定容量的 50 倍。

2. 表中数据系指电动机与变压器低压母线直接相连，并且变压器的预接负荷为变压器容量的 60%，其功率因数为 0.8 时的数据。

3. 表中□中的数值为 R8 容量系列。

表 4-15 按电源容量估算的允许全压起动的电动机最大功率

电动机连接处电源容量的类别		允许全压起动的电动机最大功率/kW
配电网络在连接处的三相短路容量 S_{dl}/kVA		（0.2～0.3）①S_{dl}
10（6）/0.4kV 变压器的额定容量 S_b/kVA （假定变压器高压侧短路容量≥50S_b）		经常起动 0.2S_b 不经常起动 0.3S_b
小型发电机功率 P_f/kW		（0.12～0.15）P_f
$P_f \leqslant 200$kW 的柴油发电机组	手动调压	0.1P_f
	炭阻式自动调压	（0.12～0.15）P_f
	带励磁机的晶闸管调压	（0.12～0.25）P_f
	晶闸管、相复励自励调压	（0.15～0.13）P_f
	三次谐波励磁调压	（0.15～0.5）P_f

① 对应于电动机起动电流与额定电流的倍数为 7～4.5 倍时。

2. 变压器台数的选择

1）一、二级负荷的变电所（室）应选用两台或两台以上的变压器。

2）超过 1000kVA 的一般性负荷宜选用两台或两台以上的变压器。

3）35kV 或 35kV 以上的变电所（室）应选用两台或两台以上变压器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）单相负荷较多，使变压器三相负荷的不平衡率超过25%时，或严重影响照明质量时，可单设单相变压器或照明变压器专供单相负荷。

5）冲击性负荷较大，严重影响供电质量时，应专门设置变压器对冲击性负荷供电。

6）对于运输条件差、环境恶劣的场所应减小变压器容量而适当增加变压器的台数。

3. 变压器型号的选择

1）一般的场所宜选用低损耗铜线变压器；对于通风散热条件好、负荷不太大的一般场所可选用低损耗铝线变压器。

2）高层建筑、地铁、隧道等场所应选用环氧树脂干式电力变压器。

3）对于供电质量要求较高的场所应选用有载调压变压器。

4）对于多雷区、易遭雷击的地方及接地电阻较大的地区应选用防雷变压器。

5）环境恶劣、粉尘较多或腐蚀严重的场所应选用全密闭式变压器。

6）单相供电场所应选用单相变压器。一般不宜选用三台单相变压器组成三相供电电源。

四、高压电器的选择

高压电器主要指高压系统中断路器、负荷开关、隔离开关、熔断器、电抗器、互感器、绝缘子及穿墙套管、母线、移相电容器等。

高压电器的选择应先按安装地点、工作环境、使用要求选择其型号，然后按正常工作条件选择其额定电压和额定电流，再按非正常工作条件来进行校验，否则应重新选择。高压电器选择时应校验的项目见表4-16。

1. 型号的选择

安装于户外的应选用户外型，安装于户内的应选用户内型。

根据安装环境和工作条件的不同选用普通型、防爆型、湿热型、高原型、防污型、封闭型等。

2. 按正常工作条件选择电器的额定电压和额定电流

高压电器的额定电压 U_N 应等于或大于所在回路里的额定工作电压 U_S。通常熔断器、避雷器、互感器的额定电压应等于所在回路的额定工作电压。

高压电器的额定电流 I_N 应大于或等于所在回路或通过设备的计算电流 I_{30}。

当电器装置的实际环境温度和其允许的环境温度不一致时，电器的最大允许工作电流应按表4-17进行修正。

3. 按短路状态校验其稳定性

1）断路器、负荷开关、隔离开关及电抗器等的极限通过电流 i_{max}（可在产品说明书或电气设备相关手册中查出）应大于或等于装设点该回路三相短路时设计计算所得的三相短路冲击电流 $i_{sh}^{(3)}$（三相短路冲击电流 $i_{sh}^{(3)}$ 应由设计给出）。

2）断路器、负荷开关、隔离开关、电抗器的热稳定电流 I_t 的二次方与其对应时间 t 的乘积应大于或等于短路稳态电流 $I_\infty^{(3)}$ 的二次方和短路假设时间 t_{ima} 的乘积，其中 I_t 和 t 可在产品说明书或电气设备手册中查出，$I_\infty^{(3)}$ 一般为三相短路电流 $I_k^{(3)}$，应由设计给出，$I_k^{(3)}$、$I_\infty^{(3)}$ 与 $i_{sh}^{(3)}$ 的关系由下列决定。

① 高压电路三相短路时

$$i_{sh}^{(3)} = 2.55I_\infty^{(3)} = 2.55I_k^{(3)} \tag{4-59}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-16 选择高压一次设备应校验的项目

电气设备名称	电压/kV	电流/A	断流能力/kA	短路电流校验	
				动稳定度	热稳定度
高压熔断器	✓	✓	✓	—	—
高压隔离开关	✓	✓	—	✓	✓
高压负荷开关	✓	✓	✓	✓	✓
高压断路器	✓	✓	✓	✓	✓
电流互感器	✓	✓	—	✓	✓
电压互感器	✓	—	—	—	—
高压电容器	✓	—	—	—	—
母　　线	—	✓	—	✓	✓
电　　缆	✓	✓	—	—	✓
支柱绝缘子	✓	—	—	✓	—
绝缘套管	✓	✓	—	✓	—
应满足的条件	设备的额定电压应不小于装置地点的额定电压	设备的额定电流应不小于通过设备的计算电流	电器的最大开断电流应不小于它可能分断的最大电流	按 $i_{sh}^{(3)}$ 或 $I_{sh}^{(3)}$ 校验满足动稳定度的条件	按 $I_{\infty}^{(3)}$ 校验满足热稳定度的条件

注：1. 表中“✓”表示必须校验，“—”表示不要校验。

2. 选择变电所高压侧的电气设备和导体（包括母线、导线和电缆）时，其计算电流应按主变压器高压侧（一次）额定电流考虑，以适应负荷的发展，充分发挥主变压器的设备能力。

3. 对高压负荷开关，其最大开断电流应不小于它可能开断的最大过负荷电流；对高压断路器，其最大开断电流应不小于实际开断时间（继电保护动作时间与断路器固有分闸时间之和）的短路电流周期分量。

表 4-17 高压电器最高工作电压及在不同环境温度下的允许最大工作电流

项　　目		支持绝缘子	穿墙套管	隔离开关	断路器	电流互感器	电抗器	负荷开关	熔断器	电压互感器	移相电容器
最高工作电压		$1.15U_N$①				$1.1U_N$		$1.15U_N$		$1.1U_N$	$1.05U_N$
最大工作电流	当 θ③ $<\theta_N$④ 时	—	环境温度每降低 1℃，可增加 0.5% I_N②，但最大不得超过 20% I_N			I_N				—	
	当 $\theta_N<\theta\leqslant 60$℃ 时	—	环境温度每增高 1℃，应减少 1.8% I_N						—		

① U_N 为高压电器额定电压，单位为 kV。

② I_N 为高压电器额定电流，单位为 A。

③ θ 为实际环境温度，单位为℃。

④ θ_N 为额定环境温度，普通型和湿热带型为 +40℃，干热带型为 +45℃。

② 1000kVA 及以下电力变压器二次侧及低压电路三相短路时

$$i_{sh}^{(3)}=1.84I_{\infty}^{(3)}=1.84I_k^{(3)} \tag{4-60}$$

假设时间 t_{ima} 等于短路时间 t_k 加上 0.05s，即 $t_{ima}=t_k+0.05s$，而 t_k 为短路保护装置实际整定的最长动作时间 t_{op} 与断路器或开关的断路时间 t_{oc} 之和。而 t_{oc} 为断路器固有分闸时间与其电弧延续时间之和，因此一般的断路器或高压开关的 t_{oc} 为 0.2s，高速断路器（真空断路器）t_{oc} 取 0.1～0.15s。t_{op} 由设计给出。

4. 按安装地点的三相短路容量或三相短路电流来校验断流能力

断路器、熔断器、高压负荷开关在其额定电压下允许的开断电流 I_{oc} 或断流容量（均在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

手册或说明中查到）应大于装设点的三相短路电流 $I_k^{(3)}$ 或三相短路容量（均由设计给出）。

上述 1. ~4. 可用以下公式进行小结：

开关元件参数≥装设地点电气参数，即

$$U_N \geqslant U_s \tag{4-61}$$

$$I_N \geqslant I_{30} \tag{4-62}$$

$$I_{oc} \geqslant I_k^{(3)} \tag{4-63}$$

$$i_{max} \geqslant i_{sh}^{(3)} \tag{4-64}$$

$$I_t^2 t \text{（对应时间）} \geqslant I_\infty^{(3)2} t_{ima} \tag{4-65}$$

5. 互感器、绝缘子、套管的选择及校验方法

1）电流互感器应按安装地点的条件及额定电压、一次电流、二次电流、准确度等级来进行选择，并按下面的方法进行短路校验。

① 短路时动稳度应满足

$$K_{es}\sqrt{2}I_{1N} \geqslant i_{sh}^{(3)} \tag{4-66}$$

式中　K_{es}——动稳定倍数，由互感器设备手册或说明书查到；

I_{1N}——互感器一次额定电流。

② 短路时热稳定度应满足

$$K_i I_{1N} \geqslant I_\infty^{(3)} \sqrt{t_{ima}} \tag{4-67}$$

式中　K_i——热稳定倍数（1s），由相关手册或说明书查到；

t_{ima}——短路假设时间。

2）电压互感器一般由熔断器保护，不校验短路稳定度，只按安装地点的条件及一次电压、二次电压、准确度等级进行选择即可。

3）支柱绝缘子、绝缘套管应按安装地点的电压等级选择，套管还应满足计算电流 I_{30}，然后校验其短路动稳定度。动稳定度校验的条件为

$$F_{al} \geqslant F_c^{(3)} \tag{4-68}$$

式中　F_{al}——绝缘子或套管最大允许载荷，由产品样本查到，如只查到抗弯破坏载荷值，则乘以 0.6 即为 F_{al}；

$F_c^{(3)}$——短路时作用于绝缘子或套管上的计算力。

母线在绝缘子或套管上平放（指截面）$F_c^{(3)}$（N/A^2）应按下式计算，即

$$F_c^{(3)} = \sqrt{3} i_{sh}^{(3)2} \left(L/a\right) \times 10^{-7} \tag{4-69}$$

式中　L——母线相邻两支点间的距离；

a——母线相与相之间轴线距离。

母线在绝缘子上立放（指截面），其 F_c 为 $F_c^{(3)}$ 的 1.4 倍。

五、电力变压器保护装置的设置

变压器应根据其容量和负荷级别装置保护装置，电力变压器保护装置可按表 4-18 来设置。

六、输电线路保护装置的设置

输电线路应根据其电压等级和负荷级别装设保护装置，输电线路保护装置可按表 4-19 来设置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-18 电力变压器的继电保护装置

变压器容量/kVA	保护装置名称							备注
	过电流保护	电流速断保护	纵联差动保护	气体保护	单相接地保护	过负荷保护	温度信号	
<400								高压熔断保护
400～630	一次侧采用断路器时装设	一次侧采用断路器且过电流保护延时大于0.5s时装设	—	车间内变压器装设	低压侧为四线制的Yyn0联结变压器装设	并列运行的变压器装设 作为其他备用电源的变压器根据过负荷的可能性装设	—	一般采用GL型继电器作过电流及电流速断保护
800				装设			装设	
1000～1800	装设	过电流保护延时大于0.5s装设	—		—			≥5330kVA的单相变压器宜装设远距离测温装置
2000～6300			当电流速断保护不能满足灵敏度要求时装设					
6300～8000		单独运行的变压器或负荷不太重要的变压器装设	并列运行的变压器或重要变压器或当电流速断保护不能满足灵敏度要求时装设		—			≥8000kVA的变压器宜装设远距离测温装置

表 4-19 3～35kV 线路保护装置的设置

电压等级	线路型式	相间短路保护			过电流保护		纵联保护	横联差动保护	单相接地保护	自动重合闸装置	备注
		无时限电流速断①	带时限电流速断	电流、电压速断②	有方向元件	过电流保护					
3～10kV	单线回路	自重要配电所引出的线路装设	当无时限速断不能满足选择性时装设			✓			根据需要装设	6kV及以上线路宜装设	当过电流保护的时限不大于0.5～0.7s且没有保护配合上的要求时，可不装设电流速断
	双侧电源或环形网络				✓		✓				纵联保护为主保护，过电流保护为后备保护
	平行线路							✓			横联差动保护为主保护，过电流保护为后备保护
35kV	单线回路			✓					根据需要装设		
	双侧电源或环形网络				✓		✓				同3～10kV
	平行线路							✓			同3～10kV

注：1. 6～10kV 混凝土铁横担架空线路应装设带速断的过电流保护。

2. 经常出现过负荷的电缆线路，宜装设过负荷保护。

3. 本表根据电力设计技术规程整理。

① 无时限电流速断保护范围，应保证切除所有使该母线残压低于50%～60%额定电压的短路。为满足这一要求，必要时保护装置可无选择地动作，并以自动装置来补救。

② 电流、电压速断一般指电流速断或电流闭锁、电压速断。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

七、电动机保护装置的设置

电动机应根据其电压等级、容量、负荷级别及运行方式设置继电保护装置。

1）高压电动机的保护装置应按表 4-20 来设置。

2）低压电动机的保护装置应按表 4-21 来设置。

表 4-20　3～10kV 电动机的继电保护配置

电动机容量/kW	保护装置名称						
	电流速断保护	纵联差动保护	过负荷保护	单相接地保护	低电压保护	失步保护①	防止非同步冲击的断电失步保护②
异步电动机 <2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设	生产过程中易发生过负荷时，或起动、自起动条件严重时应装设	单相接地电流 > 5A 时装设，≥ 10A 时一般动作于跳闸，5～10A 时可动作于跳闸或信号	根据需要装设		
异步电动机 ≥2000		装设					
同步电动机 <2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设				装设	根据需要装设
同步电动机 ≥2000		装设					

① 下列电动机可以利用反应定子回路的过负荷保护兼作失步保护：短路比在 0.8 及以上且负荷平稳的同步电动机、负荷变动大的同步电动机，但此时应增设失磁保护。

② 大容量同步电动机当不允许非同步冲击时，宜装设防止电源短时中断再恢复时造成非同步冲击的保护。

表 4-21　低压电动机保护装置的设置

保护方式	电动机类别	保护元件或设备	保护方式	电动机类别	保护元件或设备
短路保护	所有的交流电动机（以下简称电动机）	小型电动机可采用熔断器，大中型电动机应采用断路器	低电压保护	1. 当电源电压短时降低或短时中断时允许断开的电动机，一般装设瞬时动作的低电压保护，当电动机功率不超过 10kW 且工艺或安全条件允许自起动时，可不装设 2. 不需要或不允许自起动的重要电动机，应装设短延时的低电压保护，其时限一般为 0.5s 3. 需要自起动的重要电动机，不宜装设低电压保护，但按工艺或安全条件在长时间停电后不允许自起动时，应装设长延时的低电压保护，其时限一般为 5～10s	断路器的低电压脱扣器或起动器的电压吸引线圈
过负荷保护	1. 容易过载运行的电动机 2. 由于起动或自起动条件较差而可能引起起动失败或需要限制起动时间的电动机 3. 长时间运行且无人监视的电动机 4. 3kW 及以上的电动机	一般用热继电器或断路器延时过电流脱扣器，必要时可用反时限或定时限过电流继电器			
单相运行保护	连续运行的三相交流电动机，但丫联结且装有三相或两相过负荷保护的电动机或 3kW 以下的笼型电动机可不装设	带断相保护的三相热继电器或专用保护装置	失步保护失磁保护	同步电动机	
				直流电动机应装设短路保护、失磁保护、超速保护、过负荷保护、堵转保护	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

八、低压电器的选择

低压电器主要指低压系统中刀开关、熔断器、断路器、接触器、电动机起动器、继电器及导线、电缆等。

低压电器选择的原则同高压电器一样，首先按安装地点、使用环境及要求选择其型号和防护等级，然后按正常工作条件选择其规格（包括额定电压、额定电流、有的继电器还要选择调节范围等），再按非正常工作条件来进行校验，校验方法与高压电器相同，但只校验断流能力 I_{oc}。

对于熔断器、接触器、断路器、热继电器、电动机起动器等的选择还要注意系数 K 的选取，合理选择 K 值使电器能在正常工作条件下承载负荷电流，并能躲过电动机起动时的冲击电流，也能在非正常工作条件下（除接触器）切断事故电流而自动跳闸，保护电气系统。

1. 熔断器的选择

熔断器主要作为电气系统短路保护元件，小容量（3kW 以下）可兼作过载保护，熔断器的选择有三个内容：一是型号的选择，二是熔管（熔体壳）额定电流的选择，三是熔体额定电流的选择。

1）熔断器的型号很多，一般根据使用场所的条件进行选择。

RM10 系列无填料封闭管式熔断器适用于低压交直流动力网络、成套配电设备中，作为短路保护和防止连续过负荷用。额定电流为 15～1000A。

R1 系列熔断器适用于 220V 交直流及以下、额定电流 10A 及以下控制电路及信号电路的室内电气设备中，作为短路或过负荷保护之用。

RC1A 系列瓷插式熔断器适用于交流 380V 及以下一般线路末端和一般电气设备的短路保护。额定电流为 1～200A。

RT0 系列有填料封闭管式熔断器适用于交直流低压短路电流大的电力网络及配电系统中，作为电缆、导线及电气设备（中型电动机、变压器及开关等）的短路保护及导线、电缆的过负荷保护。尤其适用供电线路或断流能力要求较高的场所，如电厂用电、变电所的主电路及靠近电力变压器出线端的供电线路。额定电流为 50～1000A。

RT10 系列有填料封闭管式熔断器适用交直流 500V 及以下、额定电流 100A 及以下的大短路电流的电力网络和配电装置中，作为电缆、线路及电气设备的短路保护和电缆、导线的过负荷保护。

RT11 系列高分断能力熔断器适用于交直流 500V 及以下额定电流 400A 及以下、短路电流大的电力网络和电气配电装置中，作为电缆、导线及电气设备的短路保护和电缆、导线的过负荷保护。

RL1 系列螺旋式熔断器适用于低压交直流额定电流 200A 及以下的电路中，作为过载及短路保护元件，尤其适用小容量电动机频繁起动电路。

RT14 圆筒帽形有填料熔断器适用于低压交直流额定电流 63A 及以下的配电系统短路保护用。

管式 B 型 13A 熔断管适用于交流 240V 及以下、额定电流 13A 及以下，作为电路短路保护用。

RLS1 系列螺旋式快速熔断器适用于低压交直额定电流 100A 及以下的电路中作为硅整流器件，或由硅整流器件组成的成套装置中短路或过负荷保护。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

RS0 系列有填料封闭管式快速熔断器适用于交流 750V 及以下、额定电流 480A 及以下电路中，作为半导体整流器件或由其组成的成套装置的短路保护及某些不允许过电流的过负荷保护。

RS3 系列有填料封闭管式快速熔断器适用于交流 1000V 及以下额定电流 700A 及以下的电路中，作为晶闸管器件及其成套装置的短路及某些不允许过电流的过负荷保护。

2）熔体额定电流的选择，有如下 5 种情况：

① 单台直接起动的中小型电动机，熔体额定电流可根据负荷性质和轻载起动、中载起动、重载起动的不同，选择在电动机额定电流的 2～3.5 倍之间。

② 线路中几台电动机都为直接起动且不同时起动，总熔体额定电流应大于或等于 2～3 倍容量最大一台的额定电流再加上其他电动机的额定电流和其他负荷的额定电流；工艺上要求有几台电动机同时起动，且总容量超过线路中最大一台，总熔体额定电流还应加上这几台电动机额定电流和的 2～3 倍。

③ 减压起动的笼型电动机，熔体额定电流应为电动机额定电流的 1.5～2.5 倍，并按负载性质和起动形式不同选取。

④ 绕线转子电动机熔体额定电流应为电动机额定电流的 1.25～2 倍，并按负载性质和起动形式不同选取。

⑤ 照明电路中，对于白炽灯、荧光灯、卤钨灯、卤化物灯熔体额定电流应为线路中计算电流的 1 倍；对于高压汞灯熔体额定电流应为计算电流的 1.3～1.7 倍；对于高压钠灯应为 1.5 倍。

3）熔体确定之后可按其确定熔管的额定电流，熔管的额电流应大于或等于熔体的额定电流，对于电流很大的回路应选择大于熔体额定电流的熔管。

2. 低压开关元件的选择

低压开关元件主要包括断路器、接触器、刀开关：断路器是接通电流和断开电流的开关元件，它具有短路保护和过载保护的功能；接触器是能频繁接通电流和断开电流的开关元件，它具有欠电压和失电压保护的功能，接触器必须与熔断器串联使用；刀开关是接通电压和断开电压的开关元件，它属隔离开关。

1）断路器型号的选择：DW15 系列额定电流 200～4000A，具有过负荷长延时（3 倍整定电流 1h 动作、2 倍整定电流小于 10min 动作、3 倍整定电流小于 8s 动作）、短路短延时、特大短路瞬时三段保护特性，一般适用于低压配电、线路和电源设备的过负荷、欠电压和短路保护，600A 及以下又可作为电动机起动和过载、短路、欠电压保护用。

DWX15 系列框架式限流断路器，额定电流为 200～600A，适用于可能发生特大短路电流的网络中，具有快速断开和限制短路电流上升的功能，作为配电和起动、保护电动机之用。

DW10 系列框架式断路器适用于低压交直流配电线作为过负荷、短路及欠电压保护用。额定电流为 200～4000A。

DW5 系列框架式断路器适用于低压交流配电或电动机过负荷、欠电压和短路保护，具有长延时、短延时、瞬时保护特性，额定电流为 200～600A。

SO60 系列塑料外壳式断路器适用于低压交流线路，作为照明、电动机的过负荷和短路保护用。额定电流为 6～40A。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

DZ15L 系列漏电断路器适用于交流低压、电流 60A 及以下线路中作为漏电保护，并可保护线路和电动机的过载和短路。DZ5-20L 型漏电断路器具有上述功能，额定电流为 1 ~20A。

DZ 系列塑料壳式断路器具有短路、过载保护功能，其中 DZ6、DZ12、DZ13 主要用于照明电路；DZ10 适用于交流 500V、直流 220V 电路；DZ15 可作为硅整流器件交流侧短路保护；DZX10 为限流断路器，适用于集中配电、变压器并联运行或采用环形供电时，要求高分断能力的分支线路中。

2）接触器型号的选择：接触器分交流接触器和直流接触器两种。

CJ10 系列交流接触器适用于交流低压 150A 及以下电力线路中，供远距离接通和分断电路及频繁起动和控制交流电动机之用。CJ10X 系列交流接触器适用于条件较差、频繁起动和反接制动的电动机。

CJ12 系列交流接触器主要用于冶金、轧钢及起重等环境恶劣、频繁起动、停止和反转的电动机用。额定电流为 100 ~600A。其中，CJ12B 具有灭弧性能可靠、飞弧距离小的特点。CJ12B-S 具有正常工作时吸引线圈不通电、无噪声的特点。

CJ20 系列交流接触器适用于交流 660V 及以下（有的适用 1140V）、电流 630A 及以下供远距离通断电路并适用于频繁起动和控制电动机。

CJZ 系列交流接触器主要用于冶金、轧钢、起重及振动冲击较大的场合，频繁起动、停止、反转和反接制动电动机。

CJ15 系列交流接触器适用于交流低压、额定电流为 1000 ~4000A 大电流系统，供远距离通断，灭弧性能好。

B 系列交流接触器适用于交流 660V 及以下、475A 及以下电力线路和频繁起动电动机用，有多种电压线圈可选用，并配有多种辅助触头、延时继电器、机械联锁装置等辅件。B 系列交流接触器的结构分正装式和倒装式两种。正装式电触头系统在前面，磁系统在后面（安装板面）；倒装式电触头系统在后面，磁系统在前面，更换线圈方便，主接线距离短且方便，便于安装附件，扩大功能。

CZ0 系列直流接触器适用于直流 440V 及以下电流 600A 及以下的电力线路、供远距离接通与分断电路之用，且适用于频繁起动、停止、换向、反接制动直流电动机用，可用于冶金、机床电气控制中。

CZ0-40C 系列直流接触器主要供远距离瞬时接通与分断 35kV 及以下的高压油断路器电磁操动机构 CD2、CD3、CD10、CD11、CD14 型，且适用于瞬时接通与分断快速断路器的合闸线圈。

CZ0-40D 系列直流接触器主要供远距离瞬时通断 35kV 及以下高压油断路器电磁操动机构及 ZN-10、ZN-35 型真空断路器电磁操动机构中额定电压 220V 及以下的直流电磁线圈，且适用于电力系统自动重合闸线路。

CZ3 系列直流接触器主要用于直流 220V 及以下转换电路（如电器的电压线圈、伺服电动机）、纯电阻负载电路（如照明、电阻、电炉）、信号电路及励磁电路。

CHZ-1 型直流接触器适用于电压 32V、电流 100A 及以下直流电路的远距离通断用。

3）刀开关型号的选择：HD、HS 系列刀开关适用于低压交直流、额定电流 1500A 及以下的成套配电装置中，作为不频繁通断交直流电路或作隔离开关用。其中 HD12、HD13、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

HS12、HS13 带灭弧罩的可切断额定电流以下的负载电流，HD14 可用于动力配电箱中，其中带灭弧罩的刀开关可带负荷操作。

HR3 系列熔断器式刀开关适用于交直流低压、额定电流 600A 及以下，作为电气设备及线路的过负荷和短路保护用，并可在正常情况下不频繁地接通和切断电流，具有熔断器和刀开关的基本性能，熔断器常用 RT0 型。

4）低压开关规格的选择：低压开关规格的选择一般是先按负荷或线路的计算电流，负荷不确定时，可按“一个千瓦、两个电流”估算负荷的电流，然后选择不同的可靠系数 K，用以乘以计算电流或负荷电流，再对照产品系列规格，最后选定开关元件的规格。

断路器 K 值根据经验取 1.5～2.5；接触器 K 值根据经验取 1.5～2.5；刀开关 K 值根据经验取 1.1～1.5；其中轻载起动、无较大的动力设备的线路及照明电路或无感性负荷的电路取下限，重载起动、线路中有较大动力设备取上限。

规格确定后应按短路电流校验的条件进行短路校验。

3. 热继电器的选择

热继电器适用于连续工作、断续工作及某些短时工作电动机的过载保护，有反接制动及频繁通断工作的电动机不宜采用热继电器保护过载。有的可兼作断相保护和短路保护。断相保护的热继电器有 JR0-□/3D、JR16-□/3D 等。

热继电器的额定电流应大于被保护电器额定电流，一般为 1.5 倍。

热元件的额定电流应大于被保护电器的额定电流，一般大于一个等级，如 18.5kW 电动机，额定电流为 36A，对照热元件系列规格选 45A 热元件，整定在 0.95～1.1 倍电动机的额定电流，热继电器可选用 60A 的。

使用环境温度较高时一般应降一级使用。

在选用热继电器时，对于丫联结电动机不宜选用带断相保护的热继电器，△联结的电动机可选用带断相保护的热继电器。

热继电器的选择一般不宜选用大于额定电流 60A 的。若大于 60A 时，应和电流互感器配合使用，热继电器和电流互感器配合使用时，热继电器的额定电流应选最小等级的，热元件选用 5A 的。

九、电动机起动器的选择

起动器的选择应按负载的性质、电动机的起动方式、电动机起动时负载的大小来综合考虑，经验证明各类起动器一般应降级使用，起动器的额定功率应大于电动机功率一个等级，如 55kW 的起动器适用于 45kW 电动机。

小型电动机（10kW 及以下）一般选用磁力起动器直接起动；在电源容量允许的情况下，轻载起动的电动机（55kW 及以下）也可采用磁力起动器直接起动。

10kW 以上的电动机轻载起动可选用丫-△起动器减压起动，但只适用于△联结的电动机。

10kW 以上的电动机重载起动应选用自耦减压起动器起动或串联阻抗减压起动，不宜选用丫-△起动器。也可选用变频起动器或软起动器。

绕线转子电动机用在起重设备上应选用凸轮控制器和磁力控制盘配合的综合起动柜，用在通用设备上应选用频敏起动控制器（柜）或串联阻抗起动器起动。40kW 及以下的还可以

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

选用无触点减压起动器起动，型号为 QJW6-22，并适用于多尘及振动的场所。

对于拖动负荷变动大的风机类负载、泵类负载的电动机宜采用变频调速起动器或软起动器。没有条件的也可采用频敏变阻器间接起动（仅限于绕线转子电动机）或自耦变压器减压起动、串联电抗器间接起动（仅限于笼型转子电动机）。

延边三角形联结的电动机应选用延边三角形起动器。

在选择电气设备、元件时要根据环境条件，选择其防护等级。

根据对水和异物的侵入的保护程度进行分类。对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。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，见表 4-22。

“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，见表 4-23。

表 4-22 对固体异物的防护等级

第一位特征数字	防护等级	
	简要说明	含义
0	无防护	—
1	防止直径不小于 50mm 的固体异物	直径 50mm 球形物体试具不得完全进入壳内①
2	防止直径不小于 12.5mm 的固体异物	直径 12.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内①
3	防止直径不小于 2.5mm 的固体异物	直径 2.5mm 的物体试具完全不得进入壳内①
4	防止直径不小于 1.0mm 的固体异物	直径 1.0mm 的物体试具完全不得进入壳内①
5	防尘	不能完全防止尘埃进入，但进入的灰尘量不得影响设备的正常运行，不得影响安全
6	尘密	无尘埃进入

① 物体试具的直径部分不得进入外壳的开口。

表 4-23 对水的防护等级

第二位特征数字	防护等级	
	简短说明	含义
0	无防护	—
1	防止垂直方向滴水	垂直方向滴水应无有害影响
2	防止当外壳在 15°范围内倾斜时垂直方向滴水	当外壳的各垂直面在 15°范围内倾斜时，垂直滴水应无有害影响

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

第二位特征数字	防护等级	
	简短说明	含义
3	防淋水	各垂直面在60°范围内淋水，无有害影响
4	防溅水	向外壳各方向溅水无有害影响
5	防喷水	向外壳各方向喷水无有害影响
6	防强烈喷水	向外壳各个方向强烈喷水无有害影响
7	防短时间浸水影响	浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达有害程度
8	防持续潜水影响	按生产厂和用户双方同意的条件（应比数字为7时严酷）持续潜水后外壳进水量不致达有害程度

如只需单独标志一种防护形式的等级时，则被略去数字的位置以“X”补充，例如IPX3或IP3X。

十、民用电器的选择原则

民用电器主要指漏电开关和插座，民用的插座一般应选用5～10A的，电热器、厨具、空调器等应选10A的，其他小型电器可选5A的。插座最好选用两用的，即单相（两孔）和单相（三孔，即相线、零线、保护线三孔）。民用的开关一律使用带漏电保护的断路器（漏电开关），其容量可按用电负荷选用，总断路器一般为10～15A，支路断路器一般为5A。

十一、导线、电缆、母线的选择

导线、电缆、母线的选择应先选择材质。然后按持续工作电流选择其截面积和型号，再按非正常工作条件来进行校验。

1. 导线电缆的选择

（1）导体材质的选择　导线电缆一般应采用铝芯线，架空线常采用钢芯铝绞线，低压架空线路常用裸铝导线，海边及有严重盐雾地区架空线路应采用防腐型钢芯铝绞线，低压电气动力设备及照明线路应采用绝缘导线。下列场所宜采用铜芯导线或铜芯电缆：

1）电气系统的操作回路、二次回路及信号检测回路。

2）移动设备的线路及剧烈振动场所的线路。

3）对铝有严重腐蚀而对铜无腐蚀的场所。

4）爆炸危险场所有特殊要求者。

5）电流较大而保护管的截面积又不允许加大的场所。

6）一级负荷的重要场所及重要设备。

7）弱电系统，特别是火灾报警系统、保安系统、微机系统。

（2）绝缘及护套的选择

1）塑料绝缘导线不宜在室外敷设，橡皮绝缘导线可在室外明设，氯丁橡皮绝缘导线可

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

代替橡皮绝缘导线，但机械强度较差。

2）油浸纸绝缘电力电缆耐热耐电压性能好，但弯曲性能差，不能在低温下敷设，电缆头制作工艺复杂。铅包护套韧性较好，不影响弯曲，但价格高，比重大；铝包护套比重小，价格低，但加工复杂。

3）聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆可代替油浸纸绝缘电力电缆，但电气性能差，含三氯乙烯、苯等化工场所不宜采用。

4）橡皮绝缘电缆适用了气候严寒地区和水平高差大或垂直敷设的场所，主要用于移动设备，但耐油性差、耐热性差。

5）交联聚氯乙烯、绝缘聚氯乙烯护套电力电缆性能好、重量轻、电缆头制作简单、敷设不受限制，但延燃性差、价格较贵。

（3）外护层及铠装的选择　在大型建筑物、构筑物附近、土壤可能发生位移的地段直埋电缆时，应选用能承受机械外力的钢丝铠装电缆，各种电缆外护层及铠装的适用敷设场所见表 4-24。

表 4-24　各种电缆外护层及铠装适用敷设场所

护套或外护层	铠装	代号	敷设方式							环境条件					备　注
			室内	电缆沟	隧道	管道	竖井	埋地	水下	易燃	移动	多砾石	一般腐蚀	严重腐蚀	
裸铝护套（铝包）	无	L	✓	✓	✓					✓					
裸铅护套（铝包）	无	Q	✓	✓	✓	✓				✓					
一般橡套	无		✓	✓	✓	✓					✓		✓		
不延燃橡套	无	F	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓		耐油
聚氯乙烯护套	无	V	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		✓	✓	
聚乙烯护套	无	Y	✓	✓	✓	✓		✓			✓		✓	✓	
普通外护层（仅用于铅护套）	裸钢带	20	✓	✓	✓					✓					
	钢带	2	✓	✓	○			✓							
	裸细钢丝	30					✓			✓					
	细钢丝	3					○	✓	✓	○		✓			
	裸粗钢丝	50					✓			✓					
	粗钢丝	5					○	✓	✓	○		✓			
一级防腐外护层	裸钢带	120	✓	✓	✓					✓			✓		
	钢带	12	✓	✓	○			✓		○		✓	✓		
	裸细钢丝	130					✓			✓			✓		
	细钢丝	13					○	✓	✓	○		✓	✓		
	裸粗钢丝	150					✓			✓			✓		
	粗钢丝	15					○	✓	✓	○		✓	✓		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

护套或外护层	铠装	代号	敷设方式							环境条件					备　注
			室内	电缆沟	隧道	管道	竖井	埋地	水下	易燃	移动	多砾石	一般腐蚀	严重腐蚀	
二级防腐外护层	钢带	22						✓		✓		✓		✓	
	细钢丝	23					✓	✓	✓	✓		✓		✓	
	粗钢丝	25					○	✓	✓	○		✓		✓	
内铠装塑料外护层（全塑电缆）	钢带	29	✓	✓	✓			✓		✓		✓		✓	
	细钢丝	39					✓	✓	✓	✓		✓		✓	
	粗钢丝	59					✓		✓	✓		✓		✓	

注：1. “✓”表示适用；“○”表示外被层为玻璃纤维时适用，无标记者不推荐采用。

2. 裸金属护套一级防腐外护层由沥青复合物加聚氯乙烯护套组成。

3. 铠装一级防腐外护层由衬垫层、铠装层和外被层组成。衬垫层由两个沥青复合物、聚氯乙烯带和浸渍皱纸带的防水组合层组成。外被层由沥青复合物、浸渍电缆麻（或浸渍玻璃纤维）和防止黏合的涂料组成。

4. 裸铠装一级防腐外护层的衬垫层与铠装一级外护层的衬垫层相同，但没有外被层。

5. 铠装二级防腐外护层的衬垫层与铠装一级外护层的衬垫层相同，钢带及细钢丝铠装的外被层由沥青复合物和聚氯乙烯护套组成。粗钢丝铠装的镀锌钢丝外面挤包一层聚氯乙烯护套或其他同等效能的防腐涂层，以保护钢丝免受外界腐蚀。

6. 如需要用于湿热带地区的防霉特种护层可在型号规格后加代号“TH”。

7. 单芯钢带铠装电缆不适用于交流线路。

（4）截面积的选择　导线截面积的选择取决于其构造型式、敷设方法和敷设环境温度条件，同类型同截面积的导线在不同的环境温度采用不同的敷设方法时其载流量不同。

截面积的选择必须满足三个条件：

第一是发热条件，导线和电缆在通过最大连续负荷电流时，工作温度不应超过允许值，否则会损坏绝缘层、造成事故。

第二是电压损失，导线和电缆在通过最大连续负荷电流下产生的电压损失不应超过允许值，否则线路末端电压太低，影响负荷的运行。

第三是机械强度，导线和电缆，特别是架空线路，应能承受最恶劣环境下的最大拉力而不致拉断。因此选择截面积时不应小于各种敷设安装条件下规定的最小允许截面积。

根据运行经验，一般低压送电线路，负荷电流大，送电距离较短时（不超过200m）先按发热条件选择截面积，再用电压损失和机械强度来进行校验。送电距离较长时（超过200m）先按允许电压损失选择截面积，再用发热条件和机械强度来进行校验。10kV及以上架空线路一般用经济电流密度选择截面积，再用发热条件、电压损失和机械强度来校验。经校验未能满足校验条件的，再选大一级截面积的导线重新校验，直到满足校验条件。

1）按发热条件选择截面积。按发热条件选择截面积应使导线或电缆长期允许通过的最大电流 I_y 大于或等于线路的计算电流 I_{30} 或设备的额定电流 I_N。

导线或电缆的允许载流量与环境温度、敷设方式有关，必要时要进行修正。当敷设环境温度不同于规定数值时，载流量应乘以校正系数 K_t，K_t 值见表4-25。

穿电线的钢管多根并列时，其载流量应乘以校正系数 K_g，K_g 值见表4-26。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-25 不同环境温度时载流量的校正系数 K_t 值

线芯工作温度/℃	环境温度/℃								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
90	1.14	1.11	1.08	1.03	1.0	0.960	0.920	0.875	0.830
80	1.17	1.13	1.09	1.04	1.0	0.954	0.905	0.853	0.798
70	1.20	1.15	1.10	1.05	1.0	0.940	0.880	0.815	0.745
65	1.22	1.17	1.12	1.06	1.0	0.935	0.865	0.791	0.707
60	1.25	1.20	1.13	1.07	1.0	0.926	0.845	0.756	0.655
50	1.34	1.26	1.18	1.09	1.0	0.895	0.775	0.633	0.447

表 4-26 穿电线的钢管或塑料管在空气中多根并列敷设时载流量的校正系数 K_g 值

管子并列敷设根数	载流量校正系数 K_g 值
2～4	0.95
>4	0.90

注：电线穿管敷设时，对于不载流的或正常情况下载流很小的中性线不计入根数。

多根电线共管敷设时，若电线同时负荷率为100%，则电线根数为5～8根时的载流量，可按电线明敷载流量乘以修正系数0.6；当电线根数为9～12根时，修正系数为0.45。

电缆直埋时，当土壤热阻系数不同时，其载流量应乘以校正系数 K_{tr}，K_{tr}值见表4-27。

表 4-27 不同土壤热阻系数时直埋地电缆载流量的校正系数 K_{tr}值

电缆线芯截面积/mm²	土壤热阻系数 ρ_t/（℃·cm/W）				
	60	80	120	160	200
2.5～16	1.06	1.0	0.90	0.83	0.77
25～95	1.08	1.0	0.88	0.80	0.73
120～240	1.09	1.0	0.86	0.78	0.71
土壤情况	潮湿地区；沿海、湖、河畔地带，雨量多的地区，如华东、华南地区等		普通土壤：如东北大平原夹杂质的黑土或黄土，华北大平原黄土、黄黏土、砂土等	干燥土壤：如高原地区，雨量少的山区、丘陵、干燥地带	

电缆多根并列敷设时，载流量应乘以表4-28和表4-29的校正系数。

为了使导线和电缆在短路时不致烧坏，通常保护装置动作电流与导线或电缆的允许载流量有一定的倍数关系，其数值见表4-30。

表 4-28 电缆在空气中多根并列敷设时载流量的校正系数 K_{lk}值

电缆中心距 s/mm	根数及排列方式						
	1	2	3	4	6	4	6
	○	○○	○○○	○○○○	○○○○○○	○○ ○○	○○○ ○○○
d	1.0	0.9	0.85	0.82	0.80	0.8	0.75
$2d$	1.0	1.0	0.98	0.95	0.90	0.9	0.90
$3d$	1.0	1.0	1.0	0.98	0.96	1.0	0.96

注：d 为电缆外径，当电缆外径不同时，可取平均值。

2）按电压损失条件选择截面积。按电压损失条件选择截面积 S 应满足下式（假设 $\cos\varphi = 1$），即

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-29　电缆直埋地多根并列敷设时载流量的校正系数 K_{ld} 值

电缆间净距/mm	电缆根数							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100	1.00	0.88	0.84	0.80	0.78	0.75	0.73	0.72
200	1.00	0.90	0.86	0.83	0.81	0.80	0.80	0.79
300	1.00	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84

表 4-30　保护装置动作电流与导线允许电流的倍数关系

回路名称	导线、电缆种类及敷设方式	电流倍数		符号说明
		熔断器	断路器	
动力支线	裸线、穿管绝缘线及电缆	$\frac{I_{N\cdot r}}{I_y}\leqslant 2.5$	$\frac{I_{dz\cdot y}}{I_y}\leqslant 1.0$	$I_{N\cdot r}$——熔体额定电流，单位为 A I_y——导体允许截流量，单位为 A $I_{dz\cdot y}$——带长延时脱扣的动作电流，单位为 A I_{dz}——具有瞬时脱扣的动作电流，单位为 A
动力干线		$\frac{I_{N\cdot r}}{I_y}\leqslant 1.5$		
动力支线	明设单芯绝缘线	$\frac{I_{N\cdot r}}{I_y}\leqslant 1.5$	$\frac{I_{dz}}{I_y}\leqslant 4.5$	
照明线路	裸线、穿管绝缘线及电缆	$\frac{I_{N\cdot r}}{I_y}\leqslant 1.0$		

$$A\geqslant\frac{PL}{C\Delta U\%} \tag{4-70}$$

式中　A——导线或电缆截面积，单位为 mm^2；

P——负荷的有功功率，单位为 kW；

L——线路长度，单位为 m；

$\Delta U\%$——线路允许电压损失，见表 4-31，一般取 5%；

C——电压损失常数，见表 4-32。

表 4-31　线路允许电压损失

名　称	允许电压损失（%）
从配电变压器二次侧母线算起的低压线路	5
从配电变压器二次侧母线算起的供给有照明负荷的低压线路	3～5
从 110（35）/10（6）kV 变压器二次侧母线算起的 10（6）kV 线路	5

表 4-32　电压损失计算常数 C 值

线路系统及电流种类	额定电压/V	C 的表达式	C 值	
			铜线	铝线
三相四线制	380/220	$rU_N^2/100$	77	46.3
单相交流或直流	220	$rU_N^2/2\times 100$	12.8	7.75
	110		3.2	1.9

3）按导线机械强度选择导线最小允许截面积宜采用表 4-33 中的数据。

4）按经济电流密度选择截面积。按经济电流密度选择截面积 S 应满足下式，即

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$A \geqslant \frac{I_{30}}{I_i} \tag{4-71}$$

式中 I_{30}——线路计算电流，单位为 A；

I_i——经济电流密度，单位为 A/mm²。

经济电流密度值按表 4-34 选取。

表 4-33 按机械强度要求导线最小允许截面积 （单位：mm²）

导线敷设方式	最小截面积		
	铜芯软线	铜线	铝线
照明用灯头线			
1. 室内	0.5	0.8	2.5
2. 室外	1	1	2.5
穿管敷设的绝缘导线	1	1	2.5
塑料护套线沿墙明敷设		1	2.5
敷设在绝缘支持件上的绝缘导线			
1. 室内，支持点间距为 2m 及以下		1	2.5
2. 室外，支持点间距为 2m 及以下		1.5	2.5
3. 室外，支持点间距为 6m 及以下		2.5	4
4. 室外，支持点间距为 12m 及以下		2.5	6
电杆架空线路			
1. 10kV 高压		25	35
2. 380V 低压		16	25
架空引入线			
1. 10kV 高压（绝缘导线长度不大于 30m）		25	35
2. 380V 低压（绝缘导线长度不大于 25m）		6	10（绞线）
电缆在沟道内敷设、埋地敷设、明敷设			
1. 10kV 高压		10	16
2. 380V 低压		2.5	4

表 4-34 经济电流密度值 （单位：A/mm²）

导体材料	最大负荷年利用时间/h		
	3000 以下	3000～5000	5000 以上
铜裸导线或母带	3	2.25	1.75
铝裸导线或母带	1.65	1.15	0.9
铜芯电缆	2.5	2.25	2
铝芯电缆	1.92	1.73	1.54

2. 母线的选择

（1）材质的选择 除了有关规程要求和特殊场所必须采用铜母线外，一般应采用铝母线，在负荷很小或正常工作时无电流通过的母线，在校验其电压损失允许的条件下可采用钢母线。

（2）截面积的选择 一般按持续工作电流选择，根据实际通过母线最大长期负载电流并考虑允许过载电流和安装方式、环境温度在表 4-35 中查找与其相等或稍大的最大允许持

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续电流值，再看其对应的母线截面积即为所选母线的截面积，同时用表 4-36 去校正。

对于全年平均负荷较大、母线较长、传输容量大及负荷稳定的回路均应按经济电流密度选择，但对汇流主母线则应按持续工作电流选择。按经济电流密度选择方法与导线的选择相同，根据计算结果再去表 4-35 中去查找相近或稍大截面积的母线。

表 4-35　单条矩形母线载流量

母线截面（宽×厚）/mm	最大容许持续电流/A					
	25℃	35℃	40℃			
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
铝母线 LMY						
15×3	156	165	138	145	127	134
20×3	204	215	180	190	166	175
25×3	252	265	219	230	204	215
30×4	347	365	309	325	285	300
40×4	456	480	404	425	375	395
40×5	518	540	452	475	418	410
50×5	632	665	556	585	518	545
50×6	703	740	617	650	570	600
60×6	826	870	731	770	680	715
60×8	975	1025	855	900	788	830
60×10	1100	1155	960	1010	890	935
80×6	1050	1150	930	1010	860	935
80×8	1215	1320	1060	1155	985	1070
80×10	1360	1480	1190	1295	1105	1200
100×6	1310	1425	1160	1260	1070	1160
100×8	1495	1625	1310	1425	1210	1315
100×10	1675	1820	1470	1595	1360	1475
120×8	1750	1900	1530	1675	1420	1550
120×10	1905	2070	1685	1830	1620	1760
铜母线 TMY						
15×3	200	210	176	185	162	171
20×3	261	275	233	245	214	225
25×3	323	340	285	300	271	285
30×4	451	475	394	415	366	385
40×4	593	625	522	550	484	510
40×5	665	700	588	551	551	580
50×5	816	860	721	760	669	705
50×6	906	955	797	840	735	775
60×6	1069	1125	940	990	873	920
60×8	1251	1320	1101	1160	1016	1070
60×10	1395	1475	1230	1295	1133	1195
80×6	1360	1480	1195	1300	1110	1205
80×8	1553	1690	1361	1480	1260	1370
80×10	1747	1900	1531	1665	1417	1540
100×6	1665	1810	1557	1592	1356	1475
100×8	1911	2080	1674	1820	1546	1685
100×10	2121	2310	1865	2025	1720	1870
120×8	2210	2400	1940	2110	1800	1955
120×10	2435	2650	2152	2340	1996	2170

表 4-36　温度校正系数 K_θ 值

实际环境温度/℃	母线最高允许温度为 70℃											
	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
K_θ	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

（3）母线短路稳定度的校验

1）通常按短路时母线受到的最大应力来校验动稳定度，应满足

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\sigma_{al} \geqslant \sigma_c \tag{4-72}$$

式中 σ_{al}——母线材料最大允许应力，硬铜 σ_{al} 为 137MPa，硬铝 σ_{al} 为 69MPa；

σ_c——母线通过 $i_{sh}^{(3)}$ 时受到的最大计算应力。

其中 $$\sigma_c = M/W$$

式中 M——母线通过 $i_{sh}^{(3)}$ 时受到的弯曲力矩，单位为 N·m，当母线的档数为 1～2 时（即支持点为 2～3），$M = F^{(3)} \cdot l/8$，$F^{(3)}$ 由式（4-69）计算；当档数大于 2 时，$M = F^{(3)} \cdot l/10$，l 为档距，单位为 m；

W——母线截面系数，单位为 m^3，当母线水平放置时，不论其截面平放或立放，$W = b^2h/6$，其中 b 为母线截面放置时的宽度，h 为截面放置时的高度，单位为 m。

电缆一般不校验短路动稳定度。

2）通常按导体短路时热稳定度要求的最小允许截面积来校验热稳定度，应满足

$$A_{min} = I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{ima}}/C \tag{4-73}$$

式中 C——导体的热稳定系数，由表 4-37 查出。

表 4-37 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数

导体种类和材料			最高允许温度/℃ 正常 θ_o	最高允许温度/℃ 短路 θ_k	热稳定系数 C
母线	铜（接触面有镀锡层时）		70	300	171
	铜		85	200	164
	铝		70	200	87
油浸纸绝缘电缆	铜芯	1～3kV	80	250	148
		6kV	65	220	145
		10kV	60	220	148
	铝芯	1～3kV	80	200	84
		6kV	65	200	90
		10kV	60	200	92
橡皮绝缘导线和电缆	铜芯		65	150	112
	铝芯		65	150	74
聚氯乙烯绝缘导线和电缆	铜芯		65	130	100
	铝芯		65	130	65
交联聚乙烯绝缘电缆	铜芯		80	230	140
	铝芯		80	200	84
有中间接头的电缆（不包括聚氯乙烯绝缘电缆）	铜芯			150	
	铝芯			150	

当选择的母线截面积≥A_{min}时，即满足短路热稳定度，导线及电缆均可用此校验。

工程中常用估算的方法选择导线，特别是在现场或临时用电选择导线时一般用估算的方法。估算选择导线应注意以下 6 点：

1）电动机负荷线的选择一般按电动机的额定电流选取，习惯上按“一个千瓦两个电流”计算，即 2A/kW，10kW 电动机 20A 电流。电流确定后，按照敷设方式、环境温度、导线材质、绝缘条件等，对照导线长期连续允许最大载流量的表格选取，或者参照电动机起动保护设备及管线选择表直接选取，见表 4-38。如 10kW 电动机可选用 $4mm^2$ 的绝缘铝线。通常 10kW 以下的电动机一律选用 $2.5mm^2$ 的导线，因为除了载流量这个因素外，还得考虑导线的机械强度。因此，工程上规定了各种用途导线的最小截面积，见表 4-39 和表 4-40。

2）照明装置负荷线的选择同样按装置的额定电流选取，习惯上按“一个千瓦五个电流”计算，即 5A/kW，因为照明装置一般为单相设备，电流确定后，同样按电动机选择导线的方法进行选取。但是，一般的照明装置容量较小，因此民用建筑中照明装置的线路都选用 $2.5～4mm^2$ 的导线，只有在每户的进户总线上可选用 $4～6mm^2$ 或 $10mm^2$ 的导线。而工业建筑或公共事业的照明线路则选用 $4～6mm^2$ 的导线，总线一般选用 $10～16mm^2$ 的导线，当

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-38　常用电动机起动保护设备及管线选择表

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积/mm^2		
Y				额定电流/A				额定电流/A	热元件额定电流/A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径/mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
801-4	0.55	1.6	10	10/5	15/4	15/6	50/10	15/5	2/6 2.4	2/6 2.4	2H 2.4	3	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15
801-2 802-4 90S-6	0.75	1.9 2.1 2.3	13 14 14	10/6	15/6	15/6	50/10	15/6	2/6 2.4	2/6 2.4	2/H 2.4	3			
802-2 90S-4 90L-6	1.1	2.6 2.7 3.2	18 18 19	10/10	15/10	15/10	50/10	15/10	2/6 3.5	2/6 3.5	2/H 3.5	4.5			
90S-2 90L-4 100L-6	1.5	3.4 3.7 4.0	24 24 24	15/10	15/10	15/10	50/10	15/10	2/6 5	2/6 5	2/H 5	4.5			
90L-2 100L1-4 112M-6 132S-8	2.2	4.7 5.0 5.6 5.8	33 35 34 32	15/15	15/15	15/15	50/15	15/15	2/6 7.2	2/6 7.2	2/H 7.2	6.5			
100L-2 100L2-4 132S-6 132M-8	3.0	6.4 6.8 7.2 7.7	45 48 47 43	15/15	60/20	60/20	50/20	15/15	2/6 11	2/6 11	2/H 11	10			
112M-2 112M-4 132M1-6 132M1-8	4.0	8.2 8.8 9.4 9.9	57 62 61 59	30/20	60/25	60/25	50/30	30/20	2/6 11	2/6 11	2/H 11	10			

www.789pdf.com 789书库网

www.d-z-s.com 电子书下载网

（续）

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积/mm^2		
Y				额定电流/A				额定电流/A	热元件额定电流/A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径/mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
132S1-2 132S-4 132M2-6 160M2-8	5.5	11 12 13 13	78 81 82 80	30/30	60/35	60/35	50/30	30/30	3/6 16	3/6 16	3/H 16	15	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15
132S2-2 132M-4 160M-6 160L-6	7.5	15 15 17 18	105 108 111 97	60/40	60/50	60/45	50/40	60/40	3/6 24	3/6 24	3/H 22	20	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15 4 G20
160M1-2 160M-4 160L-6 180L-8	11	22 23 25 25	153 158 160 151	60/60	100/80	60/60	50/50	60/60	4/6 33	4/6 35	4/H 32	30	4 G20	4 G20	6 G20
160M2-2 160L-4 180L-6 200L-8	15	29 30 32 34	206 212 205 205	100/80	100/80	100/80	100/60	60/60	4/6 45	4/6 35 4/6 45	4/H 45	40	10 G25	10 G25	10 G25 16 G25
160L-2 180M-4 200L1-6 225S-8	18.5	36 36 38 41	249 251 245 248	100/80	100/80	100/80	100/80	—	4/6 45	4/6 45	4/H 45	50	16 G25	16 G25	16 G25
180M-2 180L-4 200L2-6 225M-8	22	42 43 45 48	295 298 290 280	100/100	100/100	100/80	100/80	—	5/6 57	5/6 50	5/H 63	50	16 G25	10 G25 25 G32	25 G32

www.d-z-s.com 电子书下载网

www.d-z-s.com 电子书下载网

（续）

电动机				选用熔断器				铁壳开关	QC8	QC10	QC12	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率/kW	额定电流/A	起动电流/A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	电磁起动器等级			DZ5-20	BLV 导线截面积/mm^2		
Y				额定电流/A				额定电流/A	热元件额定电流/A			热脱扣器额定电流/A	钢管直径/mm		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200L1-2 200L-4 225M-6 250M-8	30	57 57 60 63	398 398 387 378	—	—	200/160	200/120	—	5/6 86	5/6 72	5/H 63	60	25 G32	25 G32	35 G40
200L2-2 225S-4 250M-6 280S-8	37	70 70 72 79	489 489 468 472	—	—	200/160	200/120	—	6/6 86	6/6 100	6/H 85	80	35 G40	35 G40	50 G50
225M-2 225M-4 280S-6 280M-8 315S-10	45	84 84 85 93 98	587 589 555 559 637	—	—	200/160	200/150	—	6/6 125	6/6 100	6/H 120	100	50 G50	50 G50	70 G70
250M-2 250M-4 280M-6 315S-8 315M-10	55	103 103 105 109 120	719 718 682 709 780	—	—	200/200	200/200	—	7/6 125	7/6 150	7/H 160	120 140	70 G70	70 G70	70 G70
280S-2 280S-4 315S-6 315M1-8 315M3-10	75	140 140 142 148 160	981 978 923 962 1040	—	—	350/260	400/250	—	7/6 176	7/6 150 —	7/H 160	170	95 G70	95 G70 120 G70	95 G70 120 G70

注：>75kW 的电动机设备及管线选择请参考相关专著。

www.d-z-s.com 电子书下载网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-39 架空裸导线的最小截面积

导线种类	最小允许截面积/mm²		备 注
	高压（至 10kV）	低压	
铝及铝合金线	35	16 *	* 与铁路交叉跨越时应为 35mm²
钢芯铝线	25	16	

表 4-40 绝缘导线线芯的最小截面积

用途或敷设方式			线芯最小截面积/mm²	
			铜芯	铝芯
照明用灯头引下线			1.0	2.5
敷设在绝缘支持件上的绝缘导线，其支持点间距 L/m	室内	$L \leqslant 2$	1.0	2.5
敷设在绝缘支持件上的绝缘导线，其支持点间距 L/m	室外	$L \leqslant 2$	1.5	2.5
		$2 < L \leqslant 6$	2.5	4
		$6 < L \leqslant 15$	4	6
		$15 < L \leqslant 25$	6	10
穿管敷设，槽板，护套线线卡明敷；线槽			1.0	2.5
PE 线或 PEN 线	有机械保护时		1.5	2.5
	无机械保护时		2.5	4

然这也要根据实际负荷的大小来选取。

3）一般电器通常指家用电器、电热装置、热水器、空调装置、办公机械设备等，它们一般均由插头插座连接。因此，民用建筑中插座的导线都选用 4～6mm² 的导线，而工业建筑中插座的导线都选用 6～10mm² 的导线，甚至使用 16mm² 的导线，同样也根据实际负荷的大小来确定。

4）支路线路上接有很多动力和照明的负荷，由于它们的通电率不尽相同，因此支路线路的导线采用系数法。通常是把支路上的所有负荷按动力照明分别相加，然后把单相的照明负荷均匀地分配到三相上去，如有 6kW 单相照明负荷，则在每相上分配 2kW，容量还是 6kW，然后和动力一起按 2A/kW 计算负荷，最后仍按 1）中的方法算出总支路电流 I_{30z}，这时选取一个同时系数 $K_{\Sigma P}$（0.75～0.9），这样

$$I_{30z'} = K_{\Sigma P} I_{30z}$$

即为支路上的计算电流。用这个电流按 1）中的方法再选择支线上的导线。

5）干路线路上的导线选择就是把所有支线上的 $I_{30z'}$ 相加，选择一个同时系数 $K_{\Sigma P'}$（0.80～0.95），然后按 1）中的方法选取。

6）中性线的选择应遵循如下规则：

① 单相电路中，中性线的截面积与相线相同。

② 三相四线制电路中，中性线的截面积一般为相线的 50%。

③ 保护线一般应选择铜质导线，截面积一般为相线的 50%，当相线截面积≤16mm² 时，中性线应与相线截面积相同。

④ 中性线和保护线共用一根线时，应按其最大值选取。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

最后说明一点，线路较长时要考虑电压降，可进行导线的校验，如果 $A \geqslant$ 前述选择值，则可使用；$A <$ 前述选择值，则应按 A 值选择。A 可用下式计算：

$$A = \frac{\Sigma M}{C \Delta U\%}$$

式中　A——导线截面积，单位为 mm^2；

$\Delta U\%$——允许电压损耗百分比；

ΣM——线路的所有功率矩之和，$M = PL$，P 为功率，单位为 kW，L 为与路线首端的距离，单位为 m；

C——计算系数，由表 4-41 查出。

表 4-41　公式 $\Delta U\% = \Sigma M/CA$ 中的计算系数 C 值

线路额定电压/V	线路接线及电流类别	C 的计算式	C/(kW·m/mm²)	
			铝线	铜线
220/380	三相四线	$\gamma U_N^2/100$	46.3	77
	两相三线	$\gamma U_N^2/225$	20.5	34.0
220	单相及直流	$\gamma U_N^2/200$	7.75	12.8
110			1.9	3.2

注：表中线路接线的线数均不含 PE 线，表中 γ 为导线电导率。

一般条件下，低压线路 200m 以内，可不做上述电压损耗的验算。

为了读者在选用导线时的方便，这里给出了导线长期连续最大载流量和允许穿管根数及最小管径，见表 4-42 ~ 表 4-46。

表 4-42　铜芯绝缘导线长期连续允许最大载流量

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设时允许负荷电流/A				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
1.0	1	1.13	4.4	21	19	20	18	15	14	12	13	12	11	14	13	11	12	11	10
1.5	1	1.37	4.6	27	24	25	20	20	18	17	17	16	14	19	17	16	16	15	13
2.5	1	1.76	5.0	35	32	33	30	28	25	23	25	22	20	26	23	22	23	21	19
4	1	2.24	5.5	45	42	42	39	37	33	30	33	30	25	35	31	28	31	28	24
6	1	2.73	6.2	58	55	54	51	49	43	39	43	38	34	46	40	36	40	36	32
10	7	1.33	7.8	85	75	79	70	68	60	53	59	52	46	64	56	50	55	49	43
16	7	1.68	8.8	110	105	103	98	86	77	69	76	68	60	80	72	65	71	64	56
25	19	1.28	10.6	145	138	135	128	113	100	90	100	90	80	106	94	84	94	84	75
35	19	1.51	11.8	180	170	168	159	140	122	110	125	110	98	131	114	103	117	103	92
50	19	1.81	13.8	230	215	215	201	175	154	137	160	140	123	163	144	128	150	131	115
70	49	1.33	17.3	285	265	266	248	215	193	173	195	175	155	201	180	162	182	163	145
95	84	1.20	20.8	345	320	322	304	260	235	210	240	215	195	241	220	197	224	201	182
120	133	1.08	21.7	400	375	374	350	200	270	245	278	250	227	280	252	229	260	234	212
150	37	2.24	22.0	470	430	440	402	340	310	280	320	290	265	318	290	262	299	271	248
185				540	490	504	458	385	355	320	360	330	300	359	331	299	336	308	280

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设时允许负荷电流/A				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
1.0	1	1.13	4.4	21	19	20	18	14	13	11	12	11	10	13	12	10	11	10	9
1.5	1	1.37	4.6	27	24	25	20	19	17	16	16	15	13	18	16	15	15	14	12
2.5	1	1.76	5.0	35	32	33	30	26	24	22	24	21	19	24	22	21	22	20	18
4	1	2.24	5.5	45	42	42	39	35	31	28	31	28	25	33	29	26	29	26	23
6	1	2.73	6.2	58	55	54	51	47	41	37	41	36	32	44	38	35	38	34	30
10	7	1.33	7.8	85	75	79	70	65	57	50	56	49	44	61	53	47	52	46	41
16	7	1.68	8.8	110	105	103	98	82	73	65	72	65	57	77	68	61	67	61	53
25	19	1.28	10.6	145	138	135	128	107	95	85	95	85	75	100	89	80	89	80	70
35	19	1.51	11.8	180	170	168	159	133	115	105	120	105	93	124	107	98	112	98	87
50	19	1.81	13.8	230	215	215	201	165	146	130	150	132	117	154	136	121	140	123	109
70	49	1.33	17.3	285	265	266	248	205	183	165	185	167	148	192	171	154	173	156	138
95	84	1.20	20.8	345	320	322	304	250	225	200	230	205	185	234	210	187	215	192	173
120	133	1.08	21.7	400	375	374	350	285	266	230	265	240	215	266	248	215	248	224	201
150	37	2.24	22.0	470	430	440	402	320	295	270	305	280	250	299	276	252	285	262	234
185				540	490	504	458	380	340	300	355	375	280	355	317	280	331	289	261

注：导电线芯最高允许工作温度为 +65℃。

表 4-43 铝芯绝缘导线长期连续允许最大载流量

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设时允许负荷电流/A				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
2.5	1	1.76	5.0	27	25	25	23	21	19	16	19	17	15	20	18	15	18	16	14
4	1	2.24	5.5	35	32	33	30	28	25	23	25	23	20	26	23	22	23	22	19
6	1	2.73	6.2	45	42	42	39	37	34	30	33	29	26	35	32	28	31	27	24
10	7	1.33	7.8	65	59	61	55	52	46	40	44	40	35	49	43	37	41	37	33
16	7	1.68	8.8	85	80	79	75	66	59	52	58	52	46	62	55	49	54	49	43
25	7	2.11	10.6	110	105	103	98	86	76	68	77	68	60	80	71	64	72	64	56
35	7	2.49	11.8	138	130	129	121	106	94	83	95	84	74	90	88	78	89	79	69
50	19	1.81	13.8	175	165	163	154	133	118	105	120	108	95	124	110	98	112	101	89
70	19	2.14	16.0	220	205	206	192	165	150	133	153	135	120	154	140	124	143	126	112
95	19	2.49	18.3	265	250	248	234	200	180	160	184	165	150	187	168	150	172	154	140
120	37	2.01	20.0	310	285	290	266	230	210	190	210	190	170	215	196	177	196	177	159
150	37	2.24	22.0	360	325	336	303	260	240	220	250	227	205	241	224	206	234	212	192
185				420	380	392	355	295	270	250	282	255	232	275	252	233	263	238	216

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

导线截面积/mm²	线芯结构			单根导线明敷设时允许负荷电流/A				橡皮绝缘导线多根同穿在一根管内时允许负荷电流/A											
	股数	单芯直径/mm	成品外径/mm	25℃		30℃		25℃						30℃					
								穿金属管			穿塑料管			穿金属管			穿塑料管		
				橡皮	塑料	橡皮	塑料	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根	2根	3根	4根
2.5	1	1.76	5.0	27	25	25	23	20	18	15	18	16	14	19	17	14	17	15	13
4	1	2.24	5.5	35	32	33	30	27	24	22	24	22	19	25	22	21	22	21	18
6	1	2.73	6.2	45	42	42	39	35	32	28	31	27	25	33	30	26	29	25	23
10	7	1.33	7.8	65	59	61	55	49	44	38	42	38	33	46	41	36	39	36	31
16	7	1.68	8.8	85	80	79	75	63	56	50	55	49	44	59	52	47	51	46	41
25	7	2.11	10.6	110	105	103	98	80	70	65	73	65	57	75	66	61	68	61	53
35	7	2.49	11.8	138	130	129	121	100	90	80	90	80	70	94	84	75	84	75	65
50	19	1.81	13.8	175	165	163	154	125	110	100	114	102	90	117	103	94	106	95	84
70	19	2.14	16.0	220	205	206	192	155	143	127	145	130	115	145	133	119	135	121	107
95	19	2.49	18.3	265	250	248	234	190	170	152	175	158	140	177	159	142	163	148	131
120	37	2.01	20.0	310	285	290	266	220	200	180	200	185	160	206	187	168	187	173	154
150	37	2.24	22.0	360	325	336	303	250	230	210	240	215	185	234	215	196	224	201	182
185				420	380	392	355	285	255	230	265	235	212	266	238	215	247	219	198

注：导电线芯最高允许工作温度为 +65℃。

十二、自备电源的选择

1. 选择自备电源时应考虑的条件

自备电源的选择一般应考虑以下条件：

1）自备电源供电范围、容量及性质（单相、三相、动力、照明、办公设备）。

2）自备电源的使用环境是否受噪声管理的限制，气候条件。

3）自备电源使用单位的条件（长期使用、临时使用）。

4）自备电源一般的额定电压为 220/380V。

5）自备电源的维修和控制方式。

2. 自备电源的选择方法

1）确定供电范围，计算供电容量。

2）确定供电负荷性质。

3）单相负荷（或三相负荷）容量不大时，一般选择汽油发电机组，汽油发电机组的容量在 3～20kW 之间。

4）三相动力负荷较大且与照明系统共用时应选用柴油发电机组，柴油发电机组容量在 50～1000kW 之间。长期使用的应选用室内固定安装型，临时使用的应选用可移动型。

5）办公设备应选用不间断电源（UPS），不宜选用发电机组，UPS 的容量从 500W 可到几百 kW。

发电机组、UPS 额定功率的确定：发电机组的容量或 UPS 的容量应大于供电范围内供电容量的总和再乘以需要系数，且能满足最大电动机的起动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-44　500V BV、BLV 型塑料绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积/mm²	2根单芯					3根单芯					4根单芯					5根单芯					6根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
1.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20
2.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25
6	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	25	20	25	20	20	25	25	25	20	20	32	25
10	25	20	20	25	20	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	32	32	32	32	32	40	32	32	40	40
16	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	40	32	32	32	40	50	40	40	50	40
25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	40	40	50	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	40	50	50	50	50	50	50	50	50	—	70	—	50	50	—	70
50	50	32	32	40	40	50	50	50	50	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	70	—	80
70	50	50	50	50	50	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80	—	—	80	—	—
95	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
120	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
150	—	—	70	—	—	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—

注：1. 表中代号：DG 为薄壁钢电线管；G 为厚壁钢电线管；GG 为水煤气钢管；BYG 为难燃型聚氯乙烯半硬型塑料管；VG 为聚氯乙烯硬型塑料管。

2. 管内导线截面积为 1～6mm² 时，按不大于 33% 内孔总面积计算；10～50mm² 时，按不大于 27.5% 内孔总面积计算；70～150mm² 时，按不大于 22% 内孔总面积计算。

3. 敷设在自然地面上的素混凝土内的管路，均应采用水煤气钢管（GG）；利用电线管管壁兼作接地线时应用厚壁钢电线管（G）；无前述情况，一般均用薄壁钢电线管（DG）。

4. 当采用铜芯导线穿管时，25mm² 及以上的导线应按表中管径加大一级。

5. 表中最小管径：DG、BYG 指外径，G、GG、VG 指内径。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-45　500V BX、BLX 型橡胶绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积/mm²	2 根单芯					3 根单芯					4 根单芯					5 根单芯					6 根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
1.5	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
2.5	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25
4	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	32	25	25	32	32
6	20	15	15	20	20	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	40	25	25	40	32
10	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50
16	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50
25	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	—	70	—	50	50	—	70
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	70	—	—	50	—	70	—	—	70	—	70
50	50	40	40	50	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80
70	—	50	50	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—
95	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
120	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
150	—	—	70	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-46　500V BXF、BLXF 型氯丁橡胶绝缘导线允许穿管根数及最小管径

截面积/mm²	2 根单芯					3 根单芯					4 根单芯					5 根单芯					6 根单芯				
	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG	DG	G	GG	BYG	VG
	最小管径/mm																								
1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	15	15	20	20
1.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20
2.5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	20	20	20	20	20	25	20	20	25	25
4	15	15	15	15	15	20	15	15	20	20	25	20	20	20	20	25	20	20	25	25	25	20	20	25	25
6	20	15	15	20	20	25	20	20	25	20	25	20	20	25	25	25	25	25	32	25	32	25	25	32	32
10	25	20	20	25	25	32	25	25	32	32	32	25	25	32	32	40	32	32	40	40	50	32	32	40	40
16	32	25	25	32	32	32	32	32	40	32	40	32	32	50	40	50	40	40	50	50	50	40	40	50	50
25	32	32	32	40	32	40	32	32	50	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	50	50	50	—	70
35	40	32	32	40	40	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70
50	50	40	40	50	50	50	50	50	—	50	—	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80
70	50	50	50	—	70	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—
95	—	—	70	—	70	—	—	70	—	80	—	—	80	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6）工业企业锅炉容量较大且负荷波动较大时可选用余热发电机组，实施热电联产，发电机组的容量应与锅炉容量匹配。

7）不宜选用单台容量很大的机组，如果负荷较大则可选取多台并联的方式。多台并联时每台机组的型号、容量应相同，调压调速特性应相近，转速宜为1000～1500r/min。

十三、架空线路杆型、金具、绝缘子及拉线的选择

架空线路的计算及选择很复杂，这里仅按经验公式说明一般条件下35kV及以下架空线路的选择。

1. 架空线路的选择应考虑的条件

1）额定电压、输送容量及输送距离。

2）路径条件、气候条件。

3）远景发展。

2. 杆型的选择

1）一般条件下，市区、厂区10kV和低压可同杆架设，不宜采用35kV、10kV、低压同杆架设。市区外35kV、10kV线路应分别架设。

2）市区、厂区10kV和低压同杆架设或低压单独架设时应采用三相五线制。

3）一般条件下，应采用单杆架设，只有在终端或设变压器台时可使用双杆。

在市区外，若架设距离较长且负荷较大时，可考虑双杆架设，必要时在跨越、转角或终端，可考虑铁塔架设。

4）市区、厂区杆距一般不大于50m，市区外一般不大于80m。

5）杆体材质一般为砼杆，有条件的可选用铁杆。

3. 金具横担的选择

1）横担的选择可按表4-47～表4-50进行。

2）其他配套金具铁件应与横担匹配。

在市区外，当送电距离小、容量小时，可选用瓷横担。

4. 绝缘子的选择

（1）常用绝缘子

1）针式绝缘子多用于10kV及以下的直线杆和转角合力不大的转角杆。

2）蝶式绝缘子用于380V线路终端、耐张及转角杆上，在6～10kV线路中还可以与悬式绝缘子组成绝缘子串，从而简化金具结构。因这种绝缘子耐电性能较差，故不宜单独用作高压线路绝缘元件。

3）悬式绝缘子适用于6kV及以上的线路上。

4）拉紧绝缘子用于拉线上作为拉线绝缘和连接用。

5）瓷横担绝缘子适用于10kV以上线路中作支持导线和绝缘之用，可取代针式绝缘子及部分悬式绝缘子。

常用绝缘子技术数据见表4-51～表4-55。

（2）按绝缘子强度选择绝缘子

1）采用针式绝缘子时，一般可按表4-56选用。

PQ-10T（PQ-10M）型针式绝缘子是由10kV线路上P-10T（P-10M）型绝缘子改进的。其特点是泄漏距离大、易于清扫、有较好的防秽性能，故适宜于灰尘较大地区的10kV线路上采用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-47　高压单回路横担选择

档距	50m												90m											
杆型	直　线				耐　张				终　端				直　线				耐　张				终　端			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-25	∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6				∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6			
LJ-35																								
LJ-50									2×∟75×8												2×∟75×8			
LJ-70																								
LJ-95									2×∟90×8							∟75×8					2×∟90×8			
LJ-120																								
LJ-150																								
LJ-185					2×∟75×8				2×∟63×6*								2×∟75×8				2×∟63×6*②			
LJ-240																								
LGJ-16	∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6				∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6			
LGJ-25									2×∟75×8												2×∟75×8			
LGJ-35																								
LGJ-50									2×∟90×8												2×∟90×8			
LGJ-70																								
LGJ-95					2×∟75×8				2×∟63×6*								2×∟75×8				2×∟63×6*			
LGJ-120																								
LGJ-150																								
LGJ-185			①		2×∟90×8				②				∟75×8				2×∟90×8				2×∟75×8*			
LGJ-240																								

注：* 为带斜撑的横担。

①为∟75×8。

②为2×∟75×8*。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-48　低压横担选择

类　型	2 线 横 担											
杆　型	直线杆				<45°转角杆、耐张杆				终端杆			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-16	∟40×4				2×∟40×4				2×∟40×4			
LJ-25									2×∟50×5			
LJ-35												
LJ-50												
LJ-70									2×∟63×6			
LJ-95					2×∟50×5							
LJ-120												
LJ-150				①					2×∟75×8			
LJ-185												
类　型	4 线 横 担											
杆　型	直线杆				<45°转角杆、耐张杆				终端杆			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-16	∟50×5				2×∟50×5				2×∟63×6			
LJ-25												
LJ-35					2×∟63×6				2×∟75×8			
LJ-50												
LJ-70									2×∟90×8			
LJ-95												
LJ-120	∟63×6				2×∟75×8				2×∟75×8*			
LJ-150												
LJ-185				②								
类　型	6 线 横 担											
杆　型	直线杆				<45°转角杆、耐张杆				终端杆			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-16	∟63×6				2×∟63×6				2×∟75×8			
LJ-25									2×∟90×8			
LJ-35												
LJ-50					2×∟75×8							
LJ-70									2×∟63×6*			
LJ-95												
LJ-120					2×∟90×8				2×∟75×8*			
LJ-150	∟75×8			③								
LJ-185					2×∟75×8*				2×∟90×8*			

注：* 为带斜撑的横担。

①为∟50×5。

②为∟75×8。

③为∟90×8。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-49　高压双回路横担选择(档距 50m)

种类	上横担												下横担											
杆型	直线杆				耐张杆				终端杆				直线杆				耐张杆				终端杆			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-25	∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6				∟63×6				2×∟63×6				2×∟75×8			
LJ-35																					2×∟90×8			
LJ-50																								
LJ-70									2×∟75×8								2×∟75×8				2×∟63×6*			
LJ-95									2×∟90×8															
LJ-120																	2×∟90×8				2×∟75×8*			
LJ-150																								
LJ-185					2×∟75×8				2×∟63×6*				∟75×8											
LJ-240				①												②	2×∟75×8*				2×∟90×8*			
LGJ-16	∟63×6				2×∟63×6				2×∟63×6				∟63×6				2×∟63×6							
LGJ-25									2×∟75×8												2×∟90×8			
LGJ-35																	2×∟75×8				2×∟63×6*			
LGJ-50									2×∟90×8															
LGJ-70																	2×∟90×8							
LGJ-95																					2×∟75×8*			
LGJ-120					2×∟75×8				2×∟63×6*				∟75×8				2×∟63×6*							
LGJ-150																					2×∟90×8*			
LGJ-185				①	2×∟90×8			③								④	2×∟75×8*							
LGJ-240									2×∟75×8*															

注：* 为带斜撑的横担。

① 为∟75×8。

② 为∟90×8。

③ 为2×∟63×6*。

④ 为2×∟90×8*。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-50　高压双回路横担选择(档距 90m)

种类	上横担												下横担											
杆型	直线杆				耐张杆				终端杆				直线杆				耐张杆				终端杆			
覆冰/mm	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15	0	5	10	15
LJ-25									2×∟63×6				∟63×6			②	2×∟63×6				2×∟90×8			
LJ-35					2×∟63×6				2×∟75×8								2×∟75×8				③			
LJ-50	∟63×6												∟75×8											
LJ-70																	2×∟90×8							
LJ-95					2×∟75×8				2×∟90×8												2×∟75×8*			
LJ-120																				2×∟90×8*				2×∟90×8
LJ-150	∟75×8								2×∟63×6*							2×∟90×8	2×∟75×8*							
LJ-185				①	2×∟90×8								∟90×8								2×∟90×8*			
LJ-240									2×∟75×8*															
LGJ-16					×∟63×6				2×∟63×6							②	2×∟63×6				2×∟90×8			
LGJ-25									2×∟75×8				∟63×6											
LGJ-35																								
LGJ-50	∟63×6								2×∟90×8								2×∟75×8				2×∟75×8*			
LGJ-70																								
LGJ-95													∟75×8				2×∟90×8							
LGJ-120					2×∟75×8				2×∟63×6*															
LGJ-150	∟75×8				2×∟90×8												2×∟75×8*				2×∟90×8*			
LGJ-185				①					2×∟75×8*				∟90×8			2×∟90×8								
LGJ-240					2×∟75×8*							④					2×∟90×8*							

注：* 为带斜撑的横担。

① 为∟90×8。

② 为∟75×8。

③ 为2×∟63×6*。

④ 为2×∟90×8*。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-51 高压线路针式绝缘子

型号	泄漏距离（不小于）/mm	工频电压有效值/kV			铁脚代号	瓷抗弯破坏荷载/kg	铁脚抗弯强度/kg	绝缘子重量/kg
		干闪络	湿闪络	击穿				
P-6T	150	50	28	65	6T	1400	160	1.25
P-6M	150	50	28	65	6M			1.4
P-10T	185	60	32	78	10T			2.15
P-10M	185	60	32	78	10M			2.2
PQ-10T	290	70	40	100	10T			
PQ-10M	290	70	40	100	10M			
P-15T	280	75	45	98	15T		250	3.57
P-15M	280	75	45	98	15M			3.6

注：1. 铁脚抗弯强度指铁脚受力时，中心轴线偏移5°时的荷载值。

2. PQ型为加强绝缘子，其泄漏距离较大。

3. 绝缘子重量包括铁脚重量。

表 4-52 低压线路针式绝缘子

型号	额定电压/V	铁脚代号	瓷抗弯破坏荷载/kg	铁脚抗弯强度/kg	绝缘子重量/kg
PD-1T	500	1TD	1000	70	0.45
PD-1M		2MD			0.55
PD1-1T		—	1000	—	1.1
PD1-1M		—		—	1.2
PD1-2T		—	800	—	0.69
PD1-2M		—		—	0.79
PD1-3T		—	300	—	—
PD1-3M		—		—	—

表 4-53 悬式绝缘子

型号	工频电压有效值/kV			抗张荷载/kg		绝缘子重量/kg
	干闪络	湿闪络	击穿	1h机电	机电破坏	
X-3	220	30	90	3000	4000	3.35
X-4.5	290	45	110	4500	6000	5.0
XP-4	200	30	90	3000	4000	2.5
XP-7	290	45	120	5000	7000	4.0
X-3C	220	30	90	3000	4000	3.7
X-4.5C	270	45	110	4500	6000	5.2
XP-4C	200	30	90	3000	4000	2.6
XP-7C	290	45	120	5000	7000	4.2
XW-4.5	440	50	110	4500	6000	7.1
XW-4.5C	440	50	110	4500	6000	7.5

注：1. XW型为防污绝缘子。

2. C表示槽型连接。

3. 在XP型中，XP-4可代替X-3，XP-7可代替X-4.5。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-54　蝶式绝缘子

型　　号	额定电压/kV	工频电压有效值/kV			瓷机械破坏荷载/kg	绝缘子重量/kg
		干闪络	湿闪络	击穿		
ED-1	0.5	—	—	2	1800	1.0
ED-2	0.5	—	—	2	1500	0.5
ED-3	0.5	—	—	2	1000	0.25
E-6	6	50	26	65	1200	1.8
E-10	10	60	32	78	1500	3.5
E_1-6	6	50	26	65		
E_1-10	10	60	32	78		

表 4-55　拉紧绝缘子

型号	试验电压/kV	机械破坏荷载/t	重量/kg
J-2	10	2	0.2
J-4.5	15	4.5	1.1
J-9	25	9	2.0

表 4-56　按线路电压和横担材料选用针式绝缘子

线路电压/kV	木横担	铁横担
10	P-10M	P-15T
6	P-6M	P-10T
0.38	PD-1M	PD-1T

2）在采用悬式绝缘子串时，如无污秽空气影响，悬式绝缘子串片数可按表 4-57 选用。

表 4-57　悬式绝缘子串（X-4.5 型）的绝缘子片数

线路电压/kV	6～10
悬垂绝缘子串	1
耐张绝缘子串	4

3）架设在一般地区的线路，其绝缘子或绝缘子串的单位工作电压（额定线电压）泄漏距离不应小于 1.6cm/kV，架设在空气有工业污秽地区或接近海岸、盐场、盐湖和盐碱地区的线路，应根据运行经验和可能污染的程度，增加绝缘泄漏距离，并宜采用防污型绝缘子或采取其他有效措施。如无运行经验，可参照表 4-58。重雾地区按一般地区考虑，不增加绝缘。

表 4-58　空气污秽地区线路绝缘子要求的绝缘水平

污秽等级	污秽情况	单位泄漏距离/(cm/kV)
1	空气污秽的工业区，盐碱污秽，炉烟污秽	2.0～2.5
2	空气污秽较严重地区，沿海地带及盐场附近，重盐碱污秽，空气污秽而又有重雾地带，距化学性污源 300m 以外的污秽较严重地区	2.6～3.2
3	电导率很高的空气污秽地区（如大工厂和冶金工厂附近），发电厂的烟囱附近且附近有水塔，严重的盐雾地区，距化学性污源 300m 以内的地区	≥3.8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）按机械强度选择绝缘子。

一般条件下，380V 低压架空线路中，档距为 50m 时，低压蝶式绝缘子的选用可按表 4-59 进行。

表 4-59 蝶式绝缘子的选用

导线规格	蝶式绝缘子型号
LJ－185 以下	ED-2
LJ－185 以上	ED-1

拉紧绝缘子的选用可按表 4-60 进行。

表 4-60 拉紧绝缘子的选用

拉线规格	拉紧绝缘子型号
镀锌钢绞线 25mm^2 或镀锌铁线 3/ϕ4～5/ϕ4mm	J2
镀锌钢绞线 35mm^2 或镀锌铁线 2/ϕ4mm	J4、5
镀锌钢绞线 50mm^2	J9

5. 拉线的设置和选择

架空线路中，终端杆、转角杆、耐张杆及直线杆设置的防风段均应设置拉线。影响拉线选择的因素很多，其主要是克服纵向及横向的拉力。另外拉线选择与线路的电压等级、导线截面积、杆型、风载大小及覆冰等因素有关。

一般条件下，拉线应按表 4-61～表 4-64 进行选择。

表 4-61 拉线的强度设计安全系数及最小截面积

拉线材料	镀锌钢绞线	镀锌铁线
强度安全系数	≥2.0	≥2.5
最小截面积	25mm^2	3×ϕ4mm

表 4-62 拉线棒选择

拉线棒直径/mm	有效直径/mm	有效截面积/mm^2	允许应力/（kgf/mm^2）	拉线棒允许拉力/kgf	配合拉线型号	拉线最大允许拉力/kgf
16	14	154	16	2460	GJ-25	1600
18	16	200	16	3100	GJ-35	2200
19	17	227	16	3630	GJ-50	3000
22	20	314	16	5000	GJ-70	4300
25	23	491	16	7850	GJ-100	6000
28	26	531	16	8490	2×GJ-70	8600
34	32	804	16	12800	2×GJ-100	12000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-63　每根导线所需拉线的拉力　（单位：kgf）

导线型号	安全系数	转角杆，线路转角 α									终　端　杆		
		0°～15°			16°～30°			31°～45°					
		拉线与电杆夹角 θ											
		30°	45°	90°	30°	45°	90°	30°	45°	90°	30°	45°	90°
LJ-16	2.5	54	38	27	106	75	53	156	110	78	204	144	102
LJ-25	2.5	82	58	41	164	116	82	242	171	121	316	223	158
LJ-35	2.5	114	81	57	228	161	114	336	238	168	440	311	220
LJ-50	2.5	164	116	82	328	232	164	484	342	242	634	448	317
LJ-70	3.0	170	120	85	336	238	168	496	351	248	648	459	324
LJ-95	3.0	224	158	112	484	343	242	714	505	357	934	662	467
LJ-120	3.0	306	216	153	606	430	303	896	635	448	1170	828	585
LJ-150	4.0	290	205	145	576	408	288	852	602	426	1110	786	555
LJ-185	4.0	360	255	180	712	503	356	1052	744	526	1374	970	687
LJ-240	4.0	436	308	218	868	615	434	1282	907	641	1674	1185	837
LGJ-16	3.0	84	59	42	166	118	83	244	173	122	320	226	160
LGJ-25	3.0	126	89	63	248	176	124	366	259	183	478	338	239
LGJ-35	3.0	202	143	101	400	283	200	592	419	296	774	548	387
LGJ-50	3.0	264	187	132	524	371	262	776	550	388	1014	718	507
LGJ-70	4.0	280	198	140	554	392	277	818	580	409	1070	758	535
LGJ-95	4.0	428	303	214	850	602	425	1256	890	628	1640	1160	820
LGJ-120	4.0	518	367	259	1028	728	514	1520	1077	760	1986	1405	993
LGJ-150	5.0	528	374	264	1050	743	525	1548	1096	774	2024	1432	1012
LGJ-185	5.0	654	464	327	1298	920	649	1934	1370	967	2500	1770	1250
LGJ-240	5.0	852	605	426	1692	1196	846	2494	1765	1247	3260	2310	1630

注：1. 水平拉线可用拉线与电杆夹角 $\theta=90°$ 时的数据，拉线柱的拉线可用 $\theta=30°$ 时的数据。

2. 大于45°的转角杆、横担为终端结构的电杆拉线，可用终端杆的数据。

表 4-64　拉线允许最大拉力

拉线型号		计算截面积 /mm²	瞬时破坏应力 /（kgf/mm²）	安全系数	拉线最大允许拉力 /kgf
镀锌铁线	T-3/φ4	37.7	37	2.5	560
	T-5/φ4	62.8	37	2.5	930
	T-7/φ4	88.0	37	2.5	1300
镀锌钢绞线	GJ-25	26.6	120	2.0	1600
	GJ-35	37.2	120	2.0	2200
	GJ-50	49.5	120	2.0	3000
	GJ-70	72.2	120	2.0	4300
	GJ-100	101.0	120	2.0	6000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

十四、电工仪表的选择

1. 电压表的选择通常应考虑的因素

（1）量程

1）对于低压表应使其量程大于额定电压，如380V一般选500V的电压表，220V一般选250V的电压表。

2）对于高压表应使其量程与额定电压对应，并选用配套的电压互感器，电压互感器与电压表的电压比应相同。如电压比为10000/100的电压表应选用电压比为10000/100的电压互感器，并用在额定电压为10000V的线路或设备上；电压比为35000/100的电压表应选用电压比为35000/100的电压互感器，并用在额定电压为35000V的线路或设备上。

（2）准确度等级　电压表按测量准确度要求一般选用1.5～2.5级；电压互感器按测量准确度要求一般选用1.0～3.0级，若与电能计量表共用时，则应选用0.5级。

（3）型号或型式　型号或型式应与其使用环境、柜体要求相匹配，如可选用指针式、数字式，可选用方形的、长方形的或圆形的。

（4）几何尺寸　几何尺寸应与柜体及其他元器件相匹配，型号、型式、几何尺寸应与电流表、电能表、频率表相匹配。

直流电压表除上述要求外，通常可选用零刻度在中间的双向指示的电压表，以区分正负界限。

根据负荷需要，对重要负荷应选用具有上下限报警功能的电压表。

2. 电流表的选择一般应考虑的因素

（1）量程

1）电流表的量程应在正常运行时最大量值的1.5倍左右，同时应考虑过负荷或事故运行时其指示不得超过满刻度。如正常运行为100A的负荷，可选用150～200A量程的电流表。

2）一般大于20A的低压负荷，其电流测量回路应选用电流互感器与其电流表相匹配，电流互感器与电流表的电流比应相同。如电流比为150/5的电流互感器应与电流比为150/5的电流表相匹配使用；电流比为250/5的电流互感器应与电流比为250/5的电流表相匹配使用。同时在高压系统中，应选用与其使用电压相对应的电流互感器。

（2）准确度等级　准确度等级与电压表的要求相同。

（3）型号或型式　型号或型式与电压表要求相同，同一室内或柜上的电压表、电流表的型号、型式必须一致。

（4）几何尺寸　几何尺寸与电压表的要求相同。

直流电流表除上述要求外，一般可选用零刻度在中间的双向指示的电流表，以区分正负界限。

根据负荷要求，对重要负荷应选用具有上下限报警功能的电流表。

3. 电压互感器选择的注意事项

电压互感器除应遵守电压表选择的相应条款外，还应注意以下3点：

1）电压互感器的额定电压必须与线路或设备的额定电压相符，选择三只单相电压互感器组成电压互感器组时，应注意其额定电压，应使其能接成星形联结或三角形联结而便于测量。

2）电压互感器的容量应满足系统测量仪表所有电压线圈、电压继电器以及信号系统容

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

量和的需要，并有足够的裕量。

3）电压互感器必须满足现场安装条件的需要，如户内式、户外式、防爆式、防污式等。

4. 电流互感器选择的注意事项

电流互感器除应遵守电流表选择的相应条款外，还应注意以下4点：

1）电流互感器的额定电压必须与线路或设备的额定电压相符。

2）电流互感器分线圈式和穿心式，可根据实际需要选用，通常选用穿心式的较多。

3）电流互感器的容量应满足系统测量电流仪表、继电器电流线圈容量和的需要，并有足够的裕量。计量用只能连接一只线圈，与继电保护共用时只能连接两只线圈，一般的检测最多不能超过三只线圈。

4）电流互感器必须满足现场安装条件的需要，如户内式、户外式、防爆式、防污式等。

5. 电能表（包括有功、无功两种）的选择

（1）供电线制

1）单相供电系统应选用单相电能表。

2）三相供电系统应选用三相三线两元件电能表。

3）三相四线制供电系统应选用三相四线电能表。

（2）电压等级

1）400/230V低压系统可按供电线制选用。

2）10kV及以上高压系统一律选用5A的电能表，并配备相应的互感器。其中，电压互感器的一次电压必须与供电电压相符，二次电压一律为100V；电流互感器的电压等级应与供电电压相符。

（3）负荷大小

1）一般的低压负荷，50A以下时可选用相应电流等级的电能表。如负荷电流为20A，可选用20A（80A）或30A（100A）的电能表，其中括号内的数值为电能表短时允许最大负荷电流。

负荷电流在50A以上时，必须选用5A的电能表，并配备相应的电流互感器。电流互感器的一次电流应大于负荷的额定电流（如负荷电流为200A，则应选用250/5A或300/5A的电流互感器），二次电流一律为5A。

2）重要的低压负荷必须选用5A的电能表，并配备相应的电流互感器，电流互感器的一次电流应大于负荷的额定电流。

3）高压负荷不论负荷大小必须选用5A的电能表，并配备相应电压等级的互感器。

（4）电流的性质

1）交流电路必须选用交流电能表。

2）直流电路必须选用直流电能表。

（5）电能表的用途

1）电能表用于企业或单位内部的一般经济核算时，可选用2.0级的电能表。

2）电能表用于企业或单位内部重要经济核算时，应选用1.5级的电能表。

3）电能表作为收费依据时，应选用1.0级的电能表。

4）电能表作为重要的收费依据或用于高压供电线路上时，应选用0.5级的电能表。

5）电能表作为标准器时，必须选用0.1～0.5级的电能表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6）电流/电压互感器的准确度等级应与电能表的准确度等级相符。

根据供电部门的要求，应选择定量、限时、高峰低谷等不同计价方式的电能表。应正确选用两元件、三元件三相电能表。

一般来讲，当三相电力负荷非常平衡，且在运行中能够保证每相负荷不变的情况下，宜选用两元件三相电能表，通常应配备电流表监视每相的负荷。

当三相电力负荷不太平衡，且在运行中每相负荷有波动变化时，一般应选用三元件三相电能表。

三相负荷一般条件下，是变动的。因此，供电部门通常给用户配备三相三元件电能表，以保证计费的准确。而在一个单位内，为了减少电能表的费用，一般给三相负荷配备两元件电能表。

选用两元件、三元件电能表时，可根据其电力负荷的大小，有装电流互感器和不装电流互感器之分。一般条件下，大于20A时应配备电流互感器。

十五、关于负荷电流的估算方法及应用

在工程实践中，特别是在现场，负荷电流的计算经常采用估算的方法，往往会给工程带来很大的方便。估算值比计算值偏大，但应用后安全性更强一些。

1）低压单相（220V）的负荷，一般1kW按5A计算，计作5A/kW，如负荷是2kW，其负荷电流则为2kW×5A/kW=10A。

2）低压单相（380V）的负荷，一般1kW按2.5A计算，计作2.5A/kW，如负荷是3kW，其负荷电流则为3kW×2.5A/kW=7.5A。

3）低压三相（380V）平衡负荷，一般1kW按2A计算，计作2A/kW，如负荷是40kW，其负荷电流则为40kW×2A/kW=80A。不平衡负荷则应按最大负荷计算，如A相负荷为80kW，B相负荷为90kW，C相负荷为75kW，则应按90kW×3=270kW负荷计算。

4）高压三相（6kV）平衡负荷，一般1kW按0.11～0.12A计算，计作0.11～0.12A/kW，如负荷是2500kW，其负荷电流则为2500kW×0.11A/kW=275A，查表可知实际额定电流是283A，近似相同。

5）高压三相（3kV）平衡负荷，一般1kW按0.23～0.25A计算，计作0.23～0.25A/kW，如负荷是125kW，其负荷电流则为125kW×0.25A/kW=31.25A，查表可知实际额定电流是33.5A，近似相同。

6）高压三相（10kV）平衡负荷，一般1kW按0.06～0.07A计算，计作0.06～0.07A/kW，如负荷是1000kW，其负荷电流则为1000kW×0.07A/kW=70A，查表可知实际额定电流是69A，近似相同。

在现场利用估算值选择电气设备、元件、材料时应注意以下两点：

1）对于高压设备元件，除了满足电流的需要外，最主要的是要考虑设备元件的绝缘强度以及及时断开接地电流、短路电流，使之不至于在故障电流时烧坏。而对于高压导线及电缆，除了满足电流的需要外，主要是考虑其绝缘强度。

2）对于低压设备元件，除满足绝缘强度的需要外，主要是考虑设备元件的导流能力，使之在运行中不至于发热而影响使用。而对于导线及电缆，除了绝缘强度外主要是考虑线材的导流能力，使之在运行中不至于发热而影响系统的安全运行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）测量噪声。

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 5-43 的规定；试验项目及标准应符合表 5-42 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

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绝缘电阻表测量，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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。

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 绝缘电阻表测量极化指数。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 5-2 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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5-3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5-14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。

表5-4　电力变压器和电抗器交流耐压试验电压标准　（单位：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. 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：干式变压器》GB 1094.11—2007规定的出厂试验电压乘以0.8制定的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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5-5 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 （单位：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

$$120\times\frac{\text{额定频率}}{\text{试验频率}}\ (\text{s}) \tag{5-8}$$

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 $U_m \geqslant 300kV$）或 30min（对于 $U_m < 300kV$），以测量局部放电。

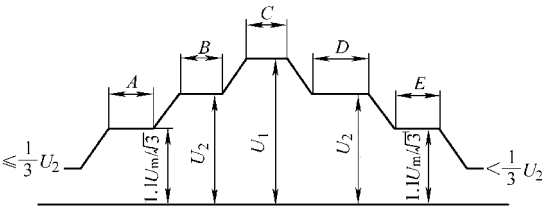


图 5-1　变压器长时感应电压及局部放电测量试验的加压程序

注：$A = 5min$；$B = 5min$；C = 试验时间；$D \geqslant 60min$（对于 $U_m \geqslant 300kV$）或 30min（对于 $U_m < 300kV$）；$E = 5min$

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

$$U_1 = 1.7U_m/\sqrt{3} \tag{5-9}$$

$U_2 = 1.5U_m/\sqrt{3}$ 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 的变压器的噪声，应在额定电压及额定频率下测量，噪声值不应大于 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，根据时间常数 $\tau = L/R$ 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，详见第三章“十五、新型电测仪器及其使用”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。

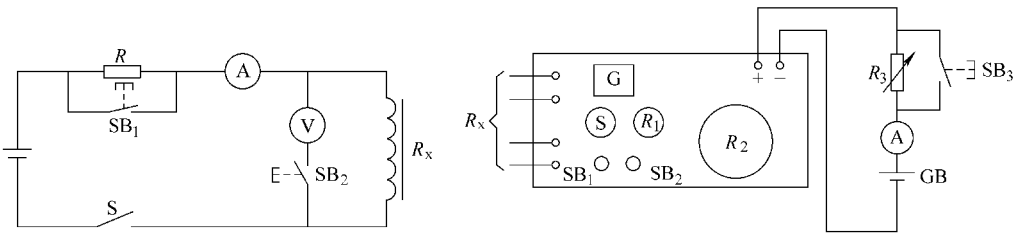


图 5-2

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

侧均应进行线电压的测量；当两侧接法一致时，丫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%。

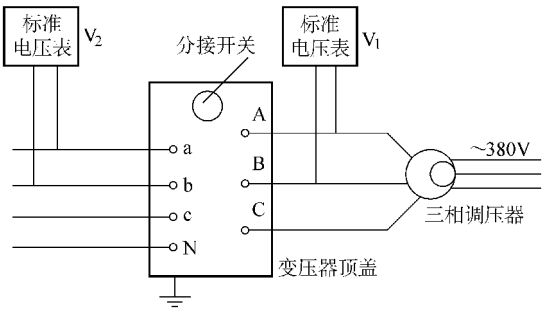


图 5-3　变压器电压比的测量

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。

S 闭合瞬间，毫伏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。

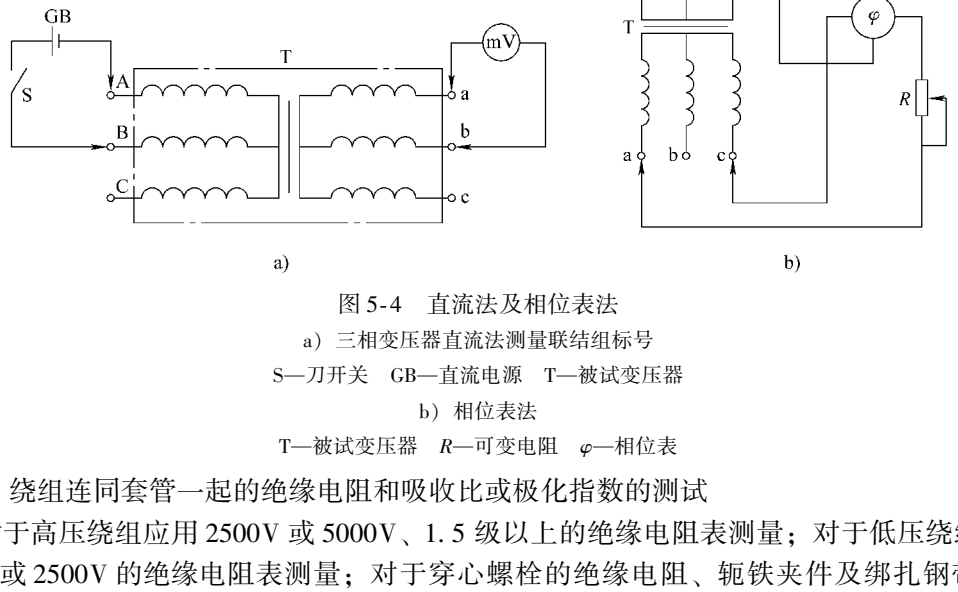


图 5-4　直流法及相位表法

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

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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%，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，详见第三章十五相关内容。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

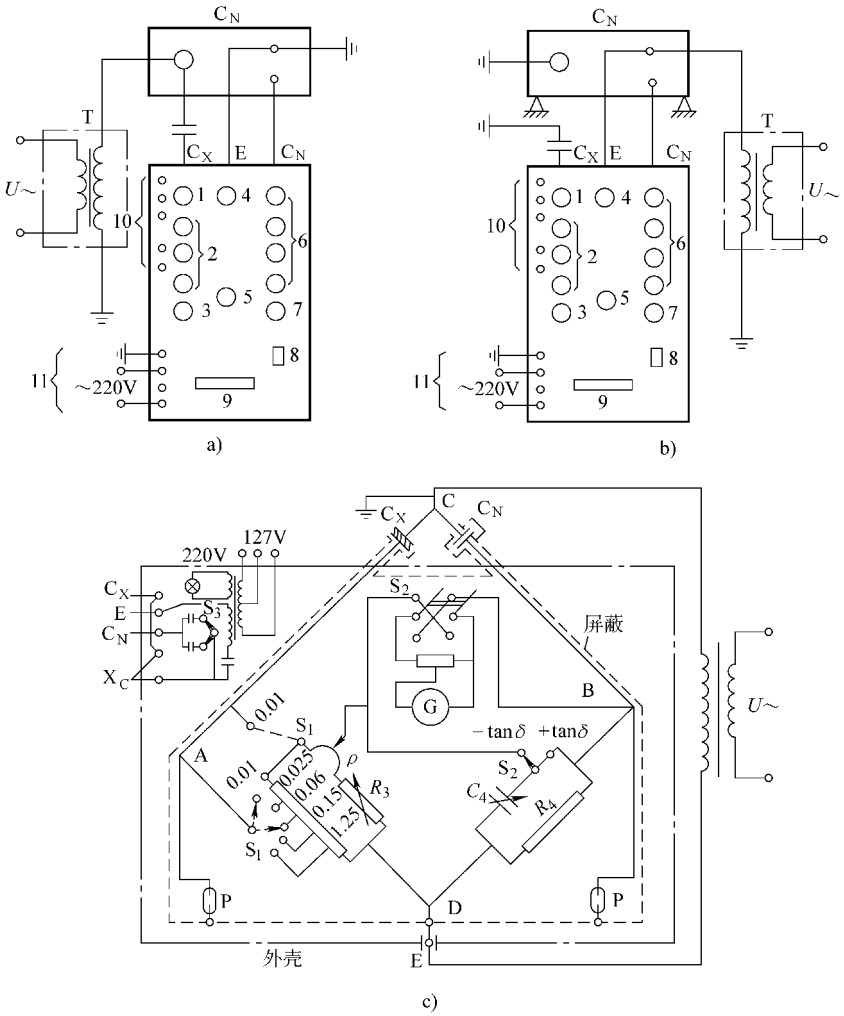


图 5-5　QS_1 型电桥接线及原理

a）QS_1 型电桥正接线法接线图　b）QS_1 电桥反接线法接线图　c）QS_1 交流电桥原理接线图

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

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

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“ $+\tan\delta$”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 $\tan\delta$，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 $\tan\delta$，直至检流计灵敏度放至最大位置，再进一步细调 R_3、ρ 及 $\tan\delta$，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 $\tan\delta$ 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“ $-\tan\delta$”位置，再次按⑨的步骤操作，最后记录 R_n、ρ、R_3 和 $\tan\delta$ 的值，然后与“ $+\tan\delta$”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“ $+\tan\delta$”时的读数；

$C_2\tan\delta_2$（%）——极性开关位于“ $-\tan\delta$”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。

⑭ $\tan\delta$ 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。

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。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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
电压为 10kV 时 变压器的容量/kV·A	0.05	0.5	5	50

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 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：

$$\tan\delta = \frac{\text{mW}}{\text{mV}\cdot\text{A}} \times 100\% \qquad (5\text{-}13)$$

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。

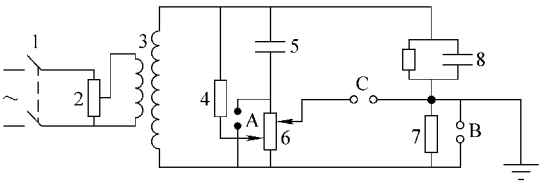


图 5-6　M 型介质损耗角试验器接线图

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

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。

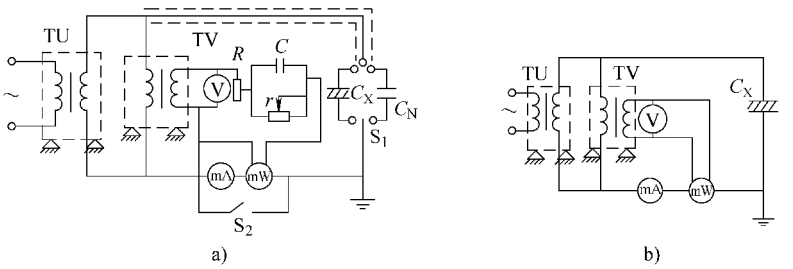


图 5-7　低力率瓦特表测量介质损耗角接线示意图

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　C_X—被测电容器

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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\tan\delta = \frac{P}{\sqrt{U^2I^2 - P^2}} \times 100\% \tag{5-14}$$

$$C_X = \frac{I}{\omega U} \times 10^3 \tag{5-15}$$

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

$$\tan\delta(20℃) = K\tan\delta(t℃) \tag{5-16}$$

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	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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
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）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。

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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

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
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	

2）试验电压，见表5-11。

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

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5-12　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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。试验方法见第三章九中“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，方法见第三章十五中“ZGF 和 GFC 型直流高压发生器的使用及注意事项”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。

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—2012。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 型干扰判断式局部放电检测器直接进行，详见第三章相关内容。

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行业标准《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，见本节“一、电力变压器的标准规范要求”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验

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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，应符合本节一、第 9 条的规定。

（4）测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 tanδ，应符合本节一、第 10 条的规定。

（5）测量绕组连同套管的直流泄漏电流，应符合本节一、第 11 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，应符合本节一、第6条的规定。

（8）绝缘油的试验，应符合本章第四节的规定。

（9）非纯瓷套管的试验，应符合本章第三节一、“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/T 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

该标准规范中的第（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，使用方法也不尽相同，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$\tan\delta$。

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）测量铁心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、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 绝缘电阻表。

（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%。

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质损耗受环境条件（特别是相对湿度）影响较大，测量时要加以考虑。

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。

（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

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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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心夹紧螺栓进行测量。

2）采用2500V绝缘电阻表测量，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）、（12）条。其中第（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。

（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，2～5kV·A 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。

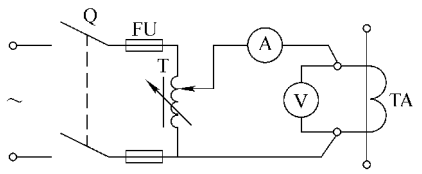


图 5-8　电流互感器励磁特性试验接线图

Q—电流开关　FU—熔断器　T—调压器

TA—电流互感器　Ⓐ—电流表　Ⓥ—电压表

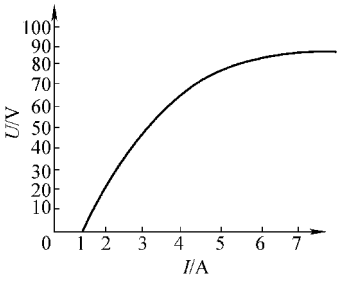


图 5-9　电流互感器励磁特性曲线图

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。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。

（3）局部放电试验　局部放电试验一般用局部放电检测仪进行，操作方法见第三章相关内容。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

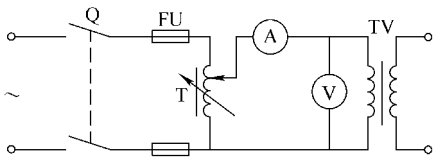


图 5-10 电压互感器空载电流试验接线图

Q—电源开关 FU—熔断器 T—调压器

Ⓐ—电流表 Ⓥ—电压表

TV—电压互感器

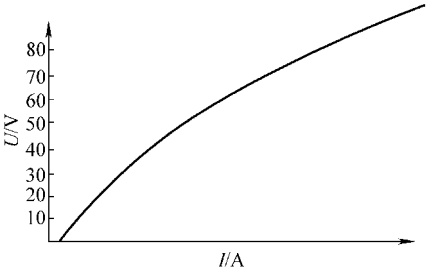


图 5-11 电压互感器励磁特性曲线

（4）误差测量现场可用标准电压表和标准电流表进行，电压表并联，电流表串联，然后比较其结果即可得出。

（5）电容式电压互感器（CVT）检测常用 SB2204 型介质损耗测试仪进行，详见第三章“十五、新型电测仪器及其使用”相关内容。

第三节 高压电器的测试和试验

高压电器主要指油断路器、空气（磁吹）断路器、真空断路器、六氟化硫断路器、六氟化硫封闭式组合电器、高压隔离开关、高压负荷开关及高压熔断器等。同时包括高压套管、绝缘子、避雷器、电容器等。

高压电器的试验项目很多，其中，绝缘电阻、介质损耗角正切值 tanδ、直流泄漏电流、交流耐压试验、导电回路电阻、绝缘油试验等已在前面讲述过，试验方法基本相同，主要是试验接线必须正确，但参数标准不大相同，试验时要一一对照。

试验项目中还有很多未讲述的开关类设备和其他高压电器的试验项目，这是我们讲述的重点。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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标准的共用技术要求》DL/T 593—2006。

2. 设备无特殊规定时，采用最高一级试验电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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	按产品规定的最低及最高值
（85% ~110%）U_n	（85% ~110%）U_n	

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 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。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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
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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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，应按本节“1. 油断路器”第（12）条的有关规定进行。

注：对应于本节“1. 油断路器”第（12）条中的“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，应按本节“10. 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，应符合本节“10. 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，应按本章第二节“四、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，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

套管主绝缘类型		tanδ（%）最大值
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

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质损耗试验，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 绝缘电阻表，绝缘电阻不小于 2500MΩ。

2）35kV 及以下电压：用 2500V 绝缘电阻表，绝缘电阻不小于 1000MΩ。

3）低压（1kV 以下）：用 500V 绝缘电阻表，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）　（单位：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）　（单位：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）　（单位：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）　（单位：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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-30 典型的电站和配电用避雷器参数（参考） （单位：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） （单位：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） （单位：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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

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
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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本部分“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。

（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。

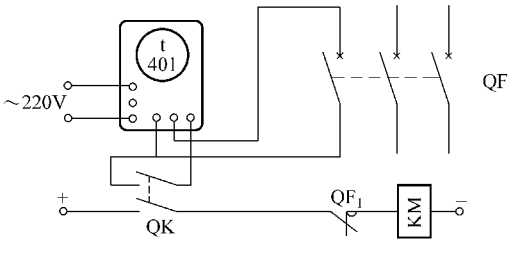


图 5-12　断路器合闸时间测量接线示意图

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_1—断路器辅助触头

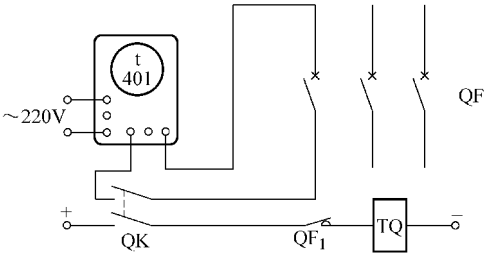


图 5-13　断路器分闸时间测量接线示意图

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。

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，测量使用方法见第三章相关内容。

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，方法见本部分“3. 分、合闸速度的测量及调整”。也可用 KJTC 系列开关特性测仪进行，方法见第三章相关内容。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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				
		刚合	最大	刚分	最大	固有	完全	固有	完全		相间	同相	相间	同相	一相导电回路	灭弧回路	
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	SN2-10/400/800-350G	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		
	SN8-10/600/1000-350	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	DW2-35/600/1000-750	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		
	DW2-35/600/1000-1000	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		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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				
		刚合	最大	刚分	最大	固有	完全	固有	完全		相间	同相	相间	同相	一相导电回路	灭弧回路	
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-$\frac{1000}{1500}$	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 $\pm\frac{6}{8}$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 $\pm\frac{4}{9}$mm。

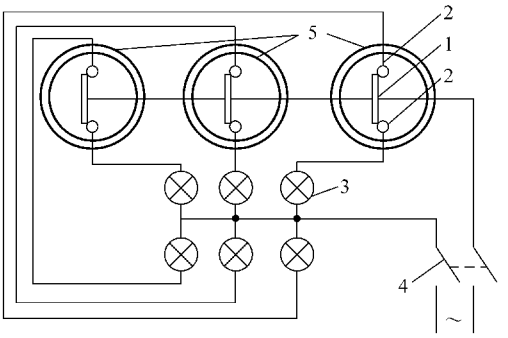


图 5-14　灯泡法测量断路器三相动作的同步性
1—动触头　2—静触头　3—灯泡　4—刀闸　5—油断路器

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

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。

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：

$$V = S/t \qquad (5\text{-}17)$$

式中　S——行程，单位为 m；

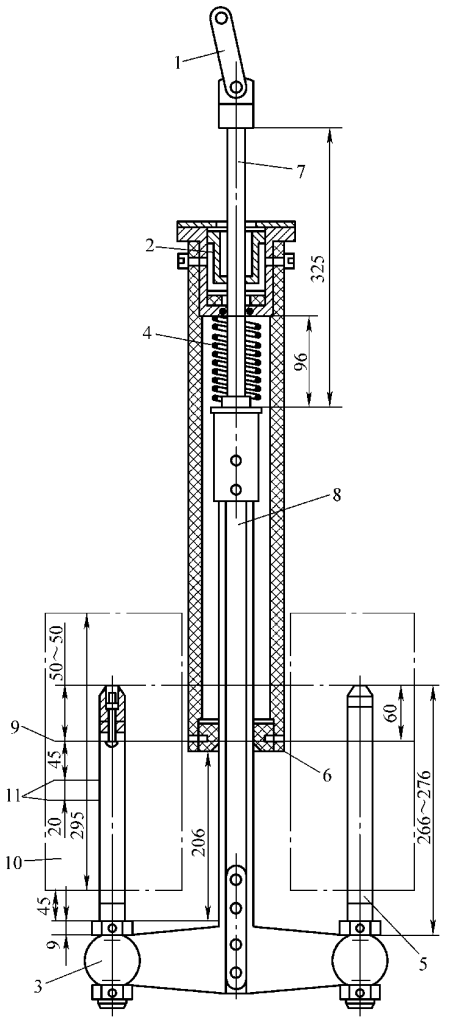


图 5-15　DW8-35 型多油断路器动触头及提升杆
1—连板　2—油缓冲器　3—导电横梁　4—分闸弹簧　5—动触头　6—绝缘导向管　7—钢提升杆　8—绝缘提升杆　9—静触头下端面　10—灭弧室　11—横吹口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

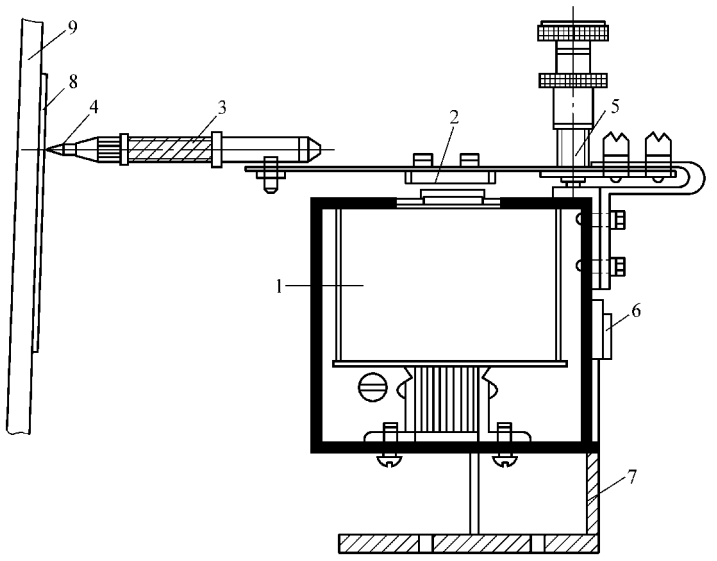


图 5-16 电磁振荡法测量断路器触头运动速度的布置方式

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

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：

$$v = L/t \qquad (5\text{-}18)$$

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。

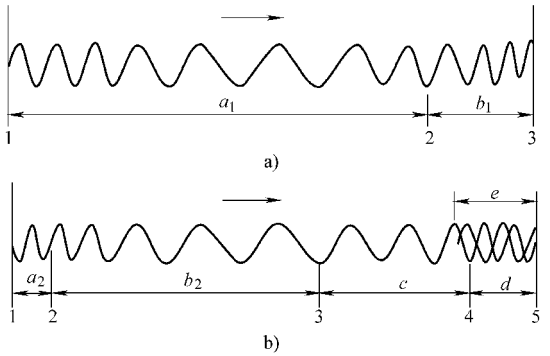


图 5-17

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

3）测量时的环境温度应在 10 ~35℃下进行，以免油的黏度影响速度。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

测量结果应符合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）。

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。

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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

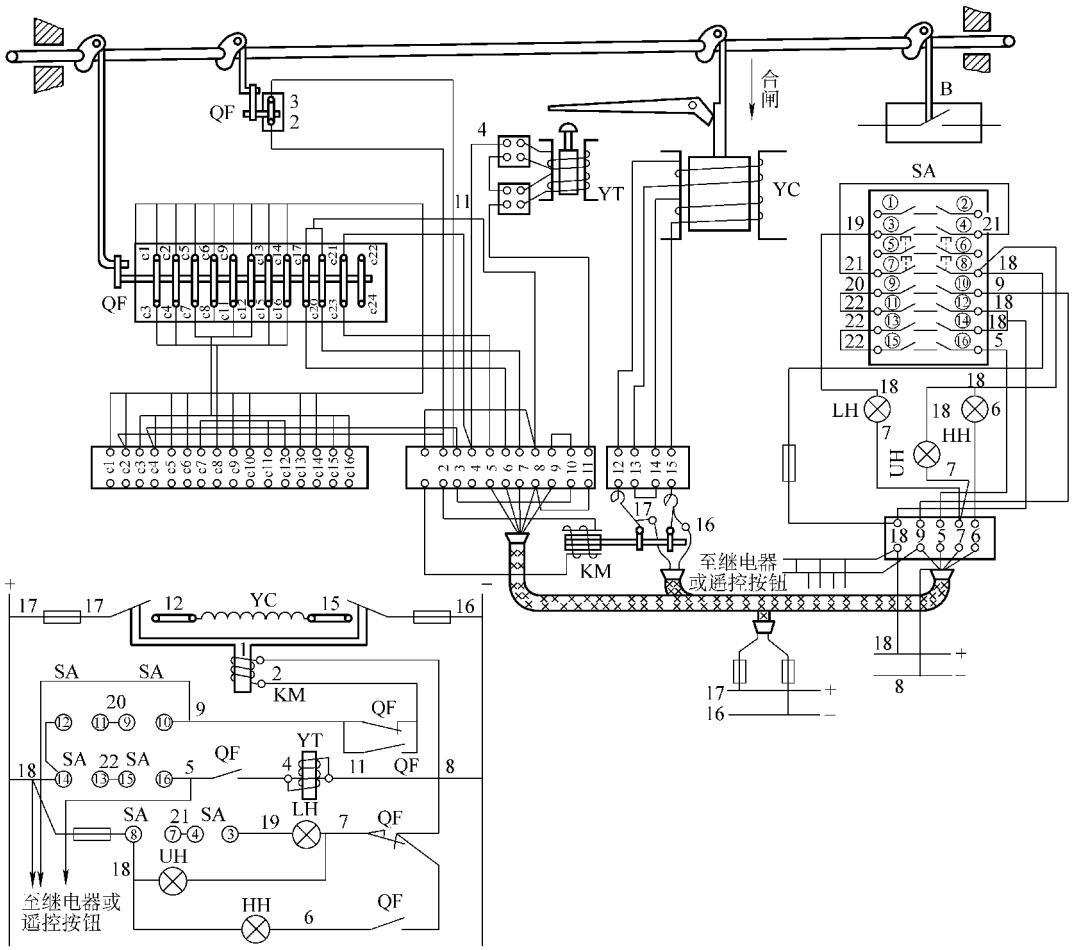


图 5-18 CD11-X 型电磁操动机构接线示意图

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

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。

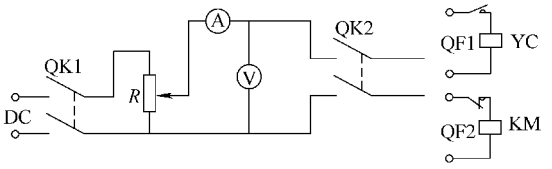


图 5-19 操动机构最低动作电压的试验

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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	
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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
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更换线圈	
		6）并联的分闸电磁线圈一只断线	更换分闸电磁线圈	
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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	故障现象	故障的可能原因	处理措施	备注
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合下列要求：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。工作缸或定向三脚架应固定牢固，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

电容量值不超过产品出厂值的 ±10%。

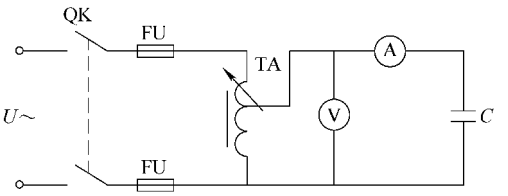


图 5-20　交流阻抗法测量电容值

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，具体使用方法见第三章相关内容。

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。

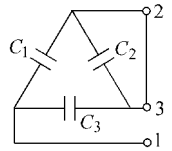
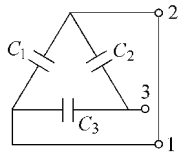
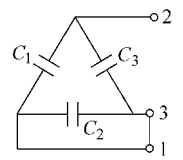
2）压力动作阀与压力表试验方法相同，只是将压力动作阀用标准表同时加同一管道的压力进行试验，在规定压力下阀应开启。

www.789pdf.com 789书库网

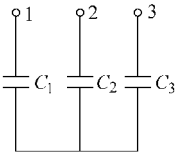
www.789pdf.com 789书库网

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}	$C_3 = 2C_{12}C_{31}C_{23}/(C_{12}C_{23} + C_{12}C_{31} - C_{31}C_{23})$

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。

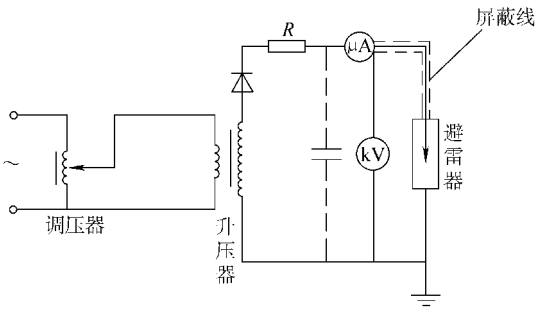


图 5-21　泄漏电流的测量接线示意图

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：

$$\alpha = \frac{\lg U_2/U_1}{\lg I_2/I_1} \tag{5-20}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

（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。

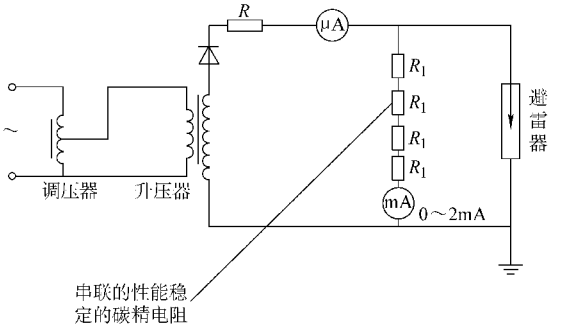


图 5-22　试验电压的测量接线示意图

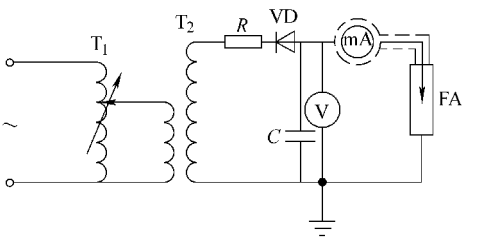


图 5-23　测量接线图

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

mA—直流毫安表　V—静电电压表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

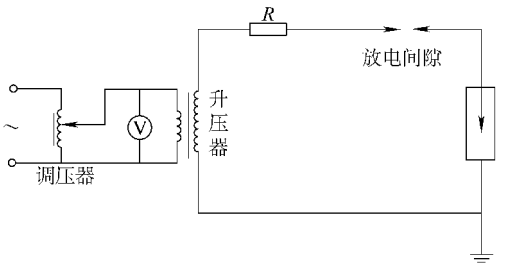


图 5-24 工频放电电压的测量

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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。

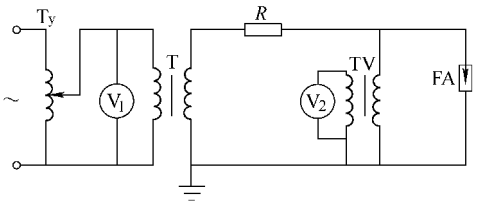


图5-25　避雷器工频放电试验原理接线图

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

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：

$$I = U/\sqrt{X_T^2 + R^2}, R = \sqrt{U^2/I^2 - X^2} \tag{5-21}$$

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，待指针稳定后，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。

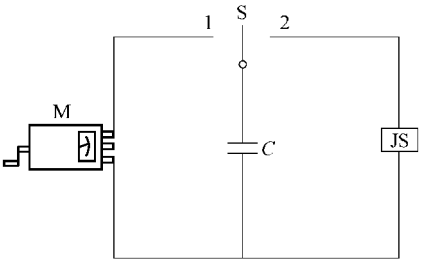


图5-26 雷电记录器动作试验接线

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，并与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下降或者下降值不超过100Pa，即可认为该

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，详见第三章相关内容。

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。

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《变压器油、汽轮机油酸值测定法（BTB法）》GB/T 28552—2012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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	项　　目	标　　准	说　　明
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
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

（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 5-43　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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-44 电动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℃。

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

电动机型号	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

电动机型号	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
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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

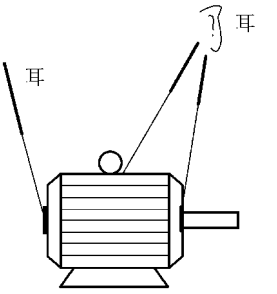


图 5-27 试听电动机声音的方法

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

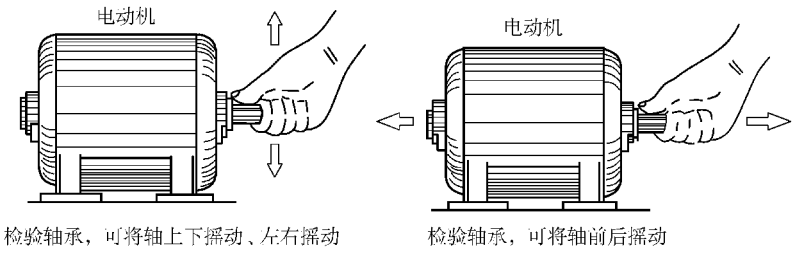


图 5-28　电动机轴承旷量的检验方法

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）(%)	矿物油黏度 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	—	—
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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△联结或丫联结的连片取下，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，另一手以 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。用同样方法测量其他两相，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

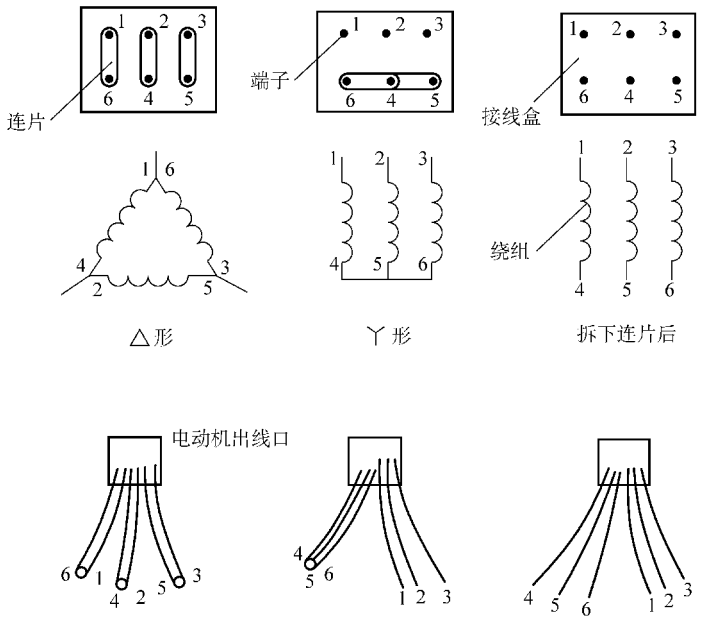


图 5-29　三相电动机接线端子的识别

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至于击穿，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，使用方法见第三章相关内容。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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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与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，见第三章相关内容。

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。

试验电压值及试验时间见表5-48和表5-51。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

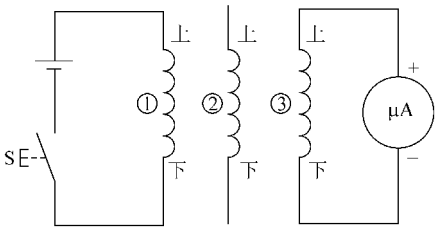


图 5-30　电动机极性简便试验示意图

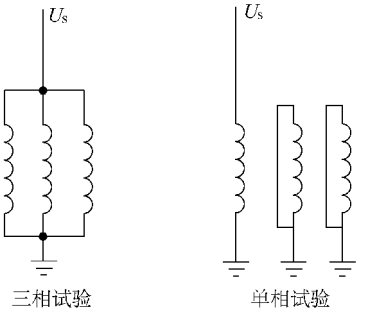


图 5-31　电动机耐压试验接线图

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，另一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。球隙的调整可参考表 3-5 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，并与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，详见第三章九相关内容及表 3-4。

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。750kV·A 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如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 使试验变压器空载，按表5-51和表3-5调节球隙，使之在0.5倍规定试验电压 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。

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3-5中的数值时应乘以校正因数 δ，即

$$\delta = \frac{p}{101332}\frac{273+20}{273+t} \tag{5-22}$$

式中　p——试验时的大气压，单位为Pa；

　　t——试验时的温度，单位为℃。

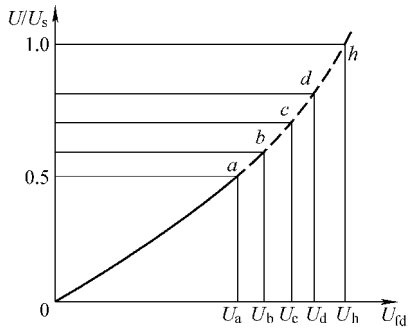


图5-32　电压校正曲线

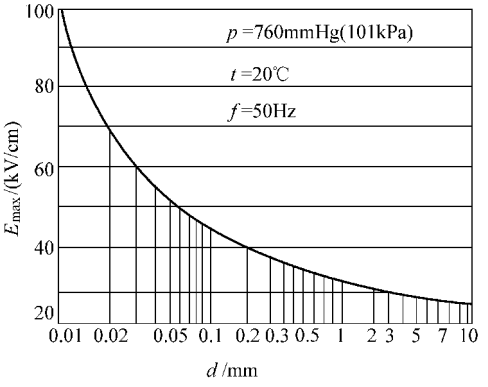


图5-33　击穿电场强度与电极间的距离关系

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；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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三章相关内容。

（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。

（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与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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

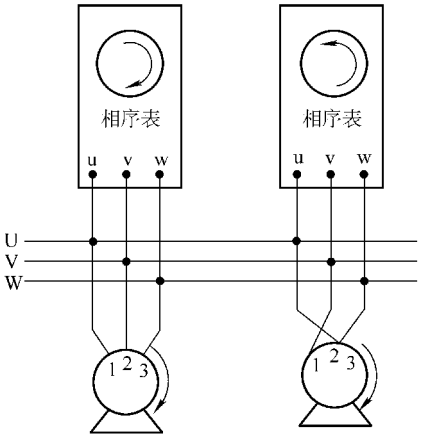


图 5-34　相序表的使用方法

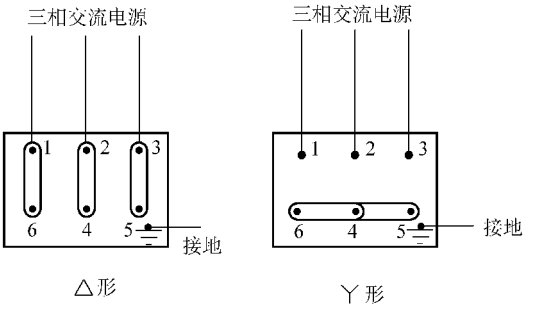


图 5-35　电动机的接线方法

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 6-9。

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$\frac{1}{3}I_N$。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	0.125kW	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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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	

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。

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，应为均匀极小的咝咝声；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、断相，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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），另一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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，应退货。

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，每次仔细观察。

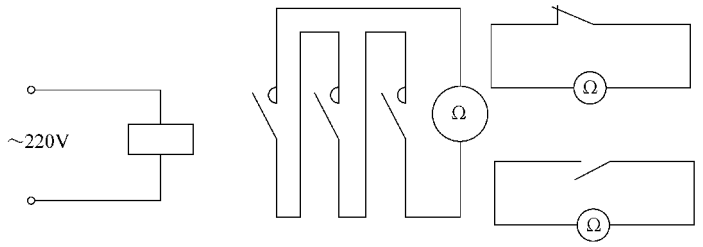


图5-36 接触器触头的分合试验

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。

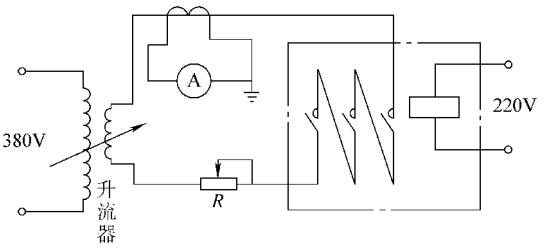


图5-37 接触器主触头的通电试验

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倍时，停止升流。观察

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10～30min 后，用蜡片试温，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，短接应用线夹即可，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作通断能力的试验，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。

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，

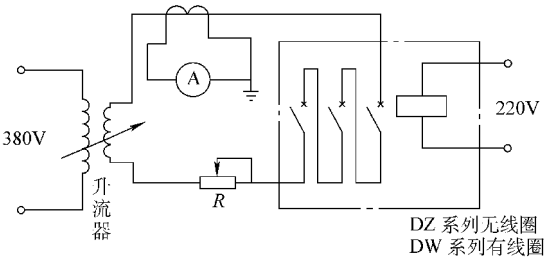


图 5-38　断路器的电流试验

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

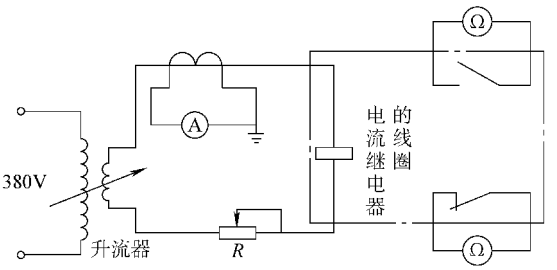


图5-39 电流继电器的电流试验

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指针来显示，应与空投试验相同。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。时间继电器的试验电路见图5-40。

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。

热继电器的整定电流是按热元件额定电流整定的，如订货时不特别指出，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

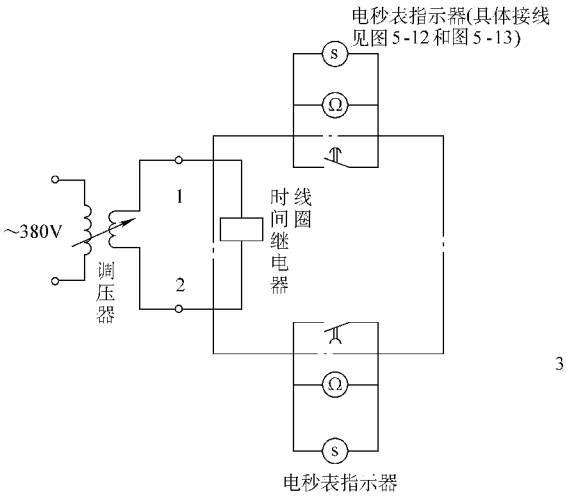


图 5-40　时间继电器的试验电路

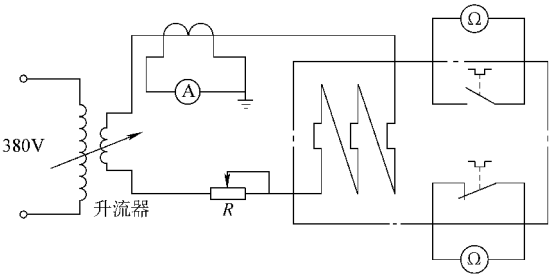


图 5-41　热继电器的电流试验

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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℃，不得有焦煳气味，试验时不得有明显的振动和声响，否则不能使用。

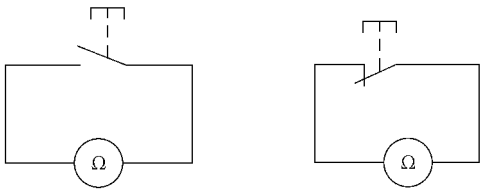


图 5-42 按钮的试验

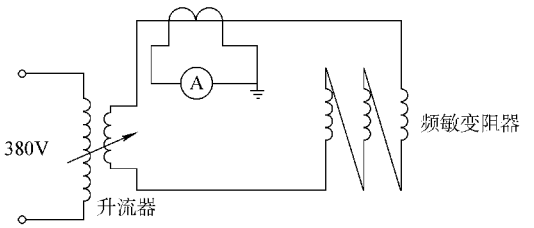


图 5-43 频敏变阻器的试验

（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。

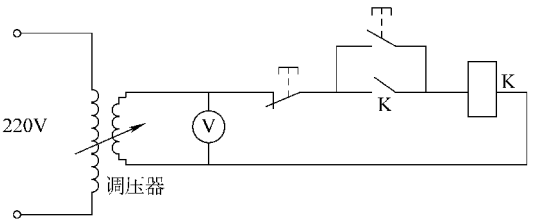


图 5-44 接触器电压线圈的电压试验

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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绝缘电阻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）测量绝缘用绝缘电阻表的额定电压，宜采用如下等级：

① 0.6/1kV电缆用1000V绝缘电阻表。

② 0.6/1kV以上电缆用2500V绝缘电阻表；6/6kV及以上电缆也可用5000V绝缘电阻表。

③ 橡塑电缆外护套、内衬层的测量用500V绝缘电阻表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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 （单位：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：

$$U_t = 4 \times U_0 \tag{5-28}$$

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 （单位：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《绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则》GB 311.1—2012 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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	

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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绝缘电阻表测量引线与外壳之间的绝缘电阻，其值不应小于10MΩ。

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及以下黏性油浸	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

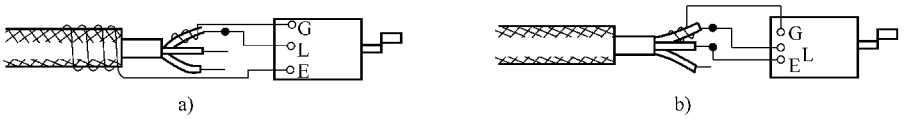


图 5-45　用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻的方法

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，试验方法见第三章有关内容。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，并涂抹硬脂酸，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，应按订货协议或产品出厂说明书要求进行。

5）黏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。

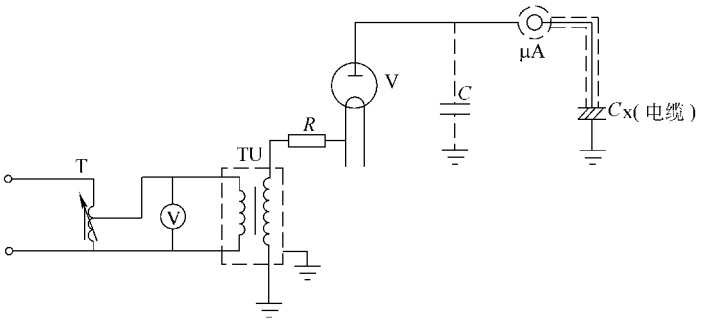


图 5-46　耐压试验、泄漏电流试验的正确接线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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. 本表泄漏电流为 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，使用方法见第三章相关内容。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，以防触电。

（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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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	内容/部位		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$1.5U_n+750$V，无闪络击穿现象，U_n为发电机额定电压
4		转子电路	用1000V绝缘电阻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绝缘电阻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绝缘电阻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绝缘电阻表检测不短路，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

GB 50166—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)：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

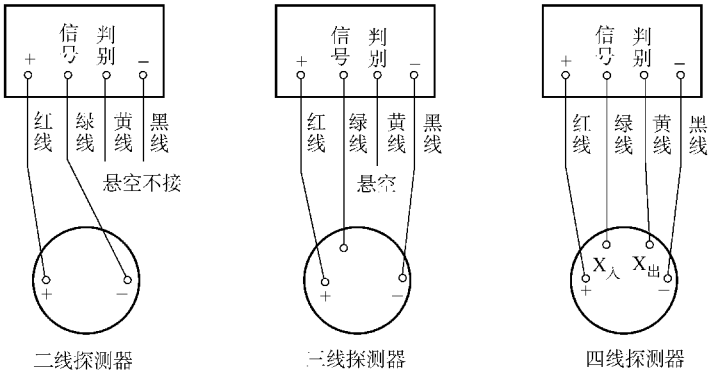


图 5-47 单点探测器试验仪的接线

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。

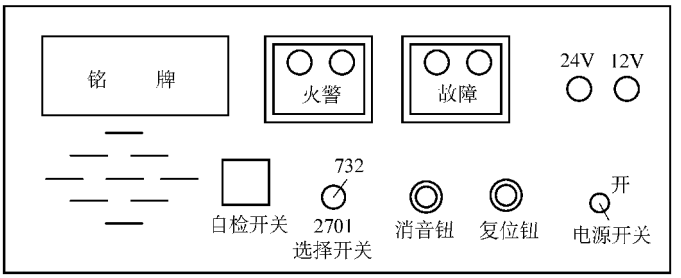


图 5-48 FJ-2706/001 型火灾探测器检验仪面板布置

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。

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，再按一下自检开关使其弹起，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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订货情况，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。

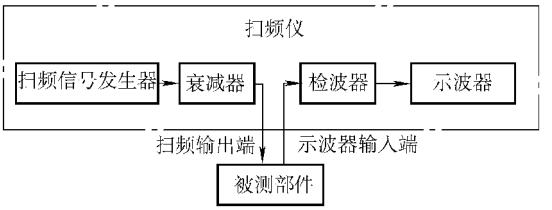


图 5-49　增益和衰减量的测试

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

减器的示值变化，就是元件被测值。如变化增加 NdB，那么元件的增益为 NdB；如果减少 NdB，则元件的衰减即为 NdB。

（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。

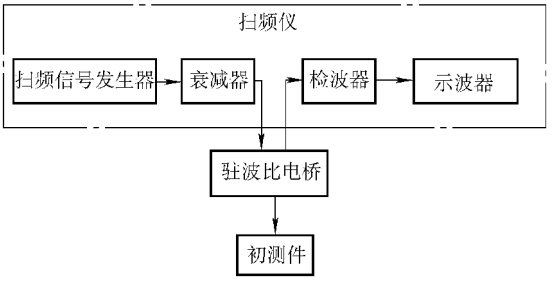


图 5-50　驻波比的测试

操作步骤如下：

1）按图接好线路，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。

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。

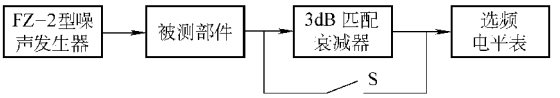


图 5-51　噪声系数的测试

操作步骤如下：

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。

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。

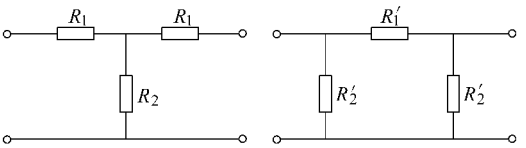


图 5-52　衰减器原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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路。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 网络管理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，网络管理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、信息安全软件和网络管理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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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，应将头尾相接，不要接反。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

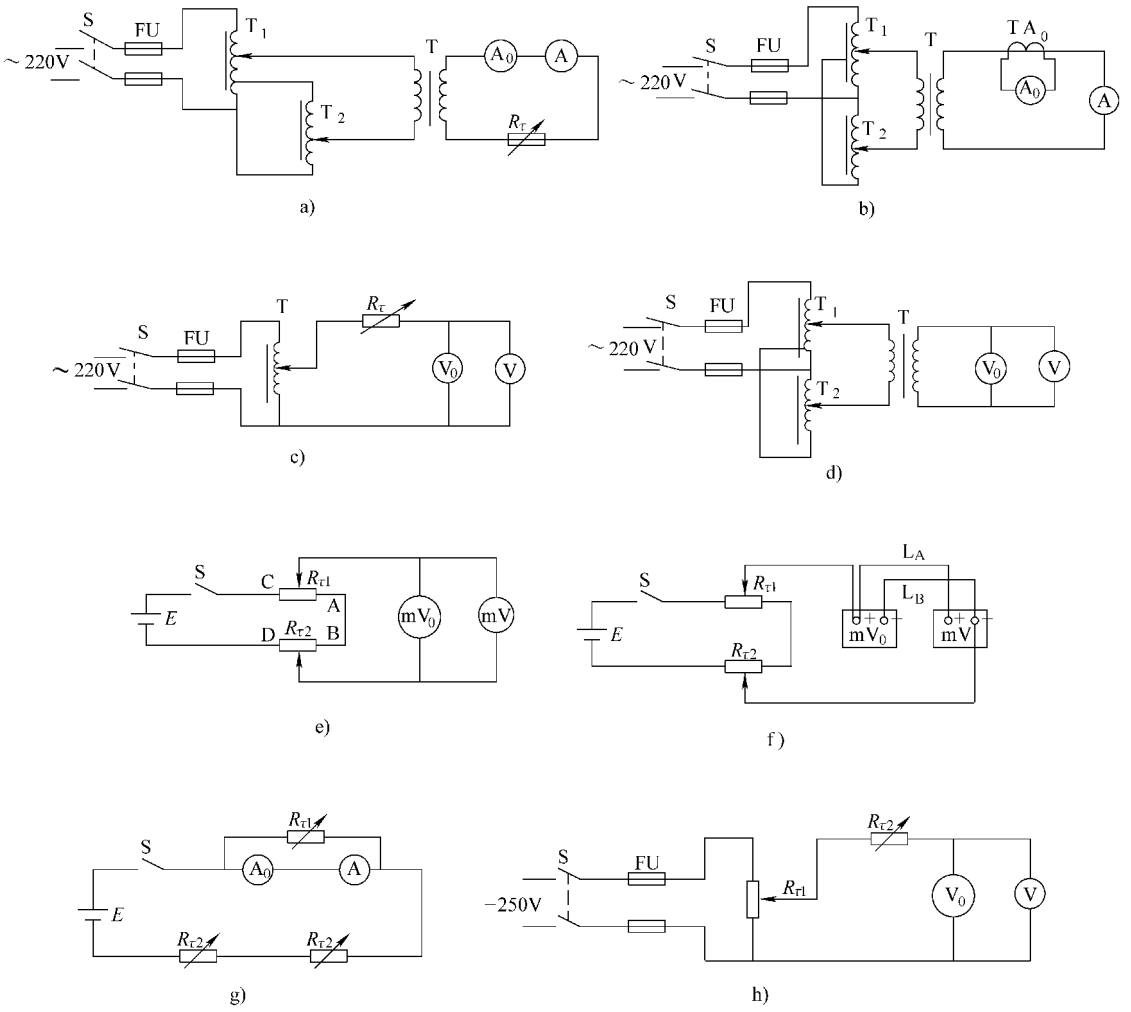


图 5-53　电压表、电流表检定校验的接线

a）有电流比电流表的试验接线

T_1—调压器，0.5～1kV·A

T_2—调压器为10%电压细调，0.5～1kV·A

T—变压器220/20V、200V·A　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，1kV·A

T—大电流变压器，220/6V，2kV·A

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，0.5kV·A　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）

$R_{\tau1}$—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

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

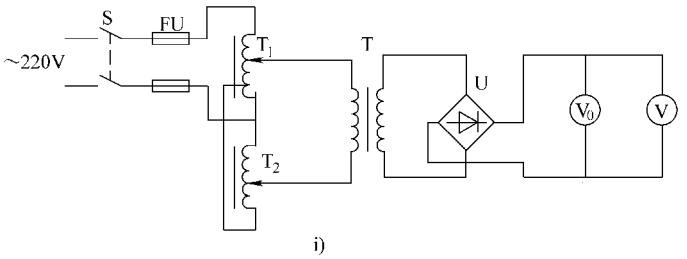


图 5-53 电压表、电流表检定校验的接线（续）

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、200V·A

U—硅整流装置，750V、0.2A

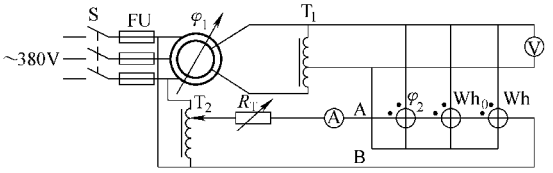


图 5-54 单相电能表校验的接线

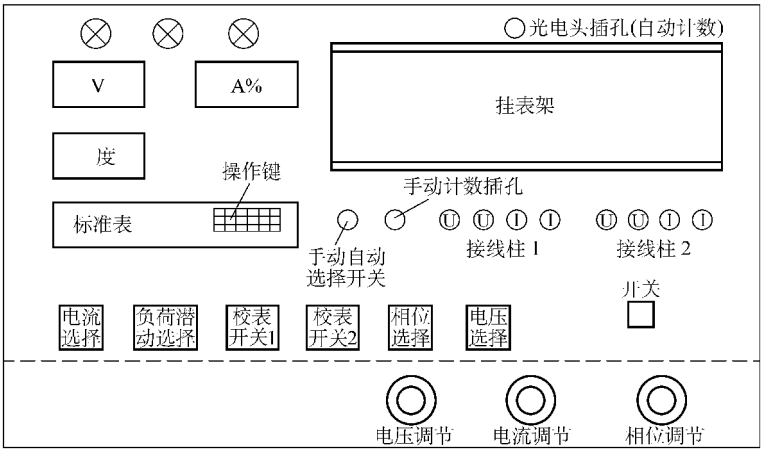


图 5-55 电能表校验台板面操作元件布置图

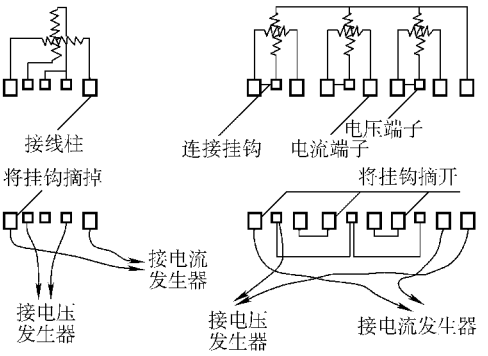


图 5-56 电能表线圈的连接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）按被校表的电流、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，则应将被校表 1 打开，被校表 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，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）款的要求外，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

$$\delta = \frac{A_x - A_0}{A_1 - A_2} \times 100\% \tag{5-30}$$

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；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

$$\Delta b = \Delta''_{max}/(A_1 - A_2) \times 100\% \quad (5\text{-}31)$$

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。

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：

$$R_t = \frac{U_t}{U_s} \cdot R_s \quad (5\text{-}32)$$

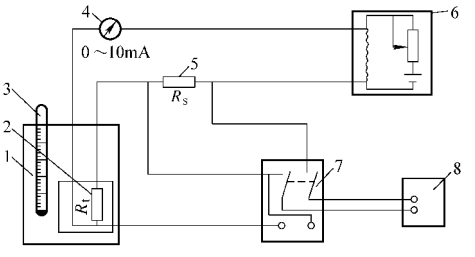


图5-57 热电阻校验接线图

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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	46 ± 0.023	1.3910 ± 0.0007
		BA_2	100 ± 0.05	
	Ⅱ	BA_1	46 ± 0.046	1.391 ± 0.001
		BA_1	100 ± 0.1	
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

$\left(R_0 = 46.00\Omega,\ \dfrac{R_{100}}{R_0} = 1.391\right)$

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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	—	—	—	—	—	—	—	—	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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	$\pm(0.15+3.0\times10^{-3}t)$
			−200 ~ 0	$\pm(0.15+4.5\times10^{-3}t)$
Ⅱ级	铂		0 ~ +500	$\pm(0.30+4.5\times10^{-3}t)$
			−200 ~ 0	$\pm(0.30+6.0\times10^{-3}t)$
	铜		−50 ~ +150	$\pm(0.30+3.5\times10^{-3}t)$
Ⅲ级	铜		−50 ~ +150	$\pm(0.30+6.0\times10^{-3}t)$

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

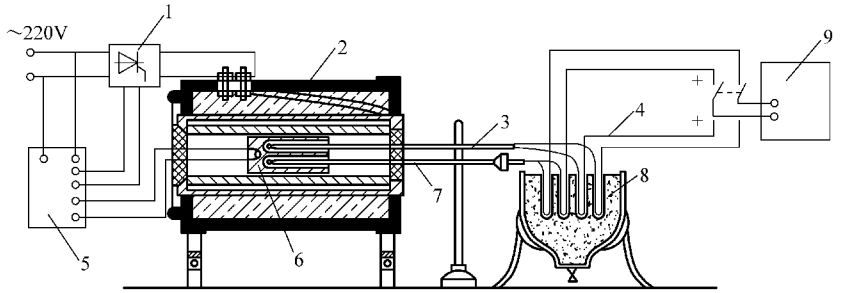


图5-58　热电偶检定装置

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

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向串联组的热电动势差值，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。

$$\Delta t = \Delta t' - C \tag{5-33}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

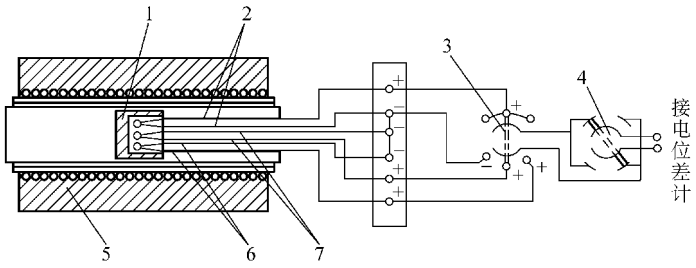


图 5-59　微差法接线图

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

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。

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。

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。

$$\Delta t = t'' - t \qquad (5\text{-}34)$$

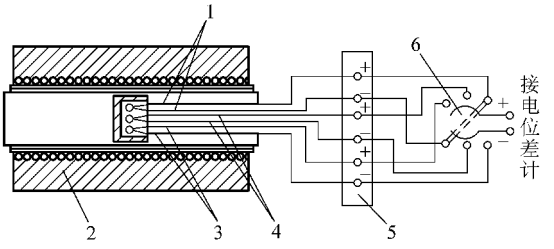


图 5-60　比较法接线图

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

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。

（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。

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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
-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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
-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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
温度/℃	毫　伏（绝对值）									
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

工作端温度/℃	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫伏（绝对值）									
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/（Ω·mm²/m²）
	正极		负极			
	电极材料	颜色	电极材料	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。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

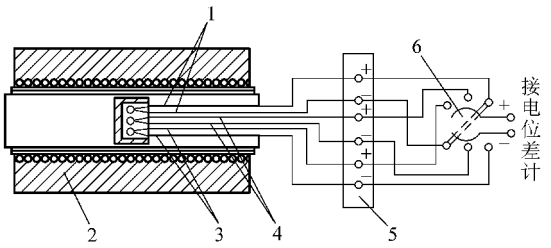


图 5-61　热电偶温度变送器接线图

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

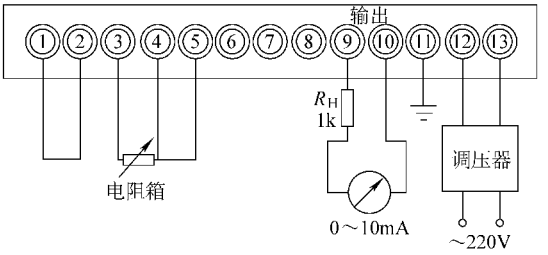


图 5-62　热电阻温度变送器接线图

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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充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。

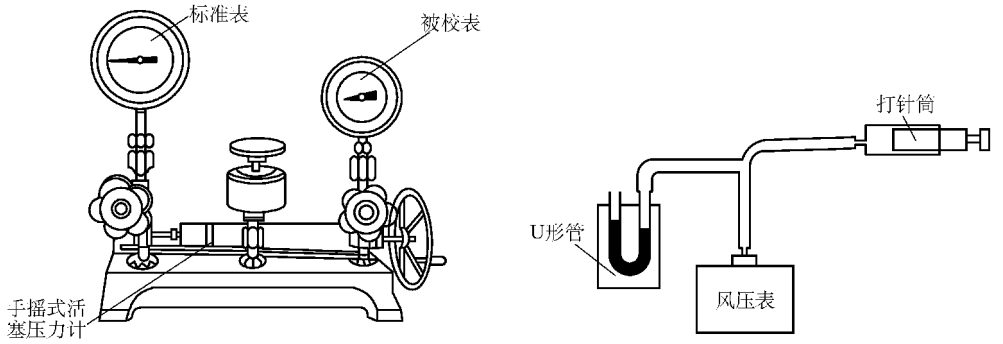


图 5-63 比较法校验压力表

3）电接点压力表的校验：装置见图 5-63。

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，一顺时针扳动，一逆时针扳动，直到不漏油为止。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，观察被校表指针晃动情况，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，指针应指向零位，当温度偏移后，指针应指向最大刻度。

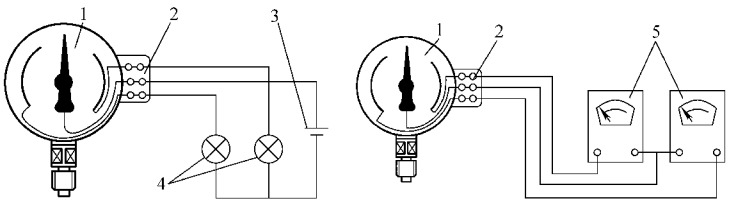


图 5-64　电接点信号试验图

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。如果用充入甘油的专用压力校验器，其甘油需定期更换。

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。

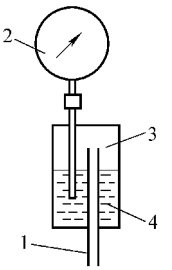


图 5-65　隔离容器示意图

1—接压力校验器

2—被检氧压表　3—油　4—水

（2）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，活动部位均应加润

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

滑油润滑。

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_2O[㊀]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 0～1000mmHg[㊁]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润滑油润滑。

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

㊀ 1mmH_2O = 9.80665Pa，后同。

㊁ 1mmHg = 133.322Pa，后同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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的单管标准压力计或0～1.0kgf/cm^2[⊖]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。

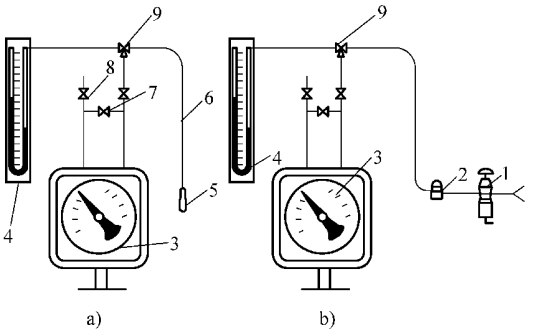


图5-66　差压仪表检定系统图

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/cm^2，0.10级。

⑥ 标准压力表，YB-250，0～1～1.6kgf/cm^2，0.10级。

⑦ 标准压力表，YB-250，0～2.5kgf/cm^2，0.10级。

⑧ 活塞式压力计，YS-6，0～0.4～6 kgf/cm^2，0.05级。

⑨ 活塞式压力计，YS-60，1～60 kgf/cm^2，0.05级。

⑩ 活塞式压力计，YS-600，10～60 kgf/cm^2，0.05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。

⊖　1kgf/cm^2 = 0.0980665MPa，后同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）整机调试：试验接线见图 5-67。

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。

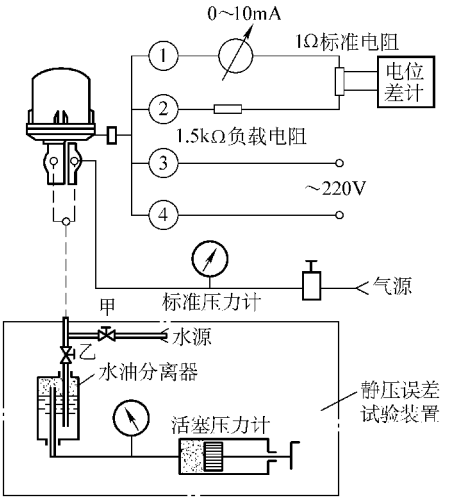


图 5-67 试验接线图

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。

ⓔ 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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

a）低量程静压误差调整方法（以水校为例）：

ⓐ 打开水源阀门，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，拧紧排气螺钉和阀门。

ⓑ 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。

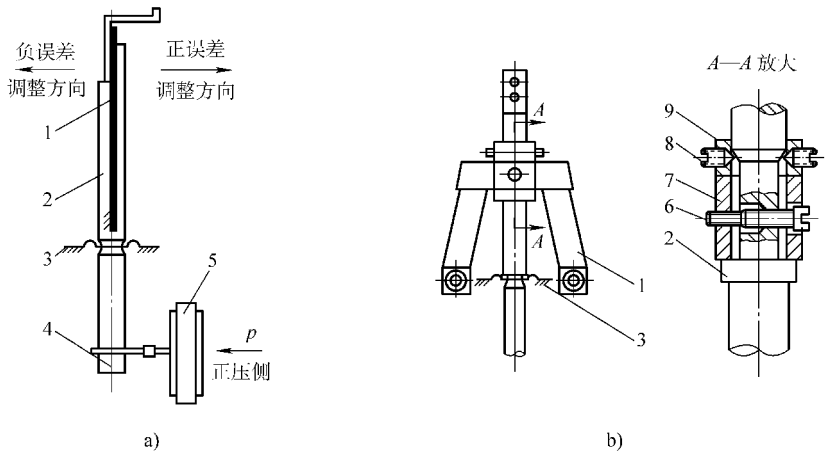


图5-68　静压误差调整装置

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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”——$(0\pm30)\times10^{-6}/℃$；“H”——$(-750\pm100)\times10^{-6}/℃$；“L”——$(-1300\pm200)\times10^{-6}/℃$。

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

$$\text{迁移前量程}=\text{测量上限}-\text{测量下限}$$

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。

$$K=\frac{\text{迁移前测量下限的绝对值}}{\text{仪表的最高量程}}\times100\%$$

当 $K\leqslant10\%$ 时，选用DBC-310Q，5000∶01/3钢丝 $\phi0.8$。

当 $K\leqslant50\%$ 时，选用DBC-310Q，5000∶01/2钢丝 $\phi1.2$。

当 $K\leqslant100\%$ 时，选用DBC-310Q，5000∶01/1钢丝 $\phi1.5$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

装迁移后，仪表的输出会稍微缩小1% ~2%，只需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，分别通入被均分的差压值，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的一半。

（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。

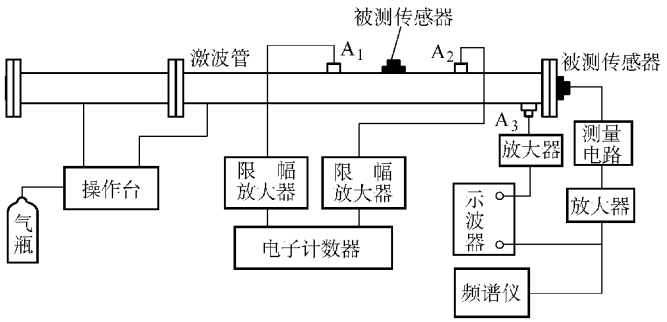


图5-69　压力传感器的动态校验装置

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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、黏度不同时，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

$$W_{max} = F_{max} = \frac{Q_{Hmax}^2 d^2 \gamma}{(14.129K_a)^2 (D^2 - d^2)^2} \tag{5-36}$$

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，$F_{max} = 5.25kgf$㊀，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

㊀ 1kgf = 9.80665N，后同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的输出信号。对气动靶式流量计来讲，它的换算公式为

$$p_0 = \frac{0.8W_{max}}{F_{max}} + 0.2 \tag{5-37}$$

式中，如果 $F_{max}=5.25\text{kgf}$，取 $W_{max}=5\text{kgf}$ 时，则

$$p_0 = \left(0.8\times\frac{5}{5.25}+0.2\right)\text{kgf} = 0.962\text{kgf/cm}^2$$

即砝码最大挂重 $W_{max}=5\text{kgf}$ 时，流量变送器的输出气压 p_0 应等于 0.962kgf/cm^2。

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：

$$\frac{Q^2d^2\gamma}{(14.129K_a)^2(D^2-d^2)^2} = \frac{Q_w^2d^2\gamma_w}{(14.129K_{aw})^2(D^2-d^2)^2} \tag{5-38}$$

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…）代入下列流量方程式：

$$Q = 14.129K_a\frac{D^2-d^2}{d}\sqrt{\frac{F}{\gamma}} \tag{5-40}$$

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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

$$\text{误差 } E = \frac{(I_2 - I_1) - (Q_2 - Q_1)}{I_2 - I_1} \times 100\% \tag{5-41}$$

2）标准名称和标准密度计的方法，见图 5-71。

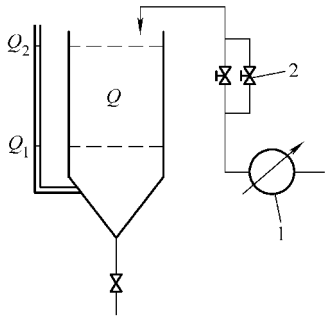


图 5-70　椭圆齿轮流量计标准槽法校验

1—被校流量计　2—阀门

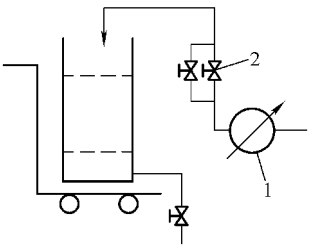


图 5-71　椭圆齿轮流量计标准名称和标准密度计的校验

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

$$\text{误差 } E = \frac{1}{a}\left[\frac{(W'_2 - W'_1) - (W_2 - W_1)}{I_2 - I_1} + 0.0011\right] \times 100\% \tag{5-42}$$

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 E_s，则

$$E = 1 - \frac{I_{s2} - I_{s1}}{I_2 - I_1}(1 - E_s) \tag{5-43}$$

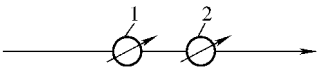


图 5-72　椭圆齿轮流量计标准流量计法校验

1—被校流量计　2—标准流量计

4）黏度误差校正：

① 当被测量流体黏度超过 10cP 时，而试验流体同样超过 10cP 时，不必进行黏度纠正。

② 当测量流体与试验流体的黏度相差超过 ±25% 时，就应该考虑黏度对测量精度的影响。

③ 两种流体的内插法。

$$E = E_2 + (E_1 + E_2)\frac{\mu_1(\mu - \mu_2)}{\mu(\mu_1 - \mu_2)} \tag{5-44}$$

式中　E——仪表精度的百分值（测量流体黏度为 μ 时）；

E_1——当试验流体黏度为 μ_1 时的器差；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

E_2——当试验流体黏度为 μ_2 时的器差；

μ——测量流体黏度；

μ_1——试验流体黏度（1）；

μ_2——试验流体黏度（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/cm^2。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/cm^2，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/cm^2，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/cm^2，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%。

$$\text{比例范围} = \frac{\Delta x}{\Delta y} \times 100\% \tag{5-45}$$

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/cm^2 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/cm^2，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/cm^2。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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。

$$E = -T(0.0337 + 0.0496\lg P_c) \tag{5-46}$$

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。

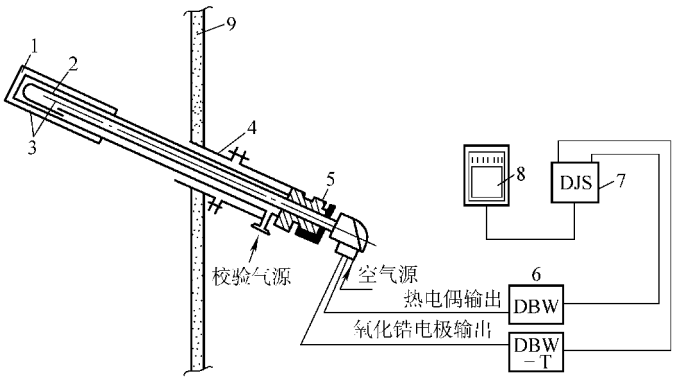


图5-73　直插补偿式氧化锆测氧计测量系统

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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动势与氧分压的关系

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
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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

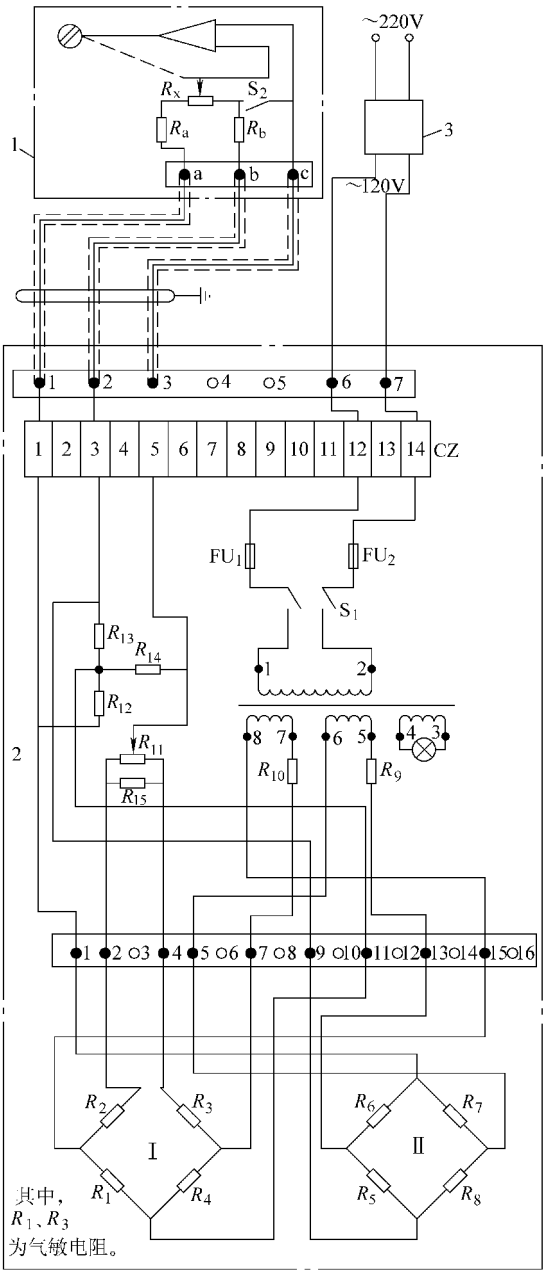


图5-74　氢量发送器与显示仪表配套的电气系统

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%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

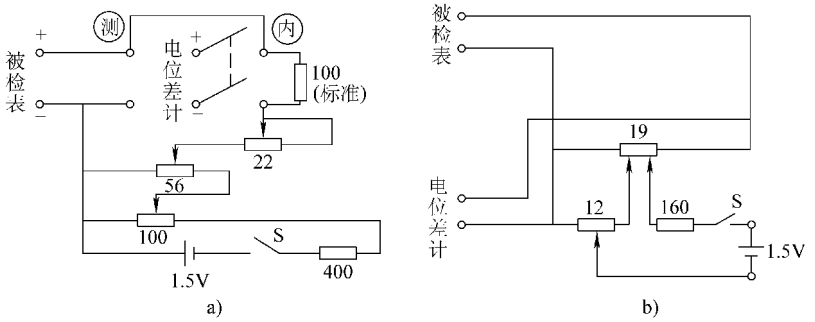


图 5-75 毫伏发生器原理线路

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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

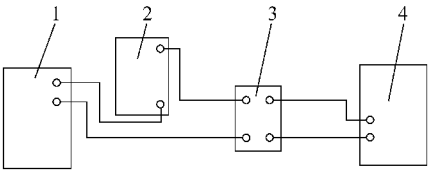


图 5-76　配用热电偶仪表的检定原理线路图

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

（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。

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。

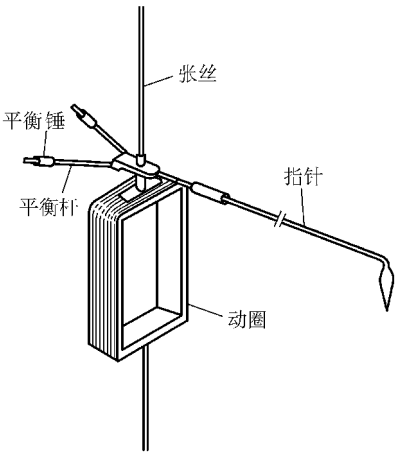


图 5-77　动圈式仪表可动机构示意图

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

3）误差调整：见图 5-78。

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。

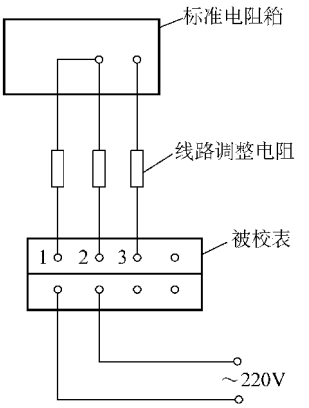


图 5-78 XCZ-102 动圈表校验接线图

1—标准电阻箱 2—线路调整电阻 3—被校表

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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
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 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能力降低，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障现象	原因分析	修理方法
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。

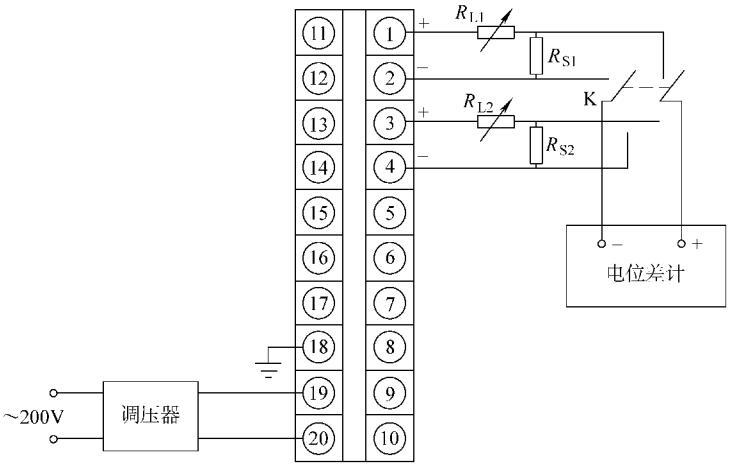


图5-79　校验线路图

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

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：

$$\delta_1 = \frac{|I_1 - I_2|}{10}\% \leqslant 0.25\% \tag{5-47}$$

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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\delta_2 = \frac{|I_1 - I_3|}{10}\% \leqslant 0.25\%$$

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：

$$\delta_3 = \frac{|I_1 - I_4|}{10}\% \leqslant 0.25\%$$

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。

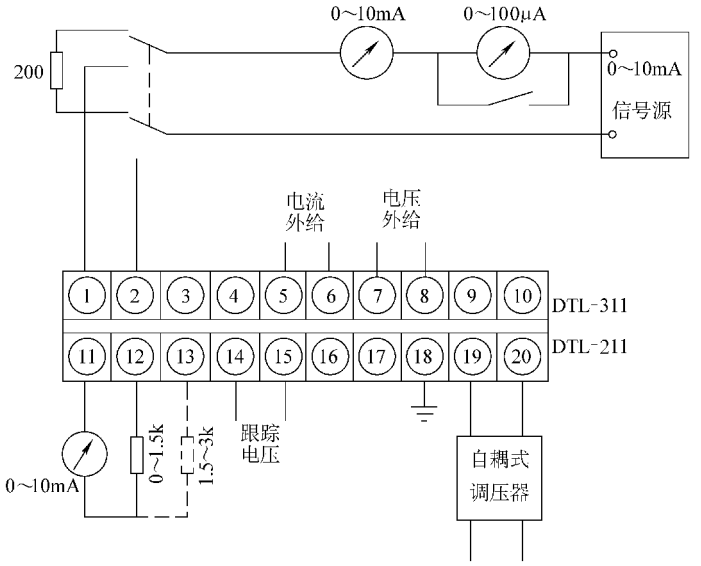
3）自耦式调压器。

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。

（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。



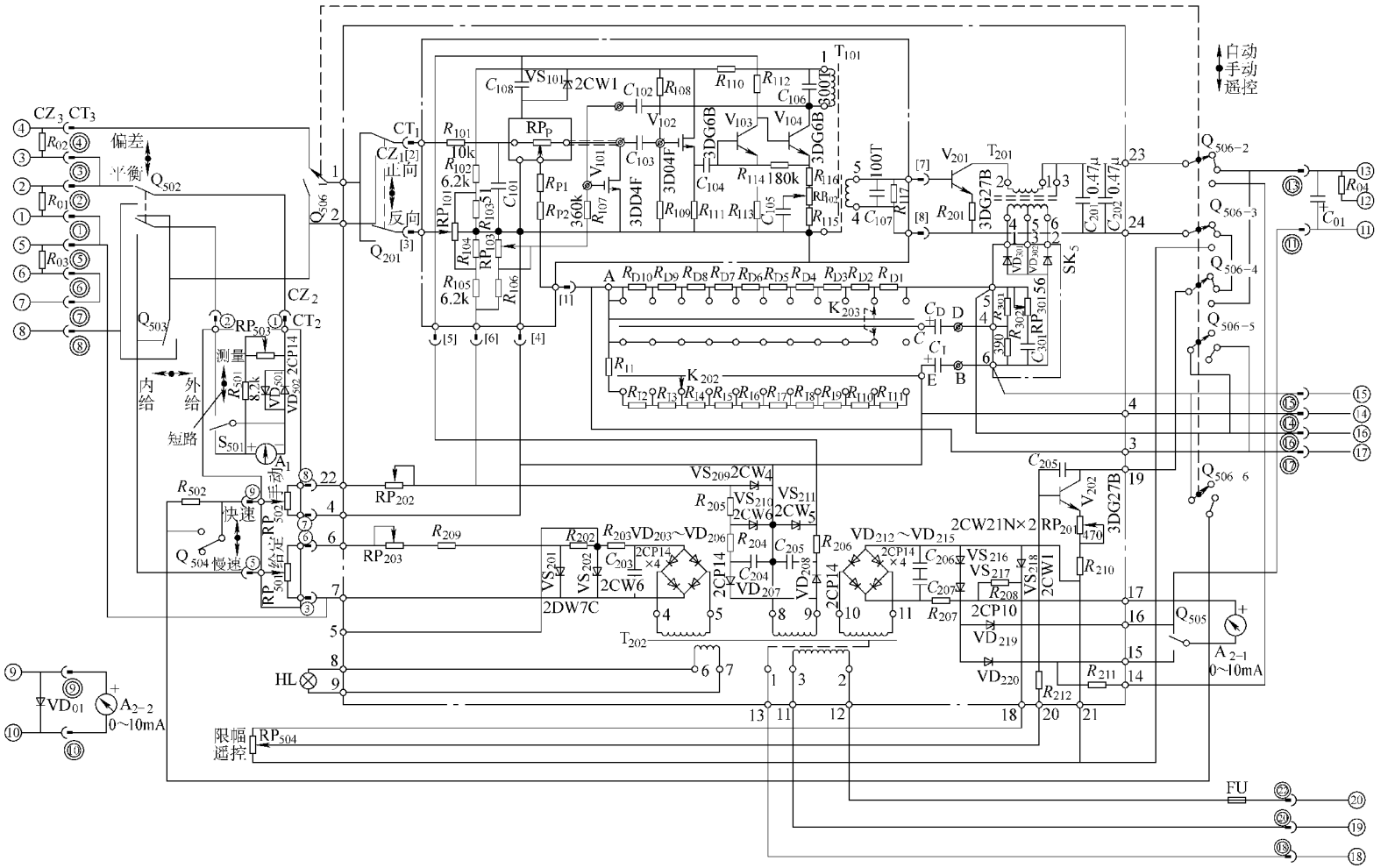
a)

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



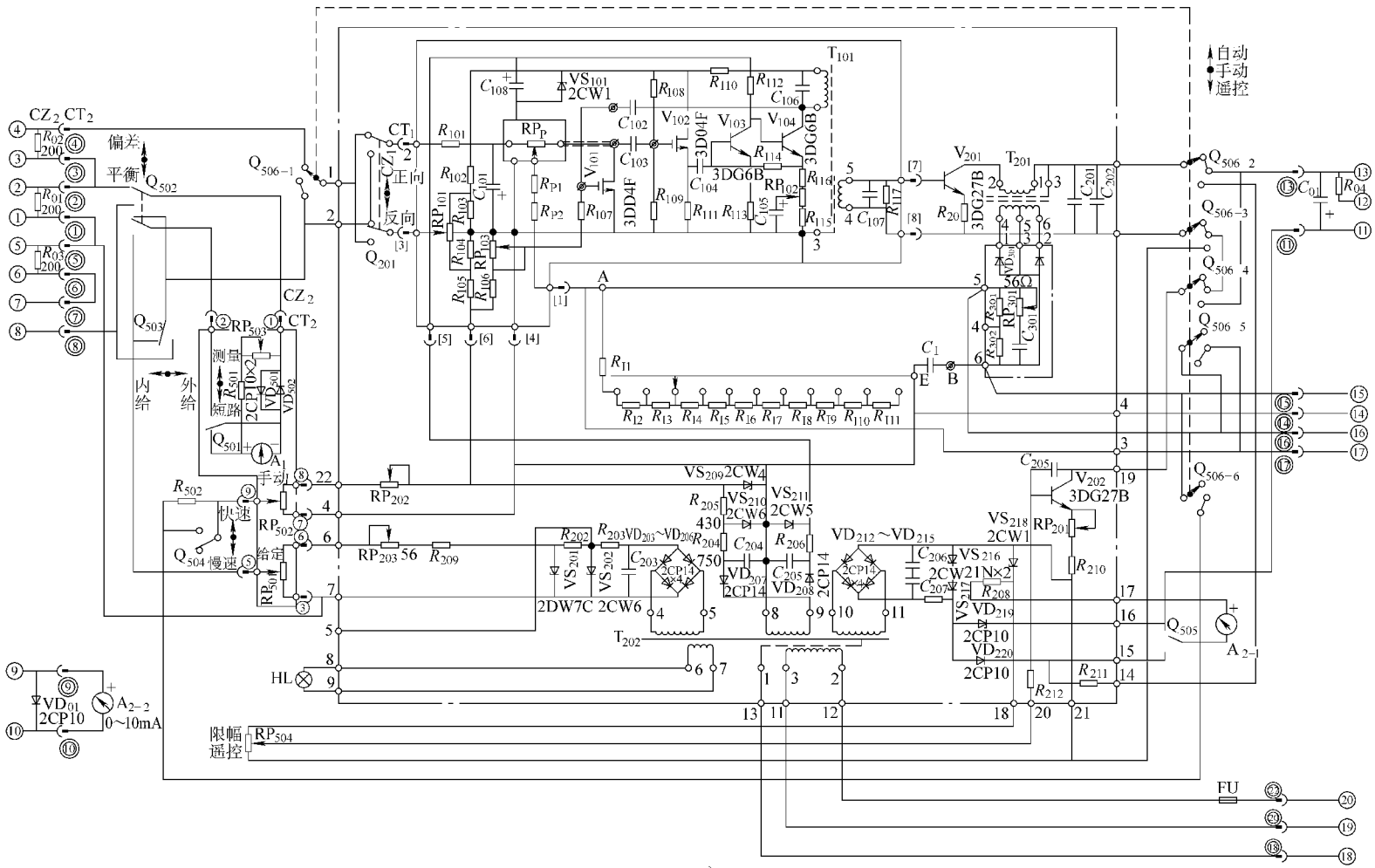
b)

图 5-80　DTL-311、211 型调节器校验接线与线路原理图（续）

b）DTL-311 型调节器线路原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



c)

图 5-80　DTL-311、211 型调节器校验接线与线路原理图（续）

c）DTL-211 型调节器线路原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

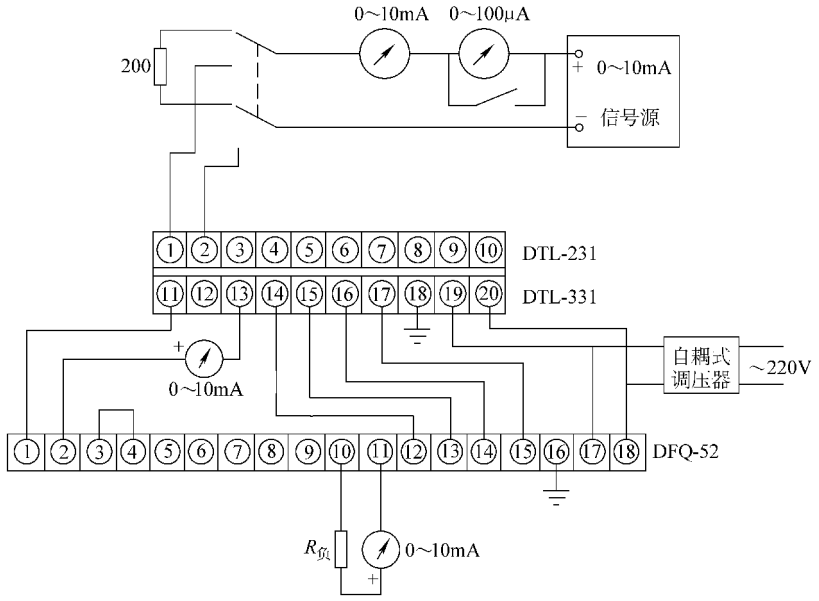


图 5-81 DTL-331、231 型调节器校验接线图

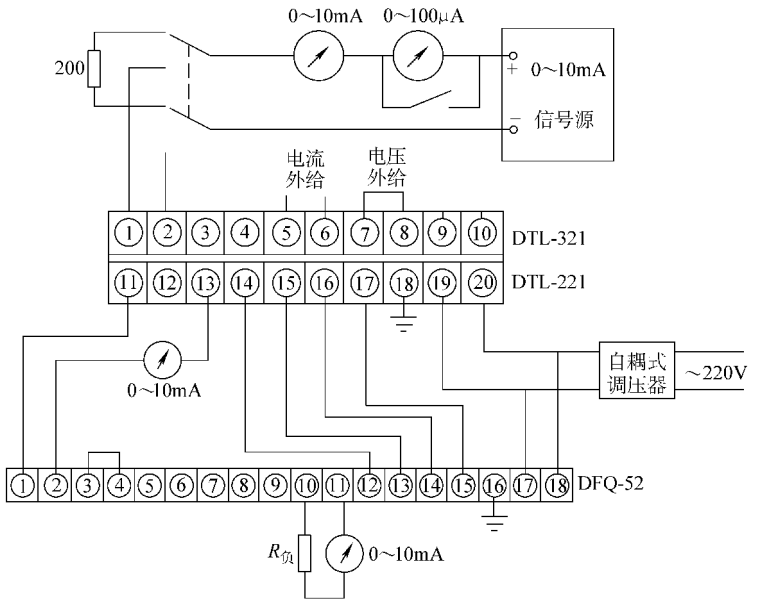


图 5-82 DTL-321、221 型调节器校验接线图

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

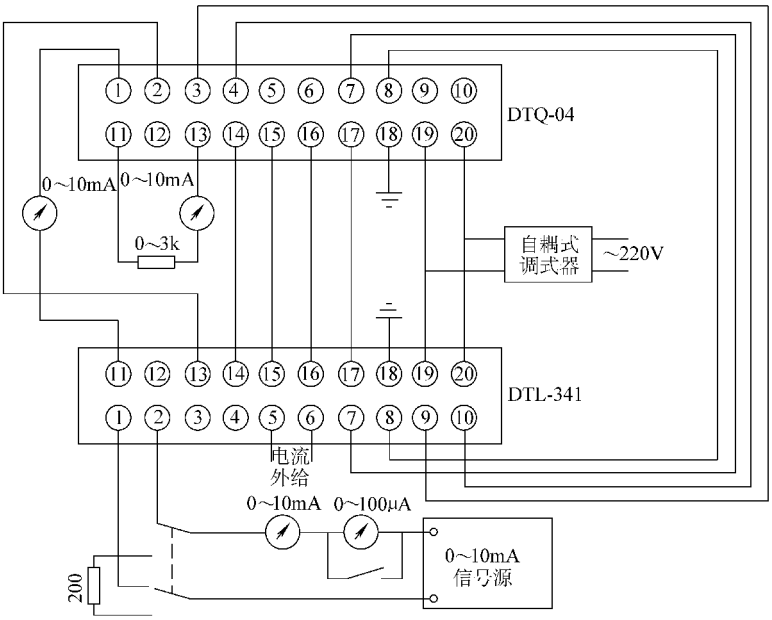


图 5-83　DTL-341 型校验接线图

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。

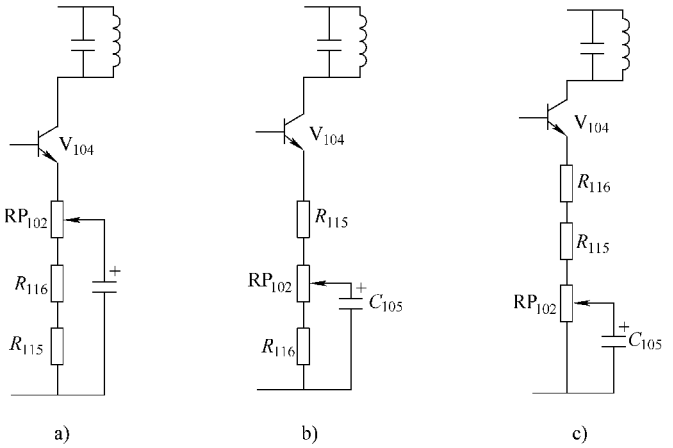


图 5-84　放大器输出调整线路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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} 是否损坏，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

$$P_{实}=\frac{3}{x}\times 100\%$$

$$\delta_P=\frac{P_{实}-P_{刻}}{P_{刻}}\times 100\% \leqslant \pm 25\% \tag{5-48}$$

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。

（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，停止计时，所历时间 $T_{I实}$ 即为实测积分时间，其误差为 δ_{TI}。

$$\delta_{TI}=\frac{T_{I实}-T_{I刻}}{T_{I刻}}\times 100\% \leqslant \pm\frac{50}{25}\% \tag{5-49}$$

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，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

同时启动秒表计时，待输出下降到5mA时停止计时，所历时间 $T_{D测}$ 乘以微分增益 K_D 即为实测积分时间 $T_{D实}$。

$$T_{D实}=K_D T_{D测} \quad K_D=\frac{I_{出}}{2}$$

$$\delta_{TD}=\frac{T_{D实}-T_{D刻}}{T_{D刻}}\times 100\% \leqslant {}^{+50}_{-25}\% \tag{5-50}$$

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 $I_{残}$。

$$I_{残}=0.1K_D T_D+25\mu A \tag{5-51}$$

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

$$\frac{I_{出}}{10}\times 100\% \pm 10\% \leqslant \text{被测挡刻度值} \tag{5-52}$$

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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（h）满量程计数值或满量程计数频率的百分数表示的。

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：

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的一半。

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载电阻（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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

（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：

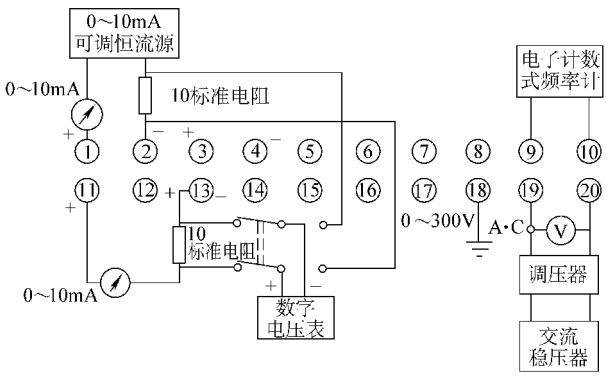


图 5-85　调校接线图

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/h 挡。

2）基本误差校检：校检的积算速度为 1000 字/h、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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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/h，（10000字/h，只需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%)

（2）10mA输入时，3600字/h

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/h

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$I_o=1$mA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$I_i=0.1$mA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/h挡以下，可不予调整；对于1000字/h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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

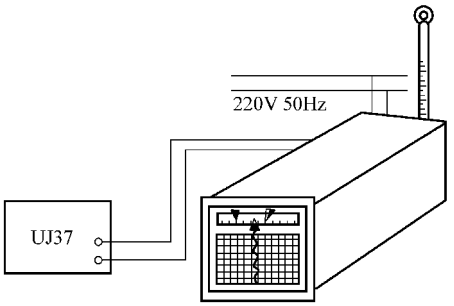


图5-86 冷端在常温下电位差计检定接线图

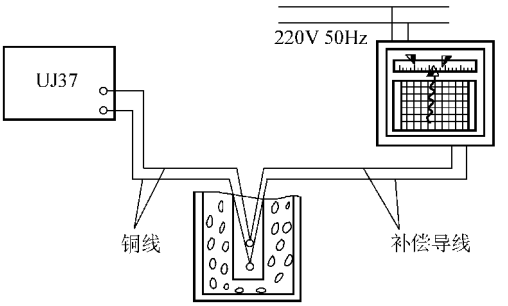


图 5-87 冷端恒定情况下电位差计检定接线图

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
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

示值/℃ / 毫伏 / 室温/℃	0	100	200	300	400	500	600
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

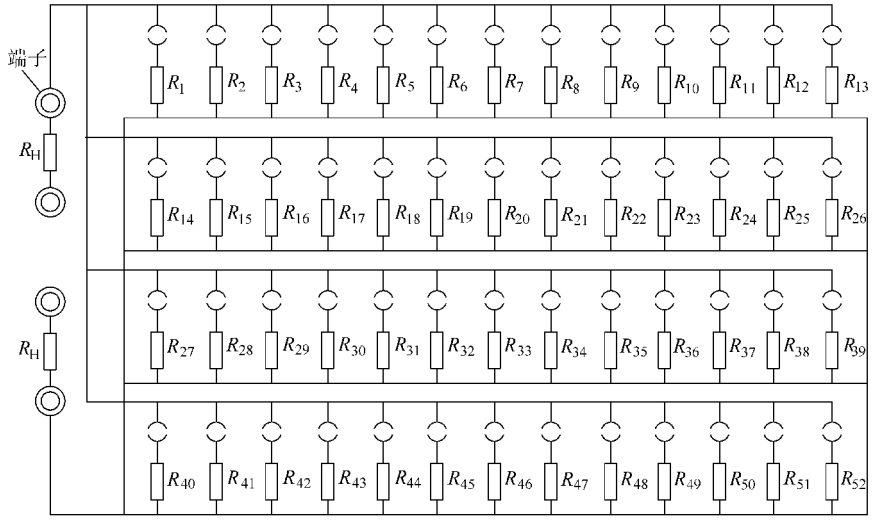


图 5-88　专用电阻箱原理线路

$R_1 \sim R_{52}$—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）

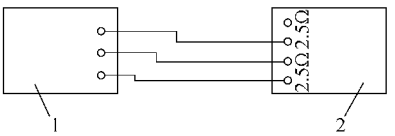


图 5-89　用专用电阻箱检定电桥接线图

1—被检电桥　2—自制标准电阻箱

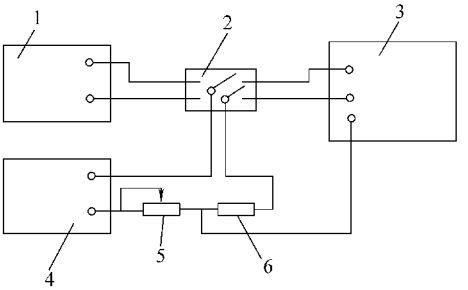


图 5-90　用可变电阻做信号源检定电桥的接线图

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）

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

导线连接电阻不能大于允许误差的0.1（以Ω计）。

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_t 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。

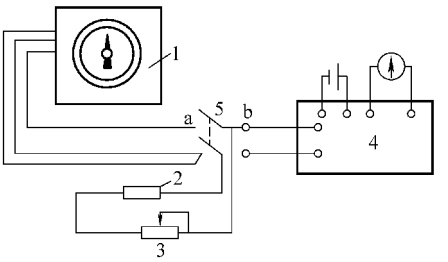


图5-91 电子平衡电桥记录仪的校验

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

⑤ 把电阻调至比 R_t 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

正向误差为 $\delta_1 = R_t - R_1 =$（114.72－114.75）Ω＝－0.03Ω

反向误差为 $\delta_2 = R_t - R_2 =$（114.72－114.68）Ω＝＋0.04Ω

变差为 $V =$（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

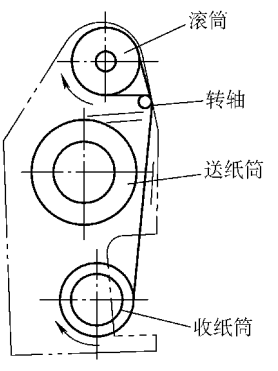


图5-92 记录纸穿卷方向

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

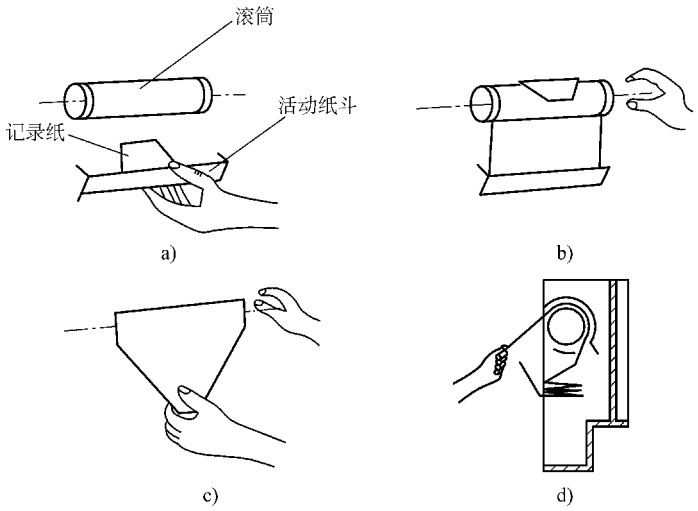


图 5-93　记录纸的放置方法

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 $\delta_{纸}$：

$$\delta_{纸} = \frac{T_{示} - T_{实}}{T_{实}} \times 100\% \tag{5-53}$$

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，应反复加入，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

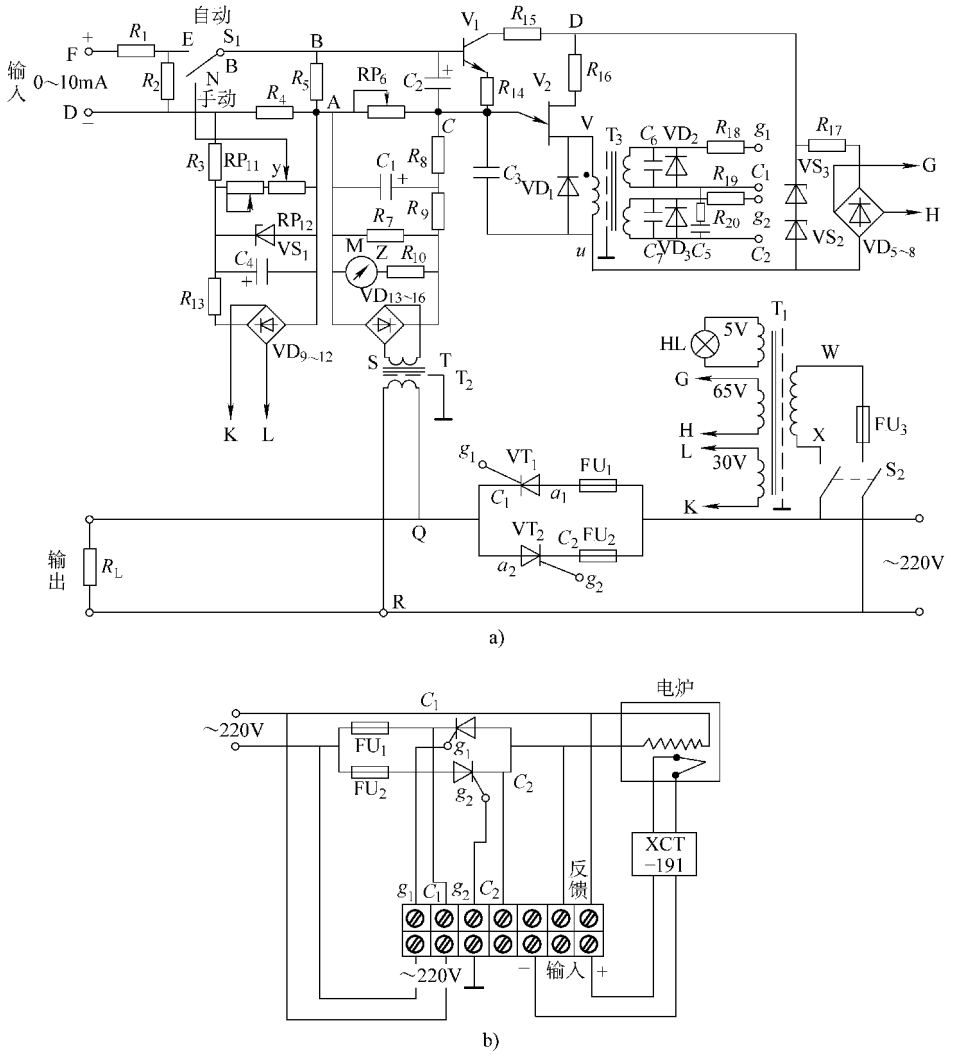
1）预给电压由电阻 R_4 给出，约为 0.45V。

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。



a)

b)

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

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，交流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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

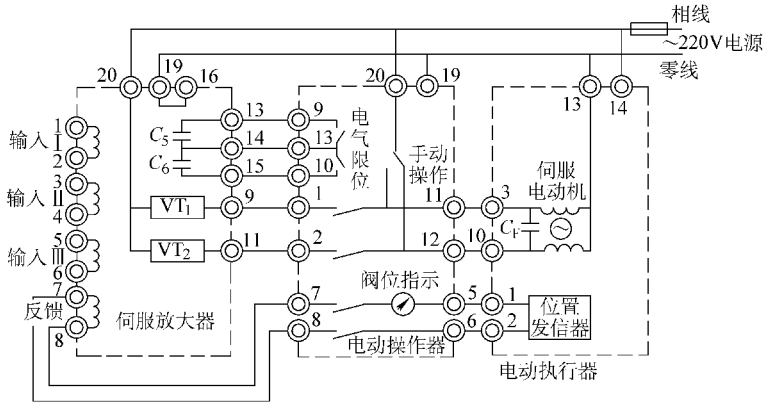


图 5-95 DKJ 型比例式电动执行机构接线图

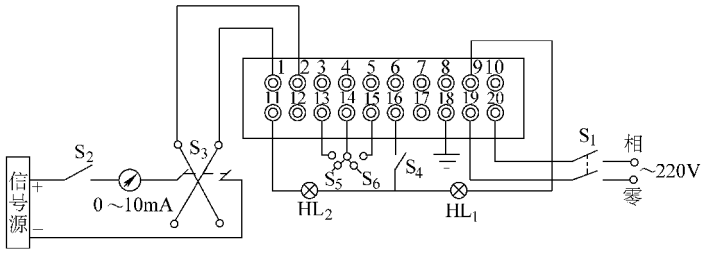


图 5-96 伺服放大器校验接线图

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。

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。

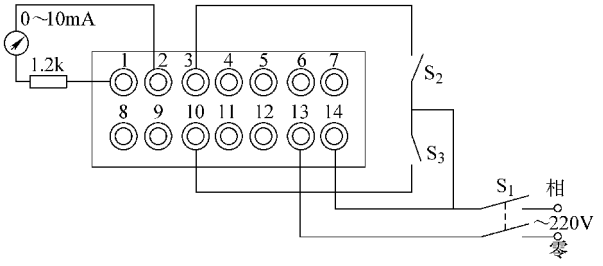


图 5-97 执行机构校验接线图

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”

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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（0.22mm²）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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，与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合上等。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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

行。先用模拟板（箱）对本区域内各设备之间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。

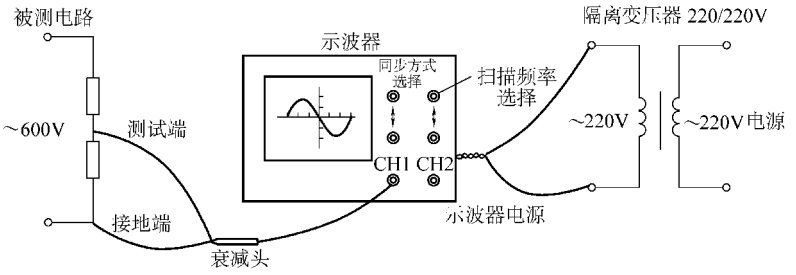


图 5-98　示波器的使用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，并戴绝缘手套，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。

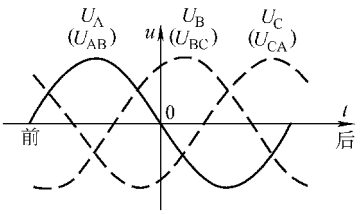


图 5-99 用示波器测相序

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 5-99 所示波形完全一致。

（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 $\pm 90°$ 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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

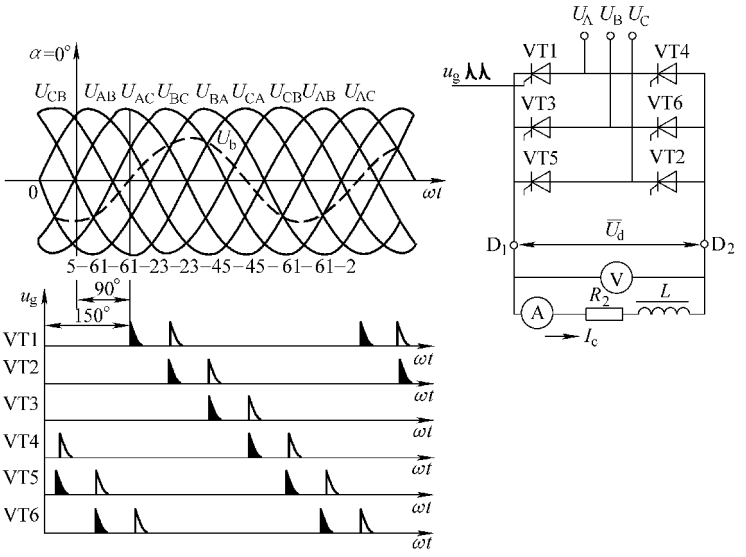


图 5-100　三相桥式电路 α = 90°时各触发脉冲的起始相位

（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，确定主电路不接地。

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电压性能，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 α = 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 $U_d = 0.2 \sim 0.3U_{dm}$（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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

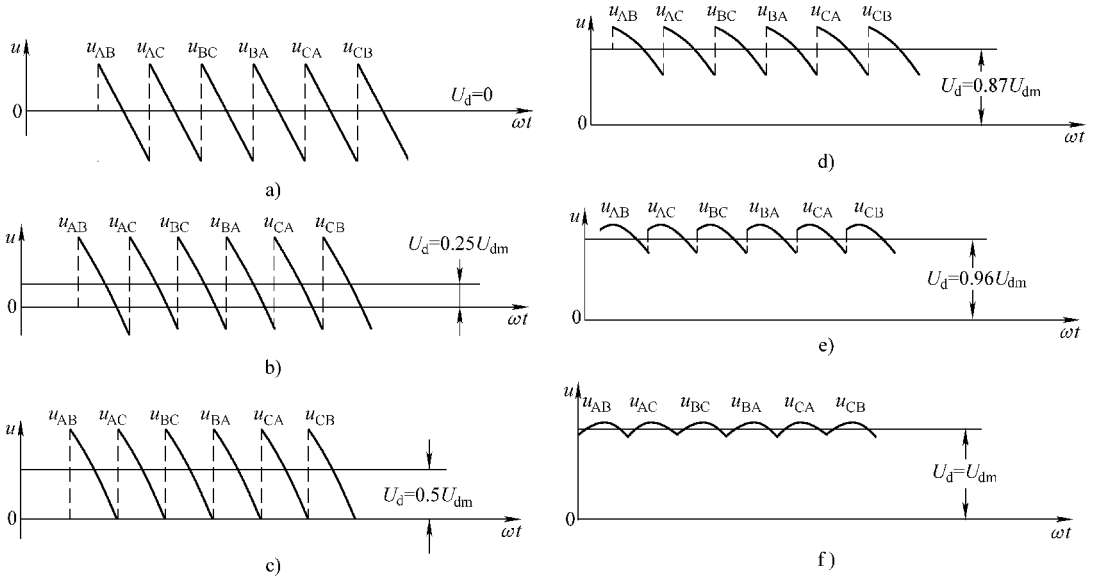


图 5-101 整定三相桥式整流电压波形

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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

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。

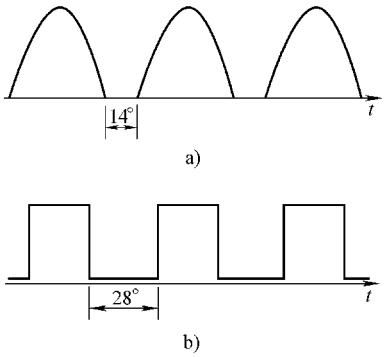


图 5-102　电流断续时电流检测波形

a）电流波形　b）零电流信号的输出波形

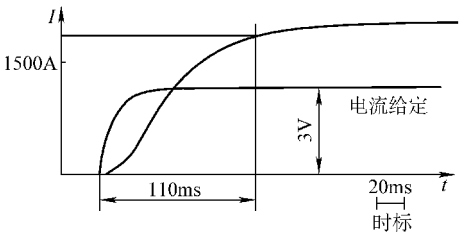


图 5-103　突加给定电流波形

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

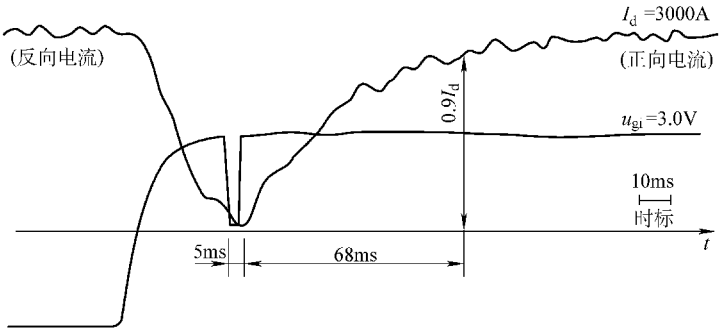


图 5-104 电枢电流正反向切换的动态过程

断续的，再给出阶跃给定信号（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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

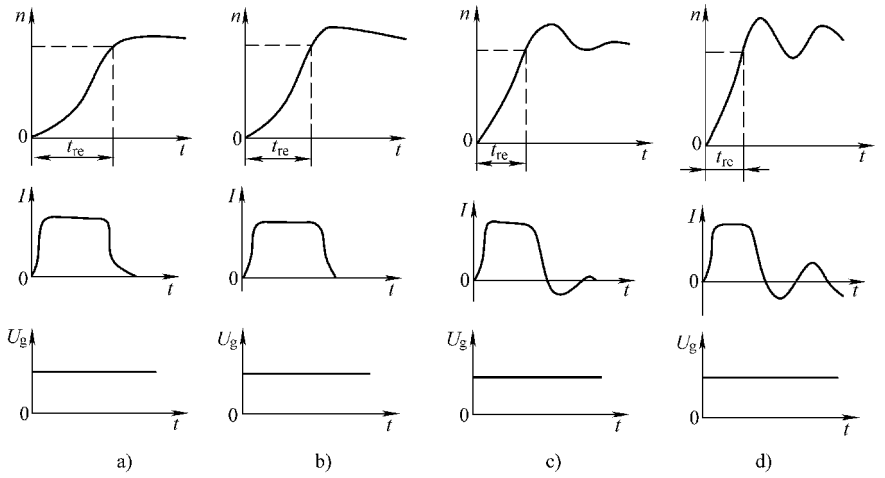


图 5-105　调速系统阶跃响应（对给定）

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%。

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

（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：

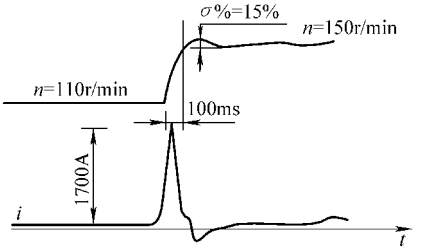


图 5-106　1000kW 带钢热连轧机主传动系统对给定阶跃响应

$$T_e = C_m \Phi I_e = \frac{GD^2}{375} \mathrm{d}n/\mathrm{d}t \tag{5-54}$$

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

$$T = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{1}{C_m \Phi} = I_e \Delta t / \Delta n \tag{5-55}$$

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，扰动特性应与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。

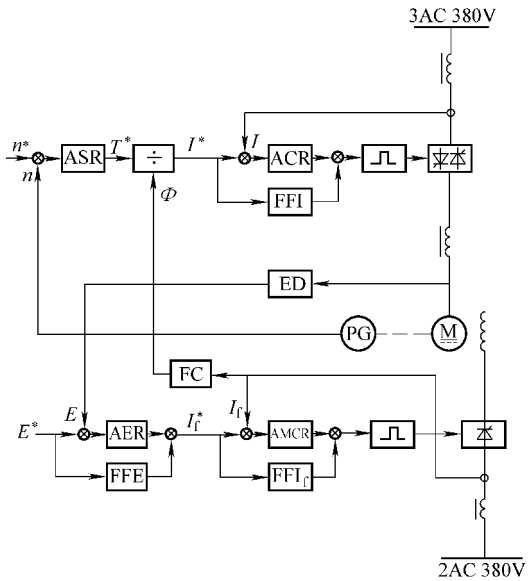


图5-107 非独立弱磁控制的直流调速系统框图

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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 $\beta_{\min}$ 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 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t$ 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。

5）最小触发超前角 $\beta_{\min}$ 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 $\beta'_{\min}$ 大于设置的 $\beta_{\min}$。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

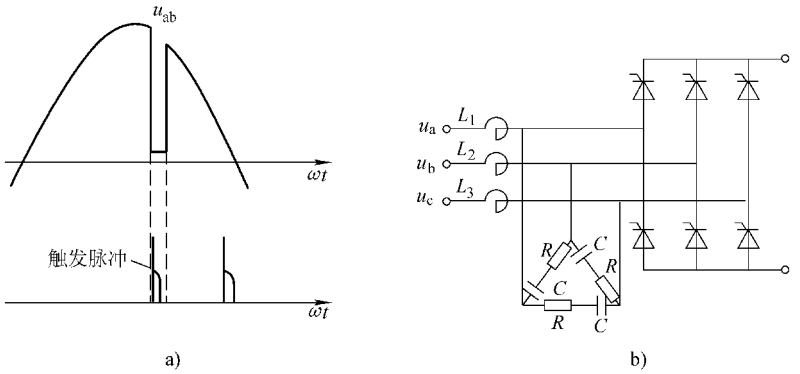


图 5-108 整流电源电压缺口的改善措施

（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。

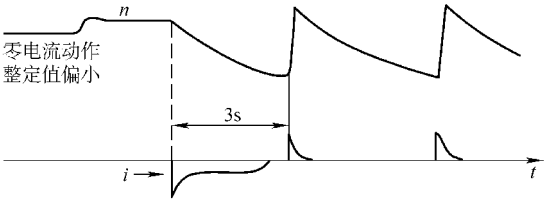


图 5-109 调速系统振荡时示波图（例）

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

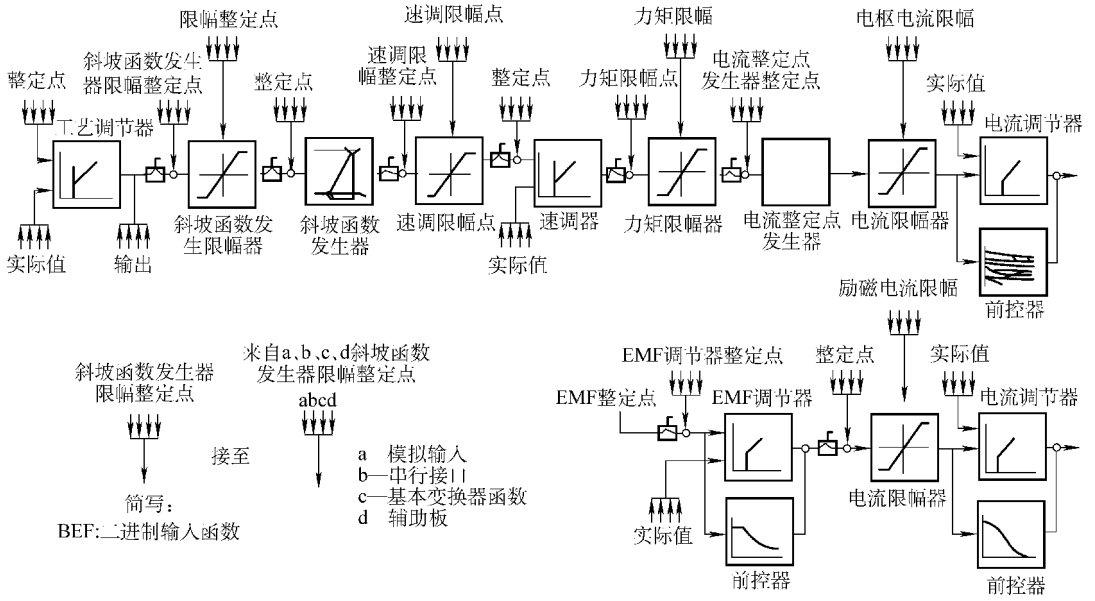


图 5-110　6RA70 系列全数字调速系统简图

（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. ~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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

（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并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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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）西门子公司全数字交-交变频系统框图：采用西门子公司全数字交-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。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

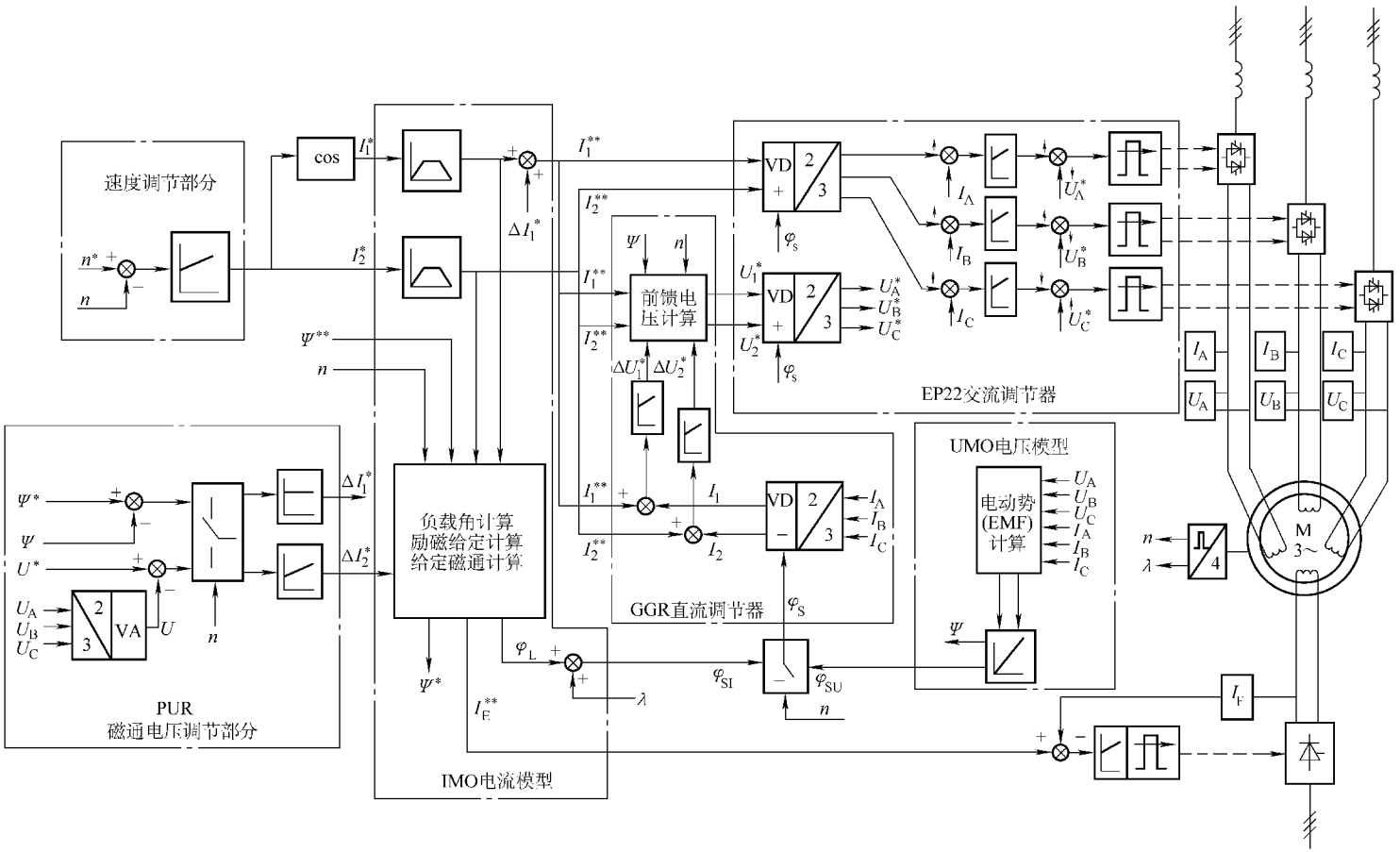


图 5-111 西门子公司用于轧机主传动的同步电动机全数字矢量控制系统原理框图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

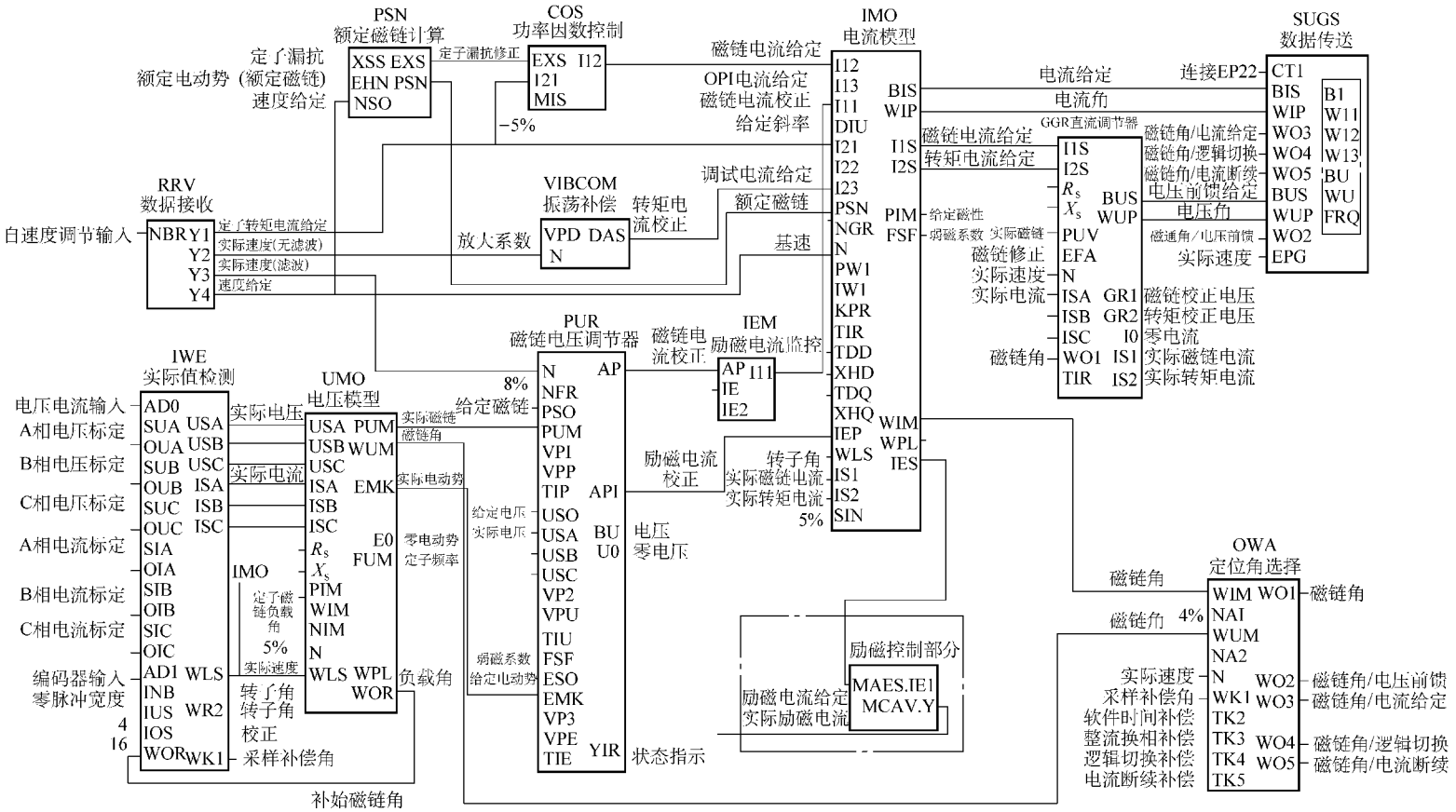


图 5-112　西门子公司用于轧机主传动系统的同步电动机全数字矢量控制模块图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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（交流侧）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，二次侧应开路。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：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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/T 3797—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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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；用扭矩扳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/T 3797—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/T 3797—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试验；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～

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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触发延迟角是否一致（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。

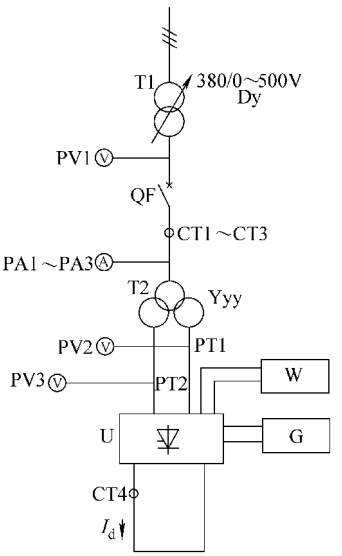


图5-113　短路试验电气原理框图

T1—调压变压器　T2—整流变压器　QF—低压断路器　PV1～PV3—交流电压表　CT1～CT3—交流电流互感器　PA1～PA3—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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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 PA1、PA2、PA3 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。

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_I：

$$K_I = \Sigma U_{Fi}/(NU_{Fmax}) \tag{5-56}$$

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_I——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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

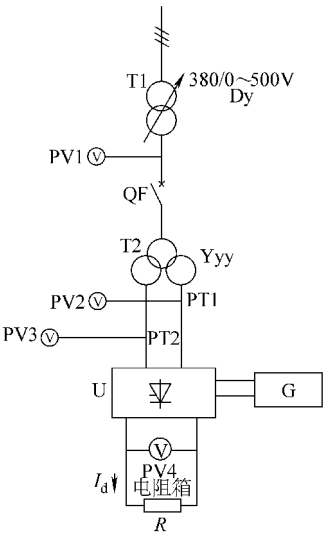


图 5-114　高压小电流试验的电气原理框图

T1—调压变压器　T2—整流变压器　QF—断路器　PV1 ~ PV3—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　PV4—直流电压表　*R*—负载电阻

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第六章　低压系统运行维护电工操作技术技能

我们这里指的运行维护电工主要是指从事低压系统运行维护电工，有关高压系统运行维护电工的技能仅介绍了部分内容，其他请参见第七章。本章详细讲述了运行维护电工必备的技术技能，电动机及起动装置、低压配电装置的检修及维护，常见的电气故障修理等。

一、电动机运行维护的规则及方法

（一）电动机起动设备及控制装置在运行中的注意事项

电动机起动设备及控制装置按其电压等级分别与高压配电装置或低压配电装置的巡视检查、清扫检修及试验的周期、内容、运行中注意事项相同，除正常的维护保养外，尚有以下项目内容。

1）任何种类的电动机起动设备及控制装置在起动电动机时，如不能正常起动或发生异常，则应检查起动控制线路、元器件及电动机和负载，不得强行起动；大型电动机起动前特别重要的是要盘车，以便发现问题。

2）运行中的起动设备及控制装置自动跳闸将电动机停下时，应先分析跳闸原因并检查起动控制线路、元器件及电动机和负载，找出原因并修复或处理后，方可重新起动，同样特别重要的是要盘车。任何情况，严禁强行起动。

3）高压电动机及容量较大的低压电动机，起动前应先检查油路是否畅通，油压及油温是否正常；检查冷却水管路是否通畅，油泵、水泵是否工作正常，如有碍于运行的不妥之处应及时处理；同时应检查电动机的通风情况是否良好。

4）正确选用电动机的起动方法。一般条件下，10kW 以下或轻载起动的电动机可以直接起动，但必须在电源容量允许的条件下（$I_{起}/I_{额}=3/4+$变压器容量/电动机容量），容量较大或 10kW 以上重载起动的电动机应采用串联阻抗、自耦变压器、变频器等间接起动，Y－△起动只适用于 40kW 以下中载、轻载起动的△联结电动机起动，绕线转子电动机一般采用转子串接电阻或频敏变阻器起动，同时，应按使用环境选用起动器的防护型式及等级。

5）电动机起动设备及控制装置的安装应符合 GB 50254—1996 的要求，并有良好的通风，同时应由专人维护检修，并制定维护检修手册及规程，这样有利于电动机的安全运行，也有利于起动设备的安全使用并延长其使用寿命。

6）起动设备及控制装置中的保护继电器及其二次回路运行中必须保证接线正确可靠；各种继电器的整定值应每季校验整定一次，并用漆封好；二次回路应用不小于 1.5mm^2 的硬塑铜线，电流回路应用不小于 2.5mm^2 的硬塑铜线，至少应每半年摇测一次其绝缘电阻，其阻值应大于 1MΩ；每周应校验一次起动设备及控制装置的动作程序的正确可靠性，一般是将总电源开关拉掉，然后操作控制按钮，观察在没有负载的情况下，继电器和接触器动作的正确与否，并检测接触器的吸合状态。

7）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。电动机起动时，应保证过载保护不动作。电动机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

起动时间过长或起动引起电动机温度升高很大时，应考虑减轻负载起动，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，自耦变压器起动电动机的容量应大于实际起动电动机容量一级。

8）丫—△起动器仅适用于轻负载起动且为三角形联结的笼型电动机，容量较大或重负载起动的电动机不适于用丫—△起动器起动。时间继电器的切换及过载保护要求同自耦减压起动器。

9）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。

10）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。

11）变频式交流电动机起动器适合于交流电动机的起动，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。变频起动器的巡视检查、清扫检修及试验应按《电力变流设备施工及验收规范》（GB 50255—1996）的要求进行。

（二）电动机安全运行的基本条件

1）电动机的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，标准号 GB 50170—2006 和 GB 50150—2006，并按周期巡视检查、检修及试验。

2）电动机应在其额定电压（误差为 ±5%）的范围内且交流电的频率为（50 ±0.5）Hz 的范围内运行，进而保证其出力不变。

3）一般电动机运行时冷却空气的温度不得超过 35℃。当电动机周围的空气温度超过 35℃时，应先设法降低电动机外壳的温度，如无效，则应适当降低电动机的负荷，见表 6-1；当周围空气温度低于 35℃时，则电动机的负荷可按表 6-2 适当增加。

表 6-1 冷却空气温度升高对电动机出力的影响

周围空气温度/℃	电流降低百分值（%）
35	0
40	5
45	10
50	15

表 6-2 冷却空气温度降低时对电动机出力的影响

周围空气温度/℃	电流增加百分值（%）
30	5
25 及以下	8

4）电动机各部分的允许温度和允许温升不应超过制造厂规定。如无规定，可按表 6-3 的规定执行。

5）电动机满负荷运行时，各相间电压的不平衡度不得超过 5%；电流的不平衡度不得超过额定电流的 10%。

6）电动机采用熔丝保护时，只适用于小型电动机，容量较大的电动机一般采用断路器、电流继电器和热继电器保护。

7）电动机运行时的振动，不应超过表 6-4 的规定。

8）由室外供给冷却空气的电动机，在停机后应立即停止冷却空气的供给，以防电动机受潮。

9）电动机停止使用三个月及以上时，再次投入运行前应摇测绝缘电阻。额定电压为 500V 以上者，应用 1000V 或 2500V 的绝缘电阻表；500V 以下者，应用 500V 绝缘电阻表。低压电动机应大于 0.5MΩ，高压电动机定子绕组应大于 1500Ω/V；转子绕组，应大于 1000Ω/V；起动柜控制回路应大于 1MΩ。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-3　电动机各部分最高允许温度（t）与温升（θ）（周围空气温度 $t=35℃$）

温度与温升/℃		绝缘等级										测定方法
		A 级		E 级		B 级		F 级		H 级		
		t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	
定子绕组		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	电阻法①
转子绕组		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	
定子铁心		105	70	120	85	130	95	140	105	165	130	温度计法②
集电环		$t=105$　$\theta=70$										温度计法②
轴承	滚动	$t=100$　$\theta=65$										温度计法②
	滑动	$t=80$　$\theta=45$										温度计法②

① 绕组温度用电阻法测量。利用金属导体的电阻随金属导体的温度而增加的特性，可从电动机温度的变化得知电阻数值相应的变化，从而可导出电动机的温度。

② 铁心温度用酒精温度计测量，在有磁场的地方，不能用水银温度计测量，以免水银中产生涡流损耗而发热。温度计应紧贴在铁心上，并用油灰覆盖，以防止发热。

表 6-4　电动机轴承振动允许值

额定转速/(r/min)	3000	1500	1000	750 及以下
轴承振动允许双振幅/mm	0.05	0.085	0.10	0.12

10）高压异步电动机不宜频繁起动，在正常情况下，允许在冷态下连续起动 3 ~5 次；热态下连续起动 1 ~2 次。

11）电动机的起动、停止的操作程序应按电动机及其起动器的正确操作规程执行。

12）防爆通风的电动机与通风系统应有联锁装置。运行时必须先开动通风系统。一般情况下，只有在预通风的时间内，通过的新鲜空气量不少于电动机及其通风系统容积的 5 倍时，才能接通电动机的主电源。

13）电动机起动前，有条件的应先盘车，并空试起动器，动作应正确。

14）电动机失电压或欠电压掉闸后，不允许自行起动的，应装有低电压保护装置。

15）电动机应装设过载、短路、断相、失电压、漏电保护装置，不允许反转的还应装置相序保护装置。

16）电动机应具备以下技术资料，并存档备案：电动机原始技术资料；电动机安装及调整技术资料；保护装置及二次控制回路接线图；缺陷及巡视检查记录；运行记录；电动机试验及绝缘分析记录；电动机选择依据及计算数据等。

（三）电动机巡视检查的周期及项目内容

1）电动机运行中的巡视检查周期是根据安装地点的环境及使用特点制定的，一般情况下，有人值班的应每班一次；无人值班的应每周一次。

2）电动机的各种控制、保护、起停、联锁等装置应定期检查、调整及试验。一般应每年至少一次。

3）电动机的通风冷却设施应每周巡视检查两次；对油环润滑电动机的轴承，每班至少巡视检查两次。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）对频繁起动的电动机、容量较大的电动机、使用条件恶劣的电动机及其起动设备、附属设施应增加巡视检查次数。

5）巡视检查的项目内容

① 运行的电动机其电流是否超过允许值，是否与实际负载相对应，是否存在突变，电压是否在允许范围以内，是否断相，通常用钳形表实测。

② 电动机各部位的温度是否超过允许值，见表 6-3。

③ 轴承是否过热，有无异常声音，油位指示器的油位是否正常，油环转动是否灵活。

④ 电动机运行声音和振动是否正常，有无异常声音、气味、焦煳味及打火等异常现象。

⑤ 电动机的转速是否正常，有无转速不匀现象，可用转速表检查。

⑥ 由室外引入冷却空气的电动机应注意空气管路是否畅通，各连接部是否紧密，管路上的闸门位置是否正确。自然通风的通风情况及效果是否良好。

⑦ 电动机的接线、接地线的连接是否松动，有无过热或打火现象。

⑧ 电动机的风扇、风扇罩、传动带或联轴器的护罩是否完好，室外电动机的防护篷是否完好；电动机本体是否洁净，有无杂物或污迹，通风槽是否被堵塞等。

⑨ 电动机的地脚螺栓是否松动，基础是否完好，周围有否杂物等。

⑩ 同步电动机、绕线转子异步电动机、直流电动机还应检查电刷与集电环的接触情况是否良好，打火是否严重。集电环电动机集电环短路手柄是否在运行位置，电刷是否已抬起。同步电动机的励磁系统是否正常。

⑪ 可调速的电动机在运行中应根据生产工艺的需要，检查调速功能是否正常，调速范围是否满足工艺要求。

6）电动机合闸运行前应检查的项目内容。

① 检查人容易碰触的传动部位的保护设施是否牢固，周围有无杂物。新投入运行的电动机还应检查使用条件、接线与铭牌数据是否相符，绝缘电阻、绕组直流电阻、空载电流、转速、噪声及轴承等。

② 电动机的控制、保护设备是否完好，工作是否正常，必要时应空投试验动作的正确性。

③ 检查轴承和充油起动设备中是否缺油，如系强力润滑，应先使油路投入运行。轴承用水冷却，应先打开冷却水。

④ 电动机的轴承能否自由转动，对于滑动轴承转子的轴承游动量每边应有 1 ~ 2mm 的旷量。

⑤ 凡能盘车的机械必须进行盘车，以证实转子与定子不互相摩擦及轴承转动良好，所带的机械设备处于完好状态，没有被卡死阻塞。

⑥ 由室外引入冷却空气的，应先检查闸门是否已打开，通风口有无被堵塞等。

⑦ 新投入运行的电动机，检查完毕后，应先不拖动负载空转 8 ~ 16h，并注意空载电流（1/3 额定电流左右）、轴承及机壳温升，声音、振动、局部发热等现象，如有不正常现象，应立即停车排除。

7）统一集中控制的多台电动机，应检查联锁装置和统一制动装置是否正常可靠。

8）远控或多点控制的电动机，应检查各控制点“起、停”信号是否正确，并检查相对应的联锁装置是否可靠。互为备用自起动的电动机应检查电气联锁和机械联锁装置是否可靠。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9）绕线转子电动机电刷、集电环的检查。

① 电刷与集电环间接触磨损是否正常，运行中有无火花，通常应清理集电环表面，并用0号砂布打磨集电环，并校正电刷弹簧的压力；打磨时应用与集电环同弧的压板压住，见图6-1。

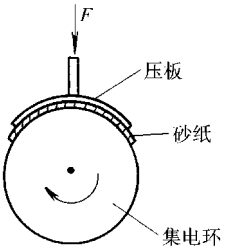


图6-1　集电环的正确打磨方法

② 电刷铜辫子是否完好，接触是否紧密，是否与外壳短路及过热现象。电刷磨损到2/3时应更换。

③ 电刷与刷握内应无污垢，如有积碳应及时清除干净。

10）运行中的电动机，若绕组的绝缘电阻值与上次相比较（换算到同一温度下）降低50%及以上时，则应作耐压试验。绝缘电阻的测量一般是每六个月进行一次。

（四）电动机检修试验的周期及项目内容

（1）电动机的检修应根据安装场所的环境条件、电动机的型号及运行情况确定。一般情况下，小修的周期为半年到1年；大修的周期为1～2年。使用环境良好的场所，周期可适当延长一年。

（2）电动机小修项目内容

1）清除电动机外部灰迹及油垢。

2）检查轴承及其润滑情况，可补或换润滑油，或更换轴承。

3）检查集电环和换向器，调整或更换电刷。

4）紧固各部螺钉（接线、地线）。

5）摇测绝缘电阻。

6）检查引出线的连接及包扎捆绑绝缘情况是否良好。

7）检查和清扫起动控制设备，检查操作标志字样是否清楚；起动程序及动作是否正常，元器件有无损坏或缺陷等。

8）清除内部积灰，检查定子和转子有无不妥或扫膛等。

9）空载试验。

（3）电动机大修项目内容

1）小修各项目内容。

2）电动机解体，清洗内部污垢油渍。

3）检查定子绕组、磁极绕组的绝缘情况，槽楔是否松动，线圈匝间有无短路或烧毁痕迹，若有短路或烧毁且不能妥善处理时，应更换绕组。

4）检查通风、冷却、润滑系统。

5）检查铁心有无松动及与转子有无摩擦痕迹。

6）检查笼型转子或绕组有无断裂或烧毁，转子平衡块及风扇是否松动。

7）绕组绝缘处理、刷漆、干燥、焊接、绑扎、紧固等。

8）电动机组装、喷漆防腐。

9）测量电动机绕组及起动装置的直流电阻，其结果与上次结果或制造厂数据比较，差值不应大于20%，且三相平衡。测出的电阻值应按下式换算成同一温度下的数值：

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \tag{6-1}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 R_1——温度为 t_1 时所测得的直流电阻值；

R_2——换算到温度为 t_2 时的直流电阻值。

10）高压电动机保护装置的检查、调整及试验。

11）空载试验。

12）大修起动设备、更换损坏元器件，并调整试验等。

13）执行标准主要有 GB 50170—2006、GB 50171—2012、GB 50254—1996 和 GB 50150—2006 等。

（4）交流电动机大修后的试验项目

1）绝缘电阻及 500kW 以上的吸收比的测量。

2）定子绕组交流耐压试验，40kW 以下可摇测绝缘电阻（1000V 绝缘电阻表）。

3）绕线转子异步电动机绕组的交流耐压试验。

4）转子及定子绕组包扎捆绑线的绝缘电阻（一般用 2500V 绝缘电阻表）。

5）定子绕组的直流电阻。

6）起动变阻器的绝缘电阻、直流电阻及交流耐压试验。

7）定子绕组的极性及其连接的正确性。

8）高压电动机及容量在 320kW 及以上的电动机应做直流耐压及泄漏电流的测量。

9）高压电动机轴承的绝缘电阻。

10）空载试验及转速的测定。

（5）直流电动机大修后的试验项目

1）测量励磁机电枢绕组对轴及金属绑线的绝缘电阻。

2）测量绕组对外壳、电枢绕组及包扎捆绑线对轴的交流耐压试验。

3）测量绕组的直流电阻。

4）测量电枢整流片间的直流电阻。

5）测量可变电阻器的绝缘电阻、直流电阻及交流耐压试验。

6）检查绕组的极性及连接组别的正确性。

7）空负荷试验及转速的测定。

（6）同步电动机大修后的试验

1）绕组对机壳及其相间绝缘电阻的测定。

2）绕组冷态下的直流电阻。

3）励磁机试验。

4）空载试验及转速的测定。

5）绕组对机壳交流耐压试验。

6）轴电流的测量。

7）绕组的极性及连接组别的正确性。

（7）对于不可逆电动机及驱动的设备，检修后应对其转动方向是否与原来标明的方向一致加以说明。

（五）高压电动机检修时应注意的安全事项

1）检修高压电动机及其起动装置时，应填写作业票，并且做好下列安全措施：

① 断开变配所（室）送往高压电动机回路高压柜上的开关，或将小车开关从柜内拉出

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

并关门上锁，然后在合闸操作手柄或控制盘上合闸转换开关的手柄上悬挂“禁止合闸，有人工作!”的标志牌。

② 在高压电动机起动柜的总开关的上闸口验电，确认无电并经放电后，装设临时接地线或在隔离开关闸口间设置绝缘隔板。

③ 若拆开电缆头，必须三相短路接地。

④ 拆开电动机与机械设备相连接的联轴器或带轮上的传动带，防止电动机转动。同时在机械设备的输入或输出等可控部位悬挂“禁止转动”的标志牌。

⑤ 必要时，应在周围设置围栏绳，以免非作业人员进入现场。

2）禁止在转动着的电动机及其相关装置上进行作业。如必须在转动着的电动机转子电阻回路上进行作业时，应先提起电刷或将电阻完全切除。作业时，应使用有绝缘手柄的工具，穿绝缘靴并站在绝缘垫上；在运行中进行研磨电动机转子上的集电环或换向器时，应将袖口扎紧，并戴上护目镜。

3）电动机的引出线、电缆头以及外露的转动部分，均应装置牢固的遮栏或护罩。电动机的外壳、起动装置的外壳均应可靠接地。禁止在运转中的电动机接地线上进行作业。

4）电动机抽心时，所用的起重设备及吊具应满足吊重的需要，并检查合格；抽心应编制方案且把所用器具及材料准备齐全，并有足够大的场地；抽心应按起重安全规程进行，并保证不触及电动机的线圈、集电环、碳刷及绝缘部分等。抽心必须由电钳工、起重工配合。进入定子内作业时，必须穿软底鞋，且不得携带任何金属物品。

5）高压电动机起动装置的检修应按设备的检修规程进行，检修后应进行调整及试验，电动机的起动装置，必须保证能在短路、过载、欠电压、过热、油压或水压不够或者发生差动时可靠跳闸。检修后的起动装置空操作应正常，且模拟的跳闸信号输入后应可靠动作。

6）在检修作业尚未全部终结，而需要送电试验电动机或起动装置时，应收回作业票，并通知机械检修等有关人员，方可送电。送电后，必须执行电气安全有关规程和操作规程。

7）高压电动机的起动装置若安装在较潮湿的场所，除必须有良好的外壳接地保护外，进行操作试验时，作业人员必须戴绝缘手套，并站在绝缘垫上进行操作。

8）高压电动机的检修作业，还必须严格执行保证安全的其他组织措施和技术措施。

（六）低压配电装置及电动机检修时的安全事项

1）低压配电柜（箱、盘）、低压线路干线上的作业，应填写小组作业票；在低压电动机和照明回路上作业，应使用第三种作业票，即口头或电话命令，同时应做好以下安全措施：

① 低压线路或设备上作业，至少由 2 人进行。

② 将被检修的电气设备或线路的各个电源断开，取下熔断器，并在隔离开关操作手柄上挂“禁止合闸，有人工作!”的标志牌。在无人值班的配电室，应将门窗锁好，或派专人看守，以防不测。

③ 作业现场的进线侧或主开关上闸口，应进行短路接地，或将进线侧的主开关的操作手柄锁住，以防误操作。进行上述措施时，应先验电放电，同时作业中应确保无电。

④ 低压母线或低压干线上作业，应将母线或干线接地短路。如柜内进线开关相间距离太小，无法进行短路接地时，除将开关断开外，可在进户处将电源线短路接地。短路接地作业后应立即拆除。

2）低压电动机及其起动设备的检修作业必须做到：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 将电动机与被拖动设备连接的部位拆开。

② 起动设备的总开关拉开且锁住，并将控制回路的熔断器取下保管好。

③ 大型电动机抽心必须严格按工艺要求进行，除电气作业安全外，还应注意起重吊装的安全措施。

④ 起动设备检修后，必须进行调整、试验和空操作试验。

3）作为切断电源用的总开关或熔断器，在检修后恢复送电时，为防止送电至有短路或接地的回路而发生电弧，操作人员应戴手套和护目镜。熔丝的容量不得随意更换，应按原设计规定使用配备。

4）工厂及实际生产、生活当中，以低压电为主，作业人员不能因电压低而产生麻痹思想或有对作业不负责任的态度，必须处理好低压线路中的绝缘、相间距离、保护接地及漏电、短路、过载、过热等保护的调整及试验。

5）低压检修作业，还必须严格执行保证安全的其他相应措施。

（七）二次回路检修作业的注意事项

1）继电保护、电气仪表等二次回路上的检修作业，应与一次电气设备、线路停电检修同时配合进行。

2）当二次回路检修作业需要将高压电气设备全部停电、部分停电或不停电，且需要做安全措施的，都要填写作业票，如：

① 进行二次回路通电试验、整组保护装置调整试验，当需要移开或越过高压室遮栏，应将高压电气设备停电的。

② 作业人员与导电部位，处于安全距离，高压电气设备可不停电，但需要装设临时遮栏等安全措施。

③ 检查高压电动机及其起动控制设备的继电保护装置及仪表，需要将高压电气设备停电。

3）作业本身不需要停电，且无偶然触及导电部位的危险，并允许在带电设备外壳上进行作业的，都要填写小组作业票，如：

① 串联在一次回路的电流继电器，持有特殊绝缘的传动装置，可以在不停电的运行中改变整定值。

② 继电器和保护装置，可以不断开所保护的高压电气设备而进行校验检查等。

4）检修作业至少应由 2 人进行。

5）在部分停电的保护盘上进行作业时，应将检修设备与运行设备用明显的标志隔开，如用红布帘、尼龙薄膜及封条等。

6）二次回路作业中，应使用具有绝缘手柄的工具，为了避免在作业中误将金属杆件短接端子排或接点，一般应将使用的工具上的杆件套上绝缘管。

7）在保护盘上进行开孔等振动较大的作业时，应有防止运行设备误掉闸、防止电气元器件振动脱落及金属屑落入元器件的措施。

8）在带电的电流互感器二次回路上作业时，应采取下列安全措施：

① 严禁将电流互感器二次侧开路。

② 将电流互感器二次绕组短路时，必须使用短路片或短路线。短路应妥善可靠，禁止用导线缠绕。

③ 禁止在电流互感器与短路端子之间的回路上进行任何作业。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 作业必须认真负责，不得将回路的永久性接地点断开。

⑤ 作业时，必须有人监护，并使用绝缘工具，站在绝缘垫上作业。

9）在带电的电压互感器二次回路上作业时，应采取下列安全措施：

① 严禁电压互感器二次侧短路，作业时应使用绝缘工具。必要时，作业前停用有关保护装置。

② 在电压互感器上接临时负载时，必须通过值班员的许可，并装设专用的开关及熔断器。

③ 电压互感器二次回路通电试验时，必须断开电压互感器一次侧的隔离开关或取下一次熔断器，以避免将电压返送至一次主回路。

10）所有电压互感器和电流互感器的二次绕组必须有永久性的可靠的保护接地。检修作业中不得断开。

11）检修或检验二次回路的作业人员，不得进行任何倒闸操作。在进行开关传动试验时，应事先通知值班员，并得到允许后方可拉合开关。作业完毕后，请值班运行人员验收。

12）二次回路上的作业完毕后，必须彻底清点工具，并清除导线线头，拆开临时短路或接地部位，恢复二次回路原来正常接线和工作状态，然后由监护人检查验收合格。

13）二次回路上的作业必须有详细记录，变动部位应向运行人员交代清楚，并标注在二次接线图上。

二、低压配电装置运行要求

1）低压配电装置应统一编定配电柜的编号，并标明负载名称及容量，同时应与低压系统操作模拟图板上的编号对应一致。

2）低压配电装置所控的负载，必须分路清楚，避免一闸多控和混淆，同时应将重要负载与一般负载分开，以利运行调度和维护检修工作。

3）低压控制电器的额定容量应与受控负载实际需要相匹配，各级保护装置的选择和整定，均应符合动作选择性的要求。母线、导线或电缆的载流量必须满足系统负载的需要。

4）低压配电装置上的仪表及信号指示灯、报警装置应完好齐全。仪表的精度和互感器的规格应与用电设备容量或实际负载相匹配。

5）开关的操作手柄、按钮、锁键等操作部件所标志的“合”、“分”、“运行”、“停止”等字样应与设备的实际运行状态相对应。

6）装有低压电源自投系统的配电装置，应定期做投切试验，检验其动作的可靠性。两个电源的联络装置处，应有明显的标志。当联锁条件不同时具备的时候，不能投切。

7）低压配电装置与自备发电设备的联锁装置应动作可靠。严禁自备发电设备与电力网私自并联运行。

8）断路器、交流接触器以及刀开关在通电运行以前，均应测校三相的同期性，并检查触头压力是否满足要求，见表 6-5 和表 6-6。开关的灭弧罩，必须三相齐备且完好，否则应退出运行。

9）低压配电装置前后左右操作维护的通道上应铺设绝缘垫，同时严禁在通道上堆放其他物品。

10）低压配电装置前后应设置固定的照明装置且齐备完好，必要时或重要场所的配电装置应设事故照明。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-5 DW_{10}断路器的触头压力及触头开距表

名称 \ 型号		DW_{10}-200	DW_{10}-400	DW_{10}-600
主触头	初压力/N	65～80		
	终压力/N	100～120		
弧触头	初压力/N		30～40	30～40
	终压力/N		65～80	65～80
触头开距/mm		24～28	36～40	36～40

注：其他规格型号的断路器可参考。

表 6-6 交流接触器的触头压力及触头开距表

接触器极数	触头压力/N		触头弹簧长度/mm			触头开距/mm
	初压力	终压力	自由	装上	终末	
2	6～9	9～12	26	21	19	12～14
3	15～18	30～36	33.5	27	24.5	15.5～19.5
4	30～36	63～72	53	42	38	16.5～20.5
5	64～75	130～160	55	48	43.5	19～23

11）低压配电室应设置与实际相符的操作模拟图板和系统接线图。其低压电器的备品、备件应齐全完好，并应分类存放于取用方便的地方。同时应配备安全用具和携带式检测仪表。

12）低压配电装置的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，标准号 GB 50254—1996、GB 50171—2012、GB 50149—2010 和 GB 50150—2006。低压配电装置应按周期巡视、检查、清扫检修及试验。

三、低压配电装置巡视检查、清扫检修试验周期及内容

1）低压配电装置的巡视检查周期一般应每班一次；无人值班的至少应每周一次。

2）巡视检查的项目内容：

① 总负荷及各分路负荷与仪表的指示值是否对应，三相负荷是否平衡，三相电压是否平衡，电路末端的电压降是否超过规定。

② 各部位连接点（包括母线连接点）有无过热、螺母有无松动或脱落、发黑现象；整个装置的各部位有无异常响动或异味、焦煳味；装置和电器的表面是否清洁完整，接地连接是否正常良好。

③ 绝缘子有无损伤、歪斜或放电现象及痕迹，母线固定卡子有无松脱；易受外力振动和多尘场所，应检查电气设备的保护罩、灭弧罩有无松动、是否清洁。

④ 低压配电室的门窗是否完整，通风和环境温度、湿度，是否满足电气设备的要求；下雨时，屋顶是否渗漏雨水或有否渗漏痕迹。屋外电器的防护箱是否漏水；室内外的维护通道是否畅通，室外道路是否被雨水冲断等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤ 室内照明是否正常，备品备件是否满足运行维修的需要，安全用具及携带式仪表是否符合使用要求。

⑥ 断路器过电流脱扣器整定值、热元件配置，与负载是否匹配，能否满足保护要求；断路器、接触器的电磁线圈吸合是否正常，有无噪声过大或线圈过热。

⑦ 负载高峰、异常天气或发生事故及过负载运行时应进行特殊巡视：

a. 电气设备各连接点、接线点是否发热严重、有无焦煳味。

b. 雨后应检查室内是否进水、漏水，电缆沟是否进水，瓷绝缘件有无闪络或放电现象。

c. 设备发生事故后，重点检查熔断器及保护装置的动作情况以及事故范围内的设备有无烧伤或毁坏情况，有无其他异常情况等。

3）低压配电装置的清扫检修一般每年不应少于两次。其内容除清扫和摇测绝缘电阻外，主要检查各部位连接点和接地点的紧固情况及电气元器件有无破损或功能欠缺等，应一一妥善处理。

4）各种低压电器的清扫检修项目、周期及要求：

① 低压断路器故障掉闸后，应及时借停电的机会检修触头及灭弧栅，清除内部灰尘、金属细末及碳质，同时复核其过电流整定是否正确。

② 带负载投切的刀开关，每半年应检查一次触头，并在刀闸口涂以中性凡士林油。

③ 频繁操作的交流接触器，每季至少检查一次触头并清扫灭弧栅，测量吸合线圈的直流电阻是否符合规定值。

④ 断路器和接触器的主触头压力弹簧是否因过热失效，否则应更换。

⑤ 检查断路器、接触器的动、静触头是否中线一致，三相是否同步，并调节触头弹簧使三相一致。摇测相与相间的绝缘电阻，应符合要求。

⑥ 检查断路器、接触器触头接触压力，测试开关断开时动静触头的距离，应符合规定，见表 6-5 和表 6-6。

⑦ 检查断路器、接触器触头的磨损或烧伤情况，如磨损厚度大于 1mm 时，应更换；电弧烧伤严重者应予磨平打光，磨平时应注意三相应一致。

⑧ 检查断路器、接触器电磁线圈的吸合情况是否良好，有无噪声、过热或错位现象。短路环是否完好、松动、脱落；线圈的绝缘层有无损伤，摇测是否合格；接线端是否接触良好。

⑨ 校验接触器的吸合线圈的吸合电压，在额定电压的 85% ~105% 时能否可靠工作；当电压低于额定值的 40% 时，能否可靠释放。

⑩ 校验断路器的分励脱扣器及失电压脱扣线圈的吸合电压，在额定电压的 75% ~105% 时，能否可靠工作；当电压低于额定值的 40% 时，能否可靠释放。

⑪ 无填料式熔断器，每季应作一次紧固插座刀口和熔丝接线点的检查，插座刀口应涂中性凡士林油；熔断器事故动作后，应检查熔断器内部烧损情况，清除积碳，必要时应更换。

⑫ 三相或单相胶盖刀开关、瓷插式熔断器、快速螺旋式熔断器等应安装正确并与环境相符。每周应检查一次电源线及负载线与开关或熔断器的接点、熔丝两端的接点是否松动，并紧固一次，同时检查熔丝的选择与实际负载是否匹配。

⑬ 检查低压电器的辅助触头和继电器触头有无烧伤、卡阻、接线脱落或接触不良的现象，通过的电流有无超过额定值。

⑭ 检查断路器和接触器、起动器热元件的连接点处有无过热或松脱现象，热元件的环

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

境温度与被保护设备的环境温度是否一致，热元件的规格是否与负载相匹配。

⑮ 用500V绝缘电阻表摇测低压配电装置的母线绝缘电阻，不应低于100MΩ；断路器、刀开关、接触器、互感器、起动器的绝缘电阻，不应低于10MΩ；二次线对地绝缘电阻不应低于2MΩ。

⑯ 变压器二次总控制采用断路器或低压配电装置的进线采用断路器时，检修时应做升流试验，并核定整定值，应与上一级保护装置匹配。

⑰ 对装有联锁的低压电器，应做传动试验，检查其动作的可靠性和正确性，并检查其接线是否牢固。

四、低压配电装置异常运行和故障缺陷处理

低压配电系统异常运行和缺陷的解决方法，首先是要按本章第一、二部分中的要求执行，使故障的隐患在萌芽状态时即被解决和处理，此外，还有以下内容方法。

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载，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紧固程度，消除氧化层，打磨触头，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者应予以更换。

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，否则应用带绝缘的工具进行修理。

7）三相电源电压发生断相时，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断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，必要时可将负载线临时拆掉，然后再检查负载线有无短路或带负载较大等。

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，强迫通风，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

五、低压电器运行维护注意事项

低压电器在运行维护中必须保证所有接点（包括辅助触头和接地端子）与导线的连接紧固可靠，应利用停运或停电时经常检查并紧固；低压电器更换时，必须使用与原来元件规格相同的合格产品，不得随意更改。如没有合适备件而采用其他规格的代用时，应经过批准。各类低压电器运行中应注意的事项如下：

（1）刀开关

1）没有灭弧罩的刀开关，不能切断负载电流，只能切断较小的负载电流或空载电流。因此，一般应与断路器、熔断器或接触器配合使用，送电时，先合刀开关，后合断路器或接触器；停电时，先拉断路器或接触器，后拉刀开关。

2）带灭弧罩的刀开关，可切断额定电流，但只能不频繁操作。

3）带灭弧罩的熔断器式刀开关，可切断额定电流，并用熔断器切断短路电流，是一种组合电器，一般与接触器配合使用。

4）除刀熔开关外，刀开关可与断路器配合使用，刀开关与接触器配合使用时必须装设熔断器或者直接使用熔断器式刀开关。刀开关断开的负载电流，不应大于制造厂允许的额定电流，其所配用的熔断器和熔丝的额定电流，不得大于刀开关的额定电流。

5）刀开关与熔断器组合时，只能控制 10kW 以下的小型电动机或负载。

6）用带有灭弧罩的刀开关切断负载电流时，必须迅速拉闸。

（2）断路器

1）断路器的整定分过负载整定和短路整定两种，运行时应按周期核校整定值。

2）运行中应保证灭弧罩的完好，严禁无灭弧罩或使用破损灭弧罩。

3）框架式断路器的结构较复杂，除接线正确可靠外，机械传动机构应灵活可靠，运行中可在转动部涂少许机油；脱扣器铁心吸合不好时，可在铁心的下面垫以薄片，以减小衔铁与铁心的距离而增大引力。

（3）交流接触器

1）运行中必须保证接线正确可靠、保证灭弧罩的完整。

2）接触器可与按钮、控制继电器、变阻器、自耦变压器、频敏变阻器等组成各种复杂的功能齐全的起动设备，选用时必须按负载的起动电流和额定电流兼顾选取。

3）运行中必须保证电磁铁铁心的清洁和对齐，保证触头吸合的紧密可靠，不得有过大的交流声。

（4）转换开关　转换开关应与熔断器配合使用；转换开关手柄的位置指示应与相应的触片位置对应，定位机构应可靠；转换开关的接线应按说明书进行，应正确可靠；转换是以角度区别的，不得任意更改；转换开关一般不宜拆开，因组装时触片的装配难以掌握。如必须打开时，必须做详细记录并画图表示，以免装错。

（5）热继电器　热继电器主要用来保护过载或断相，电流大于 20A 时宜采用经电流互感器的接线方式。运行中应保证热继电器的安装位置周围温度不致超过室温，以免引起误动作。热继电器动作后，如自动复位应有一个延时，一般为 3min；如需手动复位时，可按动手动复位钮。当热继电器的断相保护功能不能满足运行需要时，应增设断相保护器。

（6）熔断器　熔断器主要用做短路保护，在没有冲击负荷时可兼做过载保护，因此只

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

适用于10kW以下的小型电动机过负荷保护。熔断器的种类很多，使用时要注意三相设备的熔断器及其熔丝的选择以免造成单相运行。

（7）电流互感器、测量仪表必须接线正确，二次要可靠接地。

低压配电系统的操作必须按操作规程执行，并严格巡视、检查、检修和试验。

六、电力变流设备运行注意事项

电力变流设备与低压配电装置的巡视检查、清扫检修及试验的周期及内容、运行中注意事项基本相同，除正常的维护保养外，尚有以下项目内容，并应永久保存随机的技术资料、文件和图样。

（1）冷却系统的巡视检查

1）贮油箱、阀门及管路有无渗漏现象。

2）贮油箱油面高度与标定的刻度指线是否一致。

3）变流装置的进出口水管与冷却系统之间的绝缘管绝缘性能是否良好，是否有漏电现象；阀门、管件是否清洁。

4）检查冷却水的水质是否符合要求：630V以下，电导率不应大于0.5mS/m；630～1000V时，不应大于0.1mS/m；50V以下自然水冷却的其电导率不应大于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）冷却液管路是否畅通，在额定压力下，流量及出口水温是否符合产品技术条件的要求。

（2）设备及元件的巡视检查

1）电力变流设备的安装应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，标准号GB 50255—1996。

2）柜内柜外是否清洁，有无污垢及油渍。

3）插件板的名称与标志有无错位，板上的线路是否清洁，有无腐蚀，有无线条断裂，焊点是否牢固可靠。

4）插接件的插头与插座的接触簧片弹性是否良好，镀层是否脱落，接触是否可靠。

5）变流元件、熔断器、继电器、信号灯、绝缘子、风机等元件是否完好。

6）螺栓连接的导线有无松动、发热；焊接连接的细导线有无脱焊、虚焊、碰壳或短路现象。

7）固定在冷却电极板或散热器上的元件有无松动或发热现象。

8）抽屉柜上的抽屉推拉是否灵活轻便，触头触面及压力是否良好，印制电路板插拔是否轻便且接触可靠。

9）柜内通风是否良好。

（3）元件的更换注意事项

1）新换上的变流元件的尺寸应与被更换的元件一致，其极性连接应正确无误。

2）正向及导通平均电流，应与被更换元件一致；反向或正（反）向重复峰值电压，不应低于被更换元件值。

3）并联支路的变流器件，正向或导通平均电压宜与被更换的元件一致；串联支路的变流元件，其反向漏电流宜与被更换的元件一致。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）更换的晶闸管门极的触发电压和电流，宜与被更换的器件一致，其维持电流，应符合产品技术条件的要求。

5）更换冷却系统的密封用的材料时应使用耐油材料；补油或换油时应符合标准 GB 50150—2006 的要求。

（4）变流器件的拆装注意事项

1）螺栓型整流管或晶闸管，应使用专用的工具拆装；对平板型的应与散热器同时拆装。

2）装配时，在散热器与变流器件的接触面上宜涂以硅油；其紧固力矩应符合产品技术条件的要求，并应用力矩扳手紧固。

3）整流管或晶闸管的散热器装配后，其相与相、相与地之间的最小电气间隙应符合产品技术条件的规定。

4）晶闸管触发系统的脉冲导线，应用绞合线或有屏蔽的绞合线，屏蔽线的屏蔽层应在一端可靠接地。

5）焊接时严禁使用酸性助焊剂；电子元器件的焊接宜用 30W 及以下的快速电烙铁，操作时间不宜太长；焊接高灵敏度元器件时，应使用 12V 的电烙铁，如没有 12V 的，应断开电烙铁的电源后立即焊接（一般是用两把烙铁轮流使用，焊时拔下电源，不焊时插上电源）。

（5）电力变流设备的试验注意事项　检修后的电力变流设备或更换元器件后应按以下要求进行试验。

1）试验项目见表 6-7。

表 6-7　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，可按表中逆变电源装置的试验项目进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）绝缘电阻的测量应按 GB 50150—2006 的规定进行，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。其中主回路对二次回路的绝缘电阻不应小于 1MΩ/kV；二次回路对地不应小于 1MΩ。

3）耐压试验。交流耐压试验值，应为产品出厂试验电压值的 85%；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；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为 1min，并无击穿或闪络现象。

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。印制电路板等弱电回路在耐压试验时，可将其插件板拔出。

5）辅助装置的检验。其绝缘试验应按 2）～4）条进行；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。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，应符合产品技术条件的规定。

6）轻负载试验。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，可按产品技术条件的规定进行。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，均应符合产品技术条件的规定。

7）电压均衡度试验。变流装置的整流臂中有串联整流器件的支路，应作电压均衡度试验，其测试可与轻负荷或负荷试验同时进行。

串联连接的整流器件的反向阻断电压、正向阻断电压，可采用瞬态电压测试仪、峰值电压表及示波器等仪器进行测量，其电压均衡度应按下式进行计算，并符合产品标准的规定：

$$K_U = \frac{\sum U_m}{n_s \ (U_m)_M} \tag{6-2}$$

式中 K_U——电压均衡度；

$\sum U_m$——串联器件承受正（反）向峰值电压的总和（V）；

n_s——串联器件数；

$(U_m)_M$——串联器件中分担最大电压值的器件所承受的正（反）向峰值电压（V）。

8）低压大电流试验。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，应单独供其额定电压。

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位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）电流均衡度试验。当变流装置的整流臂有多只整流器件并联时，应作电流均衡度试验，并应测定其瞬态和稳定电流均衡度。电流均衡度测量，可与低电压大电流或负载的试验同时进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 瞬态电流均衡度。可采用测量电流互感器取样用电阻、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、峰值电压表或示波器进行。

② 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或快速熔断器熔丝两端的稳态电压降的方式确定。

③ 电流均衡度的测定，应以变流装置的额定工作状况为准。电流均衡度，应按下式计算，并应符合产品标准的规定：

$$K_I = \frac{\sum I_a}{n_p \ (I_a)_M} \tag{6-3}$$

式中　K_I——电流均衡度；

$\sum I_a$——并联支路电流的总和（A）；

n_p——并联支路数；

$(I_a)_M$——各并联器件中分担最大电流的器件所承担的正向电流（A）。

10）控制性能的检验。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作状况下进行。各种控制特性的测定方法和要求，应符合产品技术条件的规定。

11）保护系统的检验。装置的电源和过电流、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，可分别在轻负载、低压大电流和负载工作状况下进行，或采用外施电源以模拟试验法去进行。其检验调整方法和整定值应按设计及产品技术条件进行。

12）稳定性能的检验。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。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，均应符合设计和产品技术条件的规定。

13）音频噪声的测量。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0.5～1.0m，距地面高度1.2～1.6m处至少取两个测量点进行测量；测量时测试传声器正对设备噪声源，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规定。无规定时，变流装置在正常运行时产生的噪声，应符合以下规定：

① 不需要经常操作、监视或维护的产品不应高于95dB（A）。

② 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）。

③ 安装在要求安静环境的产品，不应高于65dB（A）。

一般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线路和结果的干扰。

七、观察法判断电气故障

一般条件下，电工应学会利用观察法来判断电气故障。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6-8中，供读者参考，并在实践中进行验证。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-8 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 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，指示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、绝缘皮变硬），如绝缘子、套管有裂纹易放电，绝缘性能降低；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，相间绝缘层被破坏，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气元器件，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、电容器系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器件上的污垢，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，将导致绝缘性能降低而报废停用；变压器呼吸器吸湿剂变色（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、元器件、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. 控制线路有误至使电气设备或元器件动作不正常，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. 其他详见机工版《电气工程安全技术及实施　第 2 版》

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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		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，不会引起人们的咳嗽，这是正常的，但是这时应加强巡视通风，测试其电流并加强器件本身的温度（可用半导体点式温度计）的测试，如今伪劣品较多要注意 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，当气味较浓时则说明接头松动或氧化而电阻增大，电流再大时会烧坏接头 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要放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放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发出来的声音来进行判断 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、油变质绝缘性能下降、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. 其他详见机工版《电气工程安全技术及实施　第2版》
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，能用手摸能坚持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的温升不超过允许值
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，这里推荐机工版《电气工程安全技术及实施　第2版》，该书详细介绍了各类电气线路、电气设备元器件的巡视检查和安全技术

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

八、电气线路故障处理方法与技巧

(一) 明装电气线路

(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，同样绳结于倾斜的反侧。下杆后再将该大绳系与倾斜反侧的地锚上。这里要注意，登杆时必须在倾斜的反侧攀登，若登杆时发现杆有继续倾斜的运动必须立即停止登杆。

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，必须先用吊车将杆身吊住（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。如果用吊车将杆拔出，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，开动吊车即可拔出。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长度为斜坡型。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5人拉住。另一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，另一侧大绳缓缓松动，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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《新标准电工安全技术 365 问》一书。

（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，用锄头将横担敲打，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，导线的垂度可参考附录 A 中的数值。

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拉断或耐张线夹处、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

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性能低劣、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，见图 6-2，假设图中标注⑪的插座无电。

（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”（接头）的绝缘层拆掉，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

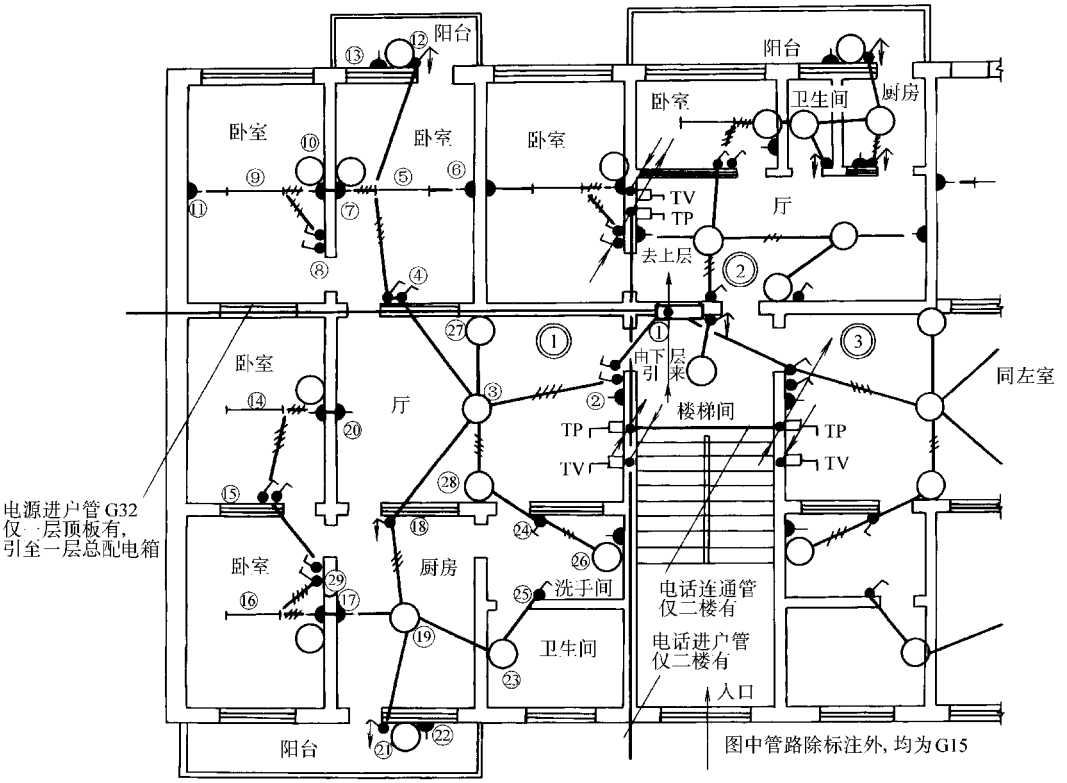


图 6-2 某住宅楼照明平面图

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，绝缘性能降低，感应电往往会混淆人的思维。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

九、电动机故障处理方法与技巧

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。

（一）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[(380 ± 10)V]，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，必须作如下检查：

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，检查每相绕组的头与尾是否相通。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。

（二）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 挡）测出某相不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，用绝缘电阻表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个线圈间的绝缘电阻，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 6-3 所示。短路侦察器有一个不闭合的铁心磁路，绕有励磁线圈，相当于变压器一次绕组。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。

短路侦察器市场有售，也可以自制。按图 6-4 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，见前述（1）～（4）。

（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 6-5 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

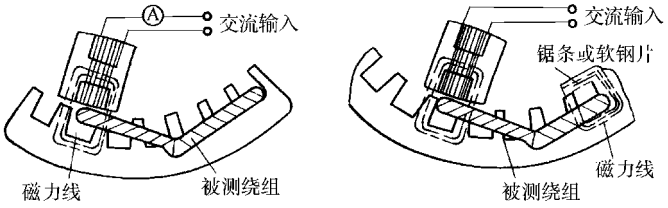


图 6-3　短路侦察器的使用方法

a）用电流表　b）用钢片

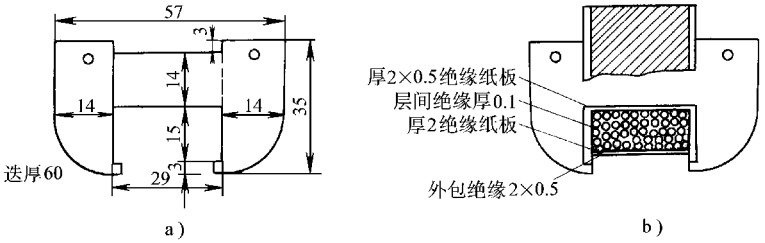


图 6-4　短路侦察器的外形及结构

a）铁心尺寸　b）绝缘结构

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 6-5。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 的漆包线沿轴向在 15mm 宽处绕 2500 匝，然后接一只 1000mA 的毫安表。

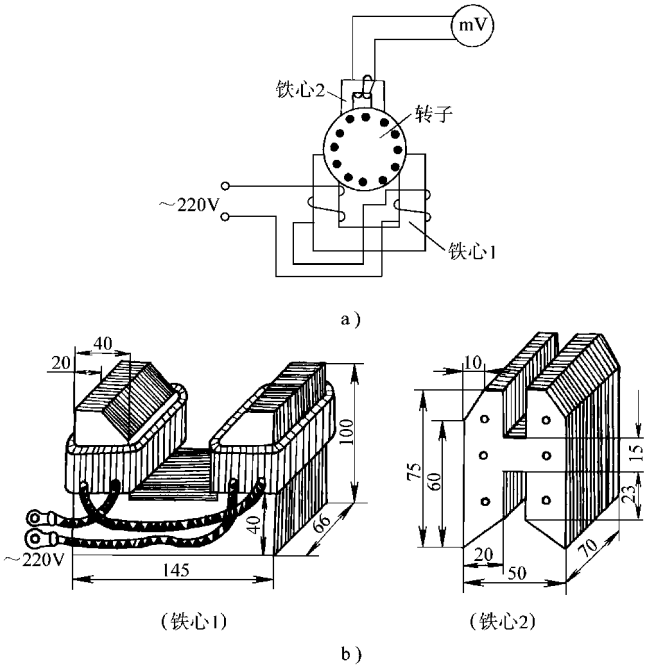


图 6-5　断条侦察器的使用方法及外形结构

a）笼型转子断条检查方法　b）断条侦察器的形状与尺寸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）电动机常见故障及故障处理方法

见表 6-9。

十、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 6-9 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）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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%，润滑油选择见附录 B 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）指示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。如熔丝盒内黑烟一片或熔珠飞溅则为短路造成，如只有中间段熔断，并有溶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）只有部分指示灯不亮则为支路上或支路开关有上述故障存在。

3）某一指示灯不亮则为该分路或开关有上述故障，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不够，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。

十一、低压电器故障处理方法

断路器常见故障及处理方法见表 6-10。

热继电器常见故障及处理方法见表 6-11。

接触器常见故障及处理方法见表 6-12。

电缆故障类型及检测方法见表 6-13。

轴承常见故障及处理方法见表 6-14。

换向器常见故障及处理方法见表 6-15。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-10 断路器常见故障及处理方法

	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-11　热继电器常见故障及处理方法

故障现象	造成原因	处理方法
热继电器误动作	1. 整定值偏小	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. 电动机起动时间过长	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. 反复短时工作操作次数过高	3. 正确合理选用
	4. 强烈的冲击振动	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. 用于不适合的工作制（如通断频率过高）	5. 正确合理选用
	6. 连接导线太细	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	1. 按上栏办法 1 解决
	2. 触头接触不良	2. 去除触头上的尘垢
	3. 热元件烧断或脱焊	3. 更换产品
	4. 动作机构卡死	4. 修理（但用户不得随意调整，否则会造成动作特性变化）
	5. 导板脱出	5. 重新放入，推动几次看动作是否灵活
	6. 连接导线太粗	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	1. 检查电路，排除故障或更换产品
	2. 反复短时工作操作次数过高	2. 正确合理使用
	3. 机构故障，在起动过程中热继电器不能动作	3. 更换产品

表 6-12　接触器常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
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	1. 调高电源电压
	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	2. 增加电源容量，更换线路，修理控制触头
	3. 线圈技术参数与使用条件不符	3. 更换线圈
	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）	4. 更换线圈，排除卡住故障，修理受损零件
	5. 触头弹簧压力与超程过大	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	1. 调整触头参数
	2. 触头熔焊	2. 排除熔焊故障，修理或更换触头
	3. 机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜	3. 排除卡住现象，修理受损零件
	4. 反力弹簧损坏	4. 更换反力弹簧
	5. 铁心极面有油污或尘埃粘着	5. 清理铁心极面
	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	6. 更换铁心
线圈过热或烧损	1. 电源电压过高或过低	1. 调整电源电压
	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	2. 调换线圈或接触器
	3. 操作频率（交流）过高	3. 选择其他合适的接触器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障现象	可能原因	处理方法
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，因常闭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；在控制线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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-13　电缆故障类型及检测方法

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 6-14　轴承常见故障及处理方法

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 6-15　换向器常见故障及处理方法

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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

解读电工技术疑难问题往往是衡量评价一名电气工作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。作为电气工作人员来讲，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，排除正常、各个击破，找到症结。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第七章　变配电所的运行维护

确保变配电所的安全运行是运行维护电工的重要职责，本章系统地介绍了操作规程、巡视检查及维护、运行记录和故障处理等内容。

一、运行维护电工及操作规程

（一）运行维护电工资质条件及工作项目

（1）运行维护电工除了必须具备电气工作人员的基本条件外，还应具备的条件

1）运行维护电工必须熟悉本变配电所（室）所有电气设备的构造、性能、作用及运行要求，熟悉电气设备的接线、维修要点及运行中主要监视项目等。

2）运行维护电工必须熟悉本变配电所（室）电气设备的分布情况及电压等级、操作规程；必须熟悉本变配电所平面布置图及其电缆、接地引线等隐蔽物的分布情况。

3）运行维护电工必须熟悉所内一次接线和二次接线及运行方式，能熟练地进行倒闸操作和事故处理及负载分配；熟悉各种保护装置的整定及动作情况；熟悉各种仪表并能通过仪表分析运行情况。

4）运行维护电工必须熟练掌握各种安全用具和措施的使用，掌握各种携带式仪表的使用，掌握安全技术，能独立熟练完成安全规程中允许的独立操作项目和电气设备的预防性试验。

5）运行维护电工必须熟练掌握电气系统巡视检查的项目和方法，掌握一般缺陷处理方法。

6）运行维护电工负责人必须由经验丰富的人员担任，除上述条件外应具备一定的组织能力且能果断机敏地处理电气故障及保证用电安全。

7）运行维护电工一般由两人担任，单人变电所和其他单独值班人员，至少应具备三年以上的运行维护经验。维护电工必须经考试合格才能上岗。

（2）运行维护电工工作的内容及范围

1）巡视检查变配电所的电气设备、电气线路、避雷装置、接地装置的运行状态及周围环境是否正常。

2）抄录运行日志中的有关数据，记录巡视检查发现的问题及操作检修记录、交班备忘录等。

3）根据命令进行倒闸操作、限电或分配负载，其中包括拉开或合上相应的操作回路，改变继电保护装置或自动装置的整定值，以及检查设备的绝缘性能。

4）处理变配电所内的事故，对低压配电所，还要处理车间、工作间及其他低压用电设备的故障。

5）设备不停电只能进行下列工作：

①抄录带电设备的铭牌。②用钳形电流表测量电流，用绝缘棒贴试温蜡片测量温度。③变压器及多油断路器取油样。④变压器油位计和基础的小修。⑤低压设备的一般检修工作。

6）变配电所进行停电检修或安装工作时，值班人员应负责完成有关安全技术措施设置的工作，并向作业人员指明停电范围、作业范围、带电设备所在的位置，并设立临时遮栏、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

悬挂警示牌。

7）在发生严重威胁设备或人身安全的紧急情况下，应立即断开有关设备的电源，操作后应立即报告上级，并将详细情况记入运行日志或值班记录，与供电部门有调度协议的，应立即通知供电部门的调度员。

8）变配电所停电后，参与电气设备的检修工作、预防性试验、继电保护装置及自动装置的调试整定和接地电阻测试等工作。

9）变配电所停电后，协助安装人员进行安装调试，并提供有关技术资料和数据。

10）有关变配电所的安全防盗、防洪防火等工作。

（3）应注意的事项

1）单人值班时，不应进行高压设备清扫或检修工作，不能进行装设接地线工作。

2）单人值班时，室内高压设备的隔离室应设有 1.70m 高的遮栏并加锁；室内的高压开关操动机构，应用墙或金属板与开关隔开或装有远距离操作机构。

3）不论高压设备带电与否，值班人员不应单独移开或越过遮栏进行工作。人体、遮栏和绝缘板与带电导体间的最小安全距离应符合表 7-1 的规定。

表 7-1 人体、遮栏和绝缘板与带电导体间的最小安全距离 （单位：m）

电压等级/kV	无遮栏	有遮栏	有绝缘板
1 及以下	0.1		可接触导体
10	0.7	0.35	可接触导体
35	1.00	0.60	

4）高压室的钥匙至少应有三把，由值班负责人保管，按值班交接。其中一把供紧急时使用，一把专供值班员使用，另一把可借给许可单独巡视的人员或电气工作负责人使用，但必须登记，当日交回。

5）禁止用手触摸带电设备的绝缘物和绝缘部分。

6）电源停电后，由于随时有未经事先通知而突然来电的可能，因此在未断开有关电源开关和未做好安全措施前，不应触及设备或进入设备遮栏内。

7）事故发生后，未找出原因及未进行妥善处理时，不应恢复正常运行。

8）值班时，个人的任何行为必须遵守所内规章制度及操作规程。

（二）巡视检查保证安全的规定及方法

1）巡视检查应明确检查项目、周期和巡视路线，并配备必要的检查工具。

2）巡视高压配电装置，一般应由两人进行；允许单独巡视高压电气设备的人员，应经电气技术和安全管理部门考试合格，并由本单位负责人批准公布。巡视检查过程中，不得同时进行其他工作，不得打开间隔门、移开或越过遮栏。

3）巡视检查的路线应固定，固定路线前，应反复测量并论证其合理性和科学性。巡视路线的基本要求是路线短、巡视项目全、巡视时间少，且安全可靠。

4）雷雨天气，巡视高压设备时，应穿绝缘靴，并不得靠近避雷器、避雷针及其接地装置。高压设备发生接地故障时，室内不得靠近接地故障点 4m 以内，室外不得靠近接地故障点 8m 以内，进入上述区域内的人员，必须穿绝缘靴，接触电气设备外壳和构架时，应戴绝缘手套。巡视过程中或作业过程中，高压设备或线路如果突然发生接地故障，应单脚或双脚

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

跳跃，跳出上述范围即可。

5）进入高压室内巡视时，必须随手将门关住锁好，以防他人误入，同时可防止小动物进入室内，造成短路故障。

6）巡视周期的规定，应视本单位电气系统的具体情况而定，可参考有关的规定。

7）巡视检查电气设备及线路时，要精力集中，认真负责，仔细分析，充分发挥眼、鼻、耳、手的作用，也可用红外线测温仪、高倍望远镜等进行观测，进而分析设备的运行状态。

8）通常可在小雨或小雪天检查室外电气设备及其连接部位是否发热（发热点有蒸汽冒出）；利用高倍望远镜在日光下可检查室外绝缘子是否有裂纹，雨后可检查是否有波纹；高温季节和负载高峰时，要检查重要电气设备及线路或母线的连接部位是否发热。

9）设备经过操作后要做重点检查，特别是开关跳闸后的检查；气温突然变冷或变热时，要检查注油设备；可根据历次电气设备事故进行重点检查；新装电气设备投入运行后要增加巡视次数等。

10）巡视线路时，不论线路是否停电，均应视为带电，并应沿线路上风侧行走。巡线时必须携带望远镜和脚扣，必要时应登杆于最下一层导线允许的安全距离以外，用望远镜观测。寻找接地故障时，应有防止跨步电压的措施。

11）巡线时，如发现高压线断落于地面或悬挂空中，应设置临时围栏，并悬挂警告牌，让行人远离断线处 8m 以外，并设专人看守，同时组织人员迅速处理。

12）特殊场所或天气恶劣时进行巡视，除电气安全外，还应注意其他安全事宜。

（三）倒闸操作具体要求

1）倒闸操作必须根据值班调度员或值班负责人的命令，经接受命令人复述无误后执行。倒闸操作要执行操作票制度。单人值班，操作票由发令人用电话向值班员下达，一般均使用录音电话，值班员根据电话命令填写操作票并经复述无误后，在“监护人”签名处写上发令人的名字。在填写操作票时，应当用“合”、“分”来表示刀闸/开关的“合入”、“分断”操作，禁止用“开”、“关”表示“合入”、“分断”操作。

操作票的内容及注意事项如下：

① 操作票是防止误操作（错拉、误合、带负载拉隔离开关或带接地线合闸等）的主要措施。变（配）电所的倒闸操作应填写操作票。

② 变（配）电所的一切操作必须得到电气负责人或调度员的命令或许可，同时复述无误后，将发令人、许可人及时间填入值班记录簿中，同时填写操作票。

③ 在变（配）电所的架空或电缆出线上进行作业而要求停电时，值班人员必须在接到作业负责人的书面要求后，填写操作票，方可进行操作。

④ 操作票应按操作顺序一一填写，不得涂改，禁止用铅笔填写。

⑤ 操作票的内容包括操作任务、操作顺序、发令人、操作人、监护人及操作时间等，其格式见表 7-2。

⑥ 操作票应编号，操作后应注明或盖戳“已执行”，并保存至少三个月。

2）倒闸操作一般应由两人进行，其中对电气设备及线路较熟悉、经验较丰富的为监护人；操作人不能依赖监护人，应对操作项目内容、程序熟练掌握并复述无误。单人值班的变配电所允许一人进行倒闸操作，但不能进行登杆操作。特别重要的变配电所（室）和较复杂的倒闸操作，必须由熟练的值班员进行，值班负责人或值班长监护。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-2 倒闸操作票

____年____月____日 ____字第____号

发令人：	下令时间	年 月 日 时 分
受令人：	操作开始	年 月 日 时 分
	操作完毕	年 月 日 时 分

操作任务：_____

✓	操作顺序	操 作 项 目
	①	
	②	
	③	
	④	
	⑤	
	⑥	
	⑦	
	⑧	
	⑨	
	⑩	
	⑪	
	⑫	

操作人： 监护人：

注：1. 填写操作票应清楚整齐，不得使用铅笔。

2. 每项操作完毕后，应立即在格内画“✓”标记。

3. 操作票执行完毕后，应盖“已执行”戳记，并至少保存三个月。

3）倒闸操作前，应根据操作票的顺序在一次模拟图板上进行核对性模拟操作。操作前，应核对设备名称、编号，并检查开关的原来拉、合位置与工作票所写的是否相符、接地线是否拆除、操作回路电压及熔丝是否正常等。操作中，要认真执行监护、复述制度，每操作完一步即由监护人在操作项目前划上符号“✓”。

4）操作中发生疑问时，必须立即向调度员或电气负责人报告，彻底弄清后再进行操作。不准擅自更改操作票。操作票至少应保存三个月，并编号保存。

5）操作人员与带电体的安全距离应符合表 7-1 的规定。必要时应穿长袖衣裤，并戴绝缘手套、穿绝缘靴，且有人监护，并符合表 7-3 的规定。

6）用绝缘杆拉、合隔离开关或经传动机构拉、合断路器及隔离开关时，应戴绝缘手套；操作室外设备时，还应穿绝缘靴。

表 7-3 设备不停电时的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下（13.8）	0.7
20～35	1.00
44	1.20
60～110	1.50
154	2.00
220	3.00
330	4.00

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）雨天操作室外高压设备时，使用的绝缘杆应有防雨罩。雷雨时，不得进行室外的正常倒闸操作。

8）装卸高压熔断器，应戴护目镜和绝缘手套，同时应使用绝缘夹钳，并站在绝缘垫或绝缘台上。

9）手动合刀开关时必须迅速果断，但合到底时不能用力过猛，以防止合过头或损坏相应绝缘子。手动拉刀开关时应缓慢谨慎，当刀开关从固定触头脱离时，如有弧光出现，应立即合上，并停止操作，待查明产生电弧原因，排除后方可操作。

10）当用刀开关切除小容量空载变压器或线路、较小的负载及用刀开关解环操作时，均有电弧出现，此时应迅速将刀开关拉开，以便灭弧。刀开关操作后必须检查其开、合位置是否与操作相符。

11）非手动操动机构的断路器，一般不允许带电手动合闸。电动操动机构的断路器，合闸时扳动控制开关不得用力过猛，返回时也不得太快。断路器操作后应检查有关信号或表计指示，必要时要到现场检查开关的机械指示与各相动作情况是否相符，以防误合，漏合。

12）操作单相刀开关或跌落式熔断器时，水平或三角形排列的操作顺序是：合闸时，先合两个边相，后合中间相；分闸时，先分中间相，后分两边相。室外有风时，应从下风侧向上风侧逐个一一拉开；合闸应从上风侧向下风侧逐个一一闭合。垂直排列的刀闸，拉闸时，先拉中间相，再拉上方相，最后拉下方相；合闸时，先合下方相，再合上方相，最后合中间相。

13）停电操作的顺序是，断路器、负载侧隔离开关、母线侧隔离开关；送电操作的顺序与停电操作相反。

14）联络开关的操作必须核相无误且无环流。

（四）倒闸操作规程

值班人员接到倒闸操作的命令且经复述无误后，应按下列步骤及顺序一一进行。

1）操作准备，必要时应与调度联系，明确操作目的、任务和范围，商议操作方案，草拟操作票，准备安全用具等。

2）值班员传达命令，并正确记录和复述核对。

3）操作人填写操作票。

4）监护人审查操作票。

5）操作人、监护人签字。

6）在模拟图板上进行模拟操作，监护人在操作票的操作项目右侧格内打蓝色的“✓”。

7）按操作项目、顺序，逐项核对设备的双重编号及设备位置。

8）监护人下达操作令。

9）操作人复述操作令。

10）监护人下“准备执行”令。

11）操作人按操作票的操作顺序进行倒闸操作。

12）共同检查操作电气设备的结果，如断路器、刀开关的开闭状态、信号及仪表变化等。

13）监护人在该操作项目左端格内打红色“✓”，表示操作正确完成。

14）整个操作项目完成后，向调度回“已执行”令。

15）值班负责人、值班长签字并在操作票上打“已执行”印。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

16）操作票编号、存档。

17）清理现场及其他有关事宜。

（五）作业票的内容及注意事项

1）作业票是准许在电气设备或线路上作业的书面命令。在电气设备或线路上作业，必须填写作业票或按命令执行，作业票的种类有三种：

① 作业票，分变配电所（室）停电作业票和线路停电作业票两种。用于大型停电或较大的作业。

② 小组作业票，用于较小的作业。

③ 口头电话命令，用于一般的小型作业。

作业票详细规定了负责人、监护人、时间、地点、作业范围、安全措施、主要作业内容、注意事项、作业人员、停电范围、工作结束及送电等内容。

2）作业票的作业范围。

① 在高压电气设备或线路上作业，需要全部停电或部分停电者。

② 高压变配电所（室）和室内外高压电气设备的二次回路或照明回路上作业，需要将高压设备停电或设置安全技术措施者。

3）小组作业票的作业范围。

① 带电作业和在带电设备的外壳上以及带电线路杆塔上的作业。

② 控制盘和低压配电盘（柜、箱）、低压干线以及运行中的变电室内的作业。

③ 在二次回路上作业，无需将高压设备停电者。

④ 转动中的发电机、电动机或同期调相机的励磁回路和电动机转子电阻回路上的作业。

⑤ 核相作业。

⑥ 用钳形电流表测量高压回路的电流等。

4）口头命令或电话命令的作业范围。

① 低压动力回路上作业。

② 低压照明回路上作业。

5）不填写作业票的作业范围。

① 事故紧急抢修作业。

② 线路巡视人员在巡视中，需登杆塔检查或捅掉鸟巢等，但必须一人操作，一人监护。

③ 用绝缘工具进行低压测试作业，但必须一人操作，一人监护。

6）口头命令或电话命令，必须清楚正确，值班员应将发令人、负责人及作业任务详细记录在操作记录簿中，并向发令人复述核对一遍。电话命令一般为录音电话。

7）一个负责人、一个班组，在同一个时间内只能执行一张作业票。

8）在一个电气连接部位或整个变配电装置全部停电作业，且有两个及以上班组同时交叉作业时，应指定总负责人，并填写一张作业票，并由总负责人制定安全措施。班组负责人应向总负责人请示，得到作业许可证件后方可进行作业。作业完毕，班组负责人应向总负责人交令，由总负责人收回作业许可证件后统一送电。

9）作业过程中，如需要补充作业项目，必须得到作业负责人的同意。如需增加或改变原安全措施时，应另填写作业票，并将安全措施及补充作业项目告知全体作业人员。在变配电所（室）作业时，还应得到值班员的许可。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10）作业票由作业负责人填写，由电气负责人签发。作业负责人不得签发作业票。签发人应审核作业票的有关内容：

① 作业票所划停电范围是否正确，有无其他电源返回的可能。

② 作业票所填写的安全措施是否正确。

③ 所派作业负责人和作业人员是否满足作业需要，人数是否充足，能否在规定停电时间内完成作业任务。

11）作业票中各类人员的含义。

① 作业票签发人。电气负责人、生产技术负责人或有实际经验的技术人员。

② 作业负责人。带领一个或几个作业小组进行作业的人，具有实践经验且技术全面，有组织能力。负责填写作业票并做监护人，但不能签发作业票。

③ 作业许可人。指变配电所当班值班员，线路上值班组长或两个及以上班组作业时的现场总负责人。

12）作业票的填写应清楚整洁，不得涂改。作业票执行后，应编号保存，保存日期不少于三个月。

二、高压系统变电所的巡视检查及维护

（一）总体要求

1. 高压配电装置巡视检查周期的规定

1）有人值班的变配电所（室），每班巡视一次；无人值班的变配电所（室），每周至少巡视一次。

2）恶劣天气（如大风、暴雨、冰雹、雪、霜、雾等）时，对室外电气设备应进行特殊巡视，并增加巡视的时间和次数。

3）处在污秽地区内的变配电所（室），室外电气设备的巡视周期应缩短，并根据天气情况和污源性质及其污秽程度来决定。

4）电气设备发生重大事故经处理恢复送电后，对事故范围内的设备，应进行特殊巡视。

5）电气设备存在缺陷带病运行或超过载运行时，应适当增加巡视次数。

2. 巡视检查时应注意的事项

1）应根据电气设备平面分布情况合理确定巡视路线，并尽量使巡视路线最短且保持在一定时期内固定不变。

2）巡视检查时，一般是通过人的感觉器官仔细分析，必要时要用仪表，发现异常现象时要及时处理（处理时至少有两人在场），并做好记录。对于重大异常现象并危及运行时应及时汇报主管人员，以便组织人员修复。

3）新投入运行或大修后投入运行的电气设备，在 72h 内应加强巡视，无异常情况后，可按正常周期进行巡视。

4）巡视检查一般可由一人进行，但不得做与巡视无关的其他事情。巡视时进出高压室时应随手关门，以防小动物进入室内。

5）在大型的变配电所、室内多层变配电所巡视时，应持有对讲机，以便有紧急或意外情况时及时联络。

6）巡视检查时，对于易出现事故的部位或重要部位应重点检查，特别是夜间巡视应特别注意接点部位有无发红、放电“嗞嗞”声或放电火花等现象以及个人的安全。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）恶劣天气巡视时，一般应由两人进行，除正常巡视外，要特别注意由于天气原因造成的危害以及对巡视人员的伤害。

（二）高压配电装置及二次回路的巡检

1. 巡视检查的项目内容

高压配电装置巡视检查的项目内容分常规项目和特殊项目两大类。常规项目内容是指在正常气候条件或正常运行条件下必须检查的项目内容；特殊项目内容是指恶劣气候条件或非正常运行条件下除常规项目内容外增加的项目内容。

（1）常规项目内容

1）室外变配电所的围墙、大门、便门、道路等建筑设施应正常无损；室内变配电所的门、窗应完整且开闭灵活，暖气装置应无漏水漏气现象，屋顶无漏雨现象，屋墙无渗水、潮湿、显碱现象，百叶窗或其他建筑设施应正常无损；屋外道路正常畅通，电缆沟盖板齐全，通信设备正常。

2）各种充油设备的油面位置应合格，油色正常。油箱外皮、油截门、油位计及油盅等处应清洁且无渗漏现象。

3）所有瓷绝缘部件（包括瓷绝缘子、瓷套管等）应无掉釉掉瓷、破碎、裂纹及闪络放电痕迹和严重的电晕现象。其表面应清洁无垢，涂有硅脂（油）的应不超过有效期。

4）各部位的连接点应无腐蚀及过热现象，监视温度的示温蜡片或变色漆应无熔化或变色现象。

5）系统及设备应无异常声响或振动；接地线良好无松动、无漏接。

6）液压或气压传动机构的压力应正常合格，且无漏油、漏气现象。

7）软母线的弧垂应合格且三相一致，导线无断股、烧伤现象，间距符合要求；硬母线无变形、扭曲现象，间距符合要求。

8）混凝土支架、基础无倾斜下沉，无严重裂纹；杆体外壳正常。

9）电压互感器及其二次侧的电压表指示正常，且一、二次侧的熔丝正常，二次侧接地线良好。

10）电流互感器的一、二次侧接线端子的连接应良好，无发热或打火现象；电流表的指示应与实际负载一致，且三相近似平衡，二次侧接地线良好。

11）室外开关设备的顶盖上或上部不得有任何掉落物，设备的周围不得有污物。

12）高压油断路器除按上述2）~6）的规定外，还有以下内容：

① 电容式瓷套管填充的胶脂应无外溢现象。

② 拉合闸指示器的标志应清楚，指示位置应正确，且与指示灯的指示相一致。

③ 室外油断路器的操作箱防雨罩应严密，落桶用的钢丝绳应无锈蚀，地脚螺栓无松动。

13）高压隔离开关及负荷开关除按上述2）~6）的规定外，还有以下内容：

① 静触头与动触头的接触是否良好，插入深度是否一致，有无接触不良或发热现象。

② 操动机构和传动装置是否完整、灵活而无卡位，有无断裂，操作杆的卡环和支持点有无松动或脱落现象。

③ 负荷开关的灭弧装置应完整无损，熔断器接触良好。

14）高压熔断器的熔丝管应完整无损、无裂纹，导电部位接触良好，与导电接触部位的金属件有无变色或发热痕迹，保护环不应缺少或脱落。跌落式熔断器的熔丝管有无变形，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

鸭嘴处的接触是否良好，有无打火现象。

（2）特殊项目内容

1）雨后，应检查电气设备及构架的基础有无下降下沉、倾斜；电线电缆的管、沟内是否有水，房屋是否漏水，道路是否被冲及院内积水深度等。

2）雷雨后，检查放电记录器是否动作；设备的瓷绝缘有无闪络；避雷装置的引线有无变形或打火现象；架空引入线有无异常。

3）降雪时，检查室外电气设备的积雪厚度及瓷绝缘子上结冰情况；雨雪交加天气，若结冰使冰柱过长，可用电压等级相应的拉杆将其轻轻击掉。若天气过于寒冷，结冰不停，应不停地敲击，使其不至于加重导线的载荷。

4）降雾霜时，检查瓷绝缘子有无出现严重放电、闪络现象，污秽地区更应加强巡视。

5）大风天气时，检查室外高压设备区域内及附近有无易刮起的杂物，风后应检查设备及线路上有无挂着杂物，软母线最大风摆位移及是否有异常。

6）电气设备过载运行时，应重点检查各连接点部位的发热情况，有无绝缘漆烧焦糊味，可用点式温度计测量设备外壳（已妥善接地）的温度。

7）当电气设备发生事故后，应重点检查继电保护装置的动作情况，并做好记录；对事故范围内的设备应检查导线有无烧伤或断股，充油设备的油色是否正常，有无喷油漏油现象，瓷绝缘子有无烧伤、闪络或碎裂现象，外壳温度是否过高，有无严重的绝缘漆烧焦糊味，母线是否扭曲变形、弧垂度是否增大；系统有无其他不妥。

2. 停电清扫检查的周期及项目内容

高压配电装置停电清扫检查的周期，正常条件及环境下，室外设备至少每半年一次；室内至少每一年一次。污秽地区除采用防污型设备及器材外，应增加每年清扫的次数，具体由污秽情况来定，至少每季一次或每月一次。停电清扫检查的项目内容如下：

1）清除瓷绝缘子表面的污垢，并检查有无裂纹、破损及爬电闪络痕迹，同时检查其固定螺母是否松动，悬式绝缘子连接部位的开口销子有无不妥并及时处理。清除横担、构架、平台上的污垢或沉渍。

2）检查导电部分各连接点是否紧密、螺母有无松动，同时用相应的扳手紧固；铜铝过渡接点有无腐蚀现象，若已腐蚀，应除掉腐蚀层后涂中性凡士林油。

3）检查设备外壳（系指正常时不带电的外壳）和支架的接地线是否牢固可靠，有无断裂、断股及腐蚀现象，并及时修复。

4）充油设备应检查出气孔及出气瓣是否畅通，并检查是否缺油。10kV 及以下的应补充经耐压试验合格的油，35kV 及以上应补充同牌号合格的油或经混油试验合格的油。

5）检查传动机构和操动机构各部位的销子、螺母是否脱落或缺少，操动机构的拉、合是否灵活可靠，三相是否同步且插入深度是否一致。否则应修复，转动部位可加少许机油。

6）应清除高压隔离开关、负荷开关表面污迹和负荷开关灭弧室内的污迹及碳质，同时检查触头有无烧伤及麻点现象，并修复。

7）清除母线上的污渍并详细检查有无其他不妥。硬母线伸缩接头有无断片或腐蚀现象，并摇测母线绝缘电阻，应符合要求。

8）对高压熔断器，应核查熔丝与负载是否相匹配，并连接紧密可靠；熔管有无裂纹，上下端部的保护环是否牢固。跌落式熔断器的熔管有无堵塞，消弧角（罩）有无变形、变

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

位及烧伤现象。

9）对互感器，应清扫表面污渍，并摇测线圈的绝缘电阻，应符合要求。检查电压互感器一、二次侧的熔断器是否符合要求。采用环氧树脂绝缘的互感器除清除污渍外，应检查表面有无放电烧伤现象。

10）对高压配电装置的构架，应检查各部位螺栓有无松动或脱开现象，水泥杆或基础有无严重裂纹、脱落露筋现象，金属构架有无锈蚀现象并相应涂刷防腐漆，接地是否良好且有无锈蚀、断裂、断股等现象。

11）清扫检查中，对于已损坏又无修理价值或者短时内不能修复的设备或元件，经测试后应将其退出运行，同时按照要求更换同型号规格的备用件，备用件安装应执行相应的电气装置安装工程施工验收规范同时对其进行试验和测试。

清扫检查后的送电必须按照送电程序及试验标准要求进行，送电前应按标准检查验收清扫检查后的变配电装置。

3. 检修的周期及项目内容

电气装置的检修分小修、大修两种，其周期应按设备存在的缺陷和实际运行条件现状确定。

高压断路器一般应每年小修一次，每三年大修一次；设备状况良好且使用条件较好的可放宽到小修 2 ~3 年一次，大修 5 年一次，但必须随时利用停电机会检修主要部件。新投入运行的断路器，一年后应进行一次大修，以后按周期进行；故障掉闸三次以上或断路器严重故障应立即停电检修。

高压隔离开关、负荷开关、跌落式熔断器的检修，应结合停电清扫与检查进行，一般应每年至少进行一次。

电流、电压互感器的检修周期，应根据历年预防性试验的结果，经绝缘分析来确定。工程中常利用互感器检定时的替换期进行检修，也就是用两只互感器轮换使用，既延长了使用寿命，又便于检修、检定。

（1）高压油断路器小修项目

1）操动机构的全面检修。

2）电动操动机构的直流接触器的低电压和返回电压试验及分闸线圈的低电压试验。

3）测量全行程、接触行程、压缩行程及三相同期性。

4）检查动触头及固定触头的烧伤情况。

5）清扫、检查灭弧室。

6）检查绝缘筒有无损坏。

7）检查导电管及提升杆。

8）检查定位间隙。

9）检查传动机构。

10）检查绝缘子、瓷套管及绝缘拐臂。

11）检查升降装置及钢丝绳。

12）检查分、合闸缓冲器及分闸弹簧的性能。

13）紧固各部位螺母，并检查接地线。

14）处理油截门、油标尺、桶皮等渗、漏油处。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

15）摇测套管式电流互感器及其二次回路的绝缘电阻。

（2）高压油断路器大修项目

1）各项修前检查、数据测量及性能试验。

2）操动机构各部件的检修及调整。

3）传动机构的检修及调整。

4）更换有缺陷的套管或更换套管中的油。

5）灭弧室解体检修。

6）动触头、静触头的打磨或更换。

7）行程及三相同期性的调整。

8）更换渗油、漏油的截门、油标管，并检查排气管等附件。

9）摇测套管式电流互感器及其二次回路的绝缘电阻或更换不合格的电流互感器及二次回路。

10）对分合闸速度、时间及低电压跳闸、其他性能进行试验。

11）外壳涂漆防腐。

12）处理其他缺陷及特殊项目的检修。

13）修理后进行全部项目的试验。

其他类型断路器可参照上述项目进行检修。

4. 预防性试验的周期、项目内容及标准

35kV 及以上的配电装置的预防性试验周期，应根据历年试验结果，经过绝缘分析来确定。一般常根据运行情况的优劣每 1～3 年一次；10kV 一般为 3～5 年一次。高压配电装置在大修后、新设备运行前，应做全项目的试验；每次停电清扫与检查时应测量绝缘电阻。

1）少油断路器预防性试验项目和标准见表 7-4。

表 7-4　少油断路器预防性试验项目和标准

<table>
<tr><th>项目</th><th colspan="4">标　　准</th><th>说　　明</th></tr>
<tr><td rowspan="4">绝缘电阻</td><td colspan="4">一般应不低于下表数值：</td><td rowspan="4">为每柱和每个断口的标准</td></tr>
<tr><td>额定电压/kV</td><td>6～10</td><td>35</td><td>110</td></tr>
<tr><td>支柱/MΩ</td><td>1000</td><td>2000</td><td>5000</td></tr>
<tr><td>断口/MΩ</td><td>—</td><td>1000</td><td>2000</td></tr>
<tr><td rowspan="6">泄漏电流</td><td colspan="4">1. 每柱对地一般不大于下表数值：</td><td rowspan="6">断口单独试验时，施加电压与支柱相同</td></tr>
<tr><td colspan="2">额定电压/kV</td><td>35</td><td>110</td></tr>
<tr><td colspan="2">试验电压/kV</td><td>20</td><td>40</td></tr>
<tr><td colspan="2">泄漏电流/μA</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="4">2. 每个断口一般不大于 20μA</td></tr>
<tr><td>绝缘油击穿电压</td><td colspan="4">10kV 及以下的少油断路器≥25kV
35kV 的少油断路器≥30kV
110kV 的少油断路器≥35kV</td><td></td></tr>
<tr><td>均压电容器介质损耗角正切值和电容值</td><td colspan="4">1. 介质损耗角正切值应不大于 0.5
2. 电容值与铭牌值比较，差值不应超过 ±10%</td><td>必要时应卸下电容器单独进行测量</td></tr>
</table>

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）互感器预防性试验项目和标准见表7-5。

表7-5 电压、电流互感器预防性试验项目和标准

<table>
<tr><th>项目</th><th colspan="5">标 准</th><th>说 明</th></tr>
<tr><td rowspan="4">绝缘电阻</td><td colspan="5">与历次试验结果比较，下降不超过20%，但一般不低于下表数值：</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">额定电压/kV</td><td>6～10</td><td>35</td><td>110</td></tr>
<tr><td rowspan="2">绝缘电阻/MΩ</td><td>一次侧</td><td>300</td><td>1000</td><td>2000</td></tr>
<tr><td>二次侧</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr>
<tr><td>交流耐压</td><td colspan="5">按表5-15的规定</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">介质损耗角正切值</td><td colspan="5">一般不大于下表数值：</td><td rowspan="4">串级绝缘的电压互感器（一端为小瓷头者）试验电压一般为3000V</td></tr>
<tr><td colspan="3">额定电压/kV</td><td>35</td><td>110</td></tr>
<tr><td rowspan="2">介质损耗角正切值</td><td>电压互感器</td><td>3.5</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td>电流互感器</td><td>6.0</td><td>3.0</td></tr>
<tr><td>绝缘油击穿电压</td><td colspan="5">10kV及以下的互感器≥25kV
35kV的互感器≥30kV
110kV的互感器≥30kV</td><td>整体绝缘性能下降时，绝缘油应做介质损耗角正切值和绝缘电阻试验</td></tr>
</table>

3）隔离开关及母线预防性试验项目和标准见表7-6。

表7-6 隔离开关及母线预防性试验项目和标准

项目	标 准	说 明
绝缘电阻	1. 有机材料传动杆的绝缘电阻应不低于下列数值： 10kV及以下 300MΩ 35kV及以上 1000MΩ 2. 组合元件支柱绝缘子的每一元件和每片悬式绝缘子的绝缘电阻，应不低于300MΩ	使用2500V绝缘电阻表
交流耐压	1. 单元件支柱绝缘子的耐压试验标准见表7-5 2. 35kV组合元件支柱绝缘子交流耐压试验标准如下： 两个胶合元件者，每元件50kV 三个胶合元件者，每元件34kV 3. 悬式绝缘子串的交流耐压标准，应按每片绝缘子耐压标准试验	

其他型式的高压电器应参照上述标准进行。

5. 高压电器运行中的注意事项

高压断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器应按周期巡视检查、检修和试验，其安装及试验应符合GB 50148—2010和GB 50150—2006标准，运行中与其连接的母线不得有任何变形或变色。

1）断路器额定开断电流必须大于线路上最大的短路电流。

2）隔离开关。

① 严禁接通或断开负载电流及短路电流，只能在线路已断开的情况下进行操作，使电源或线路与设备有一个明显的断开点。

② 允许隔离开关切断或断开较小的空载电流。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 操作隔离开关时，必须遵守操作规程，分断时，先分断断路器，后分断隔离开关；闭合时，先合隔离开关，后合断路器。同时由机械或电气联锁装置保证。

3）负荷开关只能接通或切断负荷电流，而不能切断短路电流，因此，常与熔断器配合使用。

4）跌落式熔断器仅适用于周围没有导电尘埃和腐蚀性气体、没有易燃易爆危险和剧烈振动的室外场所，可作为6～35kV线路或容量不大的变压器短路保护，并可接通或断开其空载电流或较小的负载电流。跌落式熔断器的操作必须按规定的程序进行。

管式熔断器上下端与夹口的接触必须紧密可靠，不致因振动而松脱，也不致因电流较大时发热而变形、发黑。

6. 电力电容器运行中的注意事项

（1）一般注意事项

1）电容器室内冷却空气温度不得超过制造厂的规定，如无规定，一般不得超过40℃。自然通风不能满足要求时，应有机械通风装置。为监视室内空气温度，则在室内最热区内设置温度计。电容器外壳允许最高温度：国产矿物油浸渍的为60℃；国产氯化联苯浸渍的为80℃；进口氯化联苯浸渍的为50～60℃。

2）电容器允许在不超过1.05倍额定电压下和1.30倍额定电流下长期运行，在1.10倍额定电压下允许短时运行（每昼夜运行总时数不超过6h）。

3）用熔断器保护时，应每台单设熔断器，其熔丝额定电流一般取电容器额定电流的1.2～2.5倍。如分组装设，每组不宜超过4台，熔丝额定电流一般取每组总台数和电流的1.3～1.8倍。若电容器组采用油断路器保护时，其动作电流不应大于电容器组额定电流的1.5倍。

4）禁止电容器或电容器组在带电荷的情况下再次合闸充电。电容器或电容器组刚停止运行后，至少放电3min，方可再次合闸送电。

5）变电所（室）无电后，应将母线的电容器组从电网中切除并及时放电。恢复供电后，应根据母线电压和功率因数投入电容器组。

6）电容器的投切应根据电压、温度、功率因数来决定，为了防止投入或切除运行时产生的过电压，应使用无重合功能的断路器，并尽量减少对电容器组的操作。

7）检修或试验中，当搬运电容器时，严禁搬动电容器的瓷绝缘套管。

8）电容器外壳膨胀、漏油严重或有异常响动时应停止运行，以防爆炸。三相电流出现严重不平衡时，应停下运行并查明原因和处理后才能重新投运。

9）电容器的安装及试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求（标准GB 50147—2010和GB 50150—2006）。

10）运行的电容器应按周期巡视检查、清扫检修和试验，并建立技术资料，如电容器铭牌数据记录、投入运行前交接试验记录、历次预防性试验记录、电容器缺陷记录、电容器系统接线图、电容器组继电保护装置接线图及整定值或熔丝规范及保护装置动作情况记录。

（2）异常运行与故障的处理

1）当电容器发生下列情况之一时，应立即退出运行并采取措施：

① 电容器发生喷油、爆炸或起火。

② 电容器瓷套管发生严重的放电闪络。

③ 内部放电或有严重异常声响。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 连接点严重过热或熔化等。

2）电容器开关掉闸后，不准抢送；保护电容器的熔丝熔断后，未查明原因前，不准更换熔丝，不准送电。电容器因内部元件故障掉闸后，在未拆除故障电容器前，禁止重新合闸送电。

3）电容器发生故障需要拆除时，各相应均衡拆除，以保持三相平衡。如有合适备件时，应停电、放电后进行安装，并保证三相平衡。

4）电容器组发生故障进行处理时，先对全组电容器进行人工放电，其次对每台电容器进行逐台放电，然后开始排除故障工作。

5）装有 $\cos\varphi$ 自动补偿控制器的电容器组，当自动装置发生故障时，应立即将其退出运行，而改自动为手动，以避免 $\cos\varphi$ 降低或频繁投切电容器组。

7. 电容器（组）巡视检查、清扫检修和试验的周期和项目内容

（1）巡视检查的周期　有人值班时，应每班不少于一次；无人值班时，应每周至少巡视一次。每次巡视发现的问题应记入运行日志。

（2）巡视检查的项目内容

1）新安装的电容器组在投入运行前应检查以下内容：

① 电容器及其附属设备外观完好，电气试验合格。

② 电容器组的接线正确，三相电容值的误差不应超过一相总电容值的 5%。

③ 电容器的放电回路以及保护、监控回路应完整且功能正常。

④ 电容器的外壳和构架应接地可靠，外壳与地的绝缘电阻应合格。

⑤ 装有接地隔离开关者，接地隔离开关应处在断开位置。

2）新电容器投入运行时，应在额定电压下试通电三次，每次送电前应充分放电。试通电正常时，再试运行 24h。试运行时间应加强巡视和检查，如外壳有无膨胀变形、漏油、熔丝熔断等。

3）电容器日常巡视检查的内容：电容器外壳有无膨胀、鼓肚现象，油箱是否漏渗油，各相电流是否正常平衡，有无不稳定现象，观察放电指示灯，以鉴别放电回路电阻是否完好，外壳上的示温蜡片是否熔化，各部分接点是否过热，有无异常声响或火花，套管的瓷质部分有无闪络痕迹，观测电容器组母线电压及室内温度并记录。

（3）除日常巡检外，应进行停电检查以及在发生掉闸或熔丝熔断时的特殊巡视检查，必要时应对电容器进行试验。

（4）定期停电检查　一般每季一次，除上述巡检内容外，还有各部分螺钉接点的松紧及接触情况，检查放电回路的完整性和可靠性，检查通风道的畅通情况，外壳接地及接地线是否完好，继电保护装置的动作情况及熔丝是否完好，电容器组的开关及线路，构架瓷绝缘有无破裂等。

（5）电容器的清扫、检修及试验

1）电容器组每季清扫一次，时间与定期停电检查同时进行。

2）清扫内容有电容器构架及绝缘件，电容器组的放电装置，电容器室的通风装置及通风孔，电容器回路的其他电气元器件。

3）对电容器组进行清扫、检修、试验时，应先将电容器的电源开关断开，然后进行人工放电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）更换有缺陷的电容器时，应根据备用电容器的记录资料，检查电容器的电容值及绝缘电阻是否合格，电容器是否漏油、渗油，有无缺陷。

5）对套管和外壳有渗漏油的电容器进行小修时，可采用锡焊或涂环氧树脂等方法补漏。

6）对外壳破裂、内部元器件已损坏的氯化联苯电容器不应再进行检修。一般处理方法是集中统一销毁、并深埋残骸，严禁污染环境。处理时，应避免皮肤与其直接接触，处理中使用过的棉纱、手套等物应随同一起销毁。

7）电容器安装前，应进行交接电气试验，见表7-7和表7-8。当不符合表中的规定时，可按出厂试验电压值的75%进行耐压试验。

表7-7　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	5	18	25	35	45	55	85
交接试验电压/kV	2.2	3.8	14	19	26	34	41	63

表7-8　电容器交接试验项目和标准表

试验项目	标　准						备　注
双极对外壳绝缘电阻	20℃时≥2000MΩ						3kV及以上用2500V绝缘电阻表
电容值测量	不超过出厂实测电容值的±10%						
双极对外壳交流耐压（50Hz，10min）	电容器额定电压/kV	0.5及以下	1	3	6	10	可按表7-7规定值进行
	试验电压/kV	2.1	4.2	15	21	30	
极间直流耐压	U_e×4.3×0.85，时间10s						U_e——电容器的额定电压
冲击合闸试验	在电网额定电压下，对电容器进行三次合闸试验，开关合闸时保护装置不应动作，电容器组各相电流的差值不应超过5%						

8）运行中的电容器预防性试验及其周期标准见表7-9。

表7-9　电容器的预防性试验项目、周期和标准

试验项目	周　期	标　准						备　注
双极对外壳绝缘电阻	每2年一次	≥1000MΩ						3kV及以上用2500V绝缘电阻表
电容值测量	每3~5年一次	6.3kV及以下时<+10% 10.5kV时<+5%						
双极对外壳交流耐压（50Hz，1min）	每3~5年一次	电容器额定电压/kV	0.5及以下	1	3	6	10	
		试验电压/kV	2.1	4.2	15	21	30	
极间直流耐压	每3~5年一次	U_e×4.3×0.75，时间10s						U_e——电容器的额定电压

8. 继电保护及自动装置巡视、检查、校验的周期和项目内容

（1）运行中的继电保护和自动装置，应每班巡视检查一次；无人值班时，至少每周一次，并随变配电装置一同巡视检查。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）巡视检查的项目内容

1）继电器外壳有无破损裂纹，整定值的位置是否变动（漆封或铅封）。

2）继电器触头有无卡住、变位倾斜、烧伤以及脱轴、脱焊等异常。

3）感应式继电器的铝盘转动是否正常，经常带电的继电器其触头是否有较大的抖动或磨损，线圈及附加电阻有无过热现象。

4）压板及转换开关的位置是否与运行要求一致。

5）信号指示是否正常。

6）小母线直流电压是否正常。

7）有无异常声响及发热、冒烟和烧焦等异味。

8）保护装置的电源指示及闭锁指示是否正常。

9）接线有无虚脱或打火现象。

10）晶体管继电保护装置，应用切换装置定期检测各个回路的工作状态和静态工作点。

11）微机保护装置定期检测检测回路的工作状态并校正程序。

（3）运行中的继电保护装置的校验 3～10kV 系统每两年一次；供电可靠性要求较高的 10kV 系统及 35kV 及以上的系统，每年进行一次校验。

（4）运行中的继电保护装置校验的项目内容

1）继电器的机械性能检查及电气特性试验。

2）二次回路绝缘电阻的测量。

3）模拟动作试验。

4）保护装置整组动作试验。

5）继电保护装置在检修或更换一、二次设备（如检修断路器、更换电流互感器、变更设备容量等）以及继电保护系统进行改造后，应对其进行补充校验。

6）变压器的瓦斯保护装置结合变压器大修而进行的校验（气体继电器每三年进行一次内部检查、轻气体继电器每年进行一次吹气试验）。

（5）校验时应注意的事项

1）校验前应进行充分的准备，如校验仪器设备、校验方案及接线方式、人员安排、准备备品备件等。

2）现场校验过电流速断路保护装置时，应先检查继电器线圈的串并联情况、刻度盘的刻度等，是否与开关保护整定值相符。

3）校验前，应先清除继电器内部的尘土及油迹污垢，使活动部分的机件动作灵活，并根据触头的烧损情况进行打磨或更换。晶体管继电器，如有元器件工作性能不稳定时，应查明原因更换元器件或继电器。

4）校验前，应做好防护措施，以防止正在运行设备的继电保护装置误动。

5）对继电器保护盘进行有较大振动作业时（如钻孔），应将速断、差动等无时限跳闸的保护装置临时停运，但应事前征得有关部门的同意。同时，应有防止铁屑落入元器件的保护措施。

6）改变电流型继电器整定值时，应先断开压板；改变继电器串并联线圈时，应先将电流互感器专用端子短接；改变整定值后应将指针螺钉拧紧，临时改动应做好标记。

7）主变压器差动保护装置投入运行后，应在带负载情况下作相量图，并测量不平衡电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压，以验证电流互感器的极性及二次接线的正确性。

（三）电力变压器的巡检维护及运行

1. 保证电力变压器安全运行的基本要求

1）不论电压分接开关在何位置，电力变压器所加的一次电压不应超过其额定电压的95%～105%。

2）油浸式电力变压器的油温，上层不宜经常超过85℃。对于采用强迫油循环水冷却和风冷却的变压器，正常运行时，上层油温不宜超过75℃。

3）对Yyn0（Y/Y0-12）联结的变压器，其中性线电流不得超过低压相、线额定电流的25%，相、线电流在事故情况下、1.3倍额定电流时，持续的时间不得超过120min，一般情况下，不得超过额定电流。

4）并列运行的变压器应满足并列运行条件；进行过相位变动的作业后，必须经过核相试验才允许重新并列。

5）停运半年以上的变压器，只有在绝缘电阻和油耐压试验合格后，才允许重新投入运行；对备用变压器，应做好随时投入运行的准备，对长期不带电的备用变压器，应定期轮换使用。

6）对强迫油循环冷却的变压器，在投入运行时，应先开油泵，后开水泵；停止运行时，应先停水泵，后停油泵，并立即将水泵的冷却水排出。变压器处于运行状况时，无论负荷有无变化，冷却水不得间断。

7）新变压器初次投入运行时，应先空负荷运行24h后，才能带额定负荷运行。

8）无负荷调压变压器的分接开关变换位置后，应用直流电桥测量三相绕组每相的直流电阻，所测得的值相差不应超过2%；备用变压器的分接开关位置应与运行变压器分接开关的位置保持一致。

9）用熔断器保护的电力变压器其熔丝应按表7-10的规定选择。

表7-10　变压器配用跌落式熔断器规格选用表　（单位：A）

<table>
<tr><td colspan="2">变压器容量/kVA</td><td>100</td><td>125</td><td>160</td><td>200</td><td>250</td><td>315</td><td>400</td><td>500</td><td>630</td><td>800</td><td>1000</td></tr>
<tr><td rowspan="2">一次额定电流</td><td>6kV</td><td>9.6</td><td>12</td><td>15.4</td><td>19.2</td><td>24</td><td>30.2</td><td>38.4</td><td>48</td><td>60.5</td><td>76.8</td><td>96</td></tr>
<tr><td>10kV</td><td>5.8</td><td>7.2</td><td>9.3</td><td>11.6</td><td>14.4</td><td>18.2</td><td>23</td><td>29</td><td>36.5</td><td>46.2</td><td>58</td></tr>
<tr><td rowspan="2">RN1型熔断器规格/熔丝电流</td><td>6kV</td><td colspan="2">20/20</td><td colspan="2">75/30</td><td>75/40</td><td>75/50</td><td colspan="2">75/75</td><td>100/100</td><td colspan="2">200/150</td></tr>
<tr><td>10kV</td><td colspan="3">20/15</td><td>20/20</td><td colspan="2">50/30</td><td>50/40</td><td>50/50</td><td colspan="2">100/75</td><td>100/100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">RW4型熔断器规格/熔丝电流</td><td>6kV</td><td colspan="2">50/20</td><td>50/30</td><td colspan="2">50/40</td><td>50/50</td><td colspan="2">100/75</td><td>100/100</td><td colspan="2">200/150</td></tr>
<tr><td>10kV</td><td colspan="3">50/15</td><td colspan="2">50/20</td><td>50/30</td><td colspan="2">50/40</td><td>50/50</td><td colspan="2">100/75</td><td>100/100</td></tr>
</table>

注：熔断器规格分子为熔断器规格，分母为熔丝规格。

10）运行中的电力变压器应严格按现行的变压器运行规程的要求进行周期试验和检修。变压器安装后和大修时应进行试验。

11）自然冷却或风冷却油浸式变压器的过负荷倍数及允许过负荷时间，一般可按上层

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

油温确定，见表7-11。通常室外变压器过负荷不得超过允许负荷的30%，室内变压器不得超过20%。

表7-11 自然冷却或风冷却油浸式变压器的过负荷倍数及允许的过负荷持续时间 （单位：h：min）

过负荷倍数	过负荷前上层油的温升/℃					
	18	24	30	36	46	48
1.05	5：50	5：25	4：50	4：00	3：00	1：30
1.10	3：50	3：25	2：50	2：10	1：25	1：10
1.15	2：50	2：25	1：50	1：20	0：35	
1.20	2：05	1：40	1：15	0：45		
1.25	1：35	1：15	0：50	0：25		
1.30	1：10	0：50	0：30			
1.35	0：55	0：35	0：15			
1.40	0：40	0：25				
1.45	0：25	0：10				
1.50	0：15					

注：空气环境温度为40℃及以下适用。

12）当冷却系统发生故障（油浸风冷变压器风扇、强迫油循环风冷变压器的风扇和油泵、强迫油循环水冷变压器的水及油循环设备发生故障）时，变压器的允许负荷和持续时间应按制造厂的规定执行。如无规定，对于在额定冷却空气温度下连接运行的变压器，其负荷不应超过额定容量的70%。油浸风冷变压器当风扇停止运行时，允许的过负荷倍数和持续时间见表7-12。

表7-12 油浸式电力变压器当风扇停止运行时，允许负荷持续时间 （单位：h：min）

过负荷倍数	上层油温升/℃						
	18	24	30	36	42	48	54
0.75	12：20	11：40	10：55	10：00	8：40	7：00	4：00
0.80	7：40	7：00	6：20	5：25	4：20	3：00	0：50
0.85	5：30	5：00	4：20	3：35	2：40	1：30	
0.90	4：20	3：50	3：15	2：35	1：45	0：45	
0.95	3：25	2：55	2：25	1：45	1：08	0：15	
1.00	2：45	2：20	1：50	1：20	0：40		
1.05	2：15	1：50	1：25	0：55	0：20		
1.10	1：50	1：25	1：00	0：35	0：06		
1.15	1：30	1：10	0：45	0：20			
1.20	1：10	0：50	0：35	0：08			
1.25	0：50	0：35	0：15				
1.30	0：35	0：20					

注：空气环境温度为40℃及以下适用。

13）变压器允许事故过负荷的数值和时间，应按制造厂的规定执行。如无规定，可参考表7-13和表7-14执行。

14）油浸式电力变压器的变压器油应符合GB 50150—2006的规定。

15）变压器的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及试验规范的要求（标准号GB 50148—2010和GB 50150—2006）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-13　油浸式变压器允许事故过负荷的倍数和时间

过负荷倍数	1.30	1.45	1.60	1.75	2.00	3.00
允许持续时间/min	120	80	45	20	10	<1.0

表 7-14　干式变压器允许事故过负荷的倍数和时间

过负荷倍数	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.0
允许持续时间/min	60	45	32	18	5	<1.0

2. 运行中的电力变压器巡视检查的周期及项目内容

（1）巡视检查的周期

1）有人值班的，每班一次；无人值班的，每周至少一次。

2）强迫油循环水冷却变压器，不论有无值班人员，均应每小时巡视一次。

3）线路上的变压器至少每月巡视一次。

4）当负荷急剧变化，或天气恶劣、变压器发生短路故障时，应增加特殊巡视。

（2）变压器巡视检查的项目内容

1）检查变压器电流、电压及其变化情况，三相应一致。

2）变压器油面和温度是否超过允许值。

3）充油套管和油位计内的油色是否正常，有无渗、漏油现象。

4）接线端子有无虚接、松动或过热现象。

5）瓷套管是否清洁，有无裂纹和损伤及放电痕迹或现象。

6）变压器的运行声音是否正常。

7）呼吸器中的吸湿剂是否达到饱和状态。

8）气体继电器的油截门是否打开，是否渗漏。

9）防爆管的隔膜是否完整。

10）冷却系统工作是否正常。

11）室内变压器的门、窗、百叶窗是否完好。

12）室外变压器基础有无下沉、变压器顶盖上有无异物。

13）外壳接地是否良好。

14）对强迫油循环水冷变压器，除上述 1）~13）项外，还有以下内容：油泵、水泵运行是否正常，油管和水管有无漏油或漏水现象；变压器运行时，油压、水压应符合产品的要求，一般油压应大于水压 0.1~0.15MPa；发现冷却水内有油时，应立即停止运行，检修冷却器。

15）变压器的特殊巡视，除上述 1）~14）外，还应重点检查以下内容：过负荷时，应监视负荷、油温和油位的变化，示温蜡片有无熔化及冷却系统的工作情况；大风天气时，应检查室外引线的最大摆动情况及有无搭挂杂物，顶盖上是否落上杂物。雷雨天气时，应监视避雷器的动作情况、瓷绝缘件有无放电闪络情况；下雾天气时，应重点监视室外污秽绝缘件的放电、闪络情况；下雪天气时，根据积雪的溶化情况检查室外接头发热部位并及时处理冰棒；高温天气时应监视变压器的油温及油位的变化，特别要加强变压器的通风。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

16）有载调压变压器的有载调压控制装置的选择开关及切换开关应接触良好，操作灵活，无阻卡现象，位置指示器动作正常，指示正确，并且与电压表指示对应。

17）变压器应根据周围环境和负荷情况确定停电清扫检查周期，一般每半年到1年进行一次。在特殊环境（如多尘、有腐蚀性气体、潮湿等场所）中运行的变压器，应根据具体情况适当增加清扫检查次数。

3. 电力变压器在运行中最主要监视的项目内容

电力变压器在运行中最主要监视的项目内容就是变压器温度和油位。变压器具有一定的过负荷能力，当变压器负荷超过允许的过负荷倍数时，只要变压器的温度没有超过最高允许值，油位未达到极限允许值，在运行需要的时候，变压器可继续运行，运行持续时间，由温度和油位而定，一旦达到极限值，应立即减荷，详见（一）。

当变压器发生以下异常危险时，应立即拉闸停止运行：

1）在正常负荷和冷却条件下，变压器温度不断上升，很快达到极限值。

2）变压器的任一部位严重漏油或喷油，油位计的指示已低于下极限。

3）变压器内部声响很大且不均匀、有严重的放电声或撞击声。

4）油色变化过甚，呈黑色，油内已出现炭质。

5）套管有严重破损和放电现象。

6）变压器已着火或冒烟或有严重的焦煳味。

高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准参见表5-15。

4. 检修的周期、项目内容及标准要求

变压器的检修分小修和大修两种，其周期一般是根据历年来预防性试验结果经分析后确定的。

（1）变压器的大修

1）周期的规定。

① 35kV及以上的变压器在投入运行5年后应大修一次，以后每5～10年大修一次。

② 10kV及以下的变压器，如不经常过负荷运行，则每10年左右大修一次；经常过负荷的每3～5年大修一次。

③ 35kV及以上的变压器，当承受出口短路后，应考虑提前大修或做吊心检查。

2）大修项目内容。

① 吊出变压器器身，检查线圈和铁心。

② 检修铁心、线圈、分接开关及引出线。

③ 检修顶盖、储油柜、防爆管、散热器、潜油泵、油门、吸湿器及套管等。

④ 检修冷却装置和油再生装置。

⑤ 清扫壳体，必要时重新刷油。

⑥ 检查控制测量仪表、信号和保护装置。

⑦ 滤油或换油。

⑧ 干燥处理。

⑨ 装配变压器。

⑩ 进行规定的测量和试验，见表7-15。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-15　油浸式电力变压器的试验项目和标准

（油浸式电抗器和消弧线圈的试验也可参考本表）

编号	试验项目	试验类别				标　准
		接交试验		更换线圈的大修时	不换线圈的大修时	
		安装前	安装后			
1	测量变压器绕组的直流电阻（如不必吊出铁心，则应在所有分接头上测量）	必需①	必需①	必需	必需	与其他各相在相同的分接头上所测得的电阻比较以及与制造厂出厂数据比较，相差不应超过2%
2	测量所有分接头上的电压比	若无设备履历资料或有怀疑时方需要	必需	必需		与其他各相在相同分接头上所测的电压比比较以及与以前测量试验比较或与铭牌值比较，相差不应超过1%～2%，相差较大时仍能运行，但应向制造厂查询
3	检查三相变压器的联结组别和单相变压器引出线的极性	若无设备履历资料或有怀疑时方需要	必需①	必需	—	必须与变压器上的标志（铭牌和顶盖上的符号）相符
4	测量绕组的绝缘电阻和 R_{60}/R_{15} 比值	必需	必需	干燥前后必需	打开前及投入运行前必需	对于新安装的变压器为1～2.0，对于进行大修的变压器为不小于1.3
5	电压在20kV及以上或容量在1000kV·A及以上的变压器，有相应的仪表时，测定2Hz和50Hz时的绕组电容比（C_2/C_{50}）	必需	干燥前后必需	干燥前后必需	检修前后必需（如果进行干燥则在干燥前后做）	见变压器运行规程
6	测定电容比值 $C_{热}/C_{冷}$（$C_{70℃}/C_{20℃}$）	—	—	建议在下列情况下采用，即 C_2/C_{50} 或 tanδ 数值偏高，以及由于缺少测量两种频率的电容的仪器不能做第5项测定而有可能量测变压器在冷状态和热状态（用特殊加热方法）下的电容时		见变压器运行规程
7	测量电压在20kV及以上或容量在1000kV·A及以上的变压器绕组的介质损耗角正切值 tanδ	可用以代替第5和第6项测定	必需	干燥前后必需	必需	见变压器运行规程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	试验项目	试验类别				标　准
		接交试验		更换线圈的大修时	不换线圈的大修时	
		安装前	安装后			
8	电压在35kV及以下的变压器连同套管一起进行主绝缘工频耐压试验	—	必需	必需	必需	试验时间为1min，试验电压为制造厂出厂试验电压的85%
9	测量穿心螺栓和轭铁梁的绝缘电阻和穿心螺栓的耐压试验	必需		必需	必需	绝缘电阻不许低于初始值的50%。穿心螺栓试验电压为交流1000V或直流2500V，试验时间为1min
10	测量套管的介质损耗角正切值（纯瓷的除外）	必需①	必需①（允许用有损耗的电极）	必需①	必需①（允许用有损耗的电极）	损耗角正切值不应超过各电力公司《电气设备交接和预防性试验规程》中的规定
11	测量额定电压下的无负载电流	—	必需①	必需		无负载电流不予规定
12	测量额定电压下的无负载损耗（有条件时进行）		必需①	必需①		无负载损耗应与初次值比较。不应有显著的增加
13	对散热器和油箱做油柱试验	必需①	必需①	必需①	必需①	对于管状油箱和平面油箱，为0.6m油柱压力，对于波状油箱和有散热器的油箱为0.3m。试验时间为15min
14	检验带负载切换的分接头切换器的动作并绘制圆图	必需	必需	建议作		圆图应与出厂圆图相同
15	机械冷却装置的检查和试验	按制造厂规程				
16	额定电压的冲击合闸试验	—	必需合闸五次	必需合闸三次	—	
17	变压器的定相	—	必需	必需	如果一次或二次联结改接，则必须做	
18	油箱和套管中绝缘油的化学分析及试验	必需	必需	必需	必需	
19	检查运行中的油再生装置		必需	必需	必需	
20	检查接缝垫衬和法兰连接的情况（运行后在热状态下进行）		必需	必需	必需	

① 容量为630kVA以下的变压器无需进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑪ 试投后投入运行。

3）大修的要求。

① 清除线圈表面的油泥、污垢和杂质。

② 鉴定外部绝缘物优劣程度，外部绝缘物的优劣程度一般分四级，见表 7-16。

表 7-16　变压器外部绝缘等级划分

等级	特　　征
一级	线圈绝缘物良好，绝缘物没有变色，有弹性，用手按动无残留变形
二级	线圈绝缘物较好，绝缘物颜色变深，但不过热，质地干硬坚固无开裂，用手按动无裂纹
三级	线圈绝缘物发脆，颜色变深，用手按动发生微小裂纹或变形
四级	绝缘物已损坏，用手按动绝缘物时脱落并产生严重变形及损坏

当绝缘劣化到三级时，变压器不得满负载运行，只能减负载或压负载运行；劣化到四级时，必须更换线圈。

③ 变压器线圈间隔衬垫应牢固，线圈不得有松动、变形或位移。高低压线圈应对称且无油粘物。

④ 分接开关的触头应牢固，绝缘纸板和胶管应完整无损。

⑤ 电压转换开关的触头、压紧螺钉、转动部分的通轴及顶盖上的标示字样应与要求相符。

⑥ 铁心紧固且接地良好，铁心与线圈间的油道（冷却孔）应畅通。

⑦ 铁心的穿心螺栓紧固且绝缘良好。用 1000V 绝缘电阻表测量穿心螺栓与铁心的绝缘电阻，10kV 及以下变压器时不小于 2MΩ，35kV 变压器时不小于 5MΩ。

⑧ 更换气体继电器的二次回路导线，检查气体继电器内部浮筒及水银触点是否完整，并加压进行耐压试验。

⑨ 充油套管内的油面，应保持在规定的指示线处。

⑩ 测量及试验应合格。

（2）变压器的小修

1）周期的规定。

① 对 35kV 及以上的变压器，每半年一次。

② 对 10kV 及以下的变压器，每一年一次。

③ 对 10kV 及以下的杆上变压器，每两年一次。

2）小修项目内容。

① 消除巡查中发现的缺陷。

② 测量线圈的绝缘电阻。测量绝缘电阻时，如果与上次测量的数值在同一温度下而降低 30% ~50% 时，应作绝缘油试验；对 10kV 及以下者作耐压试验；对 35kV 及以上者，应作绝缘油的简化试验及变压器泄漏、介质损耗角正切值试验。

③ 清扫瓷套管和外壳，瓷套管破裂或耐油胶垫老化应更换为合格品，若漏油应拧紧螺钉或换垫。

④ 检查引出线接头，如有烧伤应用砂布擦光后接好。

⑤ 补油。

⑥ 清除储油柜集泥器中的水和污垢。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑦ 检查吸湿器和出气瓣是否堵塞，并清除污垢。

⑧ 检查并摇测气体继电器引出线是否合格，浸蚀者应更换。

⑨ 检查各部位油截门是否堵塞。

⑩ 熔丝是否完好合格。

⑪ 对杆上变压器，应检查杆是否有裂纹、歪斜、金属构架是否松动等。

⑫ 接地是否可靠完好，一、二次接线是否正确紧固完好等。

(3) 变压器检修后应达到的标准

1) 变压器检修后应达到的标准。

① 线圈和铁心无油垢，铁心接地良好。

② 铁心夹紧螺栓绝缘良好。

③ 油循环通路无油垢，且畅通无阻。

④ 线圈绝缘良好，无松动、无损伤。

⑤ 高低压线圈无移动变位。

⑥ 各部位连接良好，螺栓紧固，部件固定。

⑦ 紧固楔垫排列整齐，无变形。

⑧ 温度计的接线良好，用500V绝缘电阻表测量绝缘电阻，阻值不小于1MΩ。

⑨ 调压装置内清洁，触头接触良好，弹力充足；其转动轴灵活，油封口完好紧密，转动触点的转动正确牢靠。

⑩ 套管表面清洁无污垢，螺栓、垫片、法兰、填料等完好紧密，无渗、漏油现象。

⑪ 油箱、储油柜、散热器内清洁，无锈蚀渣滓。

⑫ 各部位法兰、接点和孔盖等紧固严密，各油门开关灵活，各部位无渗漏油现象。

⑬ 防爆管隔膜密封完好。

⑭ 气体继电器正常。

⑮ 油位计和油标管清洁透明，指示正确。

⑯ 附件齐全无缺损。

2) 大修后应具有下列资料。

① 变压器制造厂试验记录副本。

② 交接试验和测量记录。

③ 吊心检查记录。

④ 干燥处理记录，如温度及温度曲线、真空度、电容、绝缘电阻等记录。

⑤ 油、水冷却装置的管路连接图。

⑥ 变压器接线圈、仪表和信号接线图、保护装置接线图和设备结构图等。

5. 预防性试验、大修后的试验周期及试验项目

运行中的变压器预防性试验的周期一般为1～3年，大修后的试验周期随大修进行。

(1) 35kV及以上的变压器大修后的试验项目

① 测量绕组的绝缘电阻、吸收比或极化指数。

② 测量绕组连同套管的泄漏电流值。

③ 测量绕组连同套管的介质损耗角正切值。

④ 油击穿电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤ 绕组连同套管的交流耐压试验。

⑥ 110kV 及以上的套管介质损耗角正切值。

⑦ 绕组各分接头的直流电阻。

⑧ 绕组各分接头的电压比。

⑨ 联结组别或极性。

⑩ 有载调压分接开关动作试验。

⑪ 穿心螺栓和轭铁的绝缘电阻。

⑫ 空载试验。

⑬ 短路试验。

⑭ 噪声的测量。

（2）35kV 及以上变压器的预防性试验　除大修项目的 1）、2）、3）、6）、7）外，还应进行绝缘油试验。

（3）10kV 及以下变压器大修试验项目与 35kV 大修项目的 1）、4）、5）、7）、8）、9）、12）、13）、14）相同，其中第 1）条可不做吸收比试验。

（4）10kV 及以下变压器预防性试验。除 35kV 大修项目的 1）、5）外，还应进行绝缘油试验，其中第 1）条可不做吸收比或极化指数的试验。

（5）对变压器油应每年进行一次耐压试验　对 10kV 及以下的变压器，每三年做一次油的简化试验。对 35kV 及以上的变压器，至少每一年做一次油的简化试验。变压器大修后应进行油的简化试验。

（6）35kV 及以上且容量为 10000kVA 以上的变压器绝缘油，应每年做一次气相色谱试验，35kV 以下的变压器可根据具体条件及变压器的状况进行试验。

6. 互感器在运行中的注意事项

互感器分电流互感器和电压互感器，运行中应注意以下几点：

1）油位指示器、瓷套法兰连接处和放油阀，均应无渗、漏油现象。

2）二次接线板完整，接线正确，引出端子连接牢固，绝缘良好，标志清晰。

3）同一组互感器的极性方向应一致。

4）互感器的二次接线端子和油位指示器的位置，应位于便于检查的一侧。

5）具有吸湿器的互感器，其吸湿剂应干燥，油封油位正常。

6）具有均压环的互感器，均压环应装置牢固、水平，且方向正确。

7）二次侧的一端应可靠接地，不得断开或松动。

8）分级绝缘的电压互感器，一次绕组的接地引出端子和外壳应可靠接地。电压互感器两侧均装有熔断器。

9）电压互感器检修时，应拉开高压侧隔离开关，并取下二次的熔断器。带电作业中，应采取可靠措施，严禁将二次短路。

10）电流互感器暂不使用的二次接线端子应短路后接地；严禁二次开路。铁心引出接地端子和互感器的外壳应接地。

11）电流互感器的二次回路，要求连接可靠，不得开路，不得装设开关或熔断器。在运行中的电流互感器二次回路上作业，必须先将二次侧可靠短路后，方可进行作业。

12）电流互感器和电压互感器的接线应按原设计图样接线，运行维修人员不得随意改

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变接线方式。若因运行的需要，须经用电单位的电气设备管理机构及技术负责人核准并下达正式图样，方可改接。

13）电流互感器二次回路的导线应使用电压不低于500V的铜芯绝缘导线，其截面积不应小于2.5mm^2，电压互感器二次回路中不得小于1.5mm^2。

14）互感器的安装必须牢固，应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求（标准号GB 50148—2010）。

15）运行中的互感器应随变配电装置的周期进行巡视检查、检修和试验。

7. 消弧线圈及其在运行中的注意事项

消弧线圈是一个具有铁心的可调电感线圈，由铁心、线圈、油箱和套管等组成。在中性点不接地电网中，一般采用中性点经消弧线圈接地的方法。发生单相接地时，消弧线圈的感生电流对接地电流有抑制作用，并将接地电流减小到允许的范围内。

运行中的消弧线圈应注意以下几点：

1）应定期巡视检查、检修、试验消弧线圈，其内容及周期与变压器相同。

2）消弧线圈运行中的温度应正常，一般不高于气温。

3）运行声音均匀，无异常响动。

4）油色、油位正常，无渗漏现象。

5）套管清洁完整，无破损，无放电痕迹。

6）引线接头紧固，接地良好。

7）仪表及信号指示正常，中性点的位移电压不超过规定数值，正常情况下，35kV系统不得超过3kV；10kV系统不得超过0.9kV。

8）调整消弧线圈分接头时，必须将消弧线圈从网络中断开后方可进行，但是必须严格根据信号和接地电压表的指示，确实证明网络中不存在接地故障时，方能操作消弧线圈的隔离开关。系统发生单相接地时，禁止将消弧线圈的隔离开关拉开，同时禁止用消弧线圈盘上的小电流表观察，以免烧毁。

9）正常运行时，不得将两台变压器同时接到一个消弧线圈上；当需要将消弧线圈从一台变压器切换到另一台变压器上时，应将原接的一台断开，再接到另一台变压器上，切换时必须保证系统无单相接地故障。

10）当系统发生接地故障时，不得断开消弧线圈，一般允许运行2h，如果时间超过而故障未能消除，应加强监视，保证消弧线圈上层油温不得超过95℃。

11）消弧线圈的巡视、清扫检查、检修、试验应随变压器同时进行。其安装及试验应执行电气装置安装工程施工及验收规范和试验标准（标准号GB 50148—2010和GB 50150—2006）。

（四）直流电源及仪表

1. 变配电所直流电源安全运行的要求

变配电所直流电源主要是指供断路器操作、继电保护装置、自动装置以及事故照明用的蓄电池组、储能电容器及其整流充电装置。保证其安全运行的首要条件是必须按电气装置施工及验收规范安装和试验，标准号GB 50171—2012、GB 50172—2012、GB 50255—1996和GB 50150—2006，其次应按操作规程维护使用，并按周期进行巡视检查、检修。

（1）总体要求

1）按“浮充电”方式运行的蓄电池，每月应进行一次均衡充电；每年进行一次核对性

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

放电。如果在该期间内，曾经发生过由于浮充电机组故障而导致蓄电池强迫放电时，可不再进行核对性放电。

2）按“充电—放电”方式运行的蓄电池，每三个月进行一次均衡充电。

3）硅整流设备的交流电源互投装置，应每月进行一次传动试验。

4）蓄电池室的温度应经常保持在 10～30℃，在保证蓄电池使用容量的条件下，温度可以在 10℃以下，但不得低于 0℃。

5）蓄电池在充电过程中，电解液的温度不得超过 40℃，否则应减小充电电流并延长充电时间。

6）变配电所的直流电源应建立的资料如下：

① 蓄电池组及其整流设备的系统接线图。

② 蓄电池组及其电池的电压、电解液温度、密度、充放电电流及时间等运行记录。

③ 异常现象及事故处理记录。

④ 蓄电池组和整流设备的大、小修记录等。

（2）巡视检查周期的规定

1）有人值班的变配电所，每班一次。

2）无人值班的变配电所，每周至少一次。

3）充电机组，每班两次。

4）直流系统中补偿电容的放电检查装置，每班应切换检查一次。

（3）巡视检查项目内容

1）每个蓄电池电解液液面高度，是否经常保持高于极板上缘10～15mm，或按制造厂规定。

2）典型蓄电池电解液密度、温度及端电压。

3）极板颜色是否正常，有无断裂及弯曲，有效物质有无严重脱落；极板之间有无短路现象。

4）容器底部沉积物是否过多。

5）接线端子处的接触是否良好可靠，有无松动，有无生盐现象。

6）外壳、支架、木隔板及附件是否完整无损。

7）蓄电池室的门、窗、玻璃是否良好完整，通风及照明是否良好，室温是否超过要求。

8）碱性蓄电池的排气孔是否畅通。

（4）蓄电池组充电设备巡视检查的项目内容

1）直流机组运行是否正常，有无异常声响，线圈及轴承的温度是否符合要求。

2）发电机的电刷三相是否一致，有无过短、有无严重打火现象，集电环有无严重划痕。

3）充电电流的大小是否符合规定。

4）用硅整流作为充电设备时，整流器有无损坏，电压是否正常，磁饱和稳压器和速饱和变压器有无异常、异味，元器件是否过热。

5）充电系统有无其他不妥。

（5）硅整流及储能电容器作为直流电源时，巡视检查的项目内容

1）直流输出电压不应超过额定值的 ±10%，否则应调整。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）通风装置是否完好正常。

3）储能电容器有无损坏，是否过热，焊点有无开焊。

4）直流电源指示是否正常、完好。

5）隔离变压器有无异常声响，是否过热，有无异常气味。

6）整流元器件是否过热。

7）系统有无其他不妥。

（6）蓄电池运行中的故障　可参考表 7-17 进行处理。不同形式的蓄电池也可参考本表。

表 7-17　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 10 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. 电池放电率很差 5. 充电末期冒泡不剧烈	1. 初充电不足或长期充电不足 2. 电解液密度低、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. 调整密度及室温 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；电压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，极板钝化	1. 消除短路 2. 均衡充电 3. 消除硫酸化 4. 检查接头 5. 补充充电 6. 更换或修补极板 7. 校正电压表 8. 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
冒气异常	1. 冒气小 2. 少数电池不冒气 3. 冒气太早 4. 放电时冒气 5. 浮充电时冒气大	1. 充电电流太小、太大或尚未充足电 2. 内部短路 3. 极板硫酸化 4. 充电后未停留即放电。电解液中可能有杂质	1. 改正充电电流，继续充电 2. 消除短路 3. 消除硫酸化 4. 充电后 1h 后再放电 5. 检查电解液，必要时更换
电解液密度异常	1. 充电时，密度增加慢或不变 2. 浮充电时，电解液密度下降 3. 搁置时，密度下降太大 4. 放电时，密度下降过大 5. 长期浮充电电解液上下层密度不一样	1. 电解液中可能有杂质 2. 浮充电电流过小 3. 自放电或漏电 4. 极板硫酸化 5. 长期充电不足 6. 加水过多或加了浓硫酸后未混匀 7. 密度表未校正	1. 检查电解液，必要时更换 2. 加大浮充电流 3. 清洁蓄电池并加强绝缘措施 4. 消除硫酸化 5. 均衡充电，并改进运行方式 6. 在充电结束前 2h，调整密度 7. 上下层密度不一样时应进行充电 8. 校正密度表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

现象	故障特征	发生原因	处理方法
电解液温升高	1. 初充电前电解液温度不下降 2. 正常充放电时，电解液温升高 3. 有个别电池的温度比一般的高	1. 负极板已氧化 2. 充电时电流太大或内部短路 3. 室温高，降温设施故障 4. 极板硫酸化 5. 温度表未校正	1. 用小电流充电 2. 减小正常充电电流或消除短路 3. 排除降温设施故障 4. 消除硫酸化 5. 校正温度表
极板发白	1. 容量降低，密度下降，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 5. 经常过放电 6. 内部短路或漏电未及时消除 7. 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. 由于干燥极板直接用炭火烤 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
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 4. 高温放电作用，深入内部膨胀	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 5. 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. 充电时密度增加慢甚至不变 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	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. 调整密度，降温或更换隔板

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

现象	故障特征	发生原因	处理方法
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 5. 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 5. 隔开或除掉相碰物
局部作用	1. 容量降低 2. 电解液密度降低 3. 电解液温度升高 4. 端电压比正常的高 5. 负极板在不充电时冒泡 6. 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. 绝缘性能下降 5. 漏酸处的木架发生炭化	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 5. 切短槽形垫，放在边上居中位置
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 4. 受电解液腐蚀 5. 制造质量不良	1. 减小电流 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

2. 变电所直流电源检修的周期及项目内容

（1）蓄电池组的检修周期

1）以“浮充电”方式运行的蓄电池组，每两年进行一次大修。

2）以“充电—放电”方式运行的蓄电池组，每年进行一次大修。

3）蓄电池的小修周期可根据运行情况确定，一般情况每年 3 月、10 月各一次为宜。

（2）蓄电池组小修的项目内容

1）排除个别电池极间短路。

2）更换个别电池的极板。

3）清除接线端子处的生盐物。

4）清扫外壳污垢及母线灰尘。

5）更换破损或裂纹的外壳。

（3）蓄电池组大修的项目内容

1）更换全部极板和隔板。

2）清除壳内底部沉积物。

3）更换电解液。

4）更换破损的外壳及零件。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）木架重新涂漆。

（4）充电设备检修周期

1）直流充电机组每年大修一次。

2）硅整流充电设备每半年检修一次。

（5）直流充电机组检修项目

1）解体直流充电机组，清扫内部污垢油渍，并按电机检修的项目进行检修。

2）清洗轴承并加油，或更换轴承。

3）轴瓦式轴承的轴颈磨损过大时，应进行研磨，并更换轴瓦。

4）检查换向器或集电环是否磨损，否则修复或更换。

5）调整电刷弹簧压力或更换电刷。

6）摇测绝缘电阻。

7）励磁机及电路的检修。

8）机组的试验及调整。

（6）硅整流充电设备检修项目

1）检查各部连接是否良好。

2）清扫装置各部及散热器上的灰积。

3）检验整流元器件的性能。

4）参照 GB 50255—1996 电力变流设备的有关内容进行检修。

3. 电工测量仪表安全运行的条件

（1）总体要求

1）用电单位内部的电能计量仪表或电流表与继电保护装置共用一组二次侧的电流互感器时，继电保护装置的电流线圈应接在计量仪表线圈的前面，有条件的尽量采用双二次绕组的电流互感器。

2）直读式电能计量仪表或电流表，其容量应与线路中最大负载相适应。线路的最大负载不应超过仪表额定容量的 125%。工程中，电流超过 20A 以上的，一般都采用电流互感器测量，以免大电流使接点过热而烧坏。

3）电能计量仪表必须接线正确，特别是经过修理、校验或电流线圈、电压线圈接线经过变动的仪表，必须标明符合实际的接线图。没有接线图（指端子盖背后的印制接线图）的仪表不得接入使用。

4）运行中的仪表或备用的仪表必须经检定合格并有铅封，检定证书上应标明使用周期的起止日期，标明检定单位的名称及检定员姓名。使用中的测量仪表应按要求确定其精度等级，仪表必须是合格品或优质品。

（2）巡视、检查及校验

1）电工测量仪表巡视检查的周期及内容基本与配电装置相同，发现端子松脱、指示有误、指针不灵或不转等异常现象应及时处理。

2）盘柜上的电工仪表定期检修校验应与盘柜主要设备大修的周期及日期相同，不得延误。作为计费用的电能表应每半年检定一次；月用电量 100 万 kW·h 以上的每季检定一次；月用电量 10 万 kW·h 以上 100 万 kW·h 以下的每半年一次。10 万 kW·h 以下的一年一次。电能表的检定包括配接的电流互感器、电压互感器。其他盘上仪表一般每 2～5 年检定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一次，检定合格的仪表应有铅封及检定合格证。

三、运行记录和故障处理

（一）运行记录

运行值班电工应该按照上级有关部门的要求和格式认真填写运行日志和值班记录。其中运行日志见表7-18。值班记录有以下主要内容：

表7-18 运行日志的一般格式和内容

运行日志 年 月 日天气____

类别 / 数值 / 项目		电源电压/kV	总柜电流/A	有功电能表指示数（倍率×　）	无功电能表指示数（倍率×　）	1#变压器运行记录						2#变压器运行记录						1#电容器组		2#电容器组		运行评语		值班员
						电流/A		电压/kV		油温/℃	室温/℃	电流/A		电压/kV		油温℃	室温℃	电压/kV	电流/A	电压/kV	电流/A			
						一次	二次	一次	二次			一次	二次	一次	二次									
时间	上午_点																					甲班		
	下午_点																					乙班		
	晚上_点																					丙班		
全日有功电能			全日无功电能						日平均功率因数					日负荷率				变压器利用率				
巡视发现问题记录	甲班																							
	乙班																							
	丙班																							
操作检修工作记录	甲班																							
	乙班																							
	丙班																							
交接班备忘录	甲班																							
	乙班																							
	丙班																							

备注	包括上级指示，外单位人员的工作情况等	甲班	值班长　值班员	接班时间	时　分	交班时间	时　分
		乙班	值班长　值班员	接班时间	时　分	交班时间	时　分
		丙班	值班长　值班员	接班时间	时　分	交班时间	时　分

注：1. 交接班注意事项：①接班人应提前15min到达现场；②交班人应向接班人介绍系统运行方式及电气设备运行情况；③共同巡视检查电气设备和各种安全用具；④遇到倒闸操作或事故处理，应推迟交接班，直至处理完毕。

2. 巡视发现问题记录包括发现缺陷及事故掉闸记录；操作检修工作记录包括检修操作、停电限电操作、经济运行操作等记录；交接班备忘录包括本班未处理完待下一班继续处理的事项。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）天气情况。
2）巡视发现问题的时间、部位、人员、处理方法和结果。
3）倒闸操作的依据、时间、人员、结果。
4）上级或各单位电话时间、内容。
5）来访人员姓名、事由、时间。
6）备品备件、工具器械的使用情况和数量、规格、型号的计划。
7）事故的时间、回路或部位、处理人员姓名及其处理方法、结果。
8）交班时，未处理完事故的详细内容。
9）安全防盗、防洪防火等有关事宜记录。
10）检修记录。
11）备忘录。
12）其他需要交代清楚的事宜等。

（二）故障处理

详见本书各章节故障处理相关内容。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第八章　电气调整试验操作技能

调整试验就是利用仪器、仪表和专用设备（升压器、升流器）等装置对电气设备、元器件、控制系统、二次回路、继电保护装置、电气线路及电缆、套管和绝缘子、接地和避雷装置、弱电系统及其模拟、数字信号等进行测试、试验、电流电压动作值的整定、时限动作值整定，进而保证设备元器件参数的准确性，保证继电保护装置正确动作。调整试验是保证电气系统安全运行的电气工作，这是运行维护电工必须掌握的。本章仅对 10kV 变配电装置、低压配电系统、电动机及起动装置、电动机和变压器的抽心检查和电气线路的调整试验进行系统的介绍，供读者在实践工作中参考。

所有电气设备、设施、元器件的测试前必须先进行外观检查。设备的外壳、支架、部件不得有裂纹、锈蚀、凹陷、渗漏及机械损伤；设备的部件及铭牌应齐全并与产品说明书相符；设备的型号、规格应与设计图样相符，并与产品说明书相符。随机文件资料应齐全；仪表表门完整，指针刻度清晰，数显完整。如有与设计不符的，必须有设计变更或设计人的亲笔委托书。

单体测试前必须先将户外跌落式熔断器、负荷开关、低压总断路器等开关设备拉闸，并检查开关触头的完好性，不得有凹凸及放电打火的痕迹，接触紧密，操动机构灵活可靠，接地螺钉完整且接地可靠，带电体与地及相与相之间的距离、电气间隙和爬电距离应符合规范的要求。

电气线路的试验必须将线路两端的开关断开，并检查线路有无妨碍试验的不妥，必要时应在线路两端设专人看护。

一、10kV 变配电装置的调试

（一）设备及元器件的单体测试

1. 变压器的检查和测试

1）油箱及所有附件应齐全，无锈蚀及机械损伤，密封良好，套管无裂纹及放电痕迹。油箱盖及顶盖封板连接的螺栓应齐全，紧固良好，无渗漏现象及渗漏痕迹。储油柜油位正常且油色清晰。防潮剂不变色。铭牌数据清晰齐全，额定电压与线路相符，容量符合设计要求。

2）高压侧用 2500V 绝缘电阻表摇测相与外壳的 20℃ 绝缘电阻应大于 300MΩ；这里要注意变压器的绝缘电阻是随温度变化的量，其中，10℃ 时应大于 450MΩ，20℃ 时应大于 300MΩ，30℃ 时应大于 200MΩ，40℃ 时应大于 130MΩ，50℃ 时应大于 90MΩ。

3）低压侧用 500V 绝缘电阻表摇测相与外壳、相与工作星点 N 的绝缘电阻，应大于 2MΩ；同时用 500V 绝缘电阻表测量高压绕组与低压绕组间绝缘电阻，应大于 500MΩ。

4）用万用表 ×0.1Ω 挡测量高压侧相与相之间的直流电阻，其阻值应相等，测量时应在分接开关的三个挡位上都进行。打开分接开关时应在无风且干燥条件下进行，先将分接开关处的污迹清除干净，再将其盖拧松两周，这时应用皮老虎或打气筒吹除，每拧松两周清除一次，以避免异物落入。为了加快测量速度，可在测量回路串联一只电位器（5kΩ），用以增加绕组电感线圈的直流成分，根据时间常数 $\tau = L/R$，R 增大后，τ 减小了。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）变压器油的试验一般委托当地供电部门进行，并出示分析试验报告。取油样时应将放油阀处的污迹清除干净，并用变压器油冲洗，然后打开油阀放掉最先流出来的油直到油样清澈为止，最后再用干净的有盖的并经烘干处理后的广口瓶取1～2L油。送检前应在瓶上注明日期和送检单位，以免混淆。

6）请供电部门到现场进行耐压试验及其他试验，详见国家标准GB 50150—2006，并出示试验报告，或者安装完毕正式送电前进行耐压试验及其他试验。

其详细内容见本书第五章电气设备、元件、材料的测试和试验。

2. 负荷开关和跌落式熔断器的检查和测试

1）绝缘电阻的测量。使用2500V或5000V的绝缘电阻表测量高压相与相、相与地（指本身金属支架）的绝缘电阻，实际是指有机材料传动杆的绝缘电阻，测量结果不得小于1200MΩ。

2）将负荷开关不带电合闸或将跌落熔断器不带电合闸，用电桥测量导电回路（上闸口与下闸口）的直流电阻，应为零，否则说明触头的接触电阻太大，必须加以调整。

3）负荷开关合闸进行2）的试验时应用万用表检查辅助开关触头的闭合情况。

4）耐压试验与系统一并进行。

3. 穿墙套管和支柱绝缘子

用2500V或5000V绝缘电阻表分别测量穿墙套管和每个支柱绝缘子相与地、相与相间的绝缘电阻，不应低于500MΩ。该项测试包括了对母线的测量。

耐压试验与系统一并进行。

4. 避雷器的测试

连同变压器油试验一并送供电部门进行，并由其出示试验报告，送检前进行外观和绝缘电阻的测试。有条件的可自行进行试验。

1）瓷套管是否完整，有无裂纹或闪络烧痕，有无严重污秽；水泥结合缝及其瓷釉是否完好，接线端子有无松动；左右摇摆避雷器应无声响，否则应打开修理；有动作记录器的应检查其是否完好，有无动作记录；有无其他不妥等。

2）绝缘电阻的测量。避雷器的绝缘电阻是指其相线端子和接地端子间的绝缘电阻，测量时一般应使用2500～5000V的绝缘电阻表，并将绝缘电阻表接在上述端子的接线柱上，同时将避雷器放在试验台上，不得倒放。由数节组成的避雷器应分节测量。FS型避雷器的绝缘电阻应大于2500MΩ，其他型号不作规定，但应与同一型式的测量数值进行比较，应无较大区别，若相差较大，可能是并联电阻断裂或接触不良，或许是内部阀片受潮。

其他详尽内容见第五章相关内容。

5. 电缆的测试

1）10kV及以上电缆应在电缆头处用2500V或5000V的绝缘电阻表测量绝缘电阻，应大于200MΩ。低压电缆一般用500V绝缘电阻表测试，应大于50MΩ。

2）直流耐压试验及泄漏电流的测量。10kV电缆耐压试验电压为直流50kV，漏电流不大于50μA，三相最大不对称系数为2。

3）核对相序。电缆两端的相位应一致并与电网的相位相符。

6. 接地装置的测试

用接地电阻测试仪测量接地装置的接地电阻，当防雷接地和保护接地共用同一组接地极时，其阻值不得大于1Ω；单独使用时，其阻值应分别小于4Ω。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）继电器、二次回路及系统调整试验

系统试验必须在单体测试及试验合格的基础上进行，同时系统检查无误，安装质量符合要求。

1. 交流耐压试验

1）恢复因单体测试拆开的一次系统并拆除短接线，恢复时必须保证原有连接状态，连接和接触必须紧密正确。恢复后必须由安装人员两人进行检查，无误后才能进行试验。同样将进户外跌落式熔断器和低压侧总开关断开。

2）设置试验装置，从变压器高压侧的母线或高压套管处将试验的连线接好，检查无误后起动升压器进行耐压试验，当加到试验电压 30kV 时持续的时间为 1min，无击穿现象为合格。

2. 继电器的试验和调整

当系统采用柜式开关时，其单体元器件及母线也应进行上述的单体试验和耐压试验，合格后要进行继电器的试验和调整。

（1）GL 型电流继电器的试验

过电流继电器由感应型反时限元件和电磁速断元件组成，如图 8-1 所示，技术数据见表 8-1。该继电器动作电流的调整是利用插销来改变线圈匝数实现的。

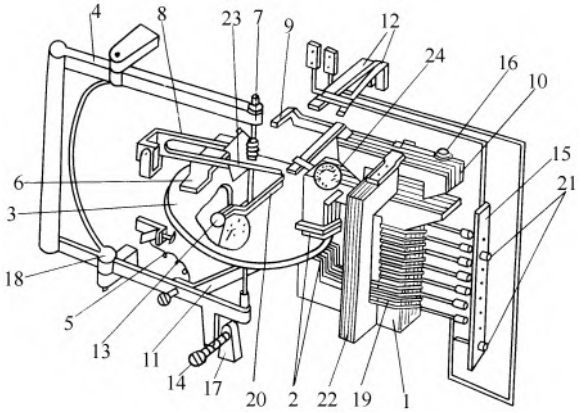


图 8-1 GL-10 型过电流继电器示意图

1—铁心 2—短路环 3—圆盘 4—框架 5—弹簧 6—阻尼磁铁 7—螺旋杆 8—扇形齿轮 9—横担 10—瞬动衔铁 11—钢片 12—触头 13—调整动作时限的螺钉 14—螺钉 15—插座板 16—调整电磁元件动作电流的螺钉 17，20—挡板 18—轴 19—线圈 21—插销 22—磁分路铁心 23—顶杆 24—信号掉牌

1）机构部分的检查。

① 外观检查合格，接线端子完好紧固。

② 圆盘应与转轴相互垂直，并紧固于转轴上。圆盘在任何位置时，与永久磁铁及电磁铁上下间隙应不小于 0.4mm，转轴纵向活动范围为 0.1～0.2mm，并检查轴承。

③ 扇形齿轮与螺旋杆啮合适当，啮合深度为 1/3～1/2 齿深。当达到动作电流时，扇形轮在上升过程中不应有卡住和脱落现象。

④ 框架的轴承纵向活动范围为 0.1～0.2mm，其摩擦力大小对返回系数有影响，不得卡紧卡死。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-1　GL-10、20 系列继电器技术数据

型号		额定电流/A	整定值		瞬动电流倍数②	返回系数不小于	功率消耗/V·A
			整定电流/A	动作时间/s①			
GL-11/10 GL-11/5	GL-21/10 GL-21/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	0.5；1； 2；3；4	2～8	0.85	15
GL-12/10 GL-12/5	GL-22/10 GL-22/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	2；4；8； 12；16			
GL-13/10 GL-13/5	GL-23/10 GL-23/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	2；3；4		0.8	
GL-14/10 GL-14/5	GL-24/10 GL-24/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	8；12；16			
GL-15/10 GL-15/5	GL-25/10 GL-25/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	0.5；1； 2；3；4			
GL-16/10 GL-16/5	GL-26/10 GL-26/5	10 5	4；5；6；7；8；9；10 2；2.5；3；3.5；4；4.5；5	8；12；16			

① 当 10 倍动作电流时的动作时间。

② 即$\frac{\text{电磁元件动作电流}}{\text{感应元件动作电流}}$。

⑤ 试验时应注意观察显示器的动作情况，触点闭合与掉牌应一致，不得有先接触后显示或先显示后接触的现象。

⑥ 继电器外壳拧紧螺钉后，或安装于盘上紧固螺钉后，其内部机械部分不应有变形，在复试动作电流时，常会有扇形齿轮脱落，应注意观察并找出原因。

2）圆盘始动电流试验。试验电路如图 8-2 所示，将电位器 RP 调至最大位置，调压器置于零位，闭合 Q2，调节 TP 缓慢升高电流，圆盘缓慢转动，能使圆盘连续不停的旋转一圈以上的最小电流为圆盘始动电流。始动电流于轴承清洗后不得大于 30% 插头电流值，运行中不得大于 40% 插头电流值。

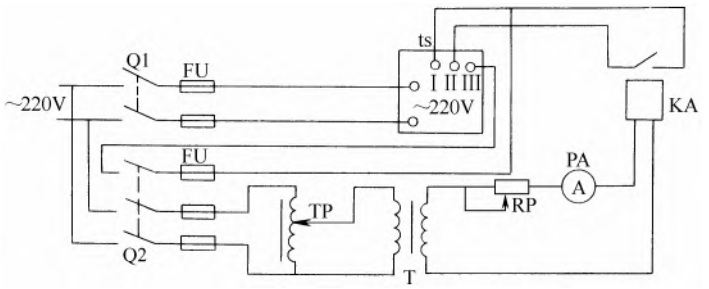


图 8-2　GL 型过电流继电器试验接线

TP—调压器 220V/0～250V，1kV·A　T—变压器 220V/20V，0.5kV·A

RP—电位器 0～5Ω，10A　ts—401 型电秒表　KA—电流继电器

3）插头动作电流的试验。试验电路如图 8-2 所示。缓慢增加电流使框架移动，扇形齿

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

轮与蜗轮杆接触的最低电流为动作电流，然后缓慢降低电流至扇形齿轮与蜗轮脱开的最高电流为返回电流，上述试验应反复进行几次。

测得的实际动作电流值与插头值（指继电器出厂时各个插孔的标定值，动作电流可改变插孔的位置来整定）的相对误差 γ 可按下式计算：

$$\gamma = \frac{\text{插头电流} - \text{实际动作电流}}{\text{插头电流}} \times 100\% \tag{8-1}$$

γ 一般不得大于 ±5%。

返回系数 K_f 应按下式计算：

$$K_f = \text{返回电流}/\text{动作电流} \geqslant 0.85$$

带信号触头的继电器 $K_f \geqslant 0.80$。

在试验中应观察扇形齿轮动作行程中不得有与蜗轮杆自动脱离的现象，否则应找出原因修复。

4）速断装置动作电流的试验。试验电路如图 8-2 所示。按下式计算速断倍数：

$$\text{速断倍数} = \text{速断电流值}/\text{插头电流}$$

调整电磁元件动作电流的螺钉，将速断倍数对好刻度，然后通电试试。速断电流值就是规定的跳闸电流，一般由设计给出。

将电流升高至使速断动作，切断电流后再通以 0.9 倍的速断电流值，此时速断应不动作、继电器工作在反时限特性部分。再通以 1.1 倍的速断电流进行试验 3～5 次，每次动作时间应不大于 0.15s。

试验时要快速调整 RP，可将其调至零位，同时要注意线圈过热，否则应停止试验，等温度降低后再进行试验。

5）时限特性试验。试验电路如图 8-2 所示。将电流调好，同时电秒表调零，继电器时限把手置于整定点，这个点可按继电器的延时特性曲线查出大概数选取。然后依次闭合开关 Q1 和 Q2，电秒表开始计时，待继电器的触头闭合后电秒表停止转动，读取动作。试验三次，取其平均值，其实际动作时间与整定点时间误差应小于 ±5% 的整定时间。

然后再试验 150% 插头电流值的时间，并与曲线比较，作为参考。时限特性试验一般应做 7 个点，并描出曲线，然后与厂家给定的时间曲线进行比较。在作曲线时，曲线弯曲部分应多作几个点。

6）动作电流的调整。动作电流应与插头电流一致，否则应进行调整。除铁心间隙、永久磁铁位置、防脱离片吸力的调整外，主要是要调整弹簧的制动力矩，实际动作电流比插头电流大时，应放松弹簧，否则应拉紧弹簧。

7）返回系数的调整。先检查并清洗轴承，然后调整限程螺钉 14 及扇形齿轮的安置角度即可改变齿轮啮合深度，即返回系数得到调整。

调整框架限程螺钉也可调整返回系数，当拧紧限程螺钉时，返回系数升高，反之系数降低。也可直接调整钢片与铁心的距离来调整返回系数。

8）圆盘始动电流的调整。正常的圆盘始动电流应在 25% 插头电流以下，否则，可能是上下轴承中心偏移造成或轴承有缺陷。可调整轴承螺钉，变动其位置或更换好轴承。

9）时间特性的调整。根据整定时间及特性曲线，查出 10 倍动作电流的时间，并将调整时限螺钉置于该时间位置上。然后通以整定动作电流，动作时间应与整定值吻合，否则应调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

整时限螺钉，相差较大时，则应改变衔铁横担的上下位置或调整阻尼磁铁对圆盘中心的相对位置，磁铁往圆盘中心移动速度加快，往外移动速度减慢。

10）速断装置、信号掉牌及触头相互关系的调整。通常应调整横担的上下位置，或将静触头及动触头弹片往上移，使衔铁在横担与动触头接触前就能被电磁铁瞬间吸引。

（2）DL 型电流继电器的试验

DL 型电流继电器如图 8-3 所示，技术数据见表 8-2。

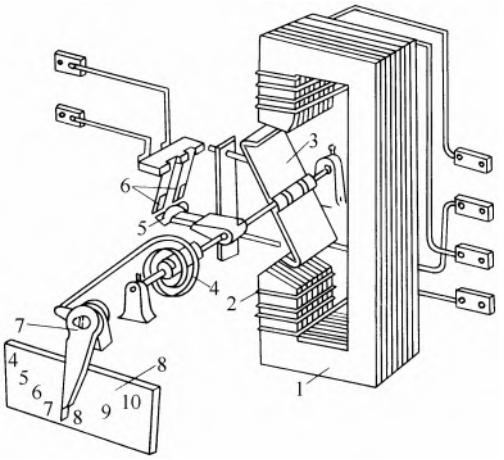


图 8-3　DL 型电流继电器示意图

1—铁心　2—线圈　3—可动舌片　4—反作用弹簧

5—动触头　6—静触头　7—调整把手　8—刻度盘

表 8-2　DL-20C 系列、DL-30 系列电流继电器技术数据

型号	最大整定电流/A	额定电流/A		长期允许电流/A		电流整定范围/A	动作电流/A		最小整定值时的功率消耗/V·A	返回系数
		线圈串联	线圈并联	线圈串联	线圈并联		线圈串联	线圈并联		
	0.0049					只有一点刻度	0.00245	0.0049		
	0.0064					只有一点刻度	0.0032	0.0064		
	0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	0.0025～0.01	0.0025～0.005	0.005～0.01	0.4	
DL-21C、31	0.05	0.08	0.16	0.08	0.16	0.0125～0.05	0.0125～0.025	0.025～0.05		
	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.05～0.2	0.05～0.1	0.1～0.2		
DL-22C、32	0.6	1	2	1	2	0.15～0.6	0.15～0.3	0.3～0.6	0.55(0.5)	
	2	3	6	4	8	0.5～2	0.5～1	1～2		
DL-23C、33	6	6(10)	12(20)	6(10)	12(20)	1.5～6	1.5～3	3～6	0.55	0.8
DL-24C、34	10	10	20	10	20	2.5～10	2.5～5	5～10	0.8	
	15	10	20	15	30	3.75～15	3.75～7.5	7.5～15	0.8(0.85)	
DL-25C	20	10	20	15	30	5～20	6～10	10～20	0.8(1)	
	50	15	30	20	40	12.5～50	12.5～25	25～50	6(2.8)	
	100	15	30	20	40	25～100	25～50	50～100	20(7.5)	
	200	15	30	20	40	50～200	50～100	100～200	(82)	0.7

注：各种括号内数据表示各个厂家产品数据不尽相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）机械部分的检查。

① 外观检查合格，接线端子完好紧固。

② 检查 DL 型电流继电器转轴的纵向与横向活动范围，活动范围一般在 0.15～0.20mm 之内，且转动灵活，如图 8-3 所示。

③ 可动舌片与磁极的间隙，当在动作位置时，不得小于 0.5mm。

④ 检查弹簧平面应与轴严格垂直，由起始位置转到最大位置时，圈间间隙应相同。

⑤ 检查并调整触头，触头间隙应大于 2mm，触头无伤痕，用手转动轴使触头闭合，一般应在静触头 1/3 处开始接触，并以不大的摩擦力滑动至末端 1/3 处停止。动触头桥应能在自身转轴上旋转 10°～15°，沿轴向活动范围为 0.2mm。静触头防振片与静触头仅能接触但无压力。改变调整手把的位置增加定值时，静触头弹片与防振片之间的间隙应随之增大，到最大定值时，此间隙应不大于 0.5mm。

⑥ 检查轴承是否有摩擦，可移动调整手把，触头应均匀随弹簧的拉力增大而缓慢闭合，不能有跳跃现象。必要时要拆开轴承检查，轴尖应无磨损现象，轴承内清洁而无磨损的痕迹。

⑦ 检查弹簧是否紧固于转轴上，焊接处应紧密而无脱焊虚焊。

⑧ 检查内部接线是否正确，继电器的接线要注意不得穿过铁心的窗口。

⑨ 用万用表检查各组线圈的连通是否良好，同时检查线圈与地的电阻应趋向于无穷。

2）动作电流与返回电流的试验。试验电路同 GL 型继电器，如图 8-2 所示。将电流缓慢升高，使触头闭合的最低电流值为继电器的动作电流；再将电流缓慢降低，使触头返回原来位置的最大电流为继电器的返回电流，一般应做 2～3 次。然后再通入 95% 的整定电流继电器应不动作。试验时应检查刻度最小值与最大值的动作电流，其值应与刻度值接近，否则应调整，然后再进行整定点的试验。

返回系数和动作电流误差计算及标准与 GL 型过电流继电器相同。试验时应观察触头，在动作过程中不得有停滞现象。

3）动作时间试验。试验电路同 GL 型过电流继电器。通入整定电流值的 105% 的电流，观察继电器触头，应能可靠接触。再通入 120% 的整定电流，动作时间应不大于 0.15s。200% 的整定电流动作时间应在 0.02～0.03s 以内。

4）大电流冲击试验。通入继电器的电流尽量接近故障电流，试验 3～5 次，注意舌片不得和磁极摩擦，动触头不得超越静触头而卡住，同时要注意线圈的发热情况。试验完后，复验动作电流，与冲击试验前相比应无大的变化，误差不得大于 ±3%。

5）动作电流的调整。调整反作用弹簧的反作用力矩的大小可改变动作电流值，拉紧弹簧，动作电流变大，反之减小。弹簧对刻度盘刻度最小处的动作值影响最大，随着刻度的增加其影响逐渐减小。

调整舌片左侧限程螺钉，舌片移近磁极时动作电流变小，反之变大。调整舌片与磁极相对位置对刻度最大处的动作电流返回影响较大，随着刻度的减小其影响也逐渐减小。

这里要注意，试验最小动作电流时变差较大，要检查轴承有无磨损或轴尖有无磨秃现象。

6）返回系数的调整。调整舌片转角可调整返回系数，舌片转角应在 78°～85° 范围以内，返回系数较合适。调左侧限程螺钉对动作电流值有影响，使转角变小，动作电流值增大；调右侧限程螺钉对返回电流值有影响，而对动作电流无影响，如图 8-4 所示。

调整舌片端部角度亦可调整返回系数，但一般情况下不采用。舌片端部向轴心方向弯

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

曲，返回系数好，向外弯曲反之，见图 8-4。

另外轴承能直接影响返回系数。

7）触头振动的调整。通入 1.05 倍的动作电流以至运行中可能出现的最大电流，触头应无振动，如有振动可按下面的方法进行调整：

① 调整触头弹片，使其弹力适当。

② 改变触头相接时的角度，一般应在 55°～65°之间。

③ 调整轴承活动范围。

④ 调整舌片限程螺钉，变更舌片站立位置。

⑤ 适当调整舌片端部的角度。

⑥ 调整舌片与上下磁极的距离。

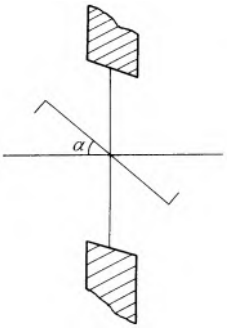


图 8-4　DL 型继电器舌片角度示意图

（3）DS 型时间继电器的试验

时间继电器是由电磁铁带动钟表延时机构来完成延时动作的，且继电器配有延时触头和瞬时触头。

时间继电器的结构如图 8-5 所示，技术数据见表 8-3。

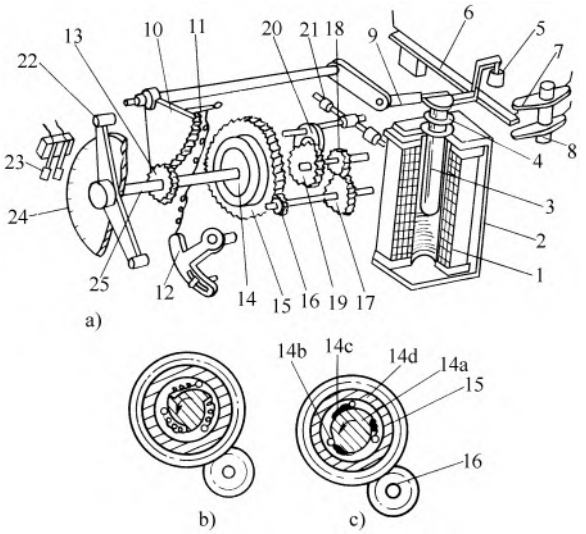


图 8-5　DS 系列时间继电器结构示意图

a）继电器的结构图　b）工作情况下的摩擦离合器　c）返回情况下的摩擦离合器

1—线圈　2—磁路　3—铁心　4—返回弹簧　5—轧头　6—可动瞬时触头　7，8—固定瞬时触头　9—曲柄　10—扇形齿轮　11—主弹簧　12—改变弹簧拉力的卡板　13—齿轮　14—摩擦离合器（14a—凸轮　14b—钢球　14c—弹簧　14d—钢环）15—主齿轮　16—钟表机构的齿轮　17，18—钟表机构的中间齿轮　19—摆轮　20—摆卡　21—重锤　22—可动触头　23—固定触头　24—标度盘　25—继电器的主轴

1）机械部分的检查。

① 铁心气隙应洁净，当用手慢慢按下铁心时，观察触头走动是否均匀，声音是否正常，应为均匀的“嘀嗒”声。然后将铁心松开使钟表机械复位。重复上述试验，并可加快动作的速度，其动作情况不论快慢应相同。将铁心转动一个角度，重复上述试验应无异常且与上述动作相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-3 DS-20 系列时间继电器技术数据

型 号	电源	额定电压 U_N/V	时间整定范围 /s	动作电压 不大于	返回电压 不小于	功率消耗 不大于
DS-21	直流	220	0.2～1.5	70% U_c		10W
DS-22		110	1.2～5			
DS-23		48	2.5～10			
DS-24		24	5～20			
DS-21.C	直流	220	0.2～1.5	75% U_N	5% U_N	7.5W
DS-22.C		110	1.2～5			
DS-23.C		48	2.5～10			
DS-24.C		24	5～20			
DS-25	交流	380	0.2～1.5	85% U_N		35V·A
DS-26		220	1.2～5			
DS-27		127	2.5～10			
DS-28		110	5～20			

② 触头不应有烧痕，两个延时静触头应同时与静触头接触，且有一定压力并不触及弹片。瞬时常闭触头接触可靠、压力正常，装配紧固。

③ 钟表机构，声音正常时，一般不得拆开检查。当发现声音异常且有忽快忽慢时，可拆开检查，检查各轴承活动应适中；拉力弹簧应无变形，装配牢固，清洁；齿轮整洁无倒齿、掉齿、油污，否则应用高标汽油清洗风干；钟摆及摆锤装配牢固，棘轮应单方向无阻卡转动。

2）动作电压与返回电压试验。试验电路如图 8-6 所示。升高电压使铁心慢慢吸合并使触头可靠接触，这时的电压为动作电压。在铁心可靠吸合的情况下缓慢减小电压，使铁心返回原来位置的最高电压为返回电压。动作电压应在 0.3～0.7 倍额定电压的范围内，返回电压不得低于 5% 的额定电压。

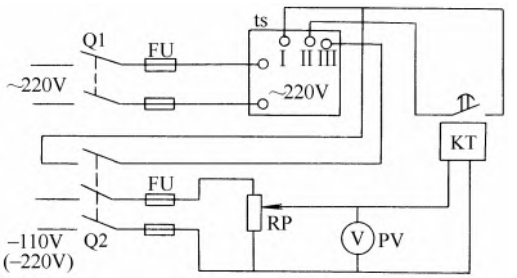


图 8-6 时间继电器试验电路

3）动作时间的试验。试验电路同上。投入开关 Q1、Q2，调节 RP，使电压升至 0.8 倍额定电压。切断 Q2，电秒表调零，然后再闭合 Q2，电秒表开始计时，触头闭合后，计时停止。试验一般作三次，其平均值为继电器动作时间，应与手册或说明书中的数据相符。

（4）中间继电器的试验

中间继电器的种类很多，都是用来补充其他继电器触头个数或容量不足设置的，有的同时有电压、电流两类线圈，有的触头作成延时触头，可用在不同的场合。

1）机械部分的检查。所有触头打开时的间隙不小于 2～3mm，且同时闭合或打开，压力充足，触头上不得有污迹。弹簧不变形，固定可靠且弹力均匀。衔铁动作灵活，截面清

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

洁，必要时应用汽油擦去油迹。

2）电气试验基本同时间继电器，动作电压不小于0.3倍额定电压，不大于0.7倍额定电压。返回电压不小于5%额定电压。瞬时触头动作时间不大于0.05s。

3）调整基本同前。有电压线圈和电流线圈的应按电压继电器和电流继电器的试验方法试验，有延时功能的则应按时间继电器试验。

（5）信号继电器的试验

信号继电器基本同中间继电器，作为操作系统或保护线路中的辅助继电器和动作指示器。可电流操作，也可电压操作，除动作触头外，还有信号动作指示牌及手动复位按钮。DX-11型信号继电器外形尺寸及内部接线如图8-7所示，技术数据见表8-4～表8-5。

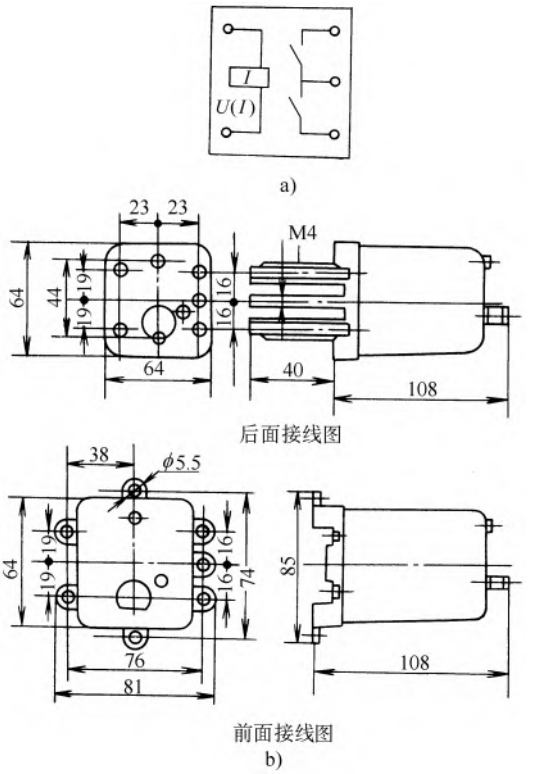


图8-7　DX-11型信号继电路外形尺寸及内部接线

a）内部接线　b）外形及安装尺寸

表8-4　DX-11型电压继电器技术数据

额定电压/V	长期电压/V	动作电压/V	线圈电阻/Ω
220	242	132（90～132）	24400
110	121	66（45～66）	7500
48	53	29（20～29）	1440
24	26.5	14.5（10～14.5）	360
12	13.5	7.2（5～7.2）	87

注：括号内数字表示各厂家数据不尽相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-5 DX-11 型电流继电器技术数据

额定电流/A	长期电流/A	动作电流/A	线圈电阻/Ω
0.01	0.03	0.01（0.007～0.01）	2200
0.015	0.045	0.015（0.011～0.015）	1000
0.025	0.075	0.025（0.018～0.025）	320
0.05	0.15	0.05（0.035～0.05）	70
0.075	0.225	0.075（0.055～0.075）	30
0.1	0.3	0.1（0.07～0.1）	18
0.15	0.45	0.15（0.11～0.15）	8
0.25	0.75	0.25（0.18～0.25）	3
0.5	1.5	0.5（0.35～0.5）	0.7
0.75	2.25	0.75（0.525～0.75）	0.35
1	3	1（0.7～1）	0.2

注：括号内数据表示各厂家产品数据不尽相同。

1）机械部分检查基本同中间继电器。

2）电流信号继电器其动作电流不得大于额定电流，电压信号继电器动作电压不得大于70%额定电压，且信号指示正确。试验电路基本同前。

3. 二次回路

二次回路指电气设备的操作、保护、测量、信号等回路中的操作机构线圈、接触器、继电器、仪表、互感器二次回路和连接导线等。

1）绝缘电阻的测量。使用500V绝缘电阻表测量，小母线在其断开所有并联支路时，不应小于10MΩ。

2）二次回路的每一支路和断路器、隔离开关操作机构的电源回路等，绝缘电阻均不应小于1MΩ。

3）当回路绝缘电阻在10MΩ以上时，可采用2500V绝缘电阻表代替耐压试验，持续时间1min不击穿，否则应进行交流耐压试验，试验电压1kV，时间1min。48V及以下的回路不做交流耐压试验。

4）试验时，应将回路中电子元器件从插件中取出或将其短路。

4. 盘柜上仪表的试验及检定

盘柜上的电流表、电压表、电能表应进行试验并由有资质的计量检定单位进行检定，试验及检定一般均采用比对法进行。升压或升流后至少在三个刻度上停留并与标准表的读数比对，两表读数差与标准表读数的比值在允许误差之内，即为合格。

允许误差也就是精度等级的百分数，1.5级即为两表读数差与标准表读数的比值为1.5%。由于受到设备的限制这里只做简单介绍。

（1）电压表

电压表可接在调压器的输出端和标准电压表比对进行试验，如图8-8所示。其误差不应超过表本身的精度等级。误差 $=\frac{\text{示值误差}}{\text{示值}}\leqslant$表精度等级（%），示值误差为标准表的读数减去被校表的读数，示值为标准表的读数。试验时至少应取三点进行比较，一般取0点、1/2刻度和满刻度，试验前应调零位。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）电流表

电流表可接在升流器的二次回路里和标准电流表进行比对校验，如图 8-9 所示。其他同电压表。

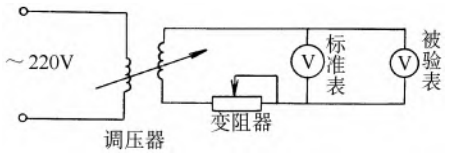


图 8-8　电压表的试验

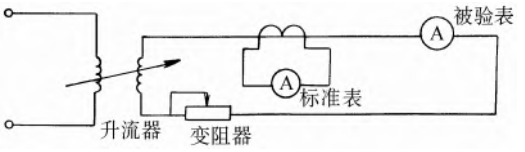


图 8-9　电流表的试验

（三）冲击合闸试验和空负荷运行

将室外跌落熔断器合上，将低压侧总断路器断开，检查无误后，第一次合上负荷开关，合上后再断开，间隔 5min 后第二次合上负荷开关，再断开，这样进行 5 次，变压器及一次系统应无异常现象。最后一次合闸后不再断开，变压器及一次系统进入空负荷运行阶段，一般为 72h。空负荷运行应安排电工值班，记录电压、电流、电能、温升和噪声，每小时一次。

二、低压配电系统的调试

（一）配电柜、开关柜及元器件测试

1. 绝缘电阻的测量

分别测量刀开关、断路器或接触器的绝缘电阻，相与相、相与地（金属构架）的绝缘电阻应大于 2MΩ，使用 500V 的绝缘电阻表，测量时应将仪表及设备断开。

2. 开关导电回路直流电阻的测量

用电桥分别测量刀开关、断路器和接触器不带电合闸后的直流电阻，应为零。

3. 二次回路的试验

见前述 10kV 变配电装置的调试部分。

4. 柜上仪表

见前述 10kV 变配电装置的调试部分。

5. 柜中元器件的试验

（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，或者用力抽测撕破；如接触不好，则容易抽出，这样的触头运行中易烧坏。这样的触头应调整或修复，如达不到正常使用条件，新购产品应退货。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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，接触器应无声响或声响微小。

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。接线如图8-10所示。

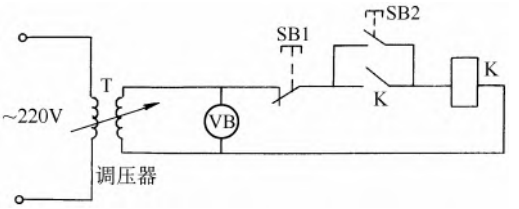


图8-10 接触器电压线圈的电压试验

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。

短时工作的合闸线圈应在85%～110%额定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。

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。

（2）断路器的试验

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，而DW系列断路器有电动合闸线圈，试验方法与接触器相同。详见第五章相关内容。

（3）刀开关或熔断器刀开关

可参照上述方法进行，当采用插接母线时必须测量接触电阻和最大电流，试验方法同上。

6. 空载合闸试验

在不带电的条件下空合刀开关、接触器、断路器，应动作灵活可靠，试验时电压线圈应临时接上线圈额定电压的电源。

（二）低压系统的送电试运行

1. 低压母线的测量

将所有柜的送出回路上的刀开关和低压引入的总开关断开，用500V绝缘电阻表测量母线的绝缘电阻应大于2MΩ。

2. 低压送出电缆或导线的试验

1）低压电缆绝缘电阻的试验同高压电缆，但使用500V的绝缘电阻表，绝缘电阻应大于10MΩ。低压电缆一般不做直流耐压试验。

2）低压送出回路的导线应使用500V绝缘电阻表测量相与相、相与地的绝缘电阻，应大于5MΩ。

3. 系统耐压试验

将各个送出的低压回路终端的受电开关和低压引入的总开关断开，并派人看守，并将各台柜的刀开关、断路器或接触器闭合，在母线上接耐压试验的导线，无误后进行低压系统的耐压试验，试验电压1kV，时间1min，无击穿为合格。但各个回路和单台设备的绝缘电阻大于10MΩ，可用2500V绝缘电阻表测绝缘电阻以代替耐压试验，试验时间应为1min，绝缘电阻应大于5MΩ。系统耐压试验时，应将电气设备、电器元件和仪表与系统断开。

低压系统如有继电器则应按“一、10kV变配电装置的调试”的方法进行整定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 送电和空载运行

低压试验和测量合格后可进行送电和空载运行。先将一次回路的开关合上，再将低压侧总断路器合上使低压母线有电，电压表正常后即可进行低压侧的送电和空载运行。送电前应在每个送出回路的终端受电开关处派专人看守，并把该开关断开。然后按顺序把每台柜的刀开关、断路器合上，并由各处的看守人反馈送电情况，一切正常后可空载运行 2h，正常后再将各分路低压开关断开，再断开低压总断路器，最后断开负荷开关，使变压器断电。

低压系统试验前必须检查各设备的接地情况，并测接地电阻，合格后才能进行试验。

三、电动机及起动设备的调试

（一）电动机的检查和测试试验

现场电动机的检查和测试主要是绝缘电阻、空载电流、转速及外观检查，详见第五章相关内容。

1. 规范中规定

电动机出厂日期超过制造厂保证期限者或无保证期而出厂日期超过一年者、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心检查。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心检查，特别是对 40kW 及以上的电动机，必须进行抽心检查，确认无可疑之处和质量合格后才能进行通电空载试验。

（1）抽心检查应符合的要求

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）绕组绝缘层完好无损，无任何烧伤及烤煳的痕迹，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、断裂及凹凸现象；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，无旷动，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）其他部位均无不妥之处。

（2）抽心工艺方法

小型电动机转子很轻，一般可用手抱出或两人抬出，可按图 8-11 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经用锤子轻轻敲击

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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或猛力敲击，以免给装配带来困难。

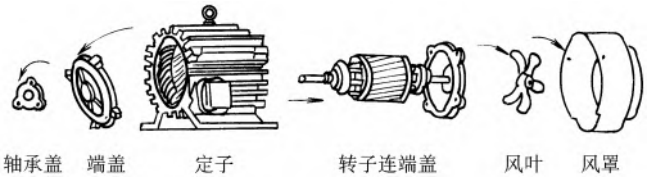


图 8-11 小型电动机的拆卸示意图

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，如图 8-12 所示。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联轴器、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。

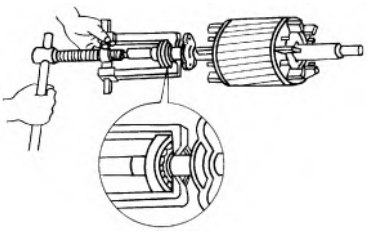


图 8-12 拔轮器的使用方法

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预固定，然后用锤子轻击，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电阻值，不得低于抽心前的摇测值，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，抽心工艺也较复杂，需要吊装机具，必要时要有电钳工、起重工配合。详见本章第四部分。

2. 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，定子绕组绝缘电阻小于 1MΩ/kV，转子绕组小于 0.5MΩ 者。

电动机的干燥处理应和抽心配合进行，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，用 300～500kW 白炽灯置于定子之内通电烘干，如图 8-13 所示，必要时可将周围用石棉板围起，以保温，时间一般为 24h 即可。烘干时白炽灯不得触及铁心及绕组。也可选用红外线灯。烘干时要注意观察。

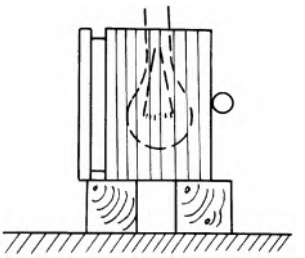


图 8-13 白炽灯烘干法

（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蜡绸或套管加强绝缘。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 级绝缘则应将上述 A 级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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）接线方式如图 8-14 所示。

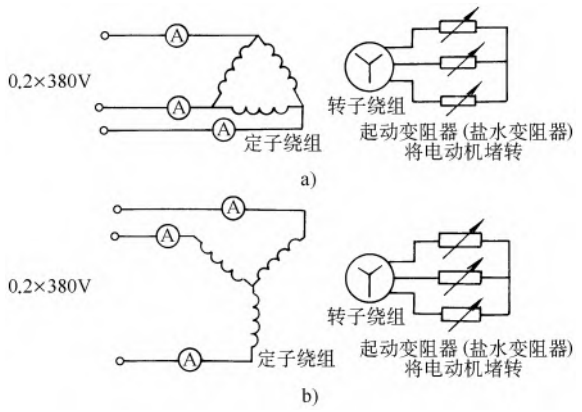


图 8-14　绕线转子异步电动机电流法干燥接线图

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。绕线转子异步电动机也可按图 8-14a 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安全隐患。

2）温度应缓慢上升，大型电动机一般采取 5～8℃/h。小型电动机采取 7～15℃/h。

3）铁心和绕组的最高允许温度，应根据电动机的绝缘等级来确定，见表 8-6。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 8-6　三相异步电动机的最高允许温度和最大允许温升

（环境温度为 40℃时）　　（单位：℃）

电动机部位		A 级绝缘				E 级绝缘				B 级绝缘				F 级绝缘				H 级绝缘			
		最高允许温度		最大允许温升		最高允许温度		最大允许温升		最高允许温度		最大允许温升		最高允许温度		最大允许温升		最高允许温度		最大允许温升	
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	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）起动设备的试验

起动设备的试验基本同低压配电系统的调试，此外还应进行空投试验。空投试验是指控制起动设备不接入电动机只进行起动设备动作正确与否的试验，这是根据电动机起动方式、保护方式进行的，这里将常见起动设备及其电路列出，供读者参考。

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。直接起动的电路可参见图 2-2。

空投试验时，按动 SB，KM 吸合且自保，按动 SBS 时 KM 失电断开。将 KH 的动作电流调整在电动机额定电流的 1.2～1.3 倍上，也可用升流器将 KH 的动作电流调整在 1.2～1.3 倍上。

2. 双速电动机直接起动

双速电动机的起动控制电路如图 2-14 所示，可以看出，这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 KM1 吸合，电动机接成三角形 4 极，快速时 KM1 断开，KM2 吸合，电动机接成双星形 2 极。KM2 为 6 极接触器。

空投试验时，按动 SB1 时 KM1 吸合且自保，按动 SB2 时 KM2 吸合且自保，按动 SBS 时均可将 SB1 或 SB2 断开。同时 SB1 或 SB2 轻按且不按到底时也可将 KM2 或 KM1 断开。热继电器的调整同直接起动（图中未示出）。

3. 电动机自耦变压器减压起动

自耦变压器减压起动及控制可参见图 2-3，调节元器件有断路器或熔断器、热继电器或过电流继电器、时间继电器及自耦变压器的抽头等。调节时，保护过电流的继电器要躲过电动机的带负载起动时起动电流及起动时间，自耦变压器抽头的调节要在满载起动时调节。电动机起动转矩大、起动电流大或较难起动时应将抽头调至 80% 一端，一般情况也可调至 65% 一端。自耦变压器减压起动的原理就是通过自耦变压器先把电压降低再加在电动机上，当电动机转速或电流接近额定值时，再将自耦变压器切换掉，把全压加在电动机上，电动机进入正常运转，这个过程是经过时间继电器 KT1 完成的。这个时间继电器的整定应在满载下进行，这就是起动时间的整定，这个时间的大小就是整定过载跳闸保护的基准，断路器热元件的动作时间，热继电器的动作时间，还有过电流继电器的动作延时时间都应大于起动时间（起动时，KM2 断开，KT2 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 KM1 吸合，电动机经自耦变压器减压起动，同时 KT1 开始延时；动作切换时 KM1 先释放，将变压器甩掉，然后 KM2 吸合，电动机全电压运行。当有一过电流继电器动作，KT2 开始延时，过电流时间超过 KT2 整定时间，便跳闸。

空投试验时，按动 SB1 时，KM1 吸合且 KT1 得电吸合并开始延时，到达整定时间后 KT1 触头动作，这时 KM1 断开，KM2 吸合，同时 KT1 失电。用手按住 KA 的衔铁时 KT2 有电吸合并开始延时，按住的时间到达整定时间后 K 吸合将控制回路断电，只能重新起动。

4. 星-三角起动的电动机

星-三角起动器的起动及控制可参见图 2-4，除无自耦变压器抽头调节外，其他调节元件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

及参数的调节同自耦变压器起动。它在起动时，先由 KM1 和 KM3 吸合，将电动机接成星形，电压降至 220V，当转速或电流达到额定值时，将 KM3 释放，同时又将 KM2 吸合，电动机接成三角形，全电压（380V）运行。星-三角虽然也是减压起动，但只能将电压降到 220V 这一等级，只降低到 57.7%，起动转矩小，只适用于三角形联结的电动机，这样就限制了它的应用。一般情况下，它适用于轻负载起动的电动机。它的切换也是采用时间继电器。手动操作电路可自行分析。

空投试验时，按 SB 时 KT 得电吸合并开始延时，KM1 和 KM3 吸合，到达整定时间后 KT 的触头动作，这时 KM3 失电断开，KM2 得电吸合。按动 SBS 时，控制电路失电，接触器和时间继电器失电。

5. 绕线转子电动机的频敏变阻器起动

绕线转子电动机的频敏变阻器起动及控制可参见图 2-7，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，KM1 吸合，电动机全电压起动，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，KM2 吸合，将频敏变阻器短接甩掉，电动机笼型异步运行。绕线转子电动机频敏起动适用于重负荷起动，起动转矩大，起动电流小，但电动机构造较笼型电动机复杂，价格较笼型电动机高。

空投试验时，先将 KFU 闭合，控制回路有电，KT1 得电，其瞬时常闭触点 KT1（11-12）打开，电源指示灯 HLR 点亮。按动 SB1 后 KM1 得电吸合，KM3 得电吸合，其常闭触点 KM3（11-12）打开，KT1 开始延时，起动指示灯 HLY 点亮。KT1 的整定时间到达后，KT1（11-12）闭合，KM2 得电吸合，HLY 熄灭，运行指示灯 HLG 点亮。用手按住 KA（任意一相均可）的衔铁 KT2 得电吸合，当按住的时间到达整定时间后其触点 KT2（13-14）闭合，KM4 得电吸合 KM1 失电。按动 SBS 也可使 KM1 失电。SB2 是为手动设置的，按动 SB2 时也可使 KM2 得电吸合。热继电器的调整同前。

6. 绕线转子电动机的电阻起动

绕线转子电动机的电阻起动及控制

调节元件及参数基本同频敏起动，可参见图 2-6。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，KM 吸合，电动机全电压起动，且转子接入电阻器，以减小定子电流，可用接触器 KM1～KM3 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 的整定时间由起动要求调整，但均应小于 KT 的整定时间。KA1～KA3 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，能很好地保护过负载。

空投试验基本与 5. 相同，KT1、KT2、KT3 和 SB1、SB2、SB3 是为 KM3、KM2、KM1 的自动和手动吸合分别设置的。用手按住 KA 衔铁的时间超过 KT 的整定时间后，继电器 K 动作，切断 KM 的电源回路。热继电器的调整同前。

7. 其他起动柜可参照上述内容并按相应的电路进行调整试验。

四、电动机及变压器的抽心检查

（一）电动机的抽心检查

1）准备工作。吊装设备应尽量利用室内起重机（天车），如有起重机但没有安装好，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一般应将抽心工作量安排在起重机装好后进行；如无起重机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、枕木数根、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。

抽心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，如图 8-15a 所示，其中千斤顶的顶部应装有半圆形的卡具，以保证不晃动。

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，必要时应轻微起动千斤顶，保证转子在中心位置而不下沉。

然后用铜棒和锤子敲击端盖，使其与定子脱离，并移至端部，如图 8-15a 所示。

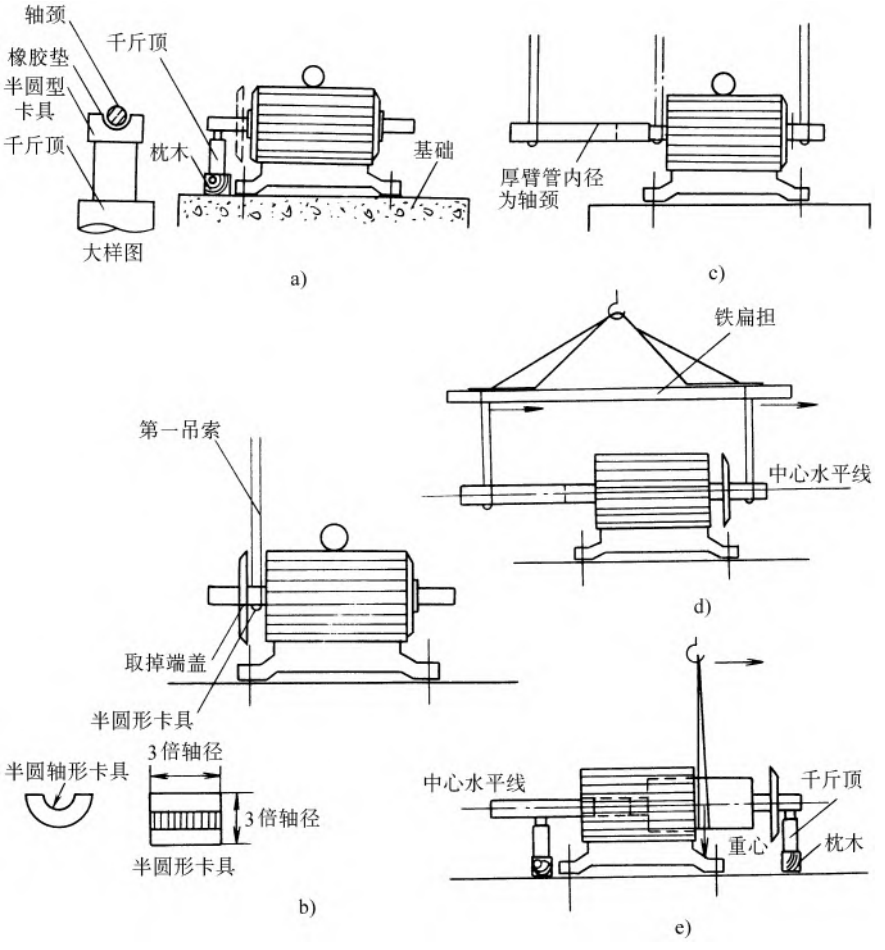


图 8-15　大型电动机抽心示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）用一吊索从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，如示意图 8-15b 所示。

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，如图 8-15c 所示。

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，如图 8-15c 所示。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，如图 8-15d 所示。

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，用枕木支起定子使之不能滚动并保证转子与定子的间隙不变，如图 8-15d 所示。

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橡胶，以避伤及转子，同样应保证定子与转子的间隙不变，然后将厚壁钢管及枕木取掉，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枕木垫好的干净平台上，用木楔支好，如图 8-15e 和图 8-16 所示。

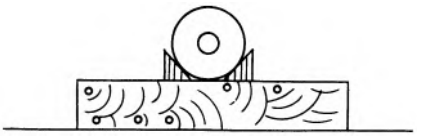


图 8-16　将转子放在平台上

9）上述讲述的是用起重机吊心并伴有一个手拉葫芦进行的。如果没有起重机，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心，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，梢径一般不得大于 100mm。两副人字抱杆的捆绑必须牢固，并用缆绳撑紧后系在可靠的地锚上。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定，详见图 8-17。

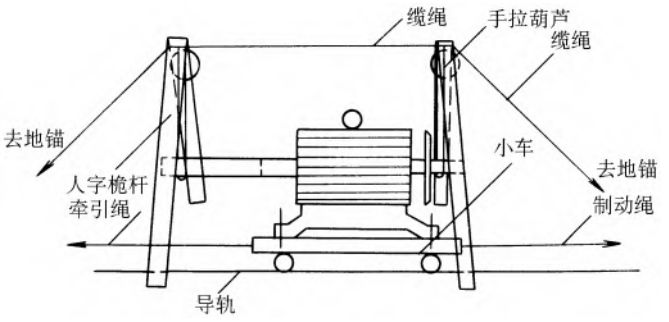


图 8-17　简易电动机抽心示意图

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，其抽心和前述略有不同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 打开电动机两端的轴承（轴瓦）上盖，并拆掉有碍抽心的油管路。

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。

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，然后用枕木支好。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 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，使转子与定子同心，并随时转动转子盘车，观察有无阻卡或扫膛现象。

11）抽心过程中的注意事项如下：

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。

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，人数最多不得超过三人，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 抽心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。大型电动机抽心时用的机具较多，必须妥善保管和清点，不得遗失。

（二）变压器的抽心检查和干燥处理

1. 吊心检查的条件

1）吊心检查应在干燥清洁的室内进行，当条件不具备时而又必须在室外进行时，应选择在晴天无风沙季节进行，气温不宜太低，否则应搭设篷布作业间，以防雨雪或尘土落入。但雨雪天或雾天、潮湿之日应停止室外作业。

2）冬天检查铁心时，周围空气温度不得低于0℃，而变压器铁心温度不应低于周围空气温度，否则应加热铁心，使其温度高于周围温度10℃，以免铁心、线圈受潮。为了安全，加热常用电流短路法，就是把变压器的绕组按图8-18的接法接好，这种方法也叫做零序电流干燥法。

电源电压应按下式计算：

三相并联时（图8-18a）

$$U_0 = \sqrt{PX_0/3\cos\varphi_0} \tag{8-2}$$

开口三角形联结时（图8-18b）

$$U_0 = \sqrt{3PX_0/\cos\varphi_0} \tag{8-3}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　U_0——电源电压（V）；

P——所需功率，按表 8-7 查出；

X_0——变压器零序电抗（Ω），由设备说明书中查出；

$\cos\varphi_0$——零序电流回路的功率因数，一般为 0.5～0.7。

每相零序电流（A）$I_0 = U_0/X_0$。

表 8-7　干燥变压器所需功率

变压器容量/kV·A	干燥时所需功率/kW	
	外壳有保温层	外壳无保温层
50～310	1.5～3.5	2～4
500～1800	5.0～7.5	7～10

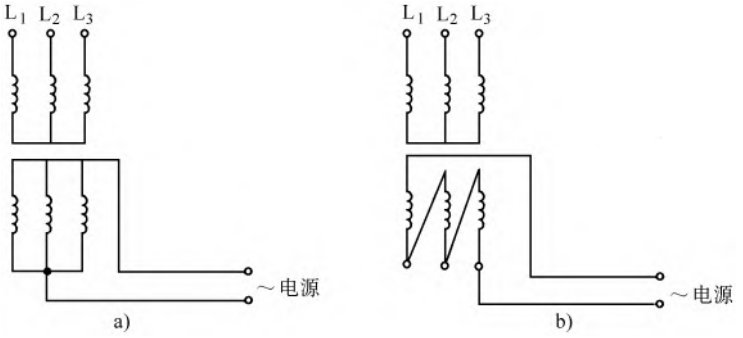


图 8-18　零序电流干燥法接线示意图

a）星-星联结变压器　b）星-三角联结变压器

这种方法是利用单相交流电源通入变压器的绕组，使每相产生等值、同相序和同方向的磁通，在铁心、油箱及压铁心的上下轭铁等铁件上产生涡流而发热，同时由于线圈短路而产生铜损发热，进而干燥变压器。

采用这种干燥法时，因为电流不大，一般不带油干燥，干燥时可保温，可不保温，可抽真空，可不抽真空。

加热时，不加电流的一侧为星形联结时，应开路；为三角形联结时，应接成开口三角形或者相与相全拆开，其目的是避免感应电压太高。

根据上述计算，可选择近似的常用电源电压值，可用电焊机调节，确定电压后，再计算零序电流 I_0。

电源到变压器连接线中的电流，在图 8-18a 中应为 $3I_0$，图 8-18b 应为 I_0，同时可按此选择电源连接线。

3）铁心在空气中停放时间。干燥天气（相对湿度不大于 75%）不应超过 16h，潮湿天气（相对湿度大于 75%）不应超过 12h。带油运输的变压器时间计算从开始放油起，到注油时止，不带油运输的变压器，从开盖起到注油时止。

调压切换装置吊出检查调整时，露空时间按表 8-8 规定进行。

表 8-8　调压切换装置露空时间

环境温度/℃	>0	>0	>0	<0
空气相对湿度（%）	65 以下	65～75	75～85	不控制
持续时间不大于/h	24	16	10	8

4）雨天或雾天不宜吊心检查，如特殊情况必须进行时，则应在室内进行，而室内的温

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度应比室外高10℃，室内的相对湿度应小于75%，并且变压器运到室内后应停放24h以上后进行。

2. 吊心前的准备工作

1）准备好工具和材料，如各种规格的梅花扳手、活扳手、塞尺、白布带、黄蜡带、塑料带、白布、磁铁、绝缘纸板以及垫放铁心的干净枕木、油桶等。此外还有相同规格的油垫，以备原垫有破损时使用，以及合格的变压器油等。

2）准备仪器仪表，如500V绝缘电阻表、2500V及5000V绝缘电阻表、万用表、升压源及耐压试验装置以及辅助的导线、线夹、电工常用工具等。

3）准备起重设施，一般有电葫芦（室内）、汽车起重机或倒链及三木搭、绳索等。起重用的工具应事先检查好，必要时试吊其他重物，或由起重工协助进行。

4）吊心前应将变压器油样进行化验，应由供电部门或取得变压器油试验许可证的单位进行，试验项目有化学分析和耐压试验。变压器油应符合表7-5的规定。

3. 吊出铁心检查

（1）放油

先将油箱中的油放出一部分，装有储油柜的变压器，绝缘油应放至顶盖的密封垫水平面以下；不带储油柜的变压器，应放至在套管以下。放油时应先将放油阀擦拭干净，再用干净的变压器油冲刷干净，然后再将油阀打开。先将最先流出的油用一桶接住，直至流出很清澈的油为止，之后再用另外一桶接油，直至放到标准线以下。先放出的油应用滤油机处理，否则不能放入油箱之内。

（2）打开油箱盖

先用棉丝将油箱盖、套管、紧固螺栓及其他部件擦拭干净，必要时可蘸一些干净的变压器油。然后两人或四人分别从顶盖对称部位同时拧松螺栓，并且打开一条螺栓应立即将其螺母、垫、螺栓配好拧住，然后把拧下来的螺栓放在同一个干净的地方；重新校正油箱应放平、放牢。

（3）吊出铁心

用钢索系在顶盖上的吊环或吊钩上，重量较重的变压器应系在顶盖上的全部吊环或吊钩上，同时应检查吊钩的焊接情况并将吊环的全部螺纹拧进顶盖的丝扣上。钢丝绳在起重机吊钩处的展开角不宜超过60°。系钢索、吊具时，必须检查其洁净程度，必要时应清理，避免尘土脏物落入变压器内。

钢丝绳系好后，应详细检查各个承重部位，无不妥后即可起吊。起吊速度应缓慢进行，当顶盖离开油箱20mm时应停止吊装，再一次检查各个承重部位，可用木棒轻轻敲打已撑紧的钢丝绳，以便发现不妥之处，然后再继续起吊，速度同样应缓慢进行。当铁心的底部吊出顶盖的高度达到枕木的厚度时，即可停止起吊，然后用干燥洁净的枕木垫在油箱上部，将铁心放在枕木上并用木楔支稳。吊钩放松即可，但不可摘钩。起吊过程中，器身与箱壁不得有碰撞现象。

（4）铁心检查

铁心吊出后应立即检查，尽量减少铁心在空气中的停留时间，检查时应做好记录。

铁心检查要点：铁心无变形，铁轭与夹件间的绝缘良好；铁心无多点接地；铁心外引接地的变压器，拆开接地点后铁心对地绝缘良好；打开夹件与铁轭接地片后，铁轭螺杆与铁心、铁轭与夹件、螺杆与夹件绝缘良好；绑扎铁心的钢带对铁轭的绝缘良好；铁心屏蔽绝缘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

良好；铁心压钉绝缘良好；铁心拉板及拉带紧固且绝缘良好。绝缘应用相应等级的绝缘电阻表测量。

绕组检查要点：绝缘层完整无缺损、无变位；线圈排列整齐、间隙均匀、油路畅通；压钉紧固、防松螺母锁紧。

其他检查要点：绝缘围屏绑扎牢固，线圈引出处封闭良好；引出线绝缘包扎牢固，无破损拧弯、绝缘距离合格，无毛刺尖角，焊接良好，与套管连接牢固，接线正确；分接开关良好，接线正确、接触良好、触头清洁且指示正确；强迫油循环管路与下轭绝缘接口部位密封良好，各部位无油泥、水滴和金属屑末杂物；整体上观感良好，无焦煳、烧灼、放电痕迹。

1）用干净白布擦净线圈各部和铁心支架及绝缘隔板，检查铁心、线圈上有无铁渣、铁屑等金属物，绝缘纸板有无焦煳、变色、脱落等不妥之处。

2）拧紧铁心上的全部螺栓及线圈的压紧螺栓，检查线圈两端的绝缘楔或垫是否松动变形，如果松动变形，应用绝缘纸板垫紧垫好。

3）用手或活扳手旋转电压分接开关，检查切换器与传动装置的相互动作是否正常灵活，动触头和静触头是否接触严密，可用0.05mm×10mm的塞尺检查，塞不进去为合格。高压引出线绝缘包层及白布带应无松脱且绑扎牢固，否则应修复。切换触头应正确停留在各个位置上，且与指示器所指示的位置一致；切换装置的拉杆、分接头凸轮、小轴、锁子等部件应完整无损；转动盘应动作灵活，密封良好。

如果变压器是用有载分接开关切换，则应先用手盘动微型电动机，使其完成切换过程，并按上述内容检查，然后再使微型电动机通电，用手动按钮操作，一挡一挡进行切换并检查切换是否正确，指示灯的动作应和手动切换同步一致；必要时要用电桥测试切换触头的接触电阻，一般应小于$10^{-6}\Omega$以下，同时用电秒表测试切换时间，应小于0.01s，或者观察切换储能弹簧的动作情况，应迅速有力。过渡电阻、所有接线应完整无损，整个装置无不妥之处。微型电动机通电前应测试其绝缘电阻，阻值应大于2MΩ。

4）检查铁心上、下接地片接触是否良好，有无缺少或损坏。拆开接地螺钉，使铁心离“地”，然后用绝缘电阻表测试铁心对“地”的绝缘电阻，虽然规范对此无定量规定，但一般情况下应大于2MΩ。用500V绝缘电阻表摇测穿心螺栓对地的绝缘电阻，并以1000V交流或2500V直流做耐压试验1min无击穿现象。10kV及以下的变压器穿心螺栓最小允许绝缘电阻为2MΩ；20～35kV的变压器为5MΩ；如果不符合要求，应卸下穿心螺栓进行检查，通常是在穿心螺栓上包扎几层绝缘带，使其恢复绝缘。穿心螺栓的螺母应用长柄扳手拧紧，以免铁心松动。最后把拆开的螺栓重新按原来紧固好。

5）铁心应无变形，铁轭与夹件间的绝缘垫应完好；线圈绝缘层应完整无损，排列整齐，间隙均匀，油路畅通；线圈的压钉应紧固，止回螺母应拧紧；绝缘围屏绑扎牢固，围屏上所有的线圈引出处的密封应良好；引出线绝缘包扎紧固、无破损和拧弯现象；引出线固定牢固，其裸露部分应无毛刺或尖的棱角并焊接良好；引出线的连接牢固，接线正确；防磁隔板应完整、牢固、无松动现象。所有部位部件无不妥之处，否则应修复。

（5）将铁心装入油箱

检查完毕且全部合格后，应再从上往下四周再检查一次，以防遗漏，整个检查过程至少

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

应有两人进行，必要时应由工程师主持或供货单位参加。首先必须用合格的变压器油冲洗器身，并清洗油箱底部，不得有遗留杂物，检查过程中湿度增大或有受潮之疑时，可将变压器油加热到90℃，然后倒在器身上，清除潮气。再用干净的木杆绑好磁铁伸到油箱底部检查有无金属遗留物；并事先将油处理好或换好，密封衬垫准备好以及把油箱盖的紧固螺栓擦拭干净。

然后将器身吊起，取下枕木，把密封垫放好，再把器身轻轻放下，这时要注意器身不得碰击油箱或和其他物品挂住，通常是由两人分别从宽侧和长侧控制器身和油箱的间隙，避免碰击。当顶盖和油箱法兰相距30mm时，先重新摆正密封垫，并将螺栓穿入孔内3～4条，以便使器身准确落下就位；当相距5mm时，将穿入的螺栓上下、左右、前后活动，使之无阻无卡，活动的同时将器身轻轻放下落在油箱内，这时先穿入的螺栓应活动自如，否则应用和螺栓同径的钢筋棍伸入其他螺栓孔内，调整螺栓孔，使螺栓能自如地穿入。

然后将全部螺栓由法兰下面向上穿入孔内，全部拧紧。拧紧时应对称紧固，两人或四人同时拧紧对角线的螺栓，以防跑偏或密封不严，必要时可用两只梅花扳手，从螺栓的上下同时紧固。检查箱壁上的阀门应开闭灵活、指示正确。

最后将放出的变压器油加入储油柜，并补充合格的、已做过油混合试验的油。加油时应观察油位表，夏季油位应在最高气温+40℃的位置，冬季油位应在最低气温-20℃的位置，春秋季节应在适中位置+20℃左右，然后把储油柜的油盖盖好，这时变压器任何一个部位应不渗不漏油。再次用绝缘电阻表测试绝缘电阻，且与第一次测量值比较，应无变化。

清理现场，收拾工具，清点物件，填写记录。

五、电气线路的试验

（一）低压电气线路

低压电气线路的试验见表8-9。

（二）高压电气线路

高压10kV电气线路的试验见表8-9。

表8-9 电气线路试验参数选择表

电压等级	低压400V			高压10kV	
线路型式	架空	穿管	电缆	架空	电缆
绝缘电阻	10MΩ 1000V绝缘 电阻表	5MΩ 500V绝缘 电阻表	50MΩ 1000V绝缘 电阻表	绝缘子每片/每只300MΩ 2500V绝缘 电阻表	200MΩ 5000V 2500V绝缘电阻表
耐压试验	工频1kV 1min	工频1kV 1min		工频42kV 1min	工频50kV 1min 漏电流50μA
试验方法	同前	同前，潮湿地方或旧导线0.5MΩ	同前	同前	同前

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上述绝缘电阻值是指相与相、相与地之间的绝缘电阻，耐压试验是指每相的耐压试验。上述试验均合格后才可以试送电。

（三）10kV 变配电室及线路的试验及送电

10kV 变配电室的试验及送电较为简单，但是为了安全可靠则常进行零起升压倒送电试验。模拟 10kV 电压加在变压器一次、二次及低压母线加 400V，使系统正常带电工作，进而发现安装调试以及设备本身存在的缺陷，为正式送电做好准备。这里以图 8-19 进行说明。

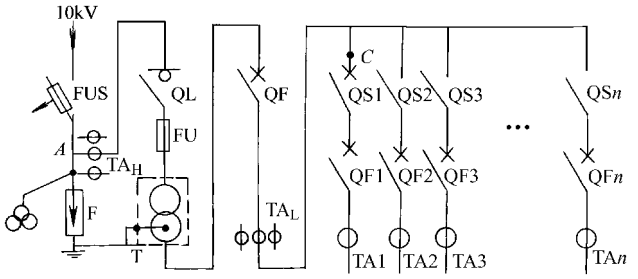


图 8-19　10kV 变压室配电系统图

1. 零起升压倒送电试验

1）试验器具的准备。主要有三相调压器 15kV · A，0 ~ 400V，三相试验电源为交流 380V，电气试验常用仪表和仪器，继保及二次回路试验仪器仪表等。

2）电气安全用具。主要有高压拉杆、高压验电器、高压手套、绝缘靴、绝缘垫、临时接地线、医疗用品、救护车等。

3）站内所有的设备已安装调试完毕，电气设备交接试验全部合格，开关的分合试验和继电保护的系统整组试验全部正常合格，试验前应再次进行外观和接线的检查，清扫擦拭所有的设备。再次检查变压器、互感器、断路器的油位应合格，且无渗漏现象。

4）拟定试验方案，确定每项的检查及试验人员及负责人，准备各种记录表格，向所有试验人员进行技术交底，规定各种合闸、升压、停止等信号，宣布注意事项并要求按正式送电的要求进行。

5）将图中所有的开关 FUS、QL、QF、QS 全部断开。将三相调压器的输出端从 *C* 点接入，并将手柄打在零位。然后接好调压器的电源，一般可用三相刀开关控制。*A* 点接入 10000/100 的电压互感器和电压表。

6）检查无误后将调压器的电源开关合上，然后缓慢调整手柄，并观察低压母线上的电压表应由零位缓慢升起。记录 40V、80V、120V、160V、200V、240V、280V、320V、360V、400V 时系统有无异常。然后将低压母线上的 QS1 ~ QS*n* 和 QF1 ~ QF*n* 分别合上后系统应正常，此项试验时受电的回路应将进户开关断开，只观测电压表的读数，应为 380V。

7）将调压器回零，将 QF、QL 闭合，然后再缓慢调整调压器手柄，从电压互感器上的电压表观察 6）中各电压值时的电压并做好记录，正常时应为 1kV、2kV、3kV、4kV、5kV、6kV、7kV、8kV、9kV、10kV，在 3kV、6kV、9kV 时应停留 3min，观察有无不妥，特别是变压器的声响应为低沉的“嗡嗡”声。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8）高压/低压到达10000/400时应进行仔细观察FUS、F、QL、FU、T、QF及高低压母线有无异常，并保持4～8h，除高压侧TA_H的电流有很小的变压器空载电流外，所有的电流表读数应为零。

9）再次检查无误后拆掉三相调压器和电压互感器以及试验时的临时接线，最后将所有的开关全部断开，并进一步仔细检查确保无误。

2. 送电试验及试运行

倒送电试验无误后，征得供电部门的允许即可正式送电。送电前应再次进行检查并将所有开关断开。将跌落式熔断器FUS用拉杆合上（先合两边相后合中相），再将负荷开关QL合上变压器进入空载运行。无误后将QF合上使低压母线带电，这时电压表读数正常。QL的合闸应进行五次，间隔不大于5min。

用步话机与每个受电侧总开关处人员联系，在总开关断开的条件下分别将各回路的QS和QF顺序合上，各个回路应正常，除TA1的电流表有很小的变压器空载电流外，所有的电流表为零。

变压器进入72h空载运行，并安排人员值班。无误后系统可进入正常运行。

六、调整试验注意事项

（一）电气试验安全注意事项

1）电气试验作业不应少于两人。试验作业负责人在试验作业前，应对全体参加试验作业的人员详细布置试验中的安全措施，大型复杂的试验必须编制试验方案。试验前，应做好以下几项工作：

① 核对电气设备及线路的名称、编号。

② 做好与运行、检修、安装人员的联系工作，达成一致性的作业方案，且互不影响。

③ 检查被试物与其他电气设备的距离和接地情况。

④ 检查被试设备是否符合或处于试验状态。

⑤ 检查安全用具是否齐全完备，是否处于完好合格状态；各类仪表是否准确可靠。

⑥ 检查试验装置是否处于完好合格状态，有无不妥之处，外壳接地及总接地线是否可靠良好，正式试验前的空操作是否正常等。

⑦ 派专人警戒现场并设置临时围栏绳。

2）高压电气试验应填写作业票；低压电气试验应填写小组作业票。在同一个电气连接部分同时有试验和检修作业时，可填写一张作业票，但试验前应征得检修作业负责人的许可（签字为准）；在同一电气连接部分，试验的作业票发出后，禁止再发出第二张作业票。

3）检修作业与试验作业在同一地点进行时，试验设备与检修设备之间应有足够的安全距离，且检修设备应有完好的短路接地。为了保证双方作业的安全进行，在检修作业与试验作业的断开点处设置临时围栏并挂有“止步，高压危险!”且字朝检修作业侧的标志牌，并设专人监护。

4）高压试验现场，应设置红绳围栏并挂有“止步，高压危险!”且字朝外的标志牌，必要时应设专人看守。被试物的接线端不在同一地点时，另一端必须派人看护，以防意外触电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）电气设备在进行耐压试验前，应先测量绝缘电阻；电流试验时使用的载流导线应满足最大试验电流的需要；电气试验的接线必须正确、可靠、牢固，接线后应由专人检查核对，不得由接线人员检查。

6）高压试验前，调节装置的手柄应放在零位，试验时应从零位升压或升流，并随时监视仪表。升流或升压时，应通知现场人员远离被试设备，可能引起感应电压的邻近设备必须可靠接地。操作人员应站在绝缘垫上，调节时应呼唱调节数值，且准确清楚。

7）试验装置的高压引出线应尽量短而直，必要时可用绝缘物支持固定。试验装置的电源开关，应使用有明显断开点的刀开关；试验装置的低压回路中应有两个电源开关串联，便于紧急情况下使用方便，同时应有过载、短路保护的自动掉闸装置。试验设备的外壳应可靠接地。

8）试验电容器、电缆、大型变压器等电容较大的设备时，试验前后均应放电，放电时间不小于2min；对有静电感应的设备只有可靠接地后才能进行试验。

9）更换试验接线或试验结束时，应先将试验装置的调节手柄回归至零位，然后断开试验装置的电源。进行充分的放电后，才能更换接线或拆除接线。最后将试验设备的高压部分短路或接地。

10）高压试验室的门应与试验电源的开关有电气联锁装置。

11）试验作业结束后，必须检查被试设备上有无遗留工具或导线及线头等杂物，同时应清点工器具及作业现场，拆除临时短路线和地线，拆除遮栏、围栏，只有经值班人员检查无误后，才能试投并恢复运行状态。

12）因试验需要断开的设备接头，应做好相序标记，恢复后应进行检查并由运行人员验收合格。

13）试验结束且经试投运行正常后，作业负责人和值班员双方签字，交回作业票。

（二）核相作业的安全规定

1）使用核相杆和电压互感器进行核相作业时，应填写小组作业票。高压核相作业至少由4人进行，监护人必须不间断的进行监护，直到作业完毕。

2）核相杆使用前应进行检查和擦拭，其外部不得有裂痕损伤和铅笔印，并用2500～5000kV的绝缘电阻表测量核相杆的电阻及绝缘电阻。不同电压等级的核相杆禁止混用。核相杆的保管与常用携带式测量仪表相同。

3）作业操作人应穿绝缘靴、戴绝缘手套、穿长袖工作服，并戴护目镜，必要时应站在绝缘台上。测量时，由监护人统一指挥，信号口令要清楚，操作人在操作前要复述一遍，且应准确无误。

4）进行测量时，所用的仪表对地应有足够的绝缘支架，其连接线应用线轮缠绕整齐，并要缓慢牵引，同时应注意与周围的安全距离。

5）核相作业在室外进行时，必须天气良好，如遇大风、雨雾天气应停止作业。

6）在核相地段的周围应用临时遮栏或红绳临时围栏围起来，并挂“止步，高压危险!”的标志牌，以防止非作业人接近或误入。

7）使用电压互感器进行核相作业时，除应符合上述有关规定外，还应遵守以下规定：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

① 电压互感器的绝缘套管不应有裂痕及损伤，其金属外壳和二次应可靠接地。

② 电压互感器应放置在高处平稳的绝缘的台架上或绝缘垫上。

③ 连接导线在满足使用的条件下，应尽量短，并保持安全距离，其绝缘棒前端上应有螺扣并能使挂钩压紧，接触可靠。

8）低压核相时，至少应由三人进行，并遵守上述的有关规定。禁止手持电压表进行作业，必须放置在高处而绝缘的地方并固定。与带电部位应保持安全距离，见表 8-10。

（三）高压测量安全事项

表 8-10 人体与带电体间的安全距离

电压等级/kV	安全距离/m
10 及以下	0.4
35	0.6
110	1.0

（1）使用互感器进行测量的规定

1）在高压回路上，使用互感器和仪表进行测量时，至少由两人进行，并填写小组作业票。

2）电流互感器、电流表及其他测量仪表的接线和拆卸，需要断开高压回路时，应将此回路所连接的设备和仪器全部停电后才能作业。连接电流回路导线的截面积应满足所测电流数值的要求。

3）电压互感器、电压表及其他测量仪表的接线和拆卸，无需断开高压回路时，可以带电作业，除应遵守带电作业的有关要求外，导线不许有接头，导线的长度应尽量短，导线与元器件的连接必须紧固，必要时应将导线用绝缘支架加以固定。

4）测量必须在互感器的低压侧进行。

5）使用电压互感器进行测量时，应先将低压侧所有的接线接好，检查无误后，用绝缘工具将高压侧的导线与线路接好。作业时应有人监护。操作人应戴绝缘手套和护目镜并站在绝缘台上。室外操作必须穿绝缘靴。

6）仪器仪表的外壳是非金属的，应与地绝缘；是金属的则应可靠接地；其摆放的位置，应使读表人与高压电部位的距离不小于表 8-10 中的安全距离。

7）作业及测量周围应设置围栏绳。

（2）使用钳形电流表进行测量的规定

1）禁止用导线从钳形电流表另接表计进行测量。

2）测量高压电缆各相电流时，电缆头引线的线间距离应在 300mm 以上，且绝缘良好，操作方便。当有一相接地时，严禁测量。

3）测量裸导线时，应注意对地距离和线间距离，并戴绝缘手套，穿绝缘靴。

4）测量过程中不得改换量程。

5）钳形电流表使用前要擦拭干净。

（3）使用绝缘电阻测试仪进行测量的规定

1）在高压设备上进行测量时，应由两人进行，并填小组作业票，被测设备及线路必须先停电、验电、放电，后测量。

2）测量前，必须保证设备及线路上无人；测量电缆和线路时，必须事先通知另一端工作人员。测量时禁止非工作人员靠近。

3）同杆并架几个回路时，任一回路的测量，都应将其他回路停电，防止感应电压；高压线路与另一高压线路有平行段时，测量时应将另一回路停电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）测量电缆、电容器及长距离架空线路时，必须先放电后才可测量。停止摇测前，先将绝缘电阻表的测量线与其断开后再停止摇动，以防损坏绝缘电阻表。

5）在带电设备或线路附近进行测量时，绝缘电阻表的位置必须适当，摇测人员应保持安全距离，并有专人监护。

6）有接地端子的绝缘电阻表，使用时应先接地。

7）雷电时，不应在室外进行测量。

8）绝缘电阻表的测量线其绝缘性能必须良好。

9）测量时，不得将绝缘电阻表的测量线短路。

（4）接地电阻测试仪的使用，其安全注意事项与绝缘电阻表基本相同。测量时必须将接地引线断开；摇动接地电阻测试仪时，其测量端不得开路。

七、新型微机继电器柜的调整试验

近几年来，随着电子技术、微型计算机技术的发展，新型电气开关柜、控制柜有了很大的变化，从原来的器件调整演变为自动显示调整，给运行及调整带来了极大的方便。这里以直流电源柜为例，详细介绍新型继电器柜的调整试验和具体操作方法。本书提供的信息仅供参考，应以产品说明书为准。

（一）控制器

控制器是新型继电器柜（屏）的主要机件，它与系统的元器件有着错综复杂的连接。控制器实际上是一个微型处理器并设有数字键，主要来完成变配电装置中各个参数的设置、状态的检测、保护参数及报警、温度补偿等。人们可以通过数字键的输入和屏幕上的显示来进行调整，以确定参数、状态，进一步对运行参数进行分析，以确定处置的方法。有些控制器还有打印功能，可随时打出 24h 的运行状态，有记忆功能的还能随时打出三年内任一时间的运行状态。控制器为运行、调整、记录、事故分析、运行状态等提供了极大的方便。

（二）面板按键功能

面板共有 16 位按键，分别为“1”、“2”、“3”、“4”、“5”、“6”、“7”、“8”、“9”、“0”、“.”、“↑”、“↓”、“修改”、“确认”、“取消”。

1）数字键在设置参数时使用。

2）“↑”、“↓”键用来移动光标，通过移动光标可以浏览每个页面的内容。

3）“取消”、“确认”键具有两种功能：有常规的取消、确认功能；在本系统中又具有上下翻页的功能，每按一次取消键，返回上一级菜单。每按一次确认键，进入当前光标所指示的下一级菜单。

4）“修改”键是修改参数时专用，每次修改参数时，先按一次修改键，然后输入所需要的数值。每次按修改键后必须尽快输入数字，否则 3s 后，系统会自动清除。想继续修改，须重新按一次修改键。

5）系统报警时，按任意键可以消除报警声音。

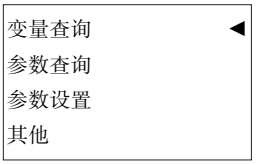
按照接线图正确接线，开启面板电源开关，系统先进行初始化出现（1-1）界面。几秒钟后出现（1-2）界面。界面右边的“◀”是光标，可通过面板“↓”、“↑”键移动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1-1）

↓

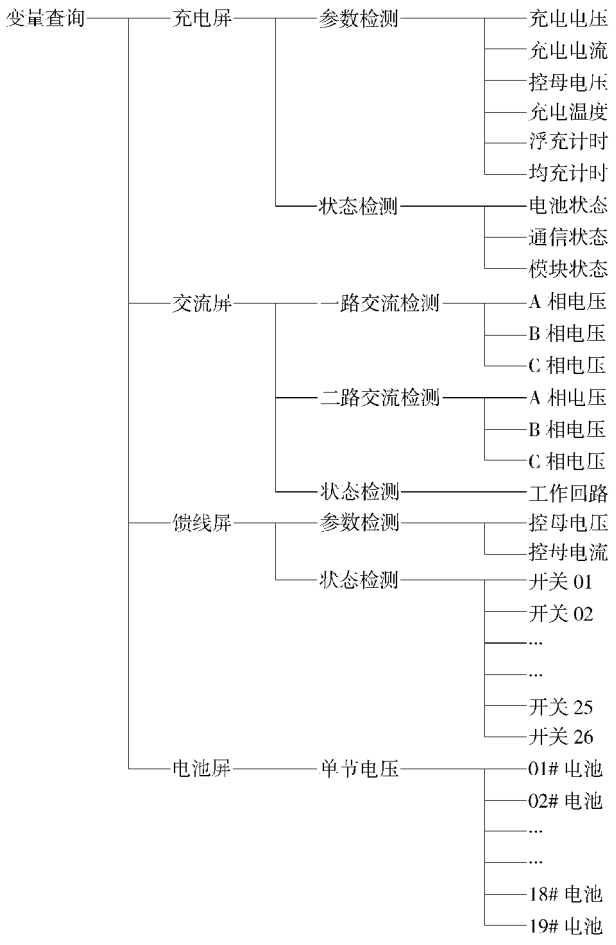


（1-2）

其中，变量查询指查询系统当前运行的各种变化的物理量；参数查询指查询系统内部设置的各种参数；参数设置指修改系统内部设置的各种参数。

（三）系统总菜单

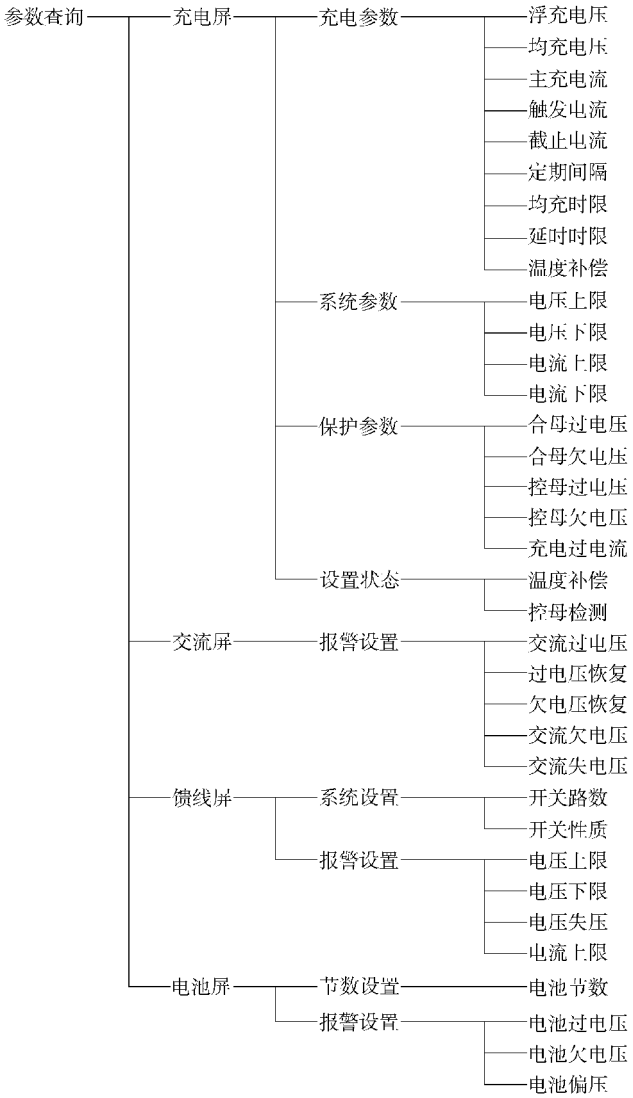
1. 变量查询



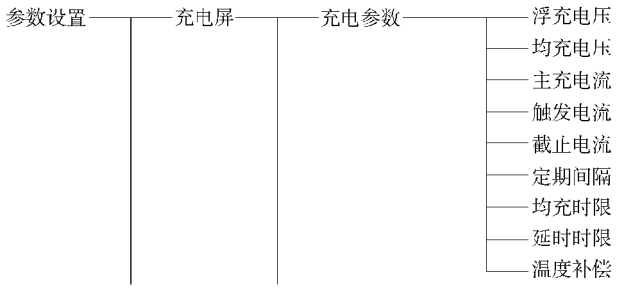
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 参数查询

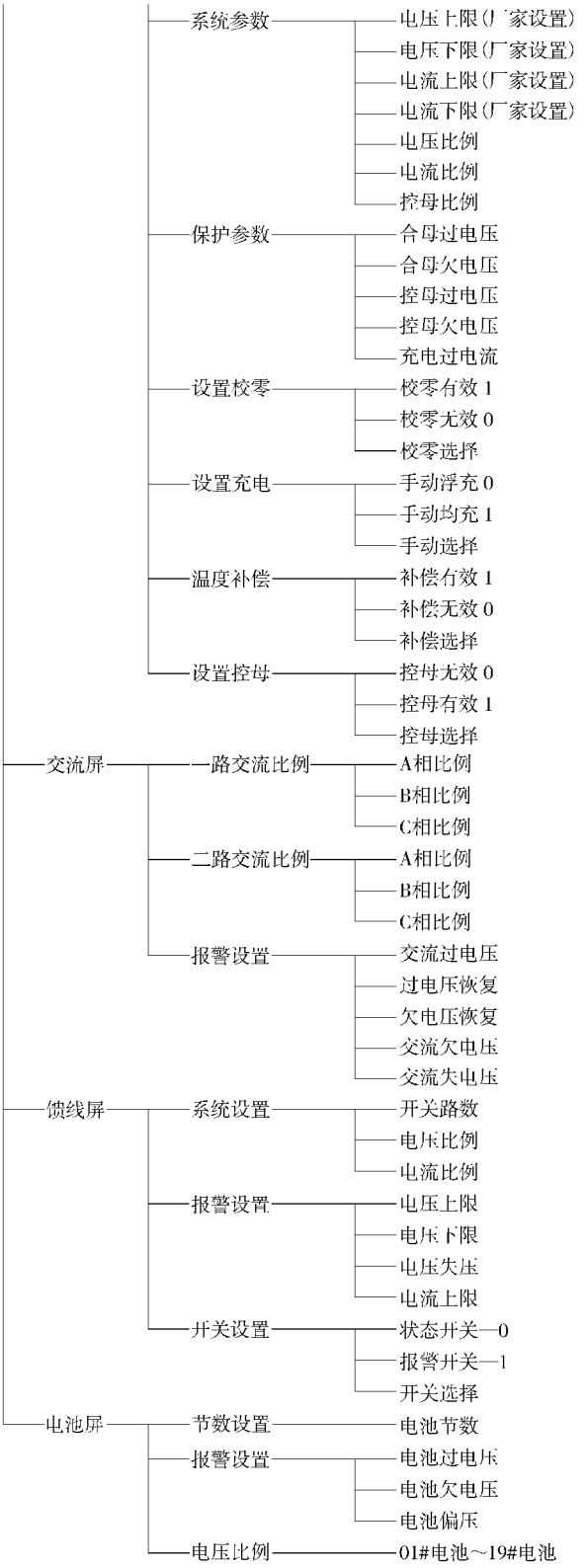


3. 参数设置



www.789pdf.com 789书库网

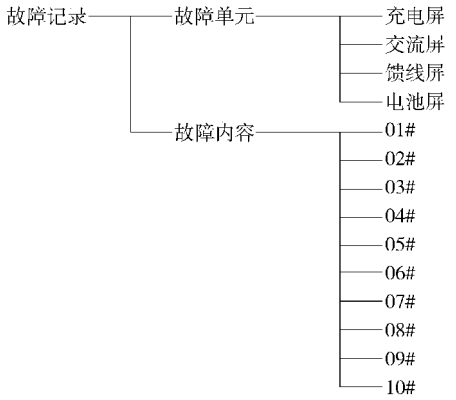
www.789pdf.com 789书库网



www.789pdf.com 789书库网

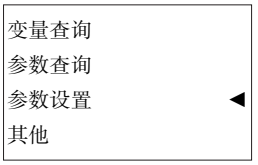
www.789pdf.com 789书库网

4. 其他



（四）具体参数设置方法

1. 设置浮充电压（例如设置为243V）



（2-1）

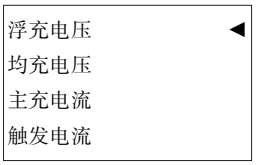
1）连续按“取消”键，直到出现（1-2）界面，然后向下移动光标，出现（2-1）界面。

（2-2）

2）按“确认”键，进入（2-2）界面。

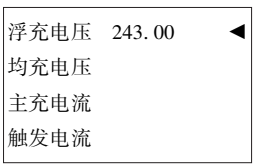
（2-3）

3）按“确认”键，进入（2-3）界面。



（2-4）

4）按“确认”键，进入（2-4）界面。



（2-5）

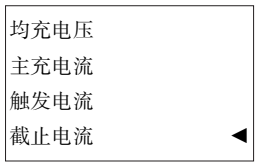
5）按“修改”键，通过数字键输入数字243.00，然后按“确认”键，进入（2-5）界面，浮充电压设置完毕（注：设置完毕后，系统自动返回（2-3）界面，想知道所设置的参数，可从“参数查询”中查询）。

www.789pdf.com 789书库网

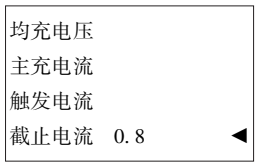
www.789pdf.com 789书库网

注意事项：在（2-3）界面中，其中“系统参数”为出厂设置，请用户不要随意更改。

2. 设置“均充电压”、“主充电流”、“触发电流”、“截止电流”、“定期间隔”、“均充时限”、“延时时限”、“温度补偿”



（3-1）



（3-2）

1）依次按照“设置浮充电压”1）~4）步骤，进入（2-4）界面。然后通过移动光标选定所要设置的项目。

例：设定截止电流为0.8A，在（2-4）界面下移动光标进入（3-1）界面。

2）按“修改”键，通过数字键输入数字0.8，然后按“确认”键。截止电流设置完毕。系统从（3-2）界面返回（2-3）界面。

3）依照上述1）、2）步骤依次可设置各种参数。

名词注释：

1）触发电流：系统从浮充进入均充时刻的电流值。

2）截止电流：系统从均充转入延时均充时刻的电流值。

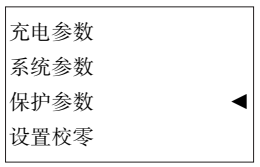
3）定期间隔：系统长期在小电流充电的情况下（此时由于充电电流小，不能自动触发进入均充），为了活化电池，系统按照固定的时间周期对电池进行均充。

4）均充时限：正常情况下，系统会按照所设定的参数进行均、浮充转换。当电池有异常情况时，（例如电池漏电）充电电流一直偏高，不能到达截止电流点。这时系统会按照“均充时限”所设定的时限，强行从均充转入浮充。

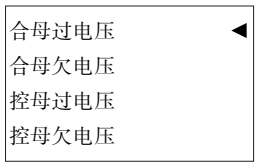
5）延时时限：系统进行延时均充所需要的时间段。

6）温度补偿：充电温度每升高1℃，蓄电池需要补偿的电压值。

3. 设置“合母过电压”、“合母欠电压”、“控母过电压”、“控母欠电压”、“充电过电流”



（4-1）



（4-2）

1）依照“设置浮充电压”1）~3）步骤，进入（2-3）界面后。向下移动光标进入（4-1）界面。按“确认”键进入（4-2）界面。

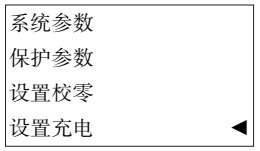
2）按“修改”键（注：按“修改”键后要尽快输入数字），然后通过数字键输入需要设定的值，输入完毕，按“确认”键。合母过电压设置完毕。

3）如想设置“合母欠电压”、“控母过电压”、“控母欠电压”、“充电过电流”，只需在步骤2）中移动光标，选定所要设置的项目。其他操作与设置“合母过电压”相同。

www.789pdf.com 789书库网

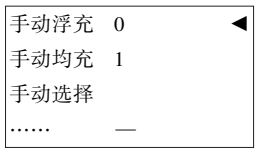
www.789pdf.com 789书库网

4. 手动控制均、浮充转换



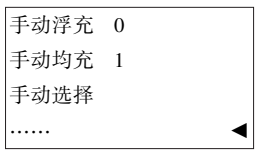
（4-3）

1）依照“设置浮充电压”1）~3）步骤进入（2-3）界面后，向下移动光标进入（4-3）界面。



（4-4）

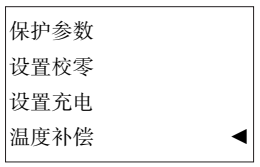
2）按“确认”键，进入（4-4）界面。



（4-5）

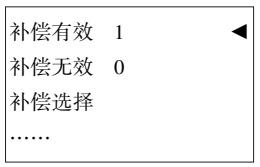
3）向下移动光标，进入（4-5）界面（如果系统当前状态是浮充状态），按“修改”键，然后按数字键1，按“确认”键。系统则转入均充状态。如果系统当前状态是均充状态，按修改键，然后按数字键0，系统则转入浮充状态。

5. 设置“温度补偿有效”



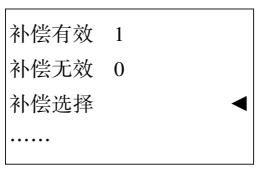
（5-1）

1）依照“设置浮充电压”1）~3）步骤，进入（2-3）界面后，向下移动光标进入（5-1）界面。



（5-2）

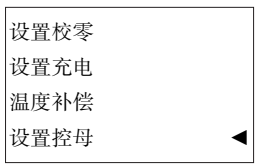
2）按“确认”键，进入（5-2）界面，移动光标进入（5-3）界面。



（5-3）

3）按“修改”键，按数字键1，按确认键。

6. 设置控母有效、设置控母无效

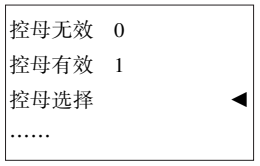


（5-4）

1）依照“设置浮充电压”1）~3）步骤，进入（2-3）界面后，向下移动光标进入（5-4）界面。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



（5-5）

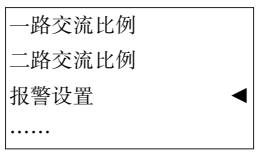
2）按“确认”键，然后向下移动光标，进入（5-5）界面，按“修改”键（例如设置控母无效），按数字键0，按“确认”键。例如设置控母有效，按数字键1，按“确认”键。

控母有效、控母无效的设置原则：当系统有控母，则设置控母有效。系统没有控母，则设置控母无效。如果设置不正确，系统会一直发出报警。

7. 设置“交流过电压值”、“过电压恢复值”、“欠电压恢复值”、“交流欠电压值”、“交流失电压值”

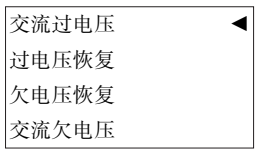
（6-1）

1）依次按照“设置浮充电压”1）~2）步骤，进入（2-2）界面后，向下移动光标，进入（6-1）界面。



（6-2）

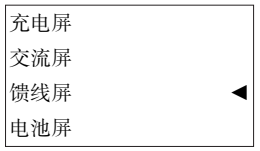
2）按“确认”键进入下一页，向下移动光标，选定报警设置，如（6-2）界面。



（6-3）

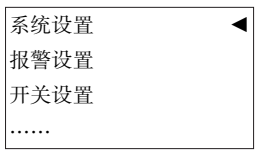
3）按“确认”键，进入（6-3）界面，通过移动光标，选定所要设置的项目，按“修改”键，然后通过数字键输入数值，按“确认”键，设置完成。

8. 设置馈线屏开关路数



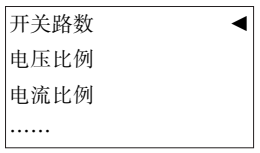
（6-4）

1）依次按照“设置浮充电压”1）~2）步骤，进入（2-2）界面后，向下移动光标，进入（6-4）界面。



（6-5）

2）按“确认”键，进入（6-5）界面。



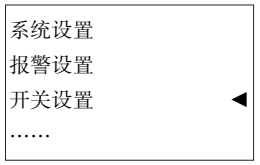
（6-6）

3）按“确认”键，进入（6-6）界面。按“修改”键，通过数字键输入实际的开关路数，按“确认”键。

www.789pdf.com 789书库网

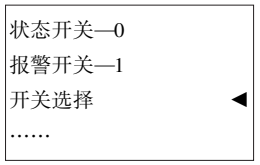
www.789pdf.com 789书库网

9. 设置开关的报警形式



（7-1）

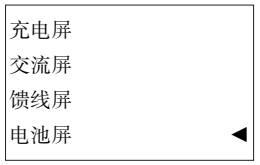
1）按照设置开关路数步骤 1）~2），进入（6-5）界面，向下移动光标，进入（7-1）界面。



（7-2）

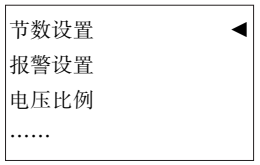
2）按“确认”键，进入下一页。向下移动光标进入（7-2）界面，按“修改”键，根据实际开关报警接点的性质，输入 0 或 1，按“确认”键。

10. 设置电池节数



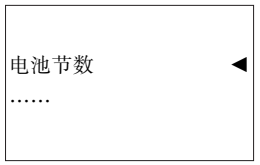
（7-3）

1）依次按照“设置浮充电压”1）~2）步骤，进入（2-2）界面后，向下移动光标，进入（7-3）界面。



（7-4）

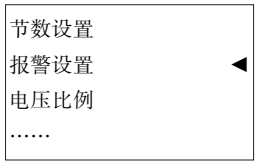
2）按“确认”键，进入（7-4）界面。



（7-5）

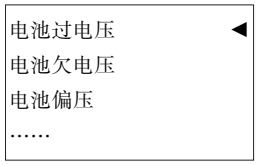
3）按“确认”键，进入（7-5）界面，按“修改”键，通过数字键输入电池节数的实际值，按“确认”键。

11. 设置“电池过电压值”、“电池欠电压值”、“电池偏压值”



（8-1）

1）依次按照“设置电池节数”1）~2）步骤，向下移动光标，进入（8-1）界面。



（8-2）

2）按“确认”键，进入（8-2）界面，通过移动光标选定所要设置的项目，按“修改”键，通过数字键输入数值，按“确认”键。

www.789pdf.com 789书库网

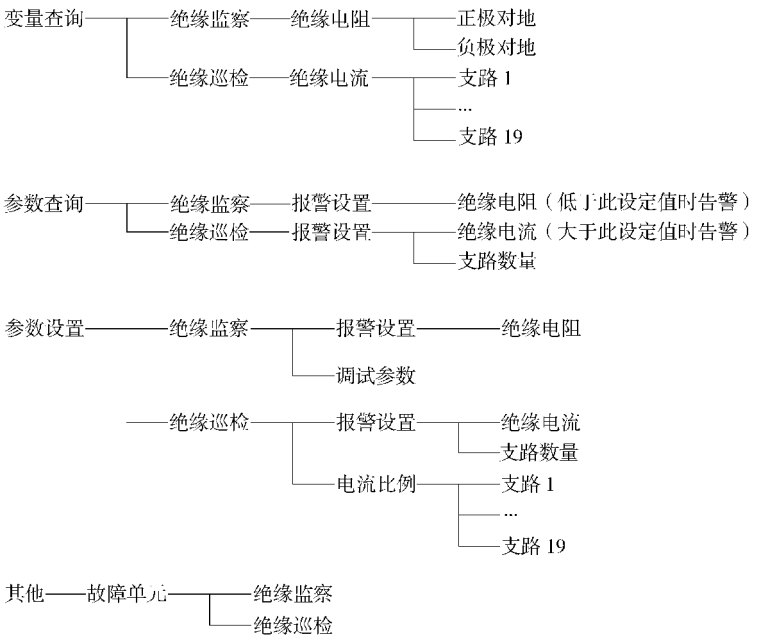
www.789pdf.com 789书库网

电池偏压：单节电池电压与所有电池的平均电压值之差。

（五）绝缘巡检功能单元

绝缘巡检功能单元是在监控器的基础上外挂的配件单元。可独立完成显示和操作，亦可通过 RS-485 通信口与主机通信，并在主机完成显示和操作。

1. 有关绝缘巡检功能的菜单



注意：“调试参数”为厂商内部设定参数，未经厂商允许一般不要修改，以免发生程序混乱。

2. 名词注释

1）绝缘电阻：母线对地的电阻值。

2）绝缘电流：测得的支路漏电流。

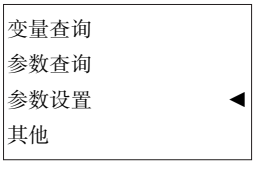
3. 操作方法

参数查询和参数设置方法在控制器的操作中均已详细介绍。菜单采用分级显示，用户交互方式，操作简单直观。

变量查询为设备实时检测到的各变量参数；参数查询为当前设定的各参数值；参数设置可根据实际需要设定各参数值。

4. 具体参数设置方法

（1）设置绝缘电阻（例如设置为 50kΩ）

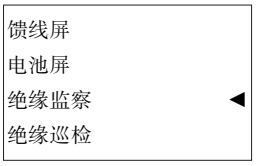


（9-1）

1）连续按取消键，直到出现（1-2）界面，然后向下移动光标，出现（9-1）界面。

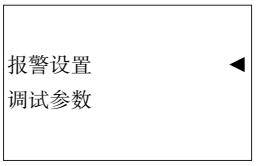
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



（9-2）

2）按“确认”键，进入（9-2）界面。



（9-3）

3）按“确认”键，进入（9-3）界面。

（9-4）

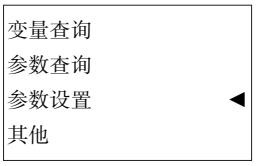
4）按“确认”键，进入（9-4）界面。

（9-5）

5）按“修改”键，通过数字键输入数字 50.00，然后按“确认”键，出现（9-5）界面，绝缘电阻设置完毕（注：设置完毕后，系统自动返回（9-3）界面，想知道所设置的参数，可从“参数查询”中查询）。

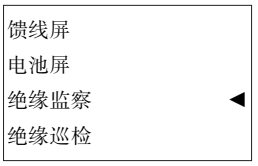
注意事项：在（9-3）界面中，“调试参数”为出厂设置，用户不要随意更改。

（2）设置绝缘电流（例如设置为 1mA）



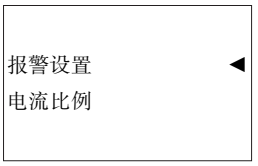
（10-1）

1）连续按“取消”键，直到出现（1-2）界面，然后向下移动光标，出现（10-1）界面。



（10-2）

2）按“确认”键，进入（10-2）界面。



（10-3）

3）按“确认”键，进入（10-3）界面。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（10-4）

4）按“确认”键，进入（10-4）界面。

（10-5）

5）按“修改”键，通过数字键输入数字1.00，然后按“确认”键，出现（10-5）界面，绝缘电流设置完毕（注：设置完毕后，系统自动返回（10-3）界面，想知道所设置的参数，可从“参数查询”中查询）。

“支路数量”的设置方法请参照“绝缘电流”的设置方法，根据实际监测的支路数量设置。

八、调整试验中变配电装置故障判断及处理

（一）高压断路器异常及故障处理

1. 高压断路器掉闸后的处理

1）装有一次重合闸而重合闸未成功的架空线路，隔1min后允许再试送一次，试送成功后应及时进行线路巡视，并查找事故原因；试送未成功时，应排除故障后方可送电。

2）装有二次重合闸而重合闸两次未成功的架空线路，不允许试送，若重合闸未动作，可试送一次。

3）无重合闸或重合闸失灵的线路，允许手动试送两次，但第二次试送应与第一次试送掉闸间隔1min。

4）线路上装有重合闸的断路器在手动试送前，应将重合闸装置解除。

5）断路器分闸时，喷油严重者，不准试送。

6）电力变压器、电力电容器、全线为电缆的线路，其断路器分闸后，不允许试送，只有待查明事故原因并排除后，方可试送。

7）断路器越级分闸时的处理。

① 分路断路器保护动作而未分闸，而造成主变压器或电源总断路器分闸者，应先拉开所有分路断路器，试合主变压器或电源总断路器，然后试合无故障的各分路断路器。故障分路试送前，应查明该线路的故障原因。

② 分路与主变压器或电源总断路器同时分闸者，应先分断无故障的分路断路器，试合主变压器或电源总断路器，然后试合各分路断路器。在试送故障分路前，应检查两级继电保护的配合情况及该线路的故障原因。

2. 高压断路器发生异常现象的处理

1）合闸后，机壳内部有严重打火、放电等异常声音，应立即拉闸，停电后检查原因。

2）因漏油造成严重缺油者，应立即取下操作熔断器，将所带负载转至其他母线上，然后拉闸后进行处理。

3）其绝缘子或套管发生闪络、断裂及其他严重损伤时，应立即停电处理。

4）断路器拉、合失灵时，应进行下列检查：

① 操作回路熔断器或主合闸熔断器是否熔断，接触是否良好。

② 二次操作回路有无断线或接头处接触不良。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③ 合闸直流接触器及其常闭、常开触头是否接触不良。

④ 直流吸合电压是否过低。

⑤ 继电器触头是否断开或接触不良。

⑥ 操作手把触头是否接通。

⑦ 分励脱扣器、合闸接触器的铁心是否卡住、吸合困难。

⑧ 操作机构的脱扣三联板中间连接轴的位置过高或过低。

⑨ 操作机构的卡脖吃度太小或太大。

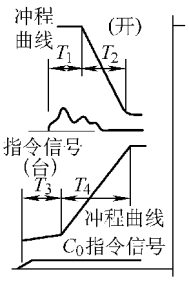
⑩ 操作机构的合闸托架与滚轴抗劲、摩擦力太大，传动轴杆松脱。

⑪ 操作机构顶杆太短或钢帽脱落。

⑫ 液压或气压操动的操作机构的液压或气压过低。

这里将 SF_6 断路器操作故障、绝缘故障及监测项目列于表 8-11 和表 8-12，高压真空接触器的检查、检修列于表 8-13 和表 8-14，供读者参考。

表 8-11　SF_6 断路器操作故障与监测项目

故　障	故障原因	监测与诊断项目		通过控制系统与常规传感器数据
延时操作	控制机械装置操作延时	T_1 与 T_3 增加	（操作时间测量系统） T_1 到 T_4 的实测值 	
无操作/无反应	控制电路导线折断端接线松开	无操作检测		打开箱预警
	最小操作电压增高			
操作速度降低	驱动阀操作速度降低	T_2 与 T_4 增加		
	操作速度降低			
冲程曲线变形	主控阀操作泄漏	T_2 耗散		
	在冲程时颤动	由 T_2 与 T_4 的增加和在冲程末端传感器大过 1 的传感器脉冲输入造成的“毛病”		
不恰当缓冲	不适当缓冲时间	T_2 与 T_4 变化		
	主控制阀的延长操作时间			
非完全冲程	不恰当接触	在冲程末端无传感器脉冲非操作检测		
	耦合滑脱			
油压降低	压力操作故障	根据 T 增加和油标下降预警检测	（液压泵操作的监测） 操作时间 T 与每单位时间操作次数的实测值	油压操作预警
	油泄漏			
油标下降	来自蓄气器的 N_2 气体泄漏			浮体开关预警 液压泵长时间操作预警
	油泄漏			
延长操作时间或液压泵增加操作	在断路器操作后直接由有缺陷阀门座造成液压部件低压与高压之间泄漏	按断路器操作造成 T 增加来检测		
	有缺陷的活动密封或阀门座 液压泵出口损失	根据 N_2 增加来检测		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-12 SF_6 断路器绝缘故障与监测项目

故障	故障原因		监测与诊断项目
内部局部放电增加 → SF_6 气体分解	由于在箱体内杂质造成放电	由于断路器操作部件滑脱	局部放电 气体分析 气体压力
		在装配时渗入杂质	
	杂质沉淀在绝缘表面	由断路器操作产生的金属粉末	
	因绝缘体内杂质造成局部放电	因留在绝缘体内金属杂质造成树形放电的产生	
	带电部分屏蔽浮动	防护配件不完善的接触	
		因断路操作造成防护装配螺钉松开	
	因不完善导电接触造成浮动	导电触点不良接触，特别是螺栓零件松开	
	埋在绝缘体内电板浮动	连接螺栓松开	
	触点不完善冲程	不良接触或有毛病接触	
	气体内局部放电	气体压力损失	
		因气体内增加水含量，造成在绝缘体表面上的电阻	
	绝缘体老化	由绝缘体的缺陷造成空隙放电或其他故障	

表 8-13 高压真空接触器的检查准则

序号	检查项目	检查方法	判断标准	检查方法	检查周期
1	触头磨损量	用肉眼观察或用触头超行程量规检查	用触头超行程量规等来判断允许减少的触头超行程裕度还有多少；如果触头超行程量规塞不进去，表示触头寿命到了	如果触头寿命已到，则更换真空灭弧室；如果触头磨损量在允许范围内，则调整触头超行程量，继续使用	每年一次，用于操作特别频繁的场合，每操作五万次检查一次
2	机构的摩擦声	用扳钳之类工具夹住转轴，一边用手旋转转轴，一边检查真空灭弧室的转轴和轴承部分以及辅助操作机构部分等	根据有否摩擦声，转动是否特别沉重，检查最低吸引动作电压有否异常来判断	如果有摩擦声，入少量润滑油	每年一次
3	吸合（合闸）电压（最低合闸动作电压）	通常是调整试验电源使接触器动作，用肉眼观察合闸速度是否特别慢，正确的方法是调节串联线圈回路内的变阻器，使线圈内的电流是额定合闸电流的 80% 左右，核实真空接触器是否动作；也可以降低试验电源电压来检查	用肉眼观察，如果真空接触器的动作不是异常地缓慢，就表示正常；如果电源变动，设备温度不特别高，电压为额定操作电压的 80% 左右时能动作，就认为实际使用中无故障	有摩擦声音之类的情况时，认为是由于摩擦提高了动作电压；可按序号 2 的要求检修，也可以调整复位弹簧（打开触头弹簧）的力	每年一次

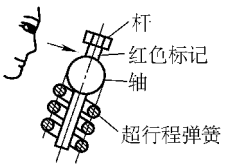
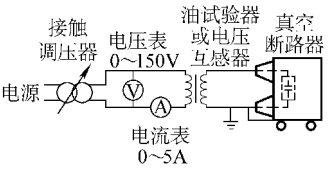
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	检查项目	检查方法	判断标准	检查方法	检查周期
4	辅助触头	检查有否异物嵌入，所规定的移动行程和触头开距是否正常	用肉眼观察或检查尺寸，判断是否具有所规定的触头开距	有异物嵌入时，清除异物；行程不足时，调整行程	每年一次
5	用肉眼部分有否松动	用肉眼观察，用扳钳检查紧固部分是否拧紧	—	如果有松动处，重新拧紧，真空灭弧室的安装螺栓不要拧得太紧	每年一次

表 8-14　真空灭弧室的检修

检查项目	检　修　内　容	小修	大修
外观检查	检查外观有无异常，特别是外表面有无污损	○	○
触头磨损量的测定	用触头超行程尺寸的变化来判定时，在真空断路器合闸状态下测定超行程的尺寸，如果小于规定的尺寸（最初触头超行程大小减去触头允许磨损量），则更换真空灭弧室在真空断路器合闸状态下用肉眼检查能否看见套着触头超行程弹簧的连杆上的红色标记，如果看不见，则更换真空灭弧室（见右图）；根据目标线来判断时，用肉眼检查真空灭弧室可动轴部分的目标线，如果看不见目标线，就更换真空灭弧室  	○	○
分、合闸次数	根据计数器的读数确定真空灭弧室的分、合闸次数；分、合闸次数达到一万次时进行真空灭弧室的耐电压试验，达到二万次时更换真空灭弧室	○	○
真空度的判定	用耐电压试验方法来判定真空度时，使真空断路器处于开断状态，在真空灭弧室的触头间加上电压来判定真空度；右图是触头间用耐电压方法测定真空度的测试回路实例；测定方法是用接触调压器以 20kV/min 的升压速度一直升到真空断路器的工频耐电压值；如果电压上升过程中，因放电使电流表指针转动，则立即降低电压到零，然后再上升电压，这样重复操作 2～3 次；如果真空灭弧室能承受工频耐电压值 10s 以上，则认为正常；真空灭弧室不正常时，随着电压上升，电流也增大，电流表指针偏转就超过刻度；用吸气剂薄膜颜色的变化来判定真空度时，当真空开关管的玻璃外壳内壁涂着钡吸气剂薄膜时，可用这一吸气剂薄膜颜色的变化来判定真空度是否良好；真空度良好时吸气剂薄膜呈银镜面状态；一旦真空度变差，吸气剂薄膜就呈乳白色；但是在真空度变差的过程中，如果吸气剂薄膜变形，此时要判定真空度是否良好就有困难了  	○	○

3. 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，方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，然后合备用电源断路器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）高压电器异常及故障处理

1. 高压隔离开关

1）隔离开关及其引线接头处发热变色时，应立即降低该路负载，并迅速停电进行处理。

2）隔离开关拉不开闸时，切勿强行猛力操作，可将手柄进行试验性摇动，同时注意瓷绝缘子和操作机构，仔细找出故障点所在。

3）当发生带负载拉隔离开关的误操作时（无联锁装置），而刀片刚离开闸口有弧光出现时，应立即将其合上；如已拉开，不准再合。

4）当发生带负载错合隔离开关的误操作时，无论是否造成事故，均不准将错合的隔离开关再错拉开。

2. 高压熔断器

高压熔断器熔丝熔断时，应先检查被保护设备有无故障，如因过载熔断（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，即为过载熔断；如断开点距离很大且熔丝金属液飞溅并黑烟一片即为短路熔断），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. 互感器

1）电压互感器一次侧熔丝熔断而二次侧未熔断，应先摇测绝缘电阻，如绝缘良好，可更换同规格熔丝后试送电；如再次熔断，则应进行试验检查。

2）电压互感器二次侧熔丝熔断后，可更换同规格熔丝后试送电；如再次熔断，应立即查找二次侧线上有无短路现象或短路的元件。

3）电流互感器发生异常音响，指针指示异常，二次回路有打火现象等，应立即停电检查二次侧是否开路或降低负载进行处理。

4）装有限流电阻或熔断器的 35kV 及以下的电压互感器发生异常需退出运行时，可用隔离开关断开电源。110kV 及以上的电压互感器和无隔离开关的小车互感器柜，必须用断路器断开故障。

5）互感器瓷套管表面及半导体漆的边缘发生放电或套管破裂、漏油严重及冒烟等现象，应立即停电处理。

4. 电压 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。

（三）电力变压器异常及故障处理

变压器有异常现象时，应设法尽快排除，并报告上级且写入值班运行记录。除按变压器运行中主要监视项目中所提及的情况立即停止变压器的运行外，其他按下述方法处理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）变压器过载超过允许值和允许时间时，应及时调整和限制负载，可按负载的重要程度卸掉一部分负载，或将部分负载接在另外一台备用变压器上或其他负载较小的变压器上。

2）变压器的油温超过允许限度时，应判断原因，采取办法降低油温，同时应检查：

① 温度表是否正常，可用备用表同时测试比较。

② 冷却装置运行是否正常良好。

③ 变压器通风是否良好。

3）变压器油位显著降低时，应立即补油，并解除气体继电器的掉闸回路。因温度上升而使油面升高到极限位置时，应随时放油，以免溢油而发生事故。

4）气体保护动作时，应查明原因；变压器的断路器掉闸后，如证明不是由于变压器内部故障引起的，则故障消除后可重新加入运行，否则应进行内部检查。

5）变压器发生火灾后，首先将一次侧、二次侧的断路器和隔离开关都断开，然后再灭火，同时将备用变压器投入运行。

6）变压器运行中，当一次熔丝熔断后，应立即进行停电检查，包括外部有无闪络、接地、短路及过载现象，同时应摇测绝缘电阻。

7）变压器的电流已超过额定值，但油温及油位不高，除应用备用表测试电流和温度外、变压器可继续运行，但应加强监视；当备用表测得的值与盘上表的数值不一致时，应降低负载或倒闸，必要时应停下变压器检查；数值一致时变压器可继续运行，但应加强监视，以避免假象。

（四）继电保护及自动装置异常及故障处理

1）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）发现指针指示异常，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）变压器瓦斯保护装置动作后，如不能明显判定是变压器内部故障时，则应立即收集气体继电器内聚积的气体，并判定其性质。

7）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，待查出原因并恢复供电时，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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

荷等。

⑤ 故障前后有功、无功负载情况。

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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第九章　电工仪表及自动装置的运行维护及管理

保证电工仪表及自动装置的正常运行，以及对电工仪表进行维护、保护并进行管理，是电气工作人员首当其冲的职责。但是，往往由于某个环节上的漏洞而导致故障的出现。因此，对电工仪表进行维护、保养、管理是非常重要的，特别是互感器、继电器与自动装置等组成了复杂的继电保护系统或控制系统，又给电工仪表的安装、运行、维护保养、管理带来了一定的难度。本章详细介绍保证电工仪表、继电保护装置、自动装置安全运行的条件，巡视、检查、周期校验、异常运行及事故处理的方法，注意事项等。同时介绍国家标准，电力部门及技术监督部门对电工仪表、继电保护装置、自动装置的设置、安装、运行、维护、保养的具体要求和规定。本章涉及的继电保护、运行等问题并非画蛇添足，而是与仪表紧密相关的技术问题。

第一节　电工仪表及自动装置的运行维护

一、保证电工仪表安全运行的条件

（1）总体要求

1）用电单位内部的电能计量仪表或电流表与继电保护装置共用一组二次绕组的电流互感器时，继电保护装置的电流线圈应接在计量仪表线圈的前面，有条件的尽量采用双二次绕组的电流互感器。

2）直读式电能计量仪表或电流表，其容量应与线路中最大负载相适应。线路的最大负载不应超过仪表额定容量的125%。工程中，电流超过20A以上的，一般都采用电流互感器测量，以免大电流使触点过热而烧坏。

3）电能计量仪表必须接线正确，特别是经过修理、校验或电流线圈、电压线圈接线经过变动的仪表，必须标明符合实际的接线图。没有接线图（指端子盖背后的印制接线图）的仪表不得接入使用。

4）运行中的仪表或备用的仪表必须经检定合格并有铅封，检定证书上应标明使用周期的起止日期，标明检定单位的名称及检定员姓名。使用中的测量仪表应按要求确定其准确度等级，仪表必须是合格品或优质品。

（2）巡视、检查及校验

1）电工测量仪表巡视检查的周期及内容基本与配电装置相同，发现端子松脱、指示有误、指针不灵或不转等异常现象时，应及时处理。

2）盘柜上的电工仪表定期检修校验应与盘柜主要设备大修的周期及日期相同，不得延误。作为计费用的电能表应每半年检定一次；月用电量100万kW·h以上的每季检定一次；月用电量10万kW·h以上、100万kW·h以下的每半年一次；10万kW·h以下的一年一次。电能表的检定包括配接的电流互感器、电压互感器。其他盘上的仪表一般每2～5年检

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

定一次。检定合格的仪表应有铅封及检定合格证。

二、继电保护及自动装置安全运行的基本条件

（1）用电单位的主电源开关及影响电力系统运行的联络开关，其动作整定值由供电部门确定，试验及调整由供电部门的专业人员进行，用电单位未经供电部门继电保护专业人员的批准，不得自行更动。

（2）具有调整试验能力及资质的用电单位，须经供电部门继电保护专业人员的批准后可自行调整和试验主开关等继电保护装置，其整定值则由供电部门提供，调整试验后应将试验报告报供电部门备案。

（3）用电单位进线主开关及联络开关以后的继电保护装置，可由用电单位自行整定试验，但整定动作值必须与主开关动作值配合，以免发生越级跳闸事故。为防止误动或越级跳闸，凡采用两相电流保护的，一律使用 A、C 两相，不允许使用 B 相。

（4）由供电部门配电系统供电的 10kV 用电单位，不宜使用单相接地保护（发警报信号）装置。10kV 双电源供电且允许合环倒路的用电单位，为防止倒闸过程中过电流保护装置动作跳闸，经供电部门的调度同意，在并路过程中自行停用进线保护装置。

（5）继电保护装置的灵敏度系数应根据最不利的运行方式和故障类型进行计算，各类保护装置的最低灵敏度系数可参考下列数值：

1）电压、电流保护装置的灵敏度系数一般不低于 1.5，当这个数值会使保护装置复杂化时，可将灵敏度系数降至 1.25。

2）变压器、电动机的电流速断保护装置，在安装处短路时，灵敏度系数一般不低于 2.0。

3）变压器、电动机的差动保护灵敏度系数一般不低于 2.0。

4）中性点不直接接地电网中，对单相接地采用零序电流保护装置时，电缆线路灵敏度系数一般不低于 1.25，架空线路灵敏度系数一般不低于 1.50。

5）后备保护的灵敏度系数一般不低于 1.20。如果这个数值会使继电保护装置复杂化或在技术上难以实现时，可仅按常规的运行方式和故障类型校验灵敏度系数，或在相邻较长线路或变压器出口短路时，缩短后备保护的作用范围。

6）主变压器等重要设备的保护装置不允许采用两相电流差接线的保护方式。

（6）运行中的继电保护装置，不得随意退出运行或变更整定值。运行值班人员对继电保护装置的投入和退出运行必须按电力调度员的命令执行，并详细记入运行日志。

（7）运行值班人员对继电保护的操作，一般只允许接通或断开保护压板、切换转换开关及卸装熔断器的熔丝等工作。值班人员应熟悉系统继电保护的原理特性、保护范围、整定值及二次回路的接线。

（8）二次侧为双绕组的电流互感器，继电保护回路应接准确度为 3 级的一组，不允许接准确度为 1 级或 0.5 级的二次绕组；为减少电流互感器的误差并增加负载能力，可将同相的电流互感器的二次绕组并联使用。

（9）断路器机构进行调整或更换部件后，必须经过传动试验且合格后，继电保护装置方可投入运行。

（10）反时限交流操作的继电保护装置，其掉闸回路不允许经过断路器的辅助触点。

（11）停用低周波减负载自动装置或线路自投装置时，应先停直流，后停交流，以免引起误动作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（12）架空线路的出线开关装有自动重合闸装置时，只允许一次重合。停用线路自投装置无压起动回路中两组电压互感器中的一组时，应先将自投装置退出运行，以防另一组电压互感器发生熔丝熔断时造成自投装置误动作。

（13）继电保护及自动装置的设置应符合《电力装置的继电保护及自动装置设计规范》的要求，标准号为 GB/T 50062—2008。

（14）继电保护及自动装置的安装及调试应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，规范标准号为 GB 50171—2012 和 GB 50150—2006。

三、继电保护装置、自动装置及仪表巡视、检查、校验的周期和项目内容

（1）运行中的继电保护和自动装置，应每班巡视检查一次；无人值班时，至少每周一次，并随变配电装置一同巡视检查。

（2）巡视检查的项目内容

1）继电器外壳有无破损裂纹，整定值的位置是否有变动（漆封或铅封）。

2）继电器触点有无卡住、变位倾斜、烧伤以及脱轴、脱焊等异常。

3）感应式继电器的铝盘转动是否正常，经常带电的继电器其触点是否有较大的抖动或磨损，线圈及附加电阻有无过热现象。

4）压板及转换开关的位置是否与运行要求一致。

5）信号指示是否正常。

6）小母线直流电压是否正常。

7）有无异常声响及发热、冒烟和烧焦等异味。

8）保护装置的电源指示及闭锁指示是否正常。

9）接线有无虚脱或打火现象。

10）晶体管继电保护装置，应用切换装置定期检测各个回路的工作状态和静态工作点。

11）电气仪表指示是否正常。

（3）运行中的继电保护装置的校验，3～10kV 系统每两年进行一次校验；供电可靠性要求较高的 10kV 系统、35kV 及以上的系统，每年进行一次校验。

（4）运行中的继电保护装置校验的项目内容

1）继电器的机械性能检查及电气特性试验。

2）二次回路绝缘电阻的测量。

3）模拟动作试验。

4）保护装置整组动作试验。

5）继电保护装置在检修或更换一、二次设备（如检修断路器、更换电流互感器、变更设备容量等）以及继电保护系统进行改造后，应对其进行补充校验。

6）变压器的瓦斯保护装置结合变压器大修而进行的校验（气体继电器每三年进行一次内部检查，轻气体继电器每年进行一次吹气试验）。

（5）电工仪表应按周期进行检定/校验。

（6）校验时应注意的事项

1）校验前应进行充分的准备，如校验仪器设备，校验方案及接线方式，人员安排、准备备品备件等。

2）现场校验过电流速断路保护装置时，应先检查继电器线圈的串、并联情况、刻度盘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的刻度等，是否与开关保护整定值相符。

3）校验前，应先清除继电器内部的尘土及油迹污垢，使活动部分的机件动作灵活，并根据触点的烧损情况进行打磨或更换。晶体管继电器，如有元件工作性能不稳定时，应查明原因，更换元件或继电器。

4）校验前，应做好防护措施，以防止正在运行设备的继电保护装置误动。

5）对继电器保护盘进行有较大震动作业（如钻孔）时，应将速断、差动等无时限跳闸的保护装置临时停运，但应事前征得有关部门的同意。同时，应有防止铁屑落入元器件的保护措施。

6）改变电流型继电器整定值时，应先断开压板；改变继电器串并联线圈时，应先将电流互感器专用端子短接；改变整定值后应将指针螺钉拧紧，临时改动应做好标记。

7）主变压器差动保护装置投入运行后，应在带负载情况下做向量图，并测量不平衡电压，以验证电流互感器的极性及二次接线的正确性。

四、继电保护装置、自动装置、仪表异常运行及事故处理方法

（1）运行中的继电保护装置及仪表出现异常情况时，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）发现指针指示异常，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）变压器瓦斯保护装置动作后，如不能明显判定是变压器内部故障时，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，待查出原因并恢复供电时，并能正常工作后，方可投入压板继续运行。

（8）仪表出现异常应记录数据，并将其停用，切换到备用表上。

（9）分析继电保护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、合闸的顺序和由此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载等。

5）故障前后有功、无功负载情况。

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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进行。

五、电气盘、柜、仪表及其二次回路安全运行注意事项

（1）总体要求

1）盘、柜的安装试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，规范标准号为GB 50171—2012、GB 50150—2006。

2）盘、柜上电气元件的名称或代号，在盘、柜前后应有明显的标志，有变动时应及时更换，保持与实际相符。盘、柜上的操作手柄、按钮、按键、仪表、信号元件等的编号及位置标志均应与现场实际相符，且清晰整洁。

3）仪表可用明显的红线标志出额定值、最大值、最小值的界限，当设备变动时，应及时更改红线的位置。

4）巡视检查及检修中发现的缺陷及处理结果、仪表及二次线的更换等变更情况应随时记录于运行日志上。

5）盘、柜安装于室内，其室内照明及盘柜本体应有的照明必须完好，照度均匀，仪表不眩光。

（2）巡视检查的周期及项目内容

1）盘、柜应每班巡视检查一次。

2）检查项目内容

① 表示“合”、“分”等信号标志应完好且指示正确。

② 操作手柄的位置与信号指示应对应。

③ 各部位连接点应牢固可靠。

④ 二次回路导线的标志及编号应清晰正确；导线绝缘无破损。

⑤ 盘、柜上有操作模拟板的，应与现场电气设备的运行状态相对应。

⑥ 仪表的示值是否在允许范围之内；仪表应安装牢固，表门玻璃完好无破损，且密封良好。

⑦ 仪表指示不正常时，应查明原因，仪表及二次回路有无故障。电压表不正常时，应先检查电压回路的熔丝是否熔断；电流表不正常时，应检查电流互感器二次侧是否开路。

⑧ 盘、柜元件有无松动、振动、发热、冒烟、打火、焦煳味等不正常现象。

（3）清扫、检修、试验的周期及项目内容、注意事项

1）盘、柜及其二次回路应于每年4月和11月分别进行一次停电清扫检修工作。

2）盘、柜正面每日进行一次除尘，背面及元件每周进行一次吹除吸尘。

清扫除尘时使用的器具应干燥且为非金属，清扫人员应穿长袖工作服、带线手套，穿软底鞋，不携带金属物品。工作细心，用力适中。

3）盘、柜上作业，应遵守安全操作规程的规定，同时必须持有该盘、柜及现场电气设备的图样，不得只凭记忆作业。

4）盘、柜上或二次回路进行拆动或改接线头时，应对照图样找好端子编号，图样上的标号与二次线端子的编号必须一致。长期停运的设备，应把运行无关的二次线封死并将电源永久性断开，同时应挂牌标注。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）在运行的盘、柜上进行钻孔或震动较大的作业时，除应对瞬动型保护装置采取措施外，还应注意：

① 防止掉下的铁屑造成短路或接地。

② 防止打穿后损坏背面的元件和布线。

③ 作业完后，应做必要的检查和试验，才能使其投入使用。

6）继电保护及二次线大修或改动后，应将设备元件的改动情况、使用和操作方法按图样或技术文件的形式向运行人员交底，并将其纳入运行规程中去。运行人员则应全面系统地检查质量，核对二次回路的接线和标号。

7）更换电缆时应遵守的规定

① 拆除旧电缆时应与图样核对接线、线号并做好记录。

② 新电缆应考虑截面、芯数等参数，应满足回路最大负载电流的需要，其绝缘电阻应合格。

③ 断开原接线后应验电检查，确实无电压后方可工作。

④ 电缆换好后，应进行必要的试验或空投传动试验，防止错误接线。

⑤ 展放电缆时应按电缆施工验收规范进行，标准号为 GB 50168—2006。

8）查找故障及处理故障时应由两人进行，作业中对直流电缆应注意防止直流正负极短路和接地。

9）运行中的二次回路应每年至少进行一次绝缘电阻的测量，一般应与校验同时进行，其数值：

① 交流二次回路内，每一个电气连接回路（包括回路内的线圈）不应小于 1MΩ。

② 直流系统不得小于 0.5MΩ。

10）摇测二次回路的绝缘电阻宜使用 1000V 的绝缘电阻表；摇测晶体管继电保护直流回路时应用 500V 的绝缘电阻表，并应将正负极短接，禁止在正负极间摇测绝缘电阻。摇测时，应将二次回路两端的负载和电源断开。

六、互感器运行维护注意事项

互感器分电流互感器和电压互感器，运行中应注意以下几点：

（1）油位指示器、瓷套法兰连接处和放油阀，均应无渗漏油现象。

（2）二次接线板完整，接线正确，引出端子连接牢固，绝缘良好，标志清晰。

（3）同一组互感器的极性方向应一致。

（4）互感器的二次接线端子和油位指示器的位置，应位于便于检查的一侧。

（5）具有吸湿器的互感器，其吸湿剂应干燥，油封油位正常。

（6）具有均压环的互感器，均压环应装置牢固、水平，且方向正确。

（7）二次侧的一端应可靠接地，不得断开或松动。

（8）分级绝缘的电压互感器，一次绕组的接地引出端子和外壳应可靠接地。电压互感器两侧均装有熔断器。

（9）电压互感器检修时，应拉开高压侧隔离开关，并取下二次侧的熔断器。带电作业中，应采取可靠措施，严禁将二次侧短路。

（10）电流互感器暂不使用的二次接线端子应短路后接地；严禁二次侧开路。铁心引出接地端子和互感器的外壳应接地。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（11）电流互感器的二次回路，要求连接可靠，不得开路，不得装设开关或熔断器。在运行中的电流互感器二次回路上作业，必须先将二次侧可靠短路后，方可进行作业。

（12）电流互感器和电压互感器的接线应按原设计图样接线，运行维修人员不得随意改变接线方式。若因运行的需要，须经用电单位的电气设备管理机构及技术负责人核准并下达正式图样，方可改接。

（13）电流互感器二次回路的导线应使用电压不低于500V的铜芯绝缘导线，其截面积不应小于2.5mm^2，电压互感器二次回路的导线截面积不得小于1.5mm^2。

（14）互感器的安装必须牢固，应符合《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》的要求，规范标准号为GB 50148—2010。

（15）运行中的互感器应随变配电装置的周期进行巡视检查、检修和试验。

第二节　电工仪表及自动装置运行规定及要求

一、供电部门对电工仪表的一般规定

（1）用电单位内部的电能计量仪表与继电保护装置共用一组二次绕组的电流互感器时（有条件时应尽量采用两个二次绕组的电流互感器），继电保护装置应接在计量仪表之前。

（2）直入式电能表，其容量应与线路中的最大负载相适应。线路的最大负载不应超过电能表额定容量的125%。

（3）电能表（或电流互感器）所测的电路负载经常在该表额定电流的10%以下时，应考虑更换容量较小的电能表（或电流比较小的电流互感器）。

若采用的电流互感器二次为双绕组时，亦可将二次的两个绕组并联使用，以减小电流互感器的电流比。

（4）仅作为工厂内部技术分析用，而与经济指标或电费计算无关的电能计量，除采用规定的接线外，在三相负载平衡的线路中，可使用一具单相电能表计量电能（实用电能数为电能表记录的3倍）。

（5）除作为计算电费的电能表外，在三相负载平衡的线路中，可以使用一具单相有功表来计算三相三线或三相四线电路中的有功电能。电能表的接线采用A相电流，B、C相电压（实用电能数为电能表记录的$\sqrt{3}$倍）。

（6）电能表均应经校验后加封印。电能表接线后，其端子接线盒也应加封。计算电费用的电能表应由供电部门加封，运行中不能开启封印。

（7）计费用电能计量装置的所有回路，用电单位不得随意更动。电能表的抄录工作，供电部门可委托用电单位值班员代为进行。

（8）用电单位发现计费电能表或互感器等在运行中出现异常现象和故障（如电压互感器熔丝熔断、表不走等）时，均应立即通知供电部门。电能表失准期间的电费应按有关供用电规程办理。

（9）供计费电能表用的电压互感器，用电单位不得任意停用。在特殊情况下需停用时，应取得供电部门的同意，并将停用时间记录准确。

（10）在每一具电能表的外壳上或表尾端子接线盒盖内应标明它的接线图，尤其是电压和电流线圈接线变动过的电能表，必须标明符合实际的接线图。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（11）当所有测量仪表有明显故障，或其所指数字（读数）与正确值之差超过该仪表准确度等级所允许的误差时，应进行检修和调整。

（12）检修后及在运行中的测量仪表，必须有校验机构的印记，并应标明检修日期及检修机构的名称。

（13）运行中或检修后的测量仪表、电能表及互感器二次线圈等的交流耐压试验值，应达到表 9-1 的数值。

（14）各种运行中的仪表，除了有特殊要求外，其周围温度一般在 -15 ~ +35℃ 范围内。

表 9-1 仪表和互感器二次线圈的交流耐压试验值

仪 表 名 称	工作电压/V	试验电压的有效值/V
检修后或运行中的电气测量仪表	100 以下	500
	100 ~ 250	2000
	250 以上	1000 + 2 倍工作电压
表用电压及电流互感器二次绕组		2000

二、供电部门对电能表的运行规定

（1）为保证电能计量的准确性，对新装、改装和拆换的电能表，必须采用正确的接线方式，并尽量按实际使用负载选择电流互感器及电能表。

（2）高压电能计量装置的定期校验，容许在现场的环境条件和实际负载下进行。对在试验室已校准合格的电能表，应在安装运行后的一个月内在现场进行一次复校。

（3）现场校验电能表时，除校验误差外，还应校验综合误差，同时检查接线的正确性和连接的可靠性以及倍率的正确性等。

（4）运行中的电能表应进行定期现场校验，校验周期可参照如下规定：

1）月用电量在 100 万 kW · h 以上的电能表，每 3 个月校验一次。

2）月用电量在 10 ~ 100 万 kW · h 的电能表，每 4 个月校验一次。

3）月用电量在 10 万 kW · h 以下的电能表，每 1 年校验一次。

（5）标准电能表的定期校验每年至少一次，常用的每年可校验 2 ~ 4 次。

（6）电能表、电压互感器和电流互感器应参照下列周期进行轮换检修一次。

1）单相 50A 以下的电能表每 5 年轮换一次。

2）单相 50A 及以上的电能表、三相有功及无功电能表每 3 年轮换一次。

3）电流互感器的电流比在 150/5A 及以上的单相电能表和三相有功和无功电能表应每两年轮换一次。

4）电流互感器及电压互感器每 10 年轮换一次。

（7）运行中的电能表在下列情况下应进行校验或检查：

1）发现电能表圆盘不转（无负载除外）、反转（正常的反转除外）时。

2）用秒表测出每转秒数后，由式（9-1）求出电力数，将其与实际负载比较，超过 20% 以上时。

$$\text{计算电力（kW）} = \frac{\text{电压互感器的电压比} \times \text{电流互感器的电流比} \times 3600\ (\text{kW} \times \text{s/kW} \cdot \text{h})}{\text{被试表的常数（r/kW} \cdot \text{h）} \times \text{每转秒数（s/r）}} \tag{9-1}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）在负荷不变的情况下，与过去同期相比，用电量有明显变化时。

（8）当用电设备发生变化时，应根据变化后容量及负载大小及时更换合适的电能表或电流互感器。

（9）电能表现场校验的历次记录必须齐全，且妥善保存，卡片上的字迹应填写清楚整齐。

三、供电部门对盘、柜上电工仪表的规定

（1）控制盘上的测量仪表应由值班运行人员监视，使用中发现不准确时，应通知负责维护仪表的专业人员。所有仪表的启封应由专业人员进行。

（2）记录式测量仪表应每班检查一次。检查时，应注意纸带牵引机构的动作情况，纸带上的时间是否与时钟符合，记录的质量是否良好，是否有墨水，发条是否上紧等。

（3）控制盘和配电盘仪表的定期检修和校验应与仪表所连接的主要设备的大修日期一致，不要延误。其他配电盘仪表至少每 4 年一次。

（4）试验室固定的标准仪表校验，每年至少一次。携带式标准仪表的校验，常用的至少半年一次，其余的至少每年一次。

（5）用比较法校验仪表，标准表和被校表的等级比值应在 1/3 ~ 1/5 的范围内。

（6）使用携带式测量仪表进行工作时，其连接线应用截面积不小于 1.5mm^2 且具有高强度绝缘的单根导线。

（7）测量仪表使用时，在电流互感器二次回路中，如没有专用短路端子时，禁止断开仪表回路。

（8）测量仪表过热或冒烟，应立即取下熔断器或短路二次电流端子，将故障仪表甩开。

（9）使用中测量仪表应备有记录卡片或记录本，将检修校验结果及上级校验的结果登记备查。

四、国家标准规范对盘、柜、电工仪表及二次回路接线的总体要求

（1）保证盘、柜装置、电工仪表及二次回路接线安装工程的施工质量，促进工程施工技术水平的提高，确保盘、柜装置、电工仪表及二次回路安全运行。

（2）各类配电盘、保护盘、控制盘、仪表盘、屏、台、箱和成套柜等及其二次回路接线安装工程的施工及验收。

（3）盘、柜装置、电工仪表及二次回路接线的安装工程应按已批准的设计进行施工。

（4）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。

（5）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。

（6）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。

（7）设备和器材到达现场后，应在规定期限内做验收检查，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）按规范要求检查外观合格。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（8）施工中的安全技术措施，应符合相关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。

（9）与盘、柜装置、电工仪表及二次回路接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、电工仪表及二次回路接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：

① 屋顶、楼板施工完毕，不得渗漏。

② 结束室内地面工作，室内沟道无积水、杂物。

③ 预埋件及预留孔符合设计要求，预埋件应牢固。

④ 门窗安装完毕。

⑤ 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：

① 所有装饰工作完毕，清扫干净。

② 装有空调或通风装置等特殊设施的，应安装完毕，投入运行。

（10）设备安装用的紧固件，应用镀锌制品，并宜采用标准件。

（11）盘、柜上模拟母线的标志颜色，应符合表 9-2 的规定。

表 9-2 模拟母线的标志颜色

电压/kV	颜 色	电压/kV	颜 色
交流 0.23	深灰	交流 110	朱红
交流 0.40	黄褐	交流 154	天蓝
交流 3	深绿	交流 220	紫
交流 6	深蓝	交流 330	白
交流 10	绛红	交流 500	淡黄
交流 13.8～20	浅绿	直流 110	褐
交流 35	浅黄	直流 500	深紫
交流 60	橙黄		

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。

（12）二次回路接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。

（13）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。

（14）盘、柜的施工及验收，除按相关规范规定执行外，尚应符合国家现行的有关标准规范的规定。

五、仪表盘、柜安装的具体要求

（1）基础型钢的安装应符合下列要求：

1）允许偏差应符合表 9-3 的规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-3　基础型钢安装的允许偏差

项　　目	允 许 偏 差	
	mm/m	mm/全长
不直度	<1	<5
水平度	<1	<5
位置误差及不平行度		<5

注：环形布置按设计要求。

2）基础型钢安装后，其顶部宜高出抹平地面 10mm；手车式成套柜按产品技术要求执行。基础型钢应有明显的可靠接地。

（2）盘、柜安装在振动场所，应按设计要求采取防振措施。

（3）盘、柜及盘、柜内设备与各构件间的连接应牢固。主控制盘、继电保护盘和自动装置盘等不宜与基础型钢焊死。

（4）盘、柜单独或成列安装时，其垂直度、水平偏差以及盘、柜面偏差和盘、柜间接缝的允许偏差应符合表 9-4 的规定。

表 9-4　盘、柜安装的允许偏差

项　　目		允许偏差/mm
垂直度		<1.5
水平偏差	相邻两盘顶部	<2
	成列盘顶部	<5
盘面偏差	相邻两盘边	<1
	成列盘面	<5
盘　间　接　缝		<2

模拟母线应对齐，其误差不应超过视差范围，并应完整，安装牢固。

（5）端子箱安装应牢固，封闭良好，并应能防潮、防尘。安装的位置应便于检查；成列安装时，应排列整齐。

（6）盘、柜、台、箱的接地应牢固良好。装有电器和仪表的可开启的门，应以裸铜软线与接地的金属构架可靠地连接。

成套柜应装有供检修用的接地装置。

（7）成套柜的安装应符合下列要求：

1）机械闭锁、电气闭锁应动作准确、可靠。仪表完好，指示正确。

2）动触头与静触头的中心线应一致，触头接触紧密。

3）二次回路辅助开关的切换触点应动作准确，接触可靠。

4）柜内照明齐全。

（8）抽屉式配电柜的安装尚应符合下列要求：

1）抽屉推拉应灵活轻便、无卡阻、碰撞现象，抽屉应能互换。仪表完好，指示正确。

2）抽屉的机械联锁或电气联锁装置应动作正确可靠，断路器分闸后，隔离触头才能分开。

3）抽屉与柜体间的二次回路连接插件应接触良好。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）抽屉与柜体间的接触及柜体、框架的接地应良好。

（9）手车式柜的安装尚应符合下列要求：

1）检查防止电气误操作的“五防”装置齐全，且动作灵活可靠。仪表完好，指示正确。

2）手车推拉应灵活轻便，无卡阻、碰撞现象，相同型号的手车应能互换。

3）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。

4）手车和柜体间的二次回路连接插件应接触良好。

5）安全隔离板应开启灵活，随手车的进出而相应动作。

6）柜内控制电缆的位置不应妨碍手车的进出，并应牢固。

7）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。

（10）盘、柜的漆层应完整，无损伤。固定电器的支架等应刷漆。安装于同一室内且经常监视的盘、柜，其盘面颜色宜和谐一致。

六、盘、柜上的仪表、电器安装具体要求

（1）仪表、电器的安装应符合下列要求：

1）仪表、电器元件质量良好，型号、规格应符合设计要求，外观应完好，且附件齐全，排列整齐，固定牢固，密封良好。仪表须有合格证和检定证书。

2）各仪表、电器应能单独拆装更换而不应影响其他仪表、电器及导线束的固定。盘柜上的仪表必须安装正直，不得扭歪。

3）发热元件宜安装在散热良好的地方；两个发热元件之间的连线应采用耐热导线或裸铜线套瓷管。

4）熔断器的熔体规格、自动开关的整定值应符合设计要求。

5）切换压板应接触良好，相邻压板间应有足够的安全距离，切换时不应碰及相邻的压板；对于一端带电的切换压板，应使在压板断开情况下，活动端不带电。

6）信号回路的信号灯、光字牌、电铃、电笛、事故电钟等应显示准确，工作可靠。

7）盘上装有装置性设备或其他有接地要求的仪表、电器时，其外壳应可靠接地。

8）带有照明的封闭式盘、柜应保证照明完好。

（2）端子排的安装应符合下列要求：

1）端子排应无损坏，固定牢固，绝缘良好。

2）端子应有序号，端子排应便于更换且接线方便；离地高度宜大于350mm。

3）回路电压超过400V者，端子板应有足够的绝缘并涂以红色标志。

4）强、弱电端子宜分开布置；当有困难时，应有明显标志并设空端子隔开或设加强绝缘的隔板。

5）正、负电源之间以及经常带电的正电源与合闸或跳闸回路之间，宜以一个空端子隔开。

6）电流回路应经过试验端子，其他需断开的回路宜经特殊端子或试验端子。试验端子应接触良好。

7）潮湿环境宜采用防潮端子。

8）接线端子应与导线截面积匹配，不应使用小端子配大截面积的导线。

（3）二次回路的连接件均应采用铜质制品；绝缘件应采用自熄性阻燃材料。

（4）盘、柜的正面及背面各电器、端子牌等应标明编号、名称、用途及操作位置，其

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标明的字迹应清晰、工整，且不易脱色。

（5）盘、柜上的小母线应采用直径不小于6mm的铜棒或铜管，小母线两侧应有标明其代号或名称的绝缘标志牌，字迹应清晰、工整，且不易脱色。

（6）二次回路的电气间隙和爬电距离应符合下列要求：

1）盘、柜内两导体间，导电体与裸露的不带电的导体间，应符合表9-5的要求。

表9-5　允许最小电气间隙及爬电距离　（单位：mm）

额定电压/V	电气间隙		爬电距离	
	额定工作电流		额定工作电流	
	≤63A	>63A	≤63A	>63A
≤60	3.0	5.0	3.0	5.0
>60～300	5.0	6.0	6.0	8.0
>300～500	8.0	10.0	10.0	12.0

2）屏顶上小母线不同相或不同极的裸露载流部分之间，裸露载流部分与未经绝缘的金属体之间，电气间隙不得小于12mm，爬电距离不得小于20mm。

七、仪表盘、柜的二次接线具体要求

（1）二次回路接线应符合下列要求：

1）按图施工，接线正确。

2）导线与电气元件间采用螺栓连接、插接、焊接或压接等，均应牢固可靠。

3）盘、柜内的导线不应有接头，导线芯线应无损伤。

4）电缆芯线和所配导线的端部及元件、仪表接线端子上均应标明其回路编号，编号应正确，字迹清晰且不易脱色。

5）配线应整齐、清晰、美观，导线绝缘应良好，无损伤。

6）每个接线端子的每侧接线宜为1根，不得超过2根。对于插接式端子，不同截面积的两根导线不得接在同一端子上；对于螺栓连接端子，当接两根导线时，中间应加平垫片。

7）二次回路接地应设专用螺栓。

（2）盘、柜内的配线电流回路应采用电压不低于500V的铜芯绝缘导线，其截面积不应小于2.5mm^2；其他回路截面积不应小于1.5mm^2；对电子元件回路、弱电回路采用锡焊连接时，在满足载流量和电压降及有足够机械强度的情况下，可采用不小于0.5mm^{2}截面积的绝缘导线。

（3）用于连接门上的电器、控制台板等可动部位的导线尚应符合下列要求：

1）应采用多股软导线，敷设长度应有适当裕度。

2）线束应有外套塑料管等加强绝缘层。

3）与电器连接时，端部应绞紧，并应加终端附件或搪锡，不得松散、断股。

4）在可动部位两端应用卡子固定。

（4）引入盘、柜内的电缆及其芯线应符合下列要求：

1）引入盘、柜的电缆应排列整齐，编号清晰，避免交叉，并应固定牢固，不得使所接的端子排受到机械应力。

2）铠装电缆在进入盘、柜后，应将钢带切断，切断处的端部应扎紧，并应将钢带

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

接地。

3）使用于静态保护、控制等逻辑回路的控制电缆，应采用屏蔽电缆。其屏蔽层应按设计要求的接地方式予以接地。

4）橡胶绝缘的芯线应外套绝缘管保护。

5）盘、柜内的电缆芯线，应按垂直或水平有规律地配置，不得任意歪斜交叉连接。备用芯长度应留有适当余量。

6）强、弱电回路不应使用同一根电缆，并应分别成束分开排列。

（5）直流回路中具有水银触点的电器，电源正极应接到水银侧触点的一端。

（6）在油污环境，应采用耐油的绝缘导线。在日光直射环境，橡胶或塑料绝缘导线应采取防护措施。

八、仪表盘、柜交接验收具体要求

（1）在验收时，应按下列要求进行检查：

1）盘、柜的固定及接地应可靠，盘、柜漆层应完好、清洁整齐。

2）盘、柜内所装电器元件应齐全完好，安装位置正确，固定牢固。

3）所有二次回路接线应准确，连接可靠，标志齐全清晰，绝缘符合要求。

4）手车或抽屉式开关柜在推入或拉出时应灵活，机械闭锁可靠；照明装置齐全。

5）柜内一次设备的安装质量验收要求应符合国家现行有关标准规范的规定。

6）用于热带地区的盘、柜应具有防潮、抗霉和耐热性能，按国家现行标准《热带电工产品通用技术要求》验收。

7）盘、柜及电缆管道安装完后，应作好封堵。可能结冰的地区还应有防止管内积水结冰的措施。

8）操作及联动试验正确，符合设计要求。

（2）在验收时，应提交下列资料和文件：

1）工程竣工图。

2）变更设计的证明文件。

3）制造厂提供的产品说明书、调试大纲、试验方法、试验记录、合格证件及安装图样等技术文件。各类电工仪表除上述文件外，必须提供检定证书。

4）根据合同提供的备品备件清单。

5）安装技术记录。

6）调整试验记录。

九、电气盘、柜上运行仪表的管理

电气盘、柜上运行的仪表，一般条件下可按有人值班和无人值班两类进行管理。

（1）有人值班的室内盘、柜仪表

1）每班至少有一次巡视仪表（包括互感器）运行状态，并记录仪表示值。

2）值班人员应掌握各个回路的负载情况，在负载高峰时每班应增加一次特殊巡视，并记录高峰时的示值。

3）确定仪表校验/检定周期，并按周期进行校验/检定，能与设备大修周期同步的应与大修一并校验/检定，同时应检查仪表的接线有无松脱，外壳有无破损等。周期的确定应按国家标准规范进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）不能与大修同步的，应与技术人员协作，做好替换仪表的安装，拆卸后进行校验、检定、保管。替换仪表必须按安全操作规程进行，详见《新标准电工安全技术365问》一书。

5）建立每块仪表的档案，包括出厂证件、校验/检定证书、运行记录及其相关技术文件等。

（2）无人值班的室内盘、柜仪表

1）有经济核算或计费的仪表至少每月进行一次巡视检查仪表运行状态，并记录仪表示值。

2）没有经济核算或计费的仪表至少每半年一次或随设备一并进行巡视检查仪表运行状态，并记录仪表示值。

3）检查巡视的内容应与设备大修相同，并按国家标准规范确定电工仪表校验/检定的周期，周期不能与大修同步的，应按有人值班的室内盘、柜仪表第4）条进行。

4）建立仪表档案，见有人值班的室内盘、柜仪表第5）条。

（3）盘、柜仪表管理的宗旨就是保证仪表的准确度，保证计量准确及其完好无损。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十章　架空线路及电缆线路的运行维护

架空线路及电力电缆是用电单位供电及用电的重要路径，其运行维护关系重大，不容忽视。

第一节　架空线路的运行维护

一、架空电力线路安全运行的条件

保证架空电力线路安全运行的首要条件是必须按照电气装置安装工程施工及验收规范安装和验收，保证线路具有与线路电压等级相符的绝缘强度，并能承受大气的过电压冲击；保证线路具有足够的机械强度，并能承受风雪及恶劣天气的载荷；保证线路有与最大输送电功率相符的导电能力，并有足够的余量；保证线路有一个良好的输电环境，且能经受各种污源的考验。执行标准的标准号 GB 50173—2014、GB 50233—2005、GB 50150—2006。此外，还应做到以下 10 点：

1）新投入运行的架空线路及其杆塔，在经过第一次大雨之后，应对杆塔进行填土夯实。对位于河谷、河滩、河岸、沟边的杆塔应有防洪措施。

2）根据防雷接地的要求，对架空线路的防雷接地设施进行巡视检查、调整。防雷装置应于每年三月投入运行。

3）掌握架空线路路径区域的污染源性质及污秽等级，并于每年 10 月～次年 3 月易污闪季节内，严格执行清扫周期，贯彻反污技术措施，当采用防尘防污绝缘子仍达不到要求的，应加强水冲洗或采用涂料等措施，并调整线路绝缘子泄漏比距。

4）树木生长季节，要加强巡视并修剪树木，导线与树木的距离应符合规定，见表 10-1。

表 10-1　导线与树木的最小允许距离

线路电压等级/kV	路径地段要求的安全距离/m			
	公园、绿化区、防护林（最大风偏）	果林、经济林、城区灌木（导线与树梢）	街道，行道树林	
			最大弧垂	风大风偏
220	4	3.5	—	—
35～110	3.5	3	—	—
10	3	2.5	1.5	2
0.4	3	2.5	1	1

5）架空线路在过负荷运行或气温变化较大时，应加强导线弧垂、交叉跨越距离及接头的巡视检查。

6）设立线路保护区（俗称线路走廊），在架空线两条边线与地面垂线以外（10kV 及以下为 5m，35kV 及以上为 10m）的区域内，不得堆放谷物、垃圾、矿渣、易燃易爆物及其他影响电力运行的物品；不得设立烧窑、烧荒，不得兴建建筑物；不得种植生长最终高度超过与导线安全距离的植物或树木。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）在线路保护区内进行农田水利建设及打桩、钻采、开挖、起重等作业，必须经电力部门批准，并采取相应的安全措施，以防止塔杆倒塌、断线及触电事故发生。

8）加强教育及宣传，任何单位及个人不得有碍于线路安全运行的行为，如向线路及设施射击、抛掷石块；在线路空间周围内放风筝；擅自攀登杆塔或在杆塔上架设线路或安放物体；擅自从导线上拉线并接用电器；利用塔杆或拉线作地锚、或拴牲畜、悬挂物品、或农作物攀附；在杆塔、拉线周围取土挖沟、打桩、钻探或倾倒有害物品；在杆与拉线间修筑道路；拆卸杆塔或拉线及变台上的器材（违法行为）；撞断或损坏接地线、接地极等。

9）按规定的周期巡视、检查、检修线路，并及时消除隐患。

10）建立每条线路的运行档案，并设专人管理，主要资料有：设计图样及测量计算依据资料、竣工及试验报告、架空线路的单线系统平面布置图及杆上元件的规格型号、35kV及以上线路的线径地形示意图、运行记录、巡视检查记录、试验检修记录、缺陷记录、事故记录、缺陷及事故处理记录、安装试验记录、隐蔽工程验收记录，试验报告单、运行曲线记录，用电单位负荷变更记录等。

二、架空线路巡视检查的周期及项目内容

（1）周期的规定

1）巡视检查的周期是根据线路的运行状况、沿线环境及负荷等级重要程度综合确定。一般情况下，35kV及以上的线路，每两个月至少一次；10kV及以下线路，每季至少一次。

2）遇恶劣天气时，应根据线路周围环境的特点，进行特殊巡视。

3）根据线路负荷的大小及绝缘子污秽情况，进行适当的夜间巡视。

4）线路发生故障后，应根据变电所出线开关保护装置动作情况进行检查巡视。

（2）杆塔巡视项目内容

1）杆塔有无倾斜、弯曲及各部件有无变形。

2）基础有无下沉、冲刷、裂开或因取土成为孤台。

3）各部螺栓、销子有无松动、退扣或脱落。

4）金属构件、部件有无磨损、锈蚀现象。

5）杆塔上有无鸟巢、锡箔纸、风筝、绳索等杂物。

6）水泥杆有无裂纹、露筋，焊缝或法兰有无裂开，水泥面有无脱落，有无因积水结冰而冻坏现象。

7）木杆、木横担有无劈裂、腐朽及鸟洞现象。

8）装有邦桩或接腿的杆其穿钉、卡钉及绑扎铁线是否紧固。

9）路名杆号的标志是否清楚。

10）杆塔的接地引线是否完好等。

（3）导线、避雷线的巡视检查

1）导线有无锈蚀、断股、烧伤等现象。

2）分裂导线有无互撞磨伤现象。

3）导线连接处有无接触不良、过热现象。

4）导线弧垂（包括避雷线在内），三相是否一致，是否与当时气温适应。

5）导线对各种交叉跨越距离、对地面距离及对各类建筑物的距离是否符合规定。

6）弓子线对接地部位的距离是否符合规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）绑线、线夹、防振锤、护线条、铝带、间隔棒等附件有无异常。

（4）绝缘子巡视检查项目内容

1）绝缘子有无损伤、裂纹、闪络放电现象。

2）绝缘子表面脏污是否严重。

3）悬式绝缘子的开口销子、弹簧销子是否锈蚀、脱出、变形或已掉落。

4）针式绝缘子有无脱母、倾斜。

5）陶瓷横担的固定螺栓有否松动，倾角是否符合规定。

（5）拉线、拉桩、戗杆等巡视内容

1）有无松弛、锈蚀、断股等现象。

2）上、下把连接是否牢固、附件是否齐全完整。

3）拉桩、保护桩等是否发挥应有的作用。

4）戗杆是否完好，有无位移。

5）拉线棒及地锚有无异常现象。

6）水平拉线对路面中心的垂直距离是否符合规定。

（6）架空线路保护区内巡视检查的项目内容

1）架空线路附近有无危及安全运行的挖土、堆土、建筑、吊车装卸、爆破、射击等活动。

2）有无新建的交叉跨越物，其跨距离是否符合规定。

3）有无危及安全运行的树木或天线等物。

4）沿线有无锡箔纸及易刮起的杂物。

5）沿线附近污秽的污染源有何变化。

6）沿线有无影响运行的后添物。

（7）夜间、雾天特殊巡视的项目内容

1）绝缘子有无放电火花及闪络现象。

2）35kV 以上的架空线路有无严重的电晕现象。

3）导线接头处有无因接触不良而造成滋火或过热发红现象。

4）弓子线对杆塔、横担、戗杆等接地物有无放电现象。

（8）大风、大雨后特殊巡视项目内容

1）杆塔有无倾斜、基础有无下沉及被雨水严重冲刷；拉线、地锚有无变化。

2）横担有无偏斜。

3）导线弧垂有无变化、异常。

4）弓子线对接地部位的距离有无变化。

5）绝缘子有无受雷击放电或损坏或被冰雹砸破现象。

6）防振锤有无位移、掉头。

7）防雷装置有无损坏、有无动作。

8）杆塔、导线上有无被风刮起的杂物等。

（9）架空线路故障后，巡视检查内容

1）导线有无搭连、烧伤或断线情况。

2）绝缘子有无破碎及放电烧伤现象。

3）电杆、拉线、拉柱、戗杆、接地线有否被车辆撞坏。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）导线或塔杆上有无金属遗留物。

5）架空线路及杆塔下的地面上有无被烧伤的导体。

6）有无受其他外力破坏的迹象。

（10）登杆特殊巡视检查的项目内容

架空线路的巡视检查一般可在地面上并用望远镜观察，但必要时则应登杆巡视检查，主要项目内容有：

1）进一步检查杆塔上的有关部位。

2）进一步检查接头的发热情况。

3）拆除鸟巢、悬挂物，检查鸟洞的大小、深浅并用填充物封堵。

4）测量交叉跨越距离和导线的弧垂。

三、架空线路检修的周期及项目内容

架空线路的检修分三种，即一般性维护、停电清扫检查和大修改造。检修包括绝缘电阻、直流电阻、接地电阻测试，隐蔽工程检查测试以及必要的耐压试验。

（1）周期的规定

1）35kV 及以上架空线路绝缘子的绝缘状况测试宜为 1 ~ 2 年一次。

2）35kV 及以上架空线路导线连接点的直流电阻的测试宜为 1 ~ 2 年一次。

3）接地电阻的测试一般一年一次。

4）隐蔽工程的检查（挖开实测实检）：

① 木质电杆杆根腐朽程度的检查，按木质、地质状况宜为 1 ~ 3 年一次。

② 拉线底把宜为 5 年一次。

③ 接地极应按运行状况，一般检查间隔为 5 ~ 10 年。

5）检修周期：

① 一般性维护应根据存在缺陷进行不定期检修。

② 清扫检查应按周围环境及运行实况确定，一般情况下每年两次，即三月、十月登杆清扫检查两次。

③ 大修改造应按线路完好情况、电气及机械性是否符合有关规定及增容扩建情况决定。

④ 杆塔的铁制部件每 3 ~ 5 年涂刷防锈漆一次，镀锌件应每 3 ~ 5 年补银粉漆一次。

（2）一般性维护的项目内容

1）线路名称及杆塔编号的标志不清楚时，应进行重新描制。

2）检查木杆杆根的腐朽情况，松木杆腐朽部分达杆径的 1/4 以上、杉木杆腐朽部分达杆径的 1/3 以上时，应打钢筋混凝土绑桩。

3）线路走廊内的树木与导线的距离大于规定时，应进行去树作业。

4）杆身倾斜度大于规定的应正杆。

5）水泥杆露筋或水泥脱落者，应将铁锈清除后补抹水泥。

6）拉线松弛的应调整；戗杆不正的应调正夯实或加固基础。

7）修复损坏的接地引线。

8）其他不停电可修复的作业。

（3）停电清扫检查的项目内容

1）处理巡视检查中发现的缺陷。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）清洗绝缘子上的灰尘，并检查有无裂纹、损伤、闪络痕迹；芯棒是否弯曲、有无严重活动现象，并予以更换。

3）更换绝缘电阻低于规定值的绝缘子。

4）导线连接处的接触不良者应重接，并调整弧垂及交叉跨越距离。

5）导线悬挂点各部螺栓是否松动脱扣，绑线是否松脱，并修复。

6）绝缘子串的开口销子、弹簧销子是否完整齐全，金属部分有无损伤磨损并修复。

7）导线卡子的螺母有无松动、丢失并修复。

8）防振锤有无歪斜、位移、脱落，并抽查与导线处有无磨损，并修复。

9）护线条卡箍有无松动磨线。

10）绝缘子在横担上固定是否牢固。

11）拉线、拉桩及戗杆有无松弛、断股及歪斜现象。

12）摇测线路上的油开关、隔离开关、跌开式熔断器、变压器的绝缘电阻，并检查油位是否合格。

13）摇测线路的绝缘电阻、接地电阻，必要时应做耐压试验。

14）其他需停电修理作业等。

（4）大修改造的项目内容

1）按防洪、反污等反事故措施的要求，重新调整线路的路径，包括测量、基础工程、移杆、立杆、拉线、组装架线、测试等作业。

2）更换或加固杆塔及其附件。

3）更换或修补导线、架空地线。

4）调整导线、架空地线的弧垂，并使其三相一致，误差在允许范围之内。

5）更换绝缘子或增加绝缘子片数。

6）改善接地装置。

7）更换或增设防震锤。

8）杆塔基础的加固。

9）杆塔金属部件刷防锈漆或补刷银粉漆。

10）处理不合格的交叉跨越。

11）测试及其他有关项目。

第二节　电力电缆的运行维护

一、电力电缆安全运行的条件

与架空电力线路一样，保证电力电缆安全运行的首要条件是必须按照电气装置安装工程施工及验收规范安装和验收，保证电缆具有与线路电压等级相符的绝缘强度，并能承受过电压的冲击；保证电缆具有足够的机械强度，并能承受意外的载荷，保证电缆有与最大输送电功率相符的导电能力，且有余量；保证电缆处于一个良好的敷设环境，且能经受各种污源的考验，执行标准的标准号 GB 50168—2006 和 GB 50150—2006。此外，还应做到以下 14 点：

1）运行中的各种电压等级的电缆线路，应留有一定的余量和备品，以便满足事故的需要，其长度应略大于运行电缆，至少应能满足一次处理事故用量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）运行中的电缆线路，应根据负荷重要程度及条数、型号规格，备有一定数量的各种接头盒、附件及绝缘胶。

3）对停止运行48h以上的电缆线路，重新投入运行前，应摇测绝缘电阻。1kV及以上的电缆使用2500V或5000V绝缘电阻表；1kV及以下的可用1000V的绝缘电阻表。其绝缘电阻阻值不低于上次试验温度下的测量值的30%，否则应做直流耐压试验。

4）接于电力系统上的备用高压电缆应长期充电，以防受潮。

5）单芯电缆的铅包，其一端接地时，另一端上正常感应电压一般不应超过65V；当超过65V时，应对易于与人体接触的裸露铅包和其相连的设备加以适当的遮栏，或将电缆两端接地。

6）电缆线路的正常工作电压，一般不应超过其额定电压的15%。

7）电缆线芯最高允许温度，不应超过表10-2的规定。

8）电缆同地下热力管道交叉或接近敷设运行时，电缆周围的土壤温度，在任何时候不得高于本地段其他地方同样深度的温度10℃以上。

表10-2　电缆线芯最高允许温度

额定电压/kV	3及以下		6		10		35	
电缆种类	油浸纸绝缘	橡胶或聚氯乙烯绝缘	油浸纸或聚氯乙烯绝缘	交联聚乙烯绝缘	油浸纸绝缘	交联聚乙烯绝缘	油浸纸绝缘	交联聚乙烯绝缘
线芯最高允许温度/℃	80	65	65	90	60（70）	90	50	80

注：括号内数值为聚乙烯绝缘的电缆。

9）直埋电缆表面温度，一般不宜超过表10-3中的数值。

表10-3　直埋电缆表面最高允许温度

电缆额定电压/kV	3及以下	6	10	35
电缆表面最高允许温度/℃	60	50	45	35

10）在正常运行方式下，电缆长期允许负荷一般按经济电流密度考虑，见表10-4。

表10-4　电缆的经济电流密度

每年最大负荷利用小时/(h/a)	电缆经济电流密度/(A/mm²)	
	铜　芯	铝　芯
1000～3000	2.5	1.92
3000～5000	2.25	1.73
5000以上	2.0	1.54

11）在紧急事故时，电缆允许短时间过负荷，但应符合下列规定：

3kV及以下电缆，只允许过负荷10%，连续2h；6～10kV电缆只允许过负荷15%，连续2h。

12）电缆在检修、试验或移动过程中需要弯曲时，其电缆的弯曲半径应不小于表10-5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的规定。

表 10-5 电缆最小弯曲半径

电缆形式			多芯	单芯
控制电缆			10*D*	
橡皮绝缘电力电缆	无铅包、钢铠护套		10*D*	
	裸铅包护套		15*D*	
	钢铠护套		20*D*	
聚氯乙烯绝缘电力电缆			10*D*	
交联聚乙烯绝缘电力电缆			15*D*	20*D*
油浸纸绝缘电力电缆	铅包		30*D*	
	铅包	有铠装	15*D*	20*D*
		无铠装	20*D*	
自容式充油（铅包）电缆				20*D*

注：表中 *D* 为电缆外径。

13）直埋电缆的途径应有动土管理制度，任何单位和个人不得从事有碍于电缆安全运行的活动。

14）建立每条电缆的运行档案，并设专人负责，主要内容有：电缆线路的设计图样及测量计算数据、竣工及试验报告；电缆平面布置图；电缆路径地形示意图，交叉、道路、河渠管道等；运行记录，包括名称、电压等级、试验、检修、缺陷处理、事故处理、运行曲线记录、负荷变更记录、巡视检查记录等。

二、电缆线路巡视检查的周期及项目内容

（1）周期的规定

1）直埋电缆，隧道、沟道敷设及沿桥梁架设的电缆每季一次。

2）竖井内敷设的电缆每半年一次。

3）变配电所内的电缆终端头按高压变配电装置周期进行。

4）室外电缆头每月一次。

5）暴雨后，对可能被洪水冲刷的地段，应进行特殊巡视。

（2）直埋电缆巡视检查的项目内容

1）路径附近地面有无开挖。

2）线路标桩是否完整无损。

3）沿线地面上有无堆放的瓦砾、矿渣、建筑材料、笨重物件及其他临时建筑物等有碍安全运行的物体。

4）线路附近有无酸碱等腐蚀性排泄物及石灰等。

5）室外露出地面的电缆保护钢管、角钢有无锈蚀移位现象，其固定是否牢固可靠。

6）引入室内的电缆穿管管口处是否封堵严密。

（3）敷设在电缆沟或隧道内及混凝土管中的电缆巡视检查的项目内容

1）电缆沟的盖板是否完整无缺。

2）电缆沟、隧道内的电缆支架是否牢固，有无锈蚀变形等。

3）人孔及手孔井内的积水坑有无积水，墙壁有无裂缝或渗漏水现象，井盖是否完整。

4）沟道、隧道中有无积水及杂物。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）在管口或配电柜电缆卡子处电缆铅包有无损坏，衬铅是否失落。

6）电缆铠甲是否完整，有无锈蚀，裸铅包电缆的铅包有无腐蚀现象。

7）电缆沟进出房间外，有无渗漏水现象。

8）电缆的标示牌是否清晰，有无脱落。

9）全塑电缆有无被鼠咬伤的痕迹。

10）电缆中间接头有无变形、有无烧伤痕迹，温度是否正常。

（4）电缆头巡视检查的项目内容

1）电缆头的绝缘套管应完整、洁净、无闪络放电痕迹。

2）引线与接线端子的连接是否可靠，接触是否良好，有无发热或打火现象。

3）绝缘胶是否塌陷，有无软化现象。

4）终端头是否漏油，铅包及封铅处有无龟裂现象。

5）芯线或引线的相间及其对地的距离是否符合规定。

6）相位与电力系统是否相符。

7）接地线是否良好，有无松动或断股现象。

8）电缆头附近及周围是否有鸟巢、杂物、有碍运行物等。

（5）洪水或暴雨过后的特殊巡视

1）电缆线路上的地面有无被严重冲刷。

2）电缆线路附近地面有无严重塌陷。

3）室外电缆沟道的泄水是否畅通。

4）人孔及手孔中内有无积水淤泥。

5）室内电缆沟、隧道是否进水等。

（6）沿桥梁或明设的电缆

应检查两端是否伸得过紧，有无上述有关不良现象。

三、电缆线路停电检查、试验的周期及项目内容、缺陷处理的方法

（1）停电检查试验

1）变压器的进线电缆、重要负荷的电缆，每年进行一次预防性试验；其他电缆，一般每 1 ~3 年试验一次。凡是重做的电缆头，必须经过试验合格才能使用。

2）新敷设的带中间接头的电缆，在投入运行三个月后应进行试验，以后按周期进行试验。

3）室外电缆终端头，每年三月及十月应进行停电清扫与检查。对于充有绝缘胶的室外电缆头，应打开盖堵检查绝缘胶是否塌陷，有无结露存水现象，并补灌绝缘胶。

4）新做且充有绝缘胶的室外电缆终端头，投入运行六个月后，应打开盖堵检查，以后可按正常周期进行检查。

5）已有缺陷或对制造上有疑问的电缆，试验周期应适当缩短。

6）电缆的预防性试验，宜在春季或秋季土壤中的水分饱和时进行。

7）电力电缆的直流耐压试验电压标准见表 10-6 ~ 表 10-10。

8）电缆在直流耐压试验中，如发现泄漏电流很不稳定、泄漏电流随试验电压急剧上升或泄漏电流随试验时间延长有上升现象的，这时可提高试验电压或延长耐压试验持续时间进行试验，进一步找出原因。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-6 黏性油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0/U	/kV	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压	/kV	$6U$	$6U$	$6U$	$5U$
试验时间	/min	10	10	10	10

表 10-7 不滴流油浸纸绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0/U	/kV	0.6/1	6/6	8.7/10	21/35
直流试验电压	/kV	6.7	29	37	89
试验时间	/min	5	5	5	5

表 10-8 塑料绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0	/kV	0.6	1.8	3.6	6	8.7	12	18	21	26
直流试验电压	/kV	2.4	7.2	15	24	35	48	72	84	104
试验时间	/min	15	15	15	15	15	15	15	15	15

表 10-9 橡皮绝缘电力电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U_0	/kV	6
直流试验电压	/kV	15
试验时间	/min	5

表 10-10 充油绝缘电缆直流耐压试验电压标准

电缆额定电压 U	/kV	66	110	220	330
直流试验电压	/kV	$2.6U$	$2.6U$	$2.3U$	$2U$
试验时间	/min	15	15	15	15

注：1. 上列5个表中的 U 为电缆额定线电压；U_0 为电缆线芯对地或对金属屏蔽层间的额定电压。

2. 黏性油浸纸绝缘电力电缆的产品型号有 ZQ，ZLQ，ZL，ZLL 等。

不滴流油浸纸绝缘电力电缆的产品型号有 ZQD，ZLQD 等。

塑料绝缘电缆包括聚氯乙烯绝缘电缆、聚乙烯绝缘电缆及交联聚乙烯绝缘电缆。聚氯乙烯绝缘电缆的产品型号有 VV，VLV 等；聚乙烯绝缘及交联聚乙烯绝缘电缆的产品型号有 YJV 及 YJLV 等。

橡皮绝缘电缆的产品型号有 XQ，XLQ，XV 等。

充油电缆的产品型号有 ZQCY 等。

3. 交流单芯电缆的护层绝缘试验电压标准，可按产品技术条件的规定进行。

表 10-11 充油电缆使用的绝缘油试验项目和标准

项　　目	标　　准	说　　明
电气强度试验	工频击穿强度： 对于 110～220kV 的≥45kV 对于 330kV 的≥50kV	使用 2.5mm 平板电极常温
介质损耗角正切值 tanδ（%）	当温度为（100±2）℃时： 对于 110～220kV 的≤0.5 对于 330kV 的≤0.4	

9）黏性油浸纸绝缘及不滴流油浸纸绝缘电缆泄漏电流的三相不平衡系数不应大于2；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当10kV及以上电缆的泄漏电流小于20μA和6kV及以下电缆泄漏电流小于10μA时，其平衡系数不作规定。

10）1kV及以下电缆可不做直流耐压试验。一般用1000V绝缘电阻表摇测绝缘电阻。

11）充油电缆的绝缘油试验，应符合表10-11的规定。

12）直流耐压试验时，应把电缆与设备的连接断开。设备的端子应短路，电缆头引线的相与相之间应固定牢固且绝缘良好。

13）除直流耐压试验外，停电检查除巡视检查的项目内容外，主要是清扫电缆终端头及其引线上的灰尘污渍，应先清除后试验。一般常用100%的酒精或乙醚清洗。

（2）电缆缺陷的处理方法

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途径上的各种情况，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时，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。

第三节　室内低压配电线路的运行维护

室内低压配电线路应按设计安装并验收合格，应遵守电气装置安装工程施工验收规范的要求，标准号GB 50575—2010和GB 50150—2006。室内低压配电线路的绝缘强度、机械强度、导电能力、输电环境应与实际要求相符，并有一定的余量。此外，还应做到以下6点：

（1）一般要求

1）运行中的室内配线系统增加了电气设备或照明设备后，均应验算原来的低压母线、导线、开关及熔断器、电缆等是否仍符合技术条件和安全规范的要求，同时应把安装日期、接入增加容量及安装人员、批准人员记录在案。

2）运行中的室内配线系统，更换母线导线截面、电气开关元件及变动配线路径之后，应重新绘制图样或修改原图样，更换后必须符合技术条件和安全规范的要求。

3）每年雷雨季节前，应对所有配线、配电箱（柜、盘）、电器、灯具等进行安全检查，并按其检查结果和发现缺陷、隐患的程度及部件，制定统一完善的检修计划并付诸实施。

4）易燃、易爆等特殊场所的配线、电器和灯具等，必须按防爆、防火要求安装试验，同时根据实际具体情况制定巡视检查周期。一般每季不应少于一次。

5）特殊形式的灯具、熔断器及开关等电气元件，应有一定数量的备品备件。

6）平时不用，只有在节日、事故或特殊情况下才使用的电器及线路，应按周期测定其

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

绝缘电阻，并保持其完好状况，使用后应将电源断开。

7）未经许可，任何单位及个人不准在低压配电线路上接用电器，也不允许有危及低压配电线路安全运行的行为。

（2）室内配线的巡视检查和检修

1）周期的确定：

① 低压室内配线，每月应进行一次巡视检查，对重要负荷的配线还应增加夜间巡视。对天花板、吊顶及各种装饰物隔层里的布线应在用电高峰时间内进行巡视检查。

② 暴风雨后，对由室内引至室外的线路及闸箱等应进行特殊巡视检查，以免引起室内线路的故障。

③ 车间配线的裸母线以及配电盘柜和闸箱，每季应进行一次停电检查和清扫。室内配线的干线，包括穿线铁管、塑料管的主干线应每年停电检查一次。

2）室内配线巡视检查的项目内容：

① 导线与建筑物或其他设施是否存在摩擦、相蹭，绝缘、支持物是否有损坏或脱落；吊顶或天花板内的配线有无防火措施。

② 车间裸母线各相的弛度和线间距离是否相同，是否符合标准要求；裸母线的防护网（板）与母线的距离有无变化。

③ 明装线路的电线管、线槽、桥架及槽板有无破裂、砸伤、脱落、露线等现象，金属外壳外皮接地是否保持完好。

④ 管路的防水弯头是否脱落，导线与管是否磨蹭。

⑤ 相线回路、零线回路、保护地线回路各连接点的接触是否良好，有无腐蚀或脱开；与设备的连接、与接地体母线的连接是否可靠正常；漏电保护装置动作是否正确。

⑥ 线路的连接点或接线点有无虚接、发热、打火、烧伤现象。

⑦ 三相的电流是否平衡，不平衡度是否超过允许范围并校验工作零线的载流是否正常。

⑧ 有无私自在线路上接用的电器以及乱拉、乱接现象等。

（3）停电清扫检查的项目内容

1）清扫裸导线瓷绝缘子上的污垢；并调整垂度及相间距离。

2）用500V绝缘电阻表摇测线路的绝缘电阻，应大于0.5MΩ，并检查绝缘导线是否残旧和老化，对于老化严重或绝缘破裂的导线应计划更换。

3）调整三相负荷的不平衡；检查竖井内、桥架线槽内导线或电缆的运行情况。

4）紧固导线的所有连接点或重新紧固。

5）补充导线上损坏的或缺少的支持物及绝缘子。

6）加固或更换损坏的电线管、线槽、桥架及槽板，并进行除锈补漆作业。

7）建筑物伸缩缝、沉降缝的接线箱及导线有无异常。

8）清除电缆沟、电线沟内的杂物积水，并检查所有接地部位。

9）拆除临时接线，根据需要改装为正式接线。

10）其他不停电不能完成的作业。

（4）低压电器的检查、清扫和检修

1）各种不能直接看到触头的封闭式开关，每季至少应进行一次开盖检查；经常带负荷操作的各种类型的开关，应每月进行一次检查。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）清除开关内部灰尘污渍以及断弧或熔丝熔断造成的炭质或金属粉末。

3）检查开关的触头是否牢固，被烧坏的接点应予以更换。

4）闸刀和操作杆连接应紧固，动作应灵活、可靠。

5）各种封闭式开关的“分”“合”标志是否清晰正确，与触头的动作是否吻合；检查漏电保护装置。

6）开关的金属外壳接地是否良好，开关的电源进线和负荷出线的连接是否良好，有无发热、烧坏现象。

7）熔丝及熔盒配合是否正确，熔盒内有无积炭等。

（5）配电盘柜及闸箱的检查

1）导电部位的各连接点是否有松动、接触不良及过热现象。

2）各种仪表及指示灯是否完整，指示是否正确。

3）盘柜、闸箱及门是否破损，有无漏雨进水现象。

4）导线与电器连接情况是否完好；二层底或盘后的接线是否完好，有无烧焦的痕迹。

5）空开的容量、熔丝的规格与实际负荷是否匹配；漏电开关选择是否匹配。

6）外壳接地是否良好，进线及出线处导线绝缘情况是否良好，有无打火放炮的痕迹。

7）各回路所带负荷的标志应清晰并与实际相符。

8）箱柜内不得存放无关用品，且应无灰尘，无杂物，干净整洁。

9）所有电器应完整、功能正确可靠、接线整洁、无烧伤损坏。

（6）照明装置的检查

1）检查周期：

① 每年 4 月做好雨季前的检查和检修工作。

② 每年 7 ~ 8 月间做好雷雨季节中的检修工作。

③ 每年 11 月做好防冻防风的检修工作。

④ 暴风雨及大风后做好特殊巡视和检查工作。

⑤ 特殊企业及生产厂房的检查期限应根据具体情况而定。

2）检查内容：

① 天花板或吊顶内安装的吸顶灯或日光灯的镇流器及其他灯具等发热元件，应在运行一年后进行检查或抽查，检查有无烤焦木板或装饰板等现象，必要时对全部灯具加强防火措施。

② 采用专用绞车悬挂固定的大型花灯至少应每年做一次升降试验，检查钢丝绳、绞车棘轮及闭锁装置、固定螺栓等机械部分的机械强度、磨损情况、有无锈蚀或其他不安全因素，同时应检查随车电缆的绝缘情况。

③ 重要场所大型灯具的玻璃罩防止其破碎向下溅落的措施是否可靠。

④ 灯具上所装的灯泡是否超过额定容量。

⑤ 灯具各部件有无松动、脱落、损坏或接触不良，应及时修复或更换。

⑥ 检查照明控制开关（如拉线开关、按键或扳把开关）是否控制相线，螺口灯相线和零线的接法是否正确（相线接在灯口内的顶舌上，零线接在螺扣上）。

⑦ 插座有无烧伤、接地线接触是否良好；检查插座的相线、工作零线及保护零线的接法是否正确。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑧ 局部照明时，检查行灯变压器一次侧电源线的绝缘及熔断器是否良好，外壳及移动式灯具外壳接地线是否完好。

⑨ 引至室外的照明线路及灯具有无保护，灯口是否采用防水式，其控制箱是否漏雨，灯具的泄水孔是否畅通，并清除灯具内杂物。

⑩ 公共场所的应急照明或疏散指示灯的标志是否明显。

⑪ 霓虹灯变压器安装高度是否符合要求；二次连接的导线绝缘是否良好（一般为 15kV 的高压尼龙绝缘导线），与地或装饰面的距离是否符合要求（一般应大于 20mm）。

⑫ 所有灯具及新增装设的灯具是否符合安全要求。

⑬ 对于装设在室内低压配电线路上的吊扇、壁扇、窗式空调器、稳压器、单相电动机等单相电气设备应检查其运行状况是否良好，电流是否超过允许范围、有无发热、振动噪声或其他隐患；对单相电气设备应按小型电动机运行对待，至少应每 1～3 年进行一次检修、加油、检查轴承等工作。

⑭ 危险、爆炸、火灾等特殊场所的灯具应按特殊场所的规定进行。

不同季节对运行中的电气线路及设备运行维护的具体要求见表 10-12。

表 10-12 不同季节对运行中电气线路及设备的要求

月份	气候特征	目 的	工 作 重 点
1	严寒，多大风，有雪	1. 防止导线过紧引起断线 2. 防止大风引起的外力破坏 3. 防止充油设备油面过低引起事故	1. 检查导线弧垂是否符合要求，导线是否完整 2. 检查和清除线路走廊附近及变电所周围的易被风刮起的杂物 3. 检查线路走廊内树木的树枝与导线的距离 4. 检查室外充油设备的油面位置是否合格 5. 加强线路及室外设备的巡视
2	严寒，气温有所回升，有雨加雪	1. 防止因污秽造成瓷绝缘闪络事故 2. 防止烧杆尖及木横担事故	1. 清扫室外设备的瓷绝缘。污秽地区清扫工作必须在上半月完成 2. 污秽地段更换防污瓷绝缘子或采用反污涂料 3. 测量瓷绝缘泄漏电流
3	气温回升多风，开始解冻，有时有雷电活动	1. 防止倒杆断线 2. 防止雷害事故	1. 检查木质杆根 2. 检查树枝与导线的距离 3. 检查防雷装置并进行调整、试验和安装 4. 摇测接地电阻，并抽查接地网 5. 摇测电气设备的绝缘电阻
4	气温转暖，多风，有雷电活动	1. 防止外力破坏事故 2. 防渗漏雨水	1. 防雷工作的复查补课 2. 防风去树工作 3. 房屋修缮及室外电缆沟的修缮工作 4. 开展电气设备预防性试验和继电保护校验工作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

月份	气候特征	目　　的	工　作　重　点
5～6	气温转热，雷电活动增多	1. 防止高温、潮湿引起漏电事故及人身触电事故 2. 防汛防洪准备	1. 检查杆基的防洪设施 2. 防风去树工作的复查补课 3. 检查车间接地装置，摇测线路及电气设备的绝缘电阻 4. 检查导线弧垂 5. 检查通风设备 6. 检查泄水道 7. 开展安全用电宣传工作
7～8	天气炎热，雨量集中，雷电频繁	1. 防止树枝碰线事故 2. 防止导线弧垂过大引起的短路事故 3. 防止漏雨、进水引起的事故 4. 防止洪水冲刷杆基的倒杆事故 5. 防止设备漏电造成事故	1. 检查防雷装置的运行动态 2. 检查充油设备的油面位置 3. 检查线路走廊内树木情况 4. 加固杆基，疏通泄水道，并做好防洪、堵漏工作 5. 消除电气设备绝缘低的缺陷 6. 做好事故抢修的准备 7. 加强电气设备温升的检查 8. 加强线路及室外设备的巡视
9～10	气温有所下降	1. 防止小动物进入室内引起事故 2. 做好防风、反污及迎高峰的准备工作	1. 检查变电室的门窗、通风口、电缆沟、电线沟等是否严密，清除室内一切杂物 2. 检查线路走廊内树枝距导线的距离 3. 检查充油设备的油面位置 4. 污秽地区对室外绝缘子及套管进行清扫 5. 检查导线连接点及导线弧垂
11	气温下降，有小雨，有雾及大风	1. 防止污秽闪络事故 2. 防止设备内积水冻裂事故 3. 防止负荷大引起接点过热造成事故	1. 做好清扫检查工作，防雷设备退出运行 2. 检查室外油开关底部有无积水 3. 检查设备连接点是否良好 4. 检查室外电缆头是否有缺陷 5. 检查并清除线路周围易刮起的杂物
12	严寒，多大风	1. 防止外力破坏 2. 防止设备过负荷造成烧毁事故	1. 检查室外设备及线路周围环境 2. 紧固设备接点，检查是否过负荷 3. 加强线路及室外设备的巡视

变配电所及架空电力线路污秽等级标准的划分见表 10-13。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-13 变配电所及架空电力线路污秽等级标准表

名称	污秽等级	污秽条件		有效泄漏比距/(cm/kV)	
		污源特征	附盐密度/(mg/cm^2)	中性点直接接地	中性点非直接接地
变电所	0	空气无明显污秽地区	<0.02	1.7	2.2
	1	空气有轻微污秽的地区（工业区附近、沿海地带及盐场附近）	≥0.02 <0.08	2.5	3.2
	2	空气严重污秽地区（化工厂、冶金厂附近，火电厂烟囱冷水塔附近，有严重盐雾侵袭地区）	≥0.08	3.5	待定
架空电力线路	0	空气无明显污秽地区	<0.03	1.6~1.8	2.0~2.4
	1	空气污秽的工业区附近，盐碱地区，炉烟污秽地区	≥0.03 <0.10	2.0~2.5	2.6~3.3
	2	空气污秽较严重地区或空气污秽而又有重雾的地带，沿海地带及盐场附近，重盐碱地区距化学污源300~1500m的污秽较严重地区	≥0.10 <0.25	2.5~3.2	3.5~4.4
	3	电导率很高的空气污秽地区（冶金厂或大化工厂附近，火电厂烟囱、冷水塔附近，严重盐雾侵袭地区，距化学污源300m以内的地区）	≥0.25	3.2~3.8	4.4~5.2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十一章　电动起重机械的维护保养及运行

电动起重机械一般指室内天车、室外龙门吊和塔吊等大型起重设备及电动葫芦、卷扬机、建筑用电梯等起重设备。电动起重机械的电气线路有的较简单，有的确实很复杂，这与起重机械的吨位、保护要求及安装环境有关系。维修电工主要是对电动起重机械进行维护保养，处理一般性故障。本章详细讲述电动起重机的控制线路、安全装置、运行维护等。

第一节　桥式起重机的控制线路

桥式起重机的电气控制线路具有代表性，一般的天车、龙门吊、塔吊等大型起重设备的电气控制线路与之基本相同。

一、凸轮控制器的电气线路

凸轮控制器是电动起重机械中控制电动机起动、调速、停止、正反运行的专用装置，它是通过凸轮的转动而带动触点的闭合与打开，从而使电源接通或短接电阻。凸轮控制器的基本接线见图 11-1。

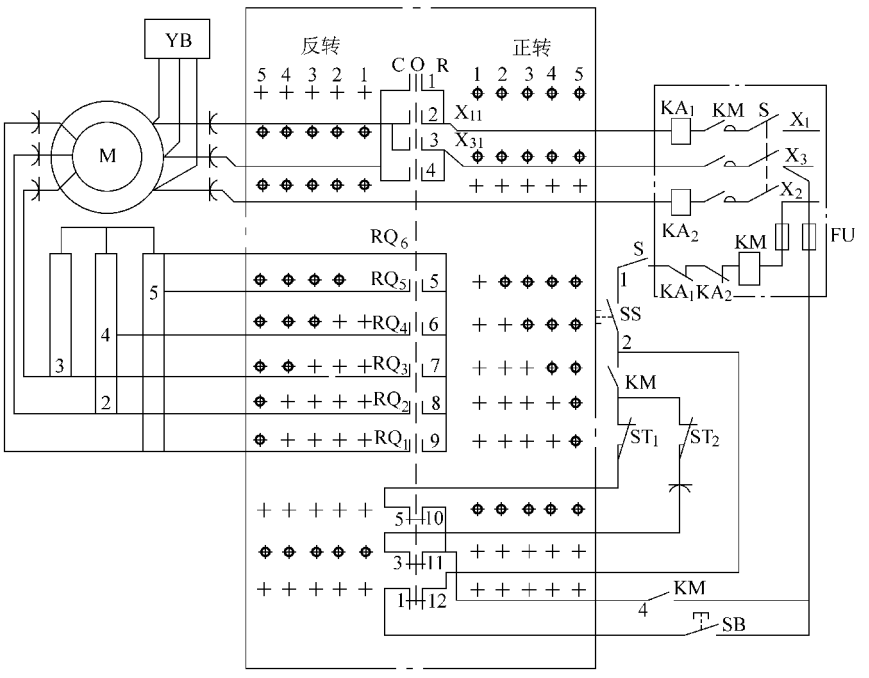


图 11-1　凸轮控制器原理接线图

凸轮控制器一般有 12 副触头，且每副触头均有正反方向闭合的功能且正反方向联锁。其 1～4#触头是接通和切断电动机定子回路的，只控制电动机的两相，另一相不经过触头控制，直接由电源接至电动机定子，这是电动起重机械中电动机接线的一个特点。5～9#触头

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是分段切除转子串接电阻的；10～12#触头均为常闭触头，是用在保护回路的。图中标有⊕的位置则表示该触头在这个位置是接通的，而标有+的位置则表示该触头在这个位置是断开的。而常闭触头10～12#在“0”位时是接通的。

下面我们分析凸轮控制器的工作原理。

1）凸轮控制器是与交流接触器配合使用的。由图可知，接触器的线圈经过按钮SB、行程开关ST_1和ST_2以及凸轮控制器的三副常闭触头组成了控制回路。在“0”位时，10～12#触头是闭合的，操作按钮SB。电流经X_3、FU、SB、12#触头、SS（紧急开关，已闭合）、S（舱门开关，已闭合）、KA_1、KA_2与线圈形成回路，接触器吸合。同时，接触器的两副常开辅助触头KM闭合自保。这样当凸轮无论转向正或反时，12#触头打开而接触器线圈仍有电吸合。假如转向正转位置1时，这时12#、11#触头打开，而10#触头闭合，电流经X_3、FU、辅助触点KM、10#触头、ST_1、辅助触点KM、SS、S、KA_1、KA_2与线圈形成回路，接触器保持吸合。假如转向反转位置1时，12#、10#触头打开，11#触头闭合。电流经X_3、FU、辅助触点KM、11#触头、ST_2、辅助触头KM、SS、S、KA_1、KA_2与线圈形成回路，接触器保持吸合。

凸轮控制器的正转触头在正向操作时，一经闭合将不再打开，反向操作时，一经打开将不再闭合，不会出现交流接触器失电现象。反转触头与之相同。其他触头只有在打黑点和不打黑点间进行闭合和断开或断开与闭合的切换。

因电源失电、KA动作、ST动作、SS动作，接触器失电断开，要使其重新得电，必须将凸轮控制器的手柄反向转到“0”位，这时12#触头闭合，这样才能重新起动。因此，12#触头则称为零位保护或零压保护触头。

2）1～4#触头中，1#、3#为正转触头，2#、4#为反转触头，当正转或反转触头接通时，非控制相因先直接给了电动机，电磁抱闸得电松开，电机在转子串接全部电阻下慢速起动。如需要加速，可将手柄从1的位置转到2的位置，这时5#触头闭合，将5～0段电阻短接，电动机则加速。同样6#触头短接4～0段电阻，7#触头短接3～0段电阻，8#触头短接2～4段电阻，9#触头短接1～5段电阻，电机达到最高速。然后手柄反向转动，则触头打开，电阻增加，电动机则减速，到“0”位时电机停止。反转操作同正转。

3）运行中，行程开关ST、紧急开关SS、舱门开关S、过电流继电器KA将起到保护作用。

其中KA一般采用过电流延时继电器，具有起动延时、过载延时、过电流迅速动作的反时限特性，其性能见表11-1。由表可以看出，该线路既可躲过起动电流，又能在过载或过电流时跳闸，保护电动机。

表11-1 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）
$6I_N$	<（1～3）s 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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、主令控制器的电气线路

主令控制器是在凸轮控制器的基础上发展起来的。它是用容量很小的类似凸轮的触头去控制接触器，而用接触器的触头去控制电动机的主电路，实现电动机的起动、制动、调速和反转、停止等功能。主令控制器的基本接线见图 11-2。主令控制器一般常用于容量较大且工作频繁的主钩电机上。

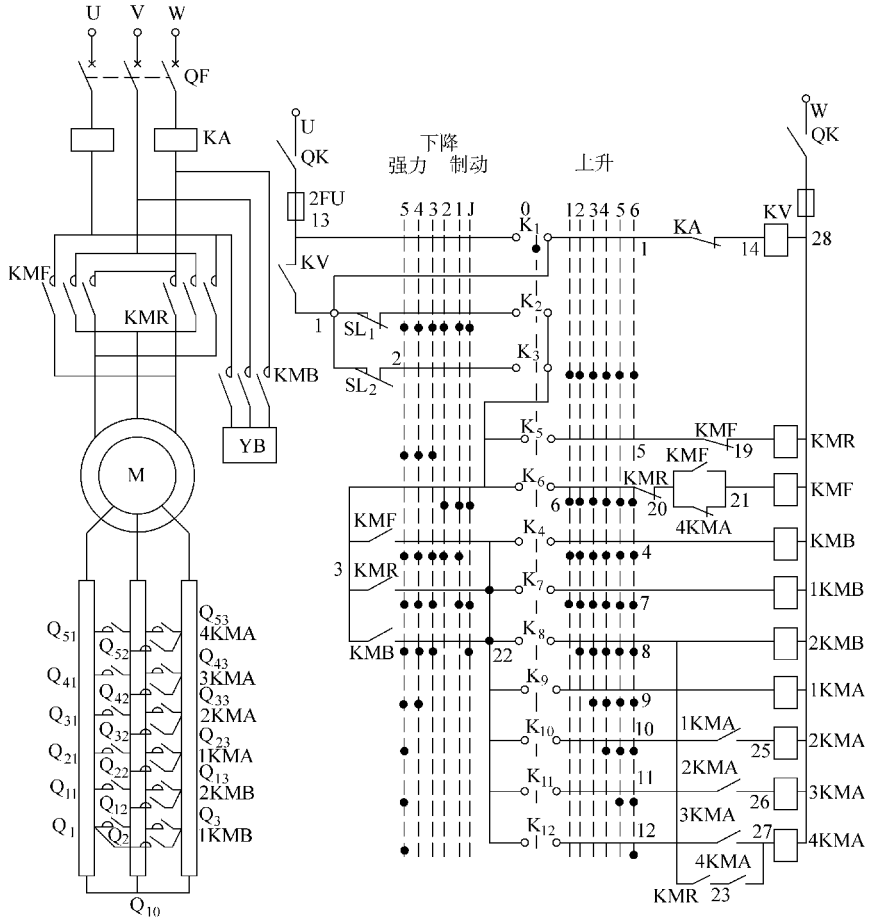


图 11-2　主令控制器的控制主钩电机原理图

主令控制器也有 12 副触头，其中 K_1 是零位保护触头，控制的是电压继电器 KV，其触点 KV（13-1）闭锁了控制回路的电源，实现了零压保护。同时过电流继电器的触点 KA（1-14）串接在 KV 线圈的回路里，过载时可切断控制回路的电源，实现过负荷保护。K_2、K_3 则为正反转行程限位保护触头，由行程开关 SL_1、SL_2 执行。K_4 控制制动接触器 KMB，通电后 KMB 吸合，使电磁制动器 YB 打开，断开后 YB 失电制动。K_5 控制下降接触器 KMR，K_6 控制上升接触器 KMF。K_7～K_{12}控制短接电阻接触器 1KMB、2KMB、（1～4）KMA。主令控制器的触头闭合或打开以有无黑点“•”为准，与凸轮控制器基本相同。

下面分析主令控制器的工作原理。

1）将控制回路电源开关 QK 闭合，主令控制器手柄置于“0”位，K_1 闭合，KV 通过 KA 常闭触点（1-14）得电吸合，KV（1-13）闭合自锁。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）在上升位置 1 时，K_3、K_4、K_6、K_7 闭合，接触器 KMB、KMF、1KMB 吸合，电磁制动器 YB 松开，电动机得电起动，这时第一段反接电阻被 1KMB 短接。如果将上升位置从 1 逐次切换到 2、3、4、5、6 位置时，接触器 2KMB、1KMA～4KMA 相继吸合，逐级切除电阻，电动机升速。触点 1KMA（10-25）、2KMA（11-26）、3KMA（12-27）提供电气联锁，保证按顺序切除。上升阶段电动机工作在电动状态。

3）在下降 J 位置时，转子串入四段电阻（因 1KMB 切除一段电阻）、电动机有较大的起制动作用的转矩，同时 K_4 断开，KMB 失电、YB 制动，这样重物保持一定的位置静止不动。因此，J 这个位置则用于下降制动停止。在下降的其他位置上，K_4 始终接通，KMB 得电，YB 解除制动。

4）在下降 1 位置时，K_2、K_4、K_6、K_7 闭合，KMF、KMB、1KMB 吸合，电动机转子串接 5 段电阻，电动机还是接成上升相序，抱闸松开；在下降 2 位置时，K_2、K_4、K_6 闭合、电动机串 6 段电阻，仍为上升相序。这时若负载不能克服电动机的转矩，则会出现重物上升的现象。因此，1、2 位置常用于重物下降，这时因串较大电阻，在位能转矩作用下，电动机运行在速度反向倒拉反接制动状态、获得较小的下降速度。

5）在下降 3 位置时，K_2、K_4、K_5、K_7、K_8 闭合，KMR、KMB、1KMB、2KMB 吸合，抱闸松开，KMR 将电动机倒相反转，串四段电阻，转矩反了转速反了；在 4 位置，又有 K9 闭合，1KMA 吸合，串三段电阻。这样在 3、4 位置上可强迫负载下降，即使负载较轻也能得到下降速度。

6）在下降位置 5 时，除上述外，又有 K_{10}、K_{11}、K_{12}闭合。除常串电阻外，电阻全部切除，可获得较大的强迫下降速度。如重物较重，转速超过电动机同步转速时，在其作用下可使电动机进入再生发电状态，把重物的势能转变为电能反送回电网。4KMA（23-27）和 KMR（8-23）串联的设置是使 4KMA 线圈自锁，这样在由 5 位置切换到 J、1、2 位置时，避免了切换过程中经过 3、4 位置造成的高速下降，而是使其保持在 5 的特性上。当切换到上升挡位时，KMR（8-23）断开，自锁解除、不影响提升调速。KME 的自锁接点 KMF（20-21）只有在 4KMA 切断后才起作用，这样，当由下降 5、4、3 切换到 2、1、J 时，转子电阻全部接入才能进入反接制动，防止反接制动过程的电流冲击。

KMB（3-22）与 KMR（3-22）、KMF（3-22）并联的设置，保证了下降位置 2、3 的切换中只有一只接触器吸合而另一只接触器断开，不至于发生电动机高速下降机械制动而引起的剧烈震动。

7）运行中，过载由 KA 保护，上升及下降极限位置由 SL 保护，突然停电由 KV 保护，切断控制回路的电源，重新起动必须使手柄回到“0”位。

三、桥式起重机常用的控制线路

桥式起重机一般有五台电动机拖动，其中主钩电动机容量较大，由主令控制器控制，副钩电动机、小车移动电动机、大车移动电动机（两台）容量较小，一般由凸轮控制器控制。同时设置保护柜和控制柜，保护柜、控制柜均有系列成套产品，请参阅有关手册，电源设置滑线和辅助滑线。上述内容构成了复杂的控制系统。桥式起重机常用的电气控制线路见图 11-3。

（一）主钩的控制和控制柜

1）由图 11-3 可以看出主钩控制由两个部分构成，一是主令控制器，这部分与前述及图 11-2 是相同的，只是在下降回路中省略了一只行程开关 SL，同时将主令控制器的闭合和断开的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

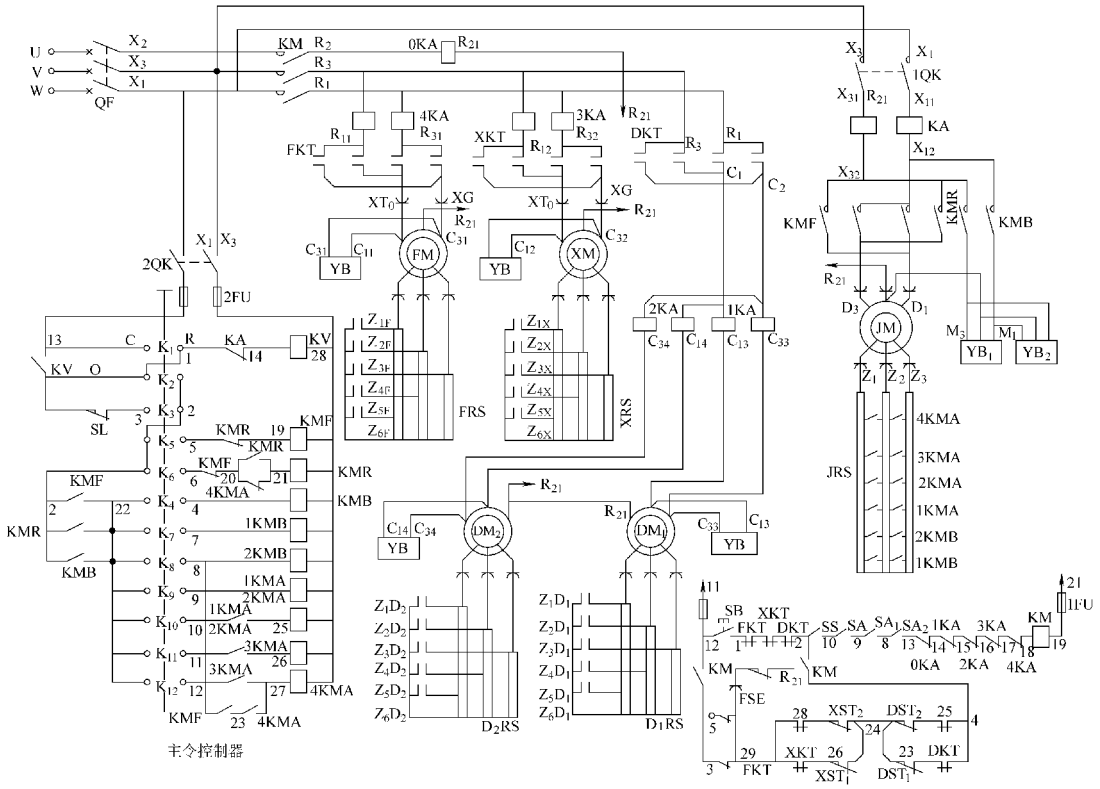


图 11-3　桥式起重机常用的电气控制线路

标注黑圆点取掉了，读图时可与图 11-2 对照。二是主钩电动机 JM 的主回路，这部分与前述及图 11-2 是基本相同的，所不同的是增加了一只电磁抱闸，两只同步运行。另外，主回路中定子与转子的接线是由电刷与滑线（∋）完成的，见 JM 的 D_1、D_3 和 R_{21}，同时 R_{21} 是一非控制相，直接由主钩定子滑线引来，这一点与图 11-1 相同。

2）工程中常把主钩主回路中的 1QK、KA、KMF、KMR、KMB 以及主令控制器回路中的 2QK、2FU、KV、1KMB、2KMB、(1～4) KMA 等电气元件装在一台柜（屏）上，把与主令的接线和与总开关的接线甩出，以便接线。我们把这个柜（屏）称为控制柜（屏），控制屏一般装在轿厢内，也有装在起重机的主桥架上的。同时把转子电阻 JRS 装在箱内，也安装在主桥架上。

（二）副钩及大车、小车的控制

1）副钩及小车的控制是用凸轮控制器进行的，与图 11-1 基本相同，定子与转子的接线也是由电刷与滑线完成的，其中定子的一相 R_{21} 为非控制相。凸轮控制器的保护功能由单独的保护柜来完成。

2）大车的控制也是由凸轮控制器进行，所不同的是凸轮控制器切换电阻的触头有两套分别同时切换两台电机的转子电阻 D_1RS 和 D_2RS，定子则由一套触头控制，保护触头也为一套，以便实现两台电机的同步控制。因为大车为两台电机拖动，因此这两台电机的同步性是很重要的，不只是控制系统有严格的要求，而且两台电机本身的各种参数必须相同，才能保证同步。同时两台电机分别设置的电磁抱闸 YB 的参数（包括间隙）也必须相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）保护柜

1. 工程中常把主开关 QF、主接触器 KM、大车小车副钩的过电流继电器（1～4）KA、总电流继电器 0KA、按钮 SB 以及信号装置等电气元件装在一台柜（屏）上，其他与控制屏相同，我们把这个屏叫作保护屏。

2. 图 11-3 给出了保护屏的原理接线图（见图 11-3 的右下角），该图是主接触器 KM 的控制原理图，可分四部分解说明。

① 未起车前，副钩、小车、大车的凸轮控制器的零位触头 FKT、XKT、DKT 是闭合的，这时先闭合主桥架上横梁栏杆安全门开关 SA_1 和 SA_2，进入轿厢后将厢门关好，厢门安全开关 SA 闭合，然后闭合紧急开关 SS，因为过电流继电器 0KA、（13～14）常闭点是闭合的，操作起动按钮 SB，KM 线圈接为通路得电吸合，主接触器闭合。这些触点任一个断开都会使 KM 失电而使主机停车。

② 主接触器 KM 闭合后，其辅助触点 KM（12-3）、KM（2-4）同步闭合自锁，自锁回路中均为常闭触点。其中 XKT（29-28）、XKT（29-26）是小车凸轮控制器的正反联锁触点，XST_2（28-24）和 XST_1（26-24）分别为小车向左和向右的行程极限开关；DKT（4-25）、DKT（4-23）是大车凸轮控制器的正反联锁触点，DST_2（25-24）和 DST_1（23-24）分别为大车向前和向后的行程极限开关。这些触点任一个断开都会切断自保回路而使 KM 断电。

③ KM 自锁回路中，FKT（3-29）是副钩凸轮控制器的一副正反联锁触点，因为提升机构只需要向上极限的保护，这里则采用了向下联锁触点 FKT（3-29），并串联上行极限开关 PSE，这样当副钩上行时，FKT（3-9）打开，到极限位置时行程开关 PSE 打开，副钩电机停转。但是这里要注意到，FKT（3-9）的打开还切断了自保接点 KM（12-3），因此，熔断器（11-12）的 11 点必须与 R_{21} 同相，这样才能起到保护作用。

④ 保护屏的原理接线图与图 11-1 有相同的部分，并且为图 11-1 的基础上发展的。需要说明的是原理接线图中的与熔断器 FU 的接线必须正确无误，即 11#接电源总线的 X_2，21#线接电源总线的 X_3。

（四）滑线

滑线分两种，一种是主滑线（或称电源滑线），是由低压电网引至轿厢控制柜中主开关 QF 上闸口的，另一种是辅助滑线，是连接提升机构电机、小车电机定子、电机转子电阻和提升机构行程开关的。

1）主滑线一般标注在平面图上，可由圆钢、角钢、钢轨制成，见桥式起重机平面布置图 11-4。室内天车的滑线则安装在天车梁上，见图 11-5。容量较小的起重机主滑线也有采用悬挂或卷筒软电缆的。采用哪种方式是由设计选定或建设单位确定的，滑线的配套部件应与主机配套。平面图上一般要标出电源与滑线的连接方式及进户位置，容量等。其他有关内容详见设计说明，限于篇幅的关系这里不再列出。

2）辅助滑线是随主机配套供应的，一般都安装在主桥架上。辅助滑线的形式与主滑线基本相同。

（五）桥式起重机电气线路的接线图和电气布线示意图

接线图是按原理图绘制的，并把电动机、电阻器、控制柜、保护柜、主令控制器、凸轮控制器、电磁抱闸、行程限位开关、滑线等部件画出，然后按原理图将各部件的接线点用细线连起来，通过接线图我们能更好地了解原理图。图 11-6 是桥式起重机的电气布线示意图。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

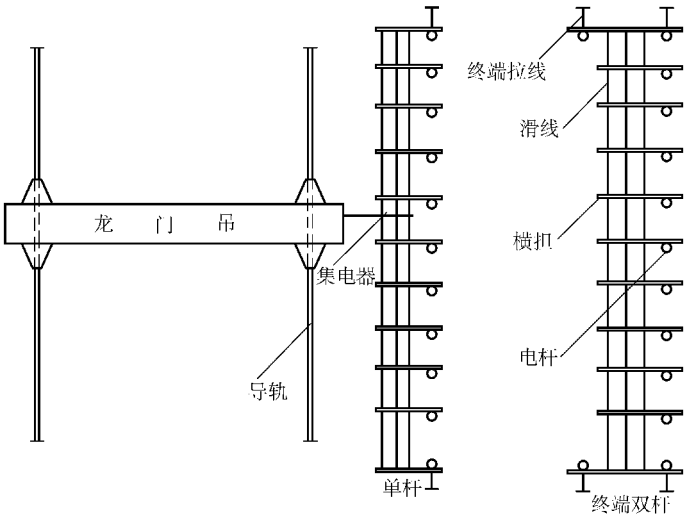
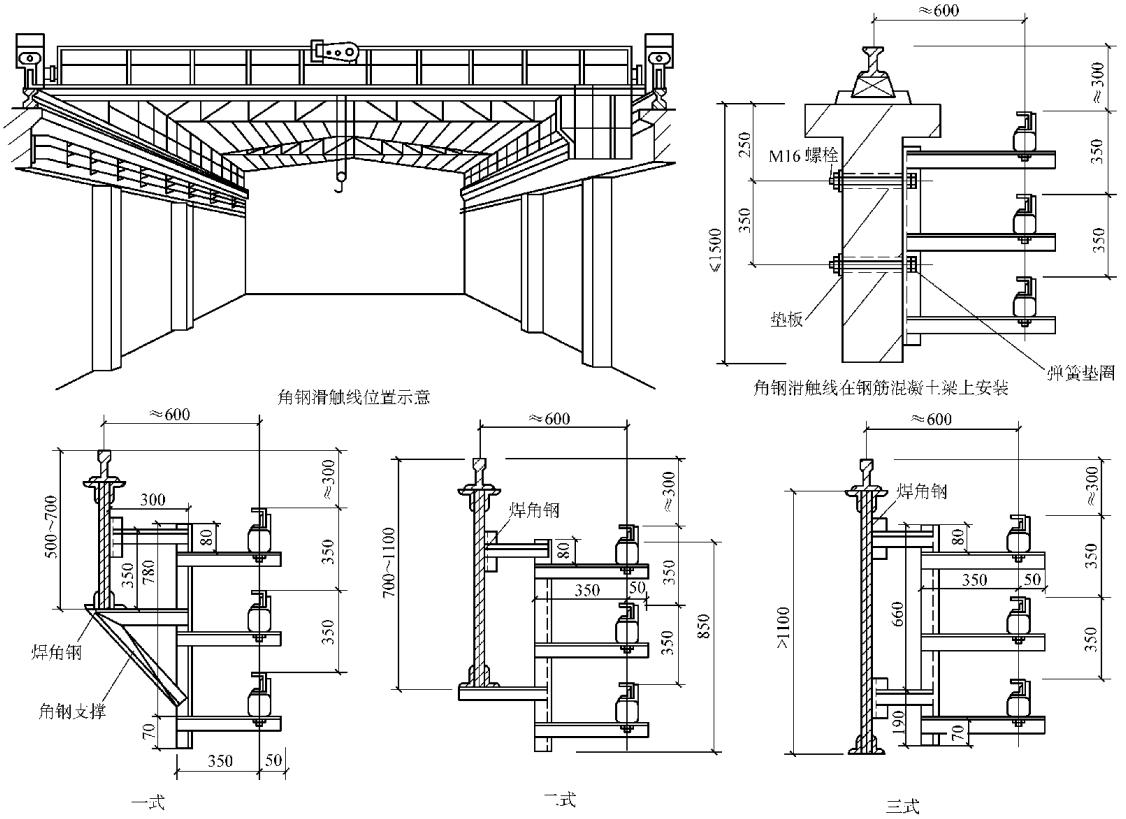


图 11-4　桥式起重机平面布置图



注：角钢规格为50×50×5，绝缘子为WX-01电车绝缘子。

图 11-5　室内天车滑线安装示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

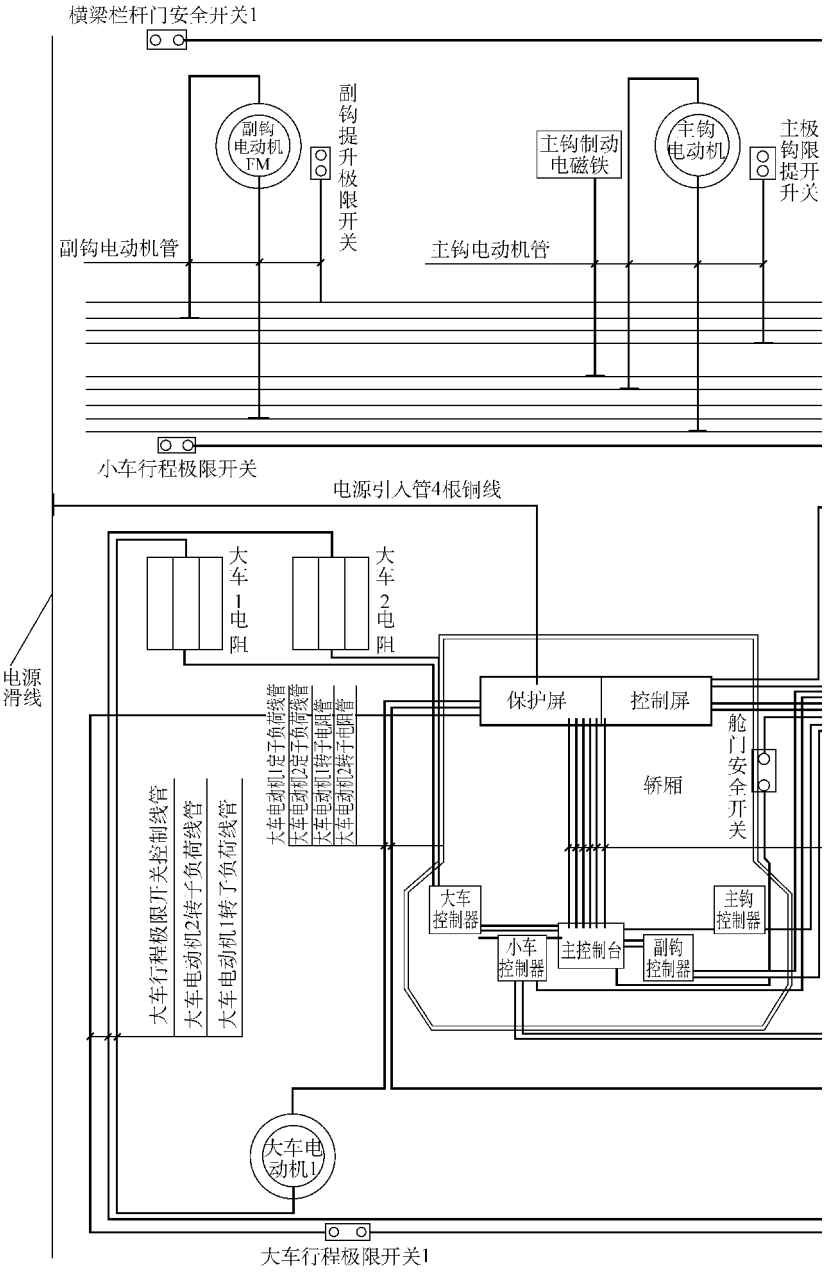
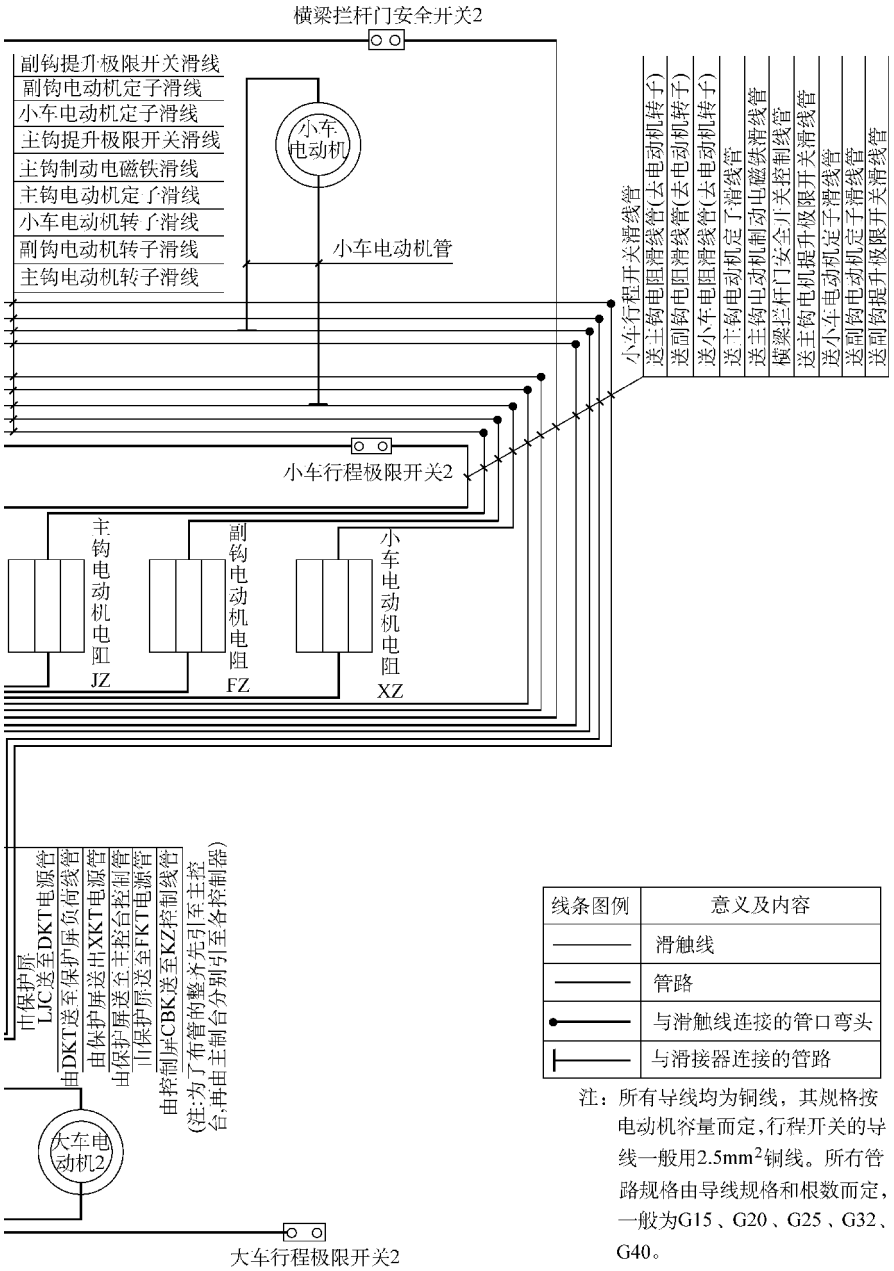


图 11-6 某桥式起重机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



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
T———	与滑接器连接的管路

注：所有导线均为铜线，其规格按电动机容量而定，行程开关的导线一般用2.5mm^{2}铜线。所有管路规格由导线规格和根数而定，一般为G15、G20、G25、G32、G40。

电气布线示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二节 其他形式起重机的控制线路

电动起重机的形式很多，如塔吊、龙门吊等，其线路及控制方式与桥式起重机基本相同，读者可按第一节的分析方法去分析具体的线路。在工业车间中，经常设置吨位较小的单梁电动葫芦，吨位0.5～5t，并设置提升机构和水平移动装置，分别由两台电动机拖动、其中提升机构的电动机采用锥形转子电动机，用锥形制动圈制动，控制线路简单，一般均为点动控制，常用线路见图11-7，读者可自行分析。

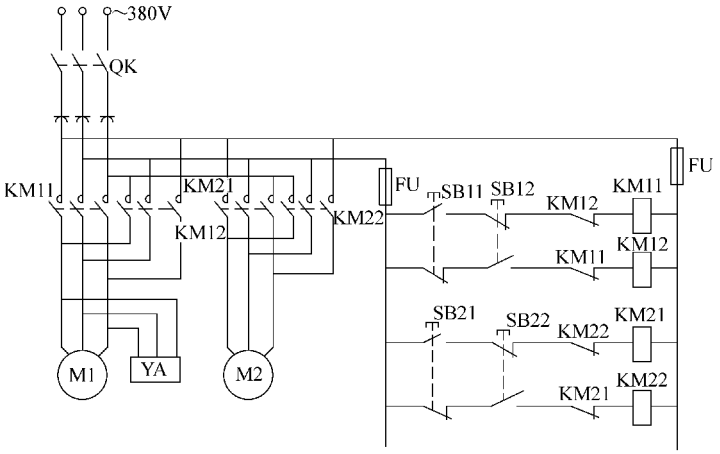


图11-7 电动葫芦电气控制原理图

第三节 电动起重机械的安全装置及维护

一、电动起重机械的安全要求

电动起重机械的电气系统必须保证其传动系统和控制系统的准确、安全、可靠，在紧急情况下能切断电源且安全停车；电气系统的设备、元件和材料必须满足控制系统的要求，必须满足起重机工作环境及条件的要求（操作频繁、环境恶劣、重复短时工作等）。

（1）供电电源及线路

1）起重机应由专用馈线供电，当采用软电缆母线时应采用四芯或五芯电缆，除三相电源外，应有专用的工作零线及保护地线；当采用滑线硬母线时，一般应采用三根电源滑线，一根保护地线（导轨代替），专设一根硬母线，作为工作零线。

采用相电压500V以上的电源，应符合高压供电的有关规定。

2）起重机专用馈线进线端与母线的连接处应设总断路器，总断路器的出线端不得与起重机无关的其他设备连接。

3）起重机驾驶室内的控制保护配电屏上应有总保护断路器或总保护接触器，且接触器须与熔断器或过电流继电器配合使用。短路时，可断开电源，并能分断所有机构的动力回路及控制回路。

4）起重机控制回路必须保证控制功能符合机械及电气系统的要求，保证起重吊装等机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

械功能的实现，不得有错误回路、寄生回路和虚假回路。

5）遥控电路及自动控制电路所控制的任何机构，除控制功能精确可靠外，一旦控制失灵应能自动停车。

6）起重电磁铁应有专用的整流供电系统，必要时应有备用的直流电源。

7）裸滑线母线

① 裸滑线母线与周围设施的安全距离及偏差应符合表 11-2 的规定。

表 11-2　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	大于 3500
距汽车通道高度	大于 6000
距一般管道	大于 1000
距氧气管道及设备	大于 1500
距易燃气体和液体管道	大于 3000
相邻滑线导电部分和对接地的净距	大于 50
滑接器距滑线末端距离	大于 200
固定装设的型钢滑线，其终端支架距滑线末端距离	小于或等于 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	小于或等于 10
悬吊滑线间的弛度偏差	小于或等于 20

② 爆炸和火灾危险场所应采用软电缆。0 区（旧标准 Q-1）、1 区（旧标准 Q-2）、10 区（旧标准 G-1）级场所应使用重型移动电缆；2 区（旧标准 Q-3）、11 区（旧标准 G-2）级场所应使用中型移动电缆；对钢材有较强腐蚀的场所可用铜母滑线或用软铜电缆。

③ 滑线的设置应位于驾驶室的相反方向，如确需与驾驶室装于同侧时，在司机或工作人员上下时可能触及的滑线段或驾驶室上，必须设置防护隔离装置，以防触电。

④ 裸滑线触面应平整无锈蚀，导电性能良好，安装适当并符合标准 GB 50256—1996 的要求，在跨越建筑物伸缩缝时应设补偿装置。

⑤ 滑线的安全标志齐全。

8）电线及电缆一般选用橡胶绝缘铜芯软电缆，软导线，截面积不得小于 1.0mm^2；对电子装置、伺服机构、传感元件等能确认安全可靠装置的连接导线的截面积不作具体规定。电气室、控制操作室、控制保护屏等内部的配线应使用塑料绝缘铜导线，活动部位的配线应使用塑料绝缘铜软线，其截面积应符合回路电流的要求，至少不得小于 1.5mm^2。港口工作的起重机应使用船用电缆及导线。

9）软电缆母线供电的起重机，移动距离大于 10m 时，应设置电缆卷筒或其他收放装置，其收放电缆的速度必须与起重机运行速度同步并有可靠的自锁装置。

10）电气配线。

① 室外工作的起重机，导线应敷设于金属管路中，金属管路应经防腐处理。如用金属

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线槽或金属软管代替，必须有良好的防雨和防腐性能。

② 室内工作的起重机，导线应敷设于线槽或金属管路中，电缆可直接敷设，在有机械损伤、化学腐蚀或油污侵蚀的地方，应有防护措施。

③ 不同机构、不同电压等级、交流与直流回路的导线，应分管穿设；照明回路和控制回路应单独敷设。

11）照明回路及信号。

① 起重机应设正常照明和可携带式照明，并由专用回路供电，一般应接于驾驶室总保护开关的上闸口（进线端），以保证总保护开关断开时，照明回路可正常工作。正常照明回路的电压应不超过220V，可携带式照明回路的电压应不超过36V。

② 驾驶室需设置电热取暖设备时，应采用固定防护式不发光的电热器，且应远离电气元件，电热器一般应用三相供电。

③ 驾驶室总保护开关的工作状态应有明显的信号标志。

12）起重机电气线路的绝缘电阻应用500V绝缘电阻表测量，任何时候、任何回路的绝缘电阻应大于1.0MΩ；同时，驾驶室内应铺设绝缘垫。

（2）电气设备及元件　电气设备及元件必须与起重机的机械特性、工作条件、环境条件相适应。在额定条件下工作时，其温升不应超过额定允许值。

1）电动机一般应采用绕线异步电动机及其转子多级串联电阻的起动调速方式，或采用起重冶金绕线异步电动机，也可用直流电动机；小型起重机，一般采用深槽异步电动机、双笼异步电动机或采用起重冶金异步电动机或锥形转子制动异步电动机。

2）控制器一般采用凸轮控制器或主令控制器加控制保护屏，小型起重机可采用按钮加接触器的控制。

3）起动电阻一般选用铸铁片电阻、康铜丝电阻或铁铬铝丝电阻。

4）制动电磁铁一般选用交流MZD1型或MZS1型制动电磁铁。

5）起重电磁铁一般选用MW1型起重电磁铁。

6）低压电器必须满足起重机的工作要求。

二、电动起重机械的电气安全装置

（1）总断路器或主隔离开关与熔断器配合组件　能满足起重机最大工作电流的需要，并能切断短路电流及过负荷电流。

（2）紧急断电开关　设在司机操作方便的地方，在紧急或危险出现的时候，可切断总电源或总控制回路的电源，并使起重机制动。

（3）短路保护　起重机一般有三种短路保护，即总电源的短路保护，每台电机的短路保护，控制操作回路的短路保护。

（4）失电压保护和零位保护　当供电电源中断时，失电压保护可使总电源自动切断，欠电压时电机不能起动；当恢复供电时或开始起动时，必须从凸轮或主令控制器的零位开始。失电压保护是经过接触器的电压线圈实现的，零位保护是利用凸轮或主令的零位触头串联在控制回路中来实现的。

（5）失磁保护　直流电机及直流供电的能耗制动、涡流制动器调速系统应设失磁保护。直流机组供电系统当控制器在零位时，应有防止电动机爬行的措施。

（6）过电流保护　绕线转子电机应在每台电机的两个边相设反时限过电流保护，而在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

总电源的中相设立总过电流保护；直流电机一般用一只过电流继电器保护过流；笼型电机驱动的小型起重机可不设过电流保护。

（7）超速保护　铸造、淬火起重机的主钩及用晶闸管定子调压、涡流制动器、能耗制动、晶闸管供电、直流机组供电调速的起重机起吊机构和变幅机构，应有超速保护。

（8）限位或行程保护　电动起重机的大车行走机构、小车行走机构、主钩或副钩提升机构或抓斗的张合机构、电缆卷筒的放完及收紧机构等均应装设限位或行程保护。

（9）安全开关　当驾驶室舱门没有关闭、横梁栏杆门没有关闭时电动机不能起动，以防意外发生。

（10）保护接地（接零）　起重机的金属结构、电气设备的金属外壳、管路及线槽、电缆金属外皮、导轨等正常时不带电而事故时可能带电的所有金属部位均应可靠接地（接零），接地电阻小于1Ω。

1）起重机机身的金属结构一般是通过车轮与导轨的接触接地，必要时应另设接地滑线与电刷接触。

2）接地线连接一般用150mm^{2}的扁钢或10mm^{2}的铜线，用焊接法连接，应符合标准GB 50169—2006和GB 50256—1996的要求。

3）严禁用接地线作为工作零线。

4）由交流电网经整流供电的起重电磁铁，其外壳与起重机之间必须有可靠的电气连接。

5）悬挂式控制按钮站的金属外壳与起重机之间必须有可靠的电气连接。

三、电动起重机械的机械安全装置

电动起重机械应按表11-3设置安全防护装置，并在运行中及时检查、维护，保证其正常的安全防护性能，否则应更换或修理。

（1）超负荷限制器

1）超负荷限制器的综合误差，不应大于8%。

2）当负荷达到额定起重负荷的90%时，应能发出提示性的报警电信号。

3）超载限制器应能进行调整或标定，当负荷超过额定起重负荷时，能自动切断起升或变幅机构的电源，并发出禁止性报警的电信号。

（2）力矩限制器　力矩限制器的综合误差不应大于8%；力矩限制器应能进行调节或标定，当负荷的力矩达到额定起重力矩时，能自动切断起升或变幅机构的动力电源，发出禁止性的报警电信号。

（3）上升极限位置限制器可保证吊具起升到极限位置，自动切断起升装置的电源。对于液压起升机构，宜给出禁止性的报警电信号。

（4）下降极限位置限制器，在吊具可能低于下极限位置的工作条件下，应保证吊具下降到下极限位置时，能自动切断下降的动力电源，以保证钢丝绳在卷筒上的缠绕不少于设计所规定的圈数。

（5）运行极限位置限制器，应保证机构在其运动的极限位置时，自动切断前进的动力电源并停止运动。

（6）偏斜调整和显示装置，应保证当大跨度的门式起重机和装卸桥两端支腿因前进速度不同而发生偏斜时，能将偏斜情况向司机指示出来，偏斜能得到调整。

（7）幅度指示器应能保证具有变幅机构的起重机可正确指示吊具所在的幅度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 11-3　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		见本节三、(4)			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；由司机室登上桥梁的舱口门与小车运行机构之间；设在运动部分的司机室在进入司机室的通道口与小车运行机构之间					应装	设在运动部分的司机室在进入司机室的通道口与小车运行机构之间	
9	水平仪									

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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						
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	具有司机室的			应装	司机室设于运动部分的
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	在司机室对面靠近滑线一端				
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	见本节三、(22)				
23	倒退报警装置						
24	暴露的活动零部件的防护罩	宜装	见本节三、(24)	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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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	起重量大于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								
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								

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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25t·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				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（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
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	司机室在上部并且设在运动部分的	宜装	司机室设于运动部分的				
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		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（8）联锁保护装置

1）动臂的支持停止器与动臂变幅机构之间，应设置联锁保护装置，使停止器在撤去支承作用前，变幅机构不能启动。

2）进入起重机的舱门和司机登上桥架的舱口门，应设联锁保护装置。当门打开时，起重机的运行机构不能启动。

3）司机室设在运动部件上时，进入司机室的通道口，应设联锁保护装置。当通道口的门打开时，运行机构不能启动。

（9）设置水平仪，具有检查打支腿的起重机斜度的良好性能。

（10）防止吊臂后倾装置，应保证变幅机构的行程开关失灵时，能阻止吊臂后倾。

（11）极限力矩限制装置，应保证当旋转阻力矩大于设计规定的力矩时，能发生滑动而起保护作用。

（12）缓冲器，应具有吸收运动机构自由落体或速度很快时的动量而减少冲击的良好性能和作用。

（13）夹轨钳和锚定装置或铁鞋，对于在轨道上露天工作的起重机，其夹轨钳及锚定装置或铁靴应能各自独立承受非工作状态下的最大风力，而不致被吹动。

（14）风级风速报警器，应保证在露天工作的起重机，当风力大于六级时能发出报警电信号并有瞬时风速风级的显示装置。在沿海工作的起重机，可定为风力大于七级时能发出报警电信号。

（15）支腿回缩锁定装置，应保证工作时打支腿的流动式起重机，当支腿回缩后能可靠锁定。

（16）回转定位装置，应保证流动式起重机在整体行驶时，使装置保持在固定位置。

（17）登机信号按钮，应装于起重机上易于安全触及的位置。

（18）防倾翻安全钩，应保证在主梁一侧落钩的单主梁起重机，当小车检修时不能倾翻。

（19）检修吊笼，用于高空中导轨滑线的检修，其可靠性应不低于司机室。

（20）扫轨板和支承架，扫轨板距轨面不应大于 10mm，支承架距轨面不应大于 20mm；两者合为一体时，距轨面不应大于 10mm。

（21）轨道端部止挡，应具有防止起重机脱轨的良好性能。

（22）导轨滑线防护板

1）桥式起重机司机室位于大车滑线端时，通向起重机的梯子和行走平台与滑线间应设置防护板。

2）桥式起重机大车滑线端的端梁下，应设置防护板，以防止吊具或钢丝绳与滑线的意外接触。

3）桥式起重机多层布置时，下层起重机的滑线应沿全长设置防护板。

4）其他使用滑线的起重机，对易发生触电的部位应设置防护装置。

（23）倒退报警装置应使流动式起重机向倒退方向运行时，应发出清晰的报警音响信号和闪烁相间的灯光信号。

（24）起重机上外露的、有伤人可能的活动零部件，如开启式齿轮、联轴器、传动轴、链轮、链条、传动带、皮带轮等，均应设置防护罩。

（25）露天工作的起重机，其电气设备应装置防雨罩。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四节　电动起重机械运行维护

一、电动起重机械运行注意事项

电动起重机械一般由机械及钢结构部分和电动机、制动电磁铁、控制系统、保护系统及电源滑线等电气部分组成，因其工作的特殊性（频繁操作、环境恶劣等），对电气系统有着极高的电气控制功能要求和电气安全要求。电动起重机械的安装及验收应符合施工及验收规范的要求，标准号 GB 50256—1996、GB 50278—2010。

电动起重机基本上应遵守前述章节中有关电动机、控制装置及电源装置的规定，另外，还有以下内容。

（1）电动起重机械的司机，必须经过专门训练和考核，掌握机械及电气基本知识，熟悉电动起重机械的构造及工作原理，熟悉安全防护装置的构造性能，熟悉安全操作规程及维护保养规程，并能进行一般性的维修和故障处理。

（2）开车前的检查

1）轨道上有无障碍物。

2）轨道是否平直、轨距是否符合要求。

3）三相电压是否平衡。

4）电源总闸合闸后，应用验电笔检查金属结构部分是否漏电。

5）检查钢丝绳的磨损情况。

6）空载起动起重机，检查大车、小车、大钩、小钩的传动装置及电气控制是否正常，制动是否灵敏，传动部分是否正常，有无异常声响，信号、报警是否正常等。

7）机身的接地是否良好。

（3）运行操作安全规则

1）司机必须得到指挥信号后才能进行起动操作，操作前必须鸣铃示意；运行中的升、降、换向等操作，必须服从指挥信号。

2）起重量及运行速度必须严格按制造厂规定，严禁超载超速。

3）非载人的起重机械不得载人。

4）操作控制器时，应先从零位转动到第一级，然后逐级增减速度，禁止越级强行操作。

5）换向时，必须先将控制器的手轮逐级回到零位，待机械运动停止后再转向另一个方向。

6）吊钩起吊的最高高度，应距吊臂顶部或小车 1m 以上。

7）起重机大车的行走，禁止开行到距轨道端部 1m 以内的地方；严禁使用极限开关停车。

8）夜间作业必须有足够的照明。

9）起重机停止作业时，不得将起吊重物悬挂在空中。

10）司机应注意被吊物件与钢丝索绑扎是否牢固，当起吊距地 0.1m 后应停止上升，待无误后才能继续起吊。不允许斜拉或斜吊。

11）司机室内不准他人进入，不准存放他物；司机作业时必须集中精力，不得从事其他事宜。

12）作业发生意外或故障时，应紧急停车，并设法放下重物，然后处理故障。故障处理后，必须经有关人员确认无误后，才能重新操作运行；作业时，不准调整或修理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）作业完毕后的安全规则及管理

1）每班作业完毕，应将车身停至导轨中间位置，上紧夹轨钳，吊钩开至离起重臂或小车2m处；小车应停至非电源侧导轨处，室内天车应将车身停至两柱之间的导轨上；塔吊应将起重臂转至与导轨平行的方向上。

2）所有控制器的手轮应指向零位，并切断总电源开关。

3）检查司机室内有无不妥，将司机室的门窗关好，锁好。

4）室外起重机在大风或大风雷雨季节，须用四根缆风绳张拉机身与地面地锚固定。

5）司机室不得存放易燃品；消防工具要放在易取之处；四氯化碳灭火器应放在司机室内或室外的平台上。

6）电动起重机械须有管理制度及操作规程，应有其机械及电气的有关的图样资料，应有维护保养、检修及巡视检查计划及记录，司机及维修人员必须经过严格考核并定期培训。

二、电动起重机械的巡视检查

（1）巡视检查的周期　正在使用的电动起重机械应每班进行一次；间隔日期使用的应在使用前彻底检查一次，并每年综合检查一次。

（2）巡视检查的项目内容

1）电动机、控制系统及电源应按前述章节中有关电动机、控制系统及电源巡视检查的项目内容进行。

2）检查钢结构架及导轨是否带电（一般用试电笔测试）。

3）检查导轨上有无障碍物，检查车轮有否被卡。

4）检查各减速机的油量并观察是否变质。

5）检查各连接处的螺栓有无松动。

6）检查导轨是否平直，枕木、石子是否捣实，道钉是否紧密牢固。

7）检查安全保护装置是否灵敏、可靠。

8）检查制动装置是否灵敏可靠。

9）各润滑部位的油环、油嘴是否按规定加油。

10）电缆有无破损或碰伤。

11）清除机身下部和各传动部位的灰尘、污垢、油渍。

12）各部位声响是否正常，温度是否正常，传动部位有无卡阻。

13）司机室及电气设备应清洁卫生，散热良好，门锁齐全。

14）系统有无其他不妥。

（3）检修的周期　小修一般为4～6个月，中修一般为一年一次，大修则根据钢结构架的状况进行，一般3～5年。

（4）小修的项目内容

1）校验轨距及导轨坡度，轨距的误差为±3mm；纵向坡度1/1000以下；横向两轨高差±4mm。

2）检查道钉和鱼尾板螺栓是否松动和短缺，并紧固配全。

3）校验枕木的间距。

4）导轨接地是否良好并摇测接地电阻。

5）钢结构架的铆钉有无松动，焊缝有无裂纹并修复。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6）钢结构架的螺栓有无松动或短缺，并拧紧补齐。

7）钢结构架杆件有无弯曲、扭曲现象，并应修复。

8）清除构架上的油渍、污垢，并补漆。

9）更换各机构、减速箱的润滑油。

10）紧固卷扬机或主机的底座、减速箱外壳及其他各部位的连接螺栓，并校正设备的位置或轴线。

11）调整制动机构的间隙、转动机构支持滚轮的间隙。

12）紧固并校正各部位的螺钉，检查开口销子是否短缺。

13）检查钢丝绳及断丝、防锈情况，并按钢丝绳报废标准处理，必要时更换钢丝绳。

14）清除整油污、灰尘、污垢等。

15）电气部分的小修内容参阅前述章节中的有关内容。

（5）中修的项目内容

1）巡视检查及小修的项目内容。

2）修复松动的铆钉，补焊开裂的焊缝。

3）调直校正变形扭弯的金属杆件；加固或更换疲劳过程及严重变形的金属杆件。

4）配齐短缺的拉杆、斜杆、平台栏杆、梯子支承、防护圈、连接销、连接螺栓等零件。

5）钢结构架全部油漆防腐。

6）减速箱清洗换油，更换磨损的油封及坏轴承、挡圈、油杯等零件。

7）检查并调整传动齿轮的啮合间隙。

8）配齐联轴器的皮圈、弹簧、顶丝、键等零件，调整轴向和径向间隙。

9）修复各轴承。

10）检修超负荷保护装置。

11）配齐行走轮的挡板、轴套、油环等零件，补焊磨损的轮缘。

12）整理除尘除垢，并刷漆。

13）检修电机及电气线路元件。

三、电动起重机械的检修试验

（1）大修的项目内容

1）小修、中修的内容。

2）更换钢丝绳。

3）更换或修复行走轮。

4）更换或修复减速箱总成。

5）更换或修复各轴和联轴器。

6）更换或修复制动器总成。

7）更换或修复卷扬机总成。

8）更换或修复电气元件、换导线，修理母线，大修电动机。

9）金属构件的调直更换。

10）整机除垢并油漆。

（2）起重机的试验　试验一般在大修后进行，出现事故的起重机修复后也应进行必要的试验和调试。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）试验前的检查。

① 电气系统、安全联锁装置、制动器、控制器、照明和信号系统等应符合要求，其动作灵敏、准确、可靠。

② 钢丝绳端的固定及其在吊钩、取物装置、滑轮组和卷筒上的缠绕应正确可靠。

③ 各润滑点和减速机所加的油脂的性能、规格和数量应符合设备技术文件的规定。

④ 盘动各运动机构的制动轮，均应使转动系统中最后一根轴（车轮轴、卷筒轴、立柱方轴、加料杆等）旋转一周不应有阻滞现象。

⑤ 系统各个部位、机械机构、电源、导轨等有无其他不妥等。

2）无负荷试验。

① 将电动机与减速箱的联轴器拆开，起动电动机，空负荷调速运转正常，并检查电气控制系统和保护系统（用手人为触动保护装置模拟动作信号）动作应正常；操纵机构的操作方向应与起重机各机构的运转方向相符。

② 装好联轴器，分别开动各机构电动机，其运转应正常，大车小车运行时不应卡轨；各制动器能准确及时动作，各限位开关及安全装置动作准确可靠。

③ 吊钩下放到最低位置时，卷筒上钢丝绳的圈数不应少于3圈（固定圈除外）。

④ 有旋转机构或变幅机构的应进行左右转360°的试验或进行起落吊臂的试验，应正常。

⑤ 行走、提升、旋转、抓斗同时运行动作的综合性试验应正常。

⑥ 用电缆作滑线时，其收放电缆的速度与相应的机构的速度相协调，并应满足工作极限位置的要求。

⑦ 通用门式起重机和装卸桥的夹轨、制动器、防风抗滑的锚定装置和大车防偏斜运行装置的动作应准确可靠；起重机的防碰撞装置、缓冲器等装置应能可靠动作。

⑧ 各项试验的次数一般不得少于5次，且动作应准确无误可靠安全。

3）静负荷试验。静负荷试验室内应将起重机停在厂房柱子处，室外可将起重机停在导轨的中间部位；有多个起升机构的起重机，应先对各起升机构分别进行静负荷试验；对有要求的，再作起升机构联合起吊的静负荷试验；其起升重量应符合设备技术文件的规定。

① 先开动起升机构，进行空负荷升降操作，并使小车在全行程上往返运行三次，应无异常现象。

② 将小车停在桥式类型起重机的跨中或悬臂起重机的最大有效悬臂处，逐渐的按1/4负荷、1/2负荷、3/4负荷作起升试运转，直到额定负荷，使小车在桥架或悬臂全行程上往返运行数次（不少于5次），各部位应无异常现象，卸去负荷后桥架结构应无异常现象。

③ 将小车停在桥式类型起重机的跨中或悬臂起重机的最大有效悬臂处，无冲击地起升额定负荷的1.25倍负荷，在离地面高度为100～200mm处，悬吊停留时间不小于10min，并应无失稳现象。然后卸去负荷将小车开到跨端或支腿处，检查起重机桥架金属结构，且应无裂纹、焊缝开裂、油漆脱落及其他影响安全的损坏或松动等缺陷。

④ 第③项试验不得超过三次，第三次应无永久变形。测量主梁的实际上拱度或悬臂的上翘度，其中，通用桥式起重机、冶金起重机、通风式起重机和装卸桥的上拱度应大于$0.7S/1000$mm；悬臂起重机的上翘度应大于$0.7L_0/350$mm。其中，S为起重机跨度，L_0为悬臂最大有效长度。

⑤ 检查起重机的静刚度（主梁或悬臂下挠度）时，应将小车开至桥架跨中或悬臂最大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有效处，起升额定负荷离地面 200mm，待起重机及负荷静止后，测出其上拱值或上翘值，此值与第④项结果之差即为起重机的静刚度。起重机的静刚度允许值应符合起重机设备技术文件或表 11-4 的规定。

表 11-4　起重机桥架、悬臂梁额定载荷下的下挠度

项次	起　重　机　类　别		下挠度不应超过
1	通用桥式起重机		$L/700$
2	龙门起重机、装卸桥	主梁	$\frac{L}{1000}$
		悬臂	$\frac{L_0}{350}$
3	冶金起重机		$\frac{L}{1000}$
4	电动单梁起重机，电动单梁悬挂起重机		$\frac{L}{600}$
5	手动单、双梁起重机		$\frac{L}{400}$
6	壁行式悬臂起重机		$\frac{3L_0}{1000}$

注：L—跨度（mm）；L_0—悬臂长度（mm）。

4）动负荷试验。

① 各机构的动负荷试运转应分别进行。当有联合动作试运转要求时，应按设备技术文件的规定进行。

② 各机构的动负荷试运转应在全行程上进行，起重量应为额定起重量的 1.1 倍；累计起动及运行时间，对电动的起重机不应少于 1h；对于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准确可靠。

③ 通用门式起重机大车运行时，载荷应在跨中。

④ 对有安全过负荷保护装置的冶金起重机，经动负荷试运转合格后，应按设备技术文件的规定，进行安全过负荷保护装置的试验，其性能应安全可靠。

⑤ 脱锭起重机顶出机构的顶出力，可用应力应变仪或液压装置测量，顶出力的大小应符合设备技术文件的规定。

⑥ 抓斗应作张开、下降、抓取和倒空动作的试验，并应在连续二次空负荷和五次负荷试验中均应工作正常且无异常现象。其他专用吊具和电磁盘，均应按设备技术文件要求进行试运转。

⑦ 对整机抗倾覆稳定性有要求的起重机，应按设备技术文件的要求进行试验；当无具体要求时，应按国家现行标准 GB/T 5905—2011《起重机　试验规范和程序》的有关规定进行试验。

⑧ 上述试验完毕后，应进行额定负载下的大车全行程、小车全行程以及提升上下反复的联动试验，其电气设备及线路、机械传动装置、安全保护装置及整机应无异常现象，动作正确安全可靠。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十二章　电梯的维护保养及运行

电梯是一种特殊的电气机械装置，是机电一体且不可分割的。电梯最重要的就是安全，维修电工和维修钳工是保证电梯安全运行的最重要的技术力量。一般的条件下，对电梯做到正常的巡视检查、维护保养，做到防微杜渐、防患未然，是完全可以做到安全运行的。也就是说，不要等到出了事故或故障才去修理，那时候什么也晚了。而是在日常的巡检工作中，把很小细微的毛病处理掉，永远不让它成为故障或事故。本章讲述电梯的安全要求、管理制度、安全运行条件、安全装置试验、巡视检查和电梯的检修等内容。

电梯的电气线路较为复杂，有继电器控制的、有 PC 控制的、也有电脑控制的，有直流的，也有交流的，限于篇幅的关系，我们没有列出其电路图。只要按照本章的内容对电梯进行维护保养，电梯就会安全运行的。

第一节　电梯的安全装置及维护

电梯的安全装置包括电气的、机械的和建筑物本身的（如井道的垂直度及强度等），因此，电气安全装置包括四个方面的内容。

一、电梯的安全要求

1. 电梯对电气系统的安全要求

电梯是一种特殊的电气装置，除应按一般的电气安全要求执行外，还有一些电梯本身对电气系统的安全要求。电梯的安装应满足国家标准的要求，标准号：GB 50182—2004、GB/T 10060—2011。

（1）对主电源开关的要求　机房内每台电梯应单独设立主电源开关并便于识别，主电源开关的容量可切断电梯正常使用情况下的最大电流。但主电源开关不应切断以下供电电源：轿厢照明和通风的电源；轿顶电源插座的电源；机房和隔离层照明的电源；机房内电源插座的电源；电梯井道照明的电源；报警装置及信号的电源。

上述六个电源通常只设一单相照明开关作为供电总开关。

（2）主电源的操作机构，应能从机房入口处方便迅速的操作。

（3）控制屏的安装应符合标准的要求，与其他设施应有 600mm 以上的间距。

（4）动力线路和控制线路应隔离敷设，微电信号及电子线路应按产品要求隔离敷设。

1）机房和井道内电缆敷设应用金属管路、电线槽、金属软管保护，或使用相应强度、阻燃性材质的管、槽、软管保护。

2）电线的敷设应符合下列要求：

① 出入管、槽的导线，应有专用护口或其他相应的保护措施。

② 金属线槽弯角导线受力处，应垫绝缘衬加以保护，垂直敷设段应可靠固定。

③ 电线保护外皮应完整进入开关和设备的壳体内。

（5）金属线槽的安装应符合下列要求：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）敷设于槽内导线总截面（包括外护层）不得超过线槽净截面的60%。

2）槽内壁应平直、光滑、出线口处无毛刺。

3）安装排列整齐、接口平直、接板严密、槽盖完好、固定牢靠，槽内无积水、污垢。

（6）使用金属管路敷设导线时，导线的总截面积（包括外护层）不得超过电线管净截面的40%；管路的敷设应符合GB 50303—2002的规定。

（7）金属软管的安装应符合下列要求：

1）金属软管不得损伤和松散。

2）安装牢固，固定点均匀，直边固定点间距不大于1m，拐弯处两端固定，弯曲半径不小于外径的4倍。

3）金属软管与箱、盒设备连接处应用专用的接头。

（8）接线箱、盒应安装平、正、牢固。

（9）电气设备的金属外壳，应有良好的接地，同时应保证：

1）电气设备、柜、箱、盒、槽、管应设有易于识别的接地端子。

2）接地线的颜色为黄绿双色绝缘导线。

3）工作零线和保护零线（接地线）应始终分开，并有明显的标志。

（10）导体之间、导体对地之间的绝缘电阻应大于1000Ω/V，并且其值不得小于：

1）动力电路、电气安全装置电路：0.1MΩ。

2）其他电路（控制、照明、信号）：0.5MΩ。

（11）机房、轿厢顶、底坑应设有停止电梯运行的非自动复位的红色急停按钮或开关。

（12）电梯电缆支架的安装应符合下列要求：

1）应避免随行电缆与限速器钢丝绳、选层器钢带、限位及极限开关、井道传感器、对重等装置交叉及碰撞。

2）应保证随行电缆在运行中不得与电缆槽、管发生卡阻。

3）轿底电缆支架应与井道电缆支架平行或有500mm以上的距离，并使电缆处于井道底部时，能避开缓冲器并保持一定的距离。

（13）电缆安装应符合以下要求：

1）随行电缆两端应可靠固定。

2）电缆敷设长度应使轿厢压缩缓冲器后，不得与底坑地面和轿厢底边框相接触并有一定的余量，且任何时候不得撑紧受力。

3）随行电缆不应有打结和波浪扭曲现象。

（14）轿顶导线应敷设在被固定的金属线槽、电线管内。

（15）各种安全保护开关应可靠固定，但不得使用电焊固定。安装后不得因电梯正常运行时的碰撞及钢丝绳、钢带、皮带的正常摆动而使其产生位移、损坏和误动作。

（16）层站指示信号及按钮安装位置应正确，指示信号清晰明亮，按钮动作正确无误，消防开关工作可靠。

（17）电梯应有错相、断相、欠电压、过电流、弱磁、超速、超重、极限限位、制动、层门锁与轿门电气联锁、自动报警等保护装置，以及与外界联系的通信设备和停电或电气系统发生故障时应有轿厢慢速移动的措施，高级的电梯还应有自备电源和闭路电视监控系统以及微机管理控制系统，以保证电梯的全方位安全运行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 电梯对机械系统及土建设施安全要求

电梯作为一种特殊的机械装置，除应按常规的机械安全要求执行外，还有一些电梯本身对机械系统的要求。电梯的安装应满足国家标准的要求，标准号：GB 7588—2003 和 GB/T 10060—2011。电梯的机械部分装置主要包括机房设施、井道设施及轿厢设施。

（1）机房内钢丝绳与楼板孔洞每边间隙均应为 20～40mm；通向井道的孔洞四周应筑有高 50mm 以上、宽度适当的水泥台阶。

（2）曳引机应满足以下要求：

1）曳引机的承重梁埋入承重墙内时，其支承长度应超过墙厚中心 20mm，且支持长度不应小于 75mm。

2）对不设减震装置的曳引机机座水平度应不大于 2‰，曳引轮偏差：在前后（向着对重）方向不应超过 ±2mm；左右方向不应超过 ±1mm。曳引机通常不作解体检查和试验。

3）曳引轮、导向轮、复绕轮垂直度不大于 0.5mm，且曳引轮与导向轮或复绕轮的平行度不大于 ±1mm。

4）曳引电动机及其风扇应工作正常；轴承应用规定的润滑油。

5）制动器动作灵活可靠，销轴润滑良好；制动器闸瓦与制动轮工作表面清洁；制动器制动时，两侧闸瓦应紧密、均匀地贴在制动轮工作面上；松闸时两侧闸瓦应同时离开，其间隙不大于 0.7mm。

（3）限速器与选层器应满足以下要求：

1）限速器绳轮、选层器钢带轮垂直度不大于 0.5mm。

2）限速器钢丝绳在正常运行时不应触及夹绳钳；安全钳开关动作可靠，活动部分润滑良好。限速器钢丝绳、选层器钢带应张紧，不得与轿厢或对重相接触。

3）选层器齿轮运转正常，活动部位润滑良好，选层器活动托板运行正常。

（4）导轨应满足以下要求：

1）每根导轨至少应有两个导轨支架，其间距不大于 2.5m；导轨支架水平度偏差不大于 5mm；导轨支架或其他地脚螺栓的埋入深度不应小于 120mm，如采用焊接支架，其焊缝应是连续的且为双面焊牢。

2）当电梯蹲底或撞顶时，导靴不应越出导轨。

3）每根导轨侧工作面对安装基准线的偏差，每 5m 不应超过 0.7mm，相互偏差在整个高度上不应超过 1mm。

4）导轨接头处允许台阶不大于 0.05mm；如果超过 0.05mm 则应修平；其导轨接头处的修光长度见表 12-1。

表 12-1 导轨接头处修光长度

电梯类别	甲	乙、丙
修光长度/mm	300	200

5）导轨工作面接头处不应有连续缝隙，且局部缝隙不大于 0.5mm。

6）两导轨间距离的偏差见表 12-2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 12-2　两导轨间距离偏差

电梯类别	甲		乙、丙	
导轨用途	轿厢导轨	对重导轨	轿厢导轨	对重导轨
偏差不应超过/mm	±0.5	±1	±1	±2

7）导轨应用压板固定在导轨架上，不应采用焊接或螺栓连接。

8）两根轿厢导轨接头不应在同一水平面上，并且两根轿厢导轨下端应安装在 60mm 高的水泥底座的积油槽内。

（5）对重装置应满足下列要求：

1）对重块应可靠紧固，其反绳轮应有挡绳和润滑装置。

2）固定式对重导靴与导轨顶面间隙之和为（2.5±1.5）mm，固定式对重导靴与角型导轨顶面间隙之和为（4±2）mm。

（6）轿厢应满足以下要求：

1）轿厢顶反绳轮应有保护罩和挡绳装置，并保证润滑。反绳轮垂直度偏差不大于 0.5mm。

2）轿厢顶防护栏杆应安装牢固。

3）曳引绳头组合应安全可靠，并使每根曳引绳受力相近，其偏差不大于 5%，且每个绳头均应装有销钉。

4）曳引钢丝绳应符合国家现行标准的规定。

5）轿厢超载装置和称重装置应动作灵敏、准确可靠、无卡阻现象。

6）轿厢底盘平面的水平度不应超过 2/1000。

7）轿厢固定式导靴与导轨顶面间隙之和为（2.5±1.5）mm。

8）轿厢架立柱在整个高度上垂直度不应超过 1.5mm。

9）轿厢上安装的限位开关碰铁，垂直度不应超过 1/1000，最大偏差不大于 3mm。

（7）层门应满足下列要求：

1）层门地坎应有足够的强度，水平度不大于 1/1000，地坎应高出装修地面 2～5mm；层门框架固定牢固，立柱、门套垂直度和横梁水平度不大于 1/1000；层门地坎至轿门地坎距离偏差为 $^{+3}_{0}$mm；层门导轨与地坎槽相对应，在导轨两端和中间三处的偏差均不大于 ±1mm。

2）层门门扇与门扇、门扇与门套、门扇下端与地坎的间隙：

① 普通门为 4～8mm。

② 防火门为 4～6mm。

3）层门外观应平整、光洁，无划伤或撞击伤痕，门关闭后上下合拢，其中中分门不大于 2mm；双折中分门不大于 3mm；防火门、垂直滑动门按制造厂技术要求。

4）层门自动关闭装置工作可靠，层门导轨、吊门滚轮应运行轻快平稳。

5）层门锁钩、锁臂及动接点动作灵活，在电气安全装置动作之前，锁紧元件的最小啮合长度为 7mm；关门时无撞击声，接触良好。

6）门刀与层门地坎、门锁滚轮与轿厢地坎的间隙应保证在 5～8mm。

7）层门手动开锁装置应灵活可靠。

（8）底坑设施应满足下列要求：

1）轿厢、对重装置的撞板与缓冲器顶面间的距离，液压缓冲器为 150～400mm，弹簧

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

缓冲器为 200 ~ 350mm。

2）轿厢、对重装置的撞板中心与缓冲器中心的偏差应不大于 20mm。

3）同一基础平面上的两个缓冲器顶部高差应不大于 2mm。

4）液压缓冲器柱塞垂直度偏差不大于 ±0.5mm。

5）同一井道装有多台电梯时，在井道的下部，不同的电梯运动部件（轿厢或对重装置）之间应设护栅，高度从轿厢或对重行程最低点延伸到坑地面以上 2.5m，如果运动部件间水平距离小于 0.3m，则护栅应贯穿整个井道。

6）限速器钢绳至导轨的距离的偏差不得超过 ±5mm。

7）补偿绳张紧装置的两根导轨间的距离（M）的偏差为 $^{+2}_{0}$mm；导靴与导轨端面的间隙（e）为 1 ~ 2mm，导轨全高垂直度不超过 1mm；补偿绳张紧装置坨框至地面槽钢的距离应按制造厂技术要求进行安装。

（9）电梯应有以下机械安全保护装置：

①限速器；②安全钳；③缓冲器；④安全窗；⑤电气系统发生故障时应有轿厢慢速移动的机械装置。

3. 电梯安全保护装置的技术要求

（1）电梯的各种安全保护开关必须可靠固定，不得采用焊接固定；安装后，不得因电梯正常运行时的碰撞和钢绳、钢带、皮带的正常摆动使开关产生位移、损坏和误动作。

（2）与机械相配合的各安全保护开关，在下列情况应可靠断开，并使电梯不能起动或立即停止运行：

1）选层器钢带（钢绳、链条）张紧轮下落大于 50mm 时。

2）限速器配重轮下落大于 50mm 时。

3）限速器速度接近其动作速度的 95% 时；对额定速度 1m/s 及以下电梯最迟可在限速器达到其动作速度时。

4）安全钳拉杆动作时。

5）任一曳引绳断开时。

6）电梯载重量超过额定载重量的 10% 时。

7）在一厅门或轿门未关闭或未锁紧时。

8）安全窗开启时。

9）液压缓冲器被压缩时。

（3）电气系统中的安全保护装置应经常进行下列检查：

1）错相、断相、欠电压、过电流、弱磁、超速、分速度等保护装置应按产品要求检验调整。

2）开门、关门及运行方向接触器的机械或电气联锁应动作灵活可靠。

3）急停、检修、程序转换等按钮或开关，动作应灵活可靠。

（4）极限、限位、缓速开关的碰轮和碰铁的安装应符合下列规定：

1）碰铁应无扭曲变形，开关碰轮动作灵活。

2）碰铁安装应垂直，允许偏差 1‰，全长不应大于 3mm。碰铁斜面除外。

3）开关、碰铁应安装牢固。在开关动作区间，碰轮与碰铁应可靠接触，碰轮边距碰铁边不应小于 5mm。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）碰轮与碰铁接触后，开关接点应可靠断开，碰轮沿碰铁全长移动不得有阻卡，且碰轮应略有压缩余量。

5）强迫缓速开关的安装位置应按产品设计要求安装。

极限、限位、缓速开关的碰轮和碰铁的安装示意见图 12-1。

（5）交流电梯极限开关的安装应符合下列规定：

1）钢丝应横平竖直，导向轮不应超过 2 个。轮槽应对成一条线，且轮动灵活。导向轮架加装延长杆时，延长杆应有足够的强度。

2）上、下极限碰轮应与牵动钢绳可靠固定。

3）牵动钢绳应沿开关断开方向在闸轮上复绕不少于 2 圈，且不得重叠。

4）安装后应连续试验 5 次，均应动作灵活可靠。运行的电梯应至少每月检查试验三次，均应动作灵活可靠。

极限开关安装示意见图 12-2。

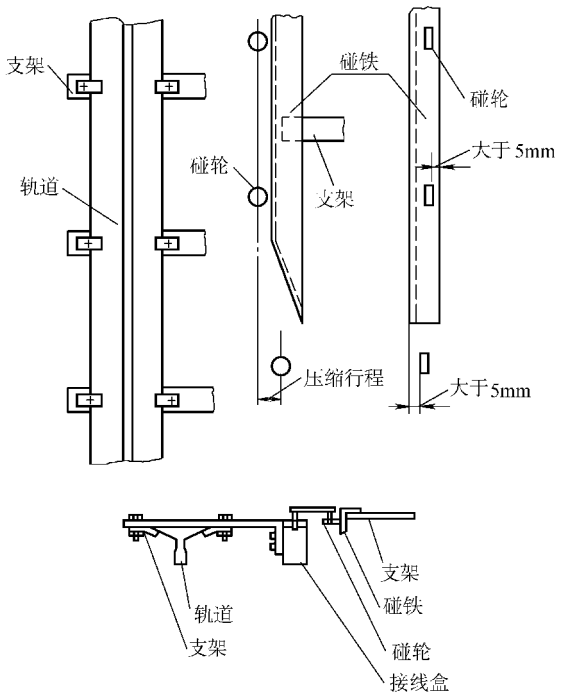


图12-1　极限、限位、缓速开关碰轮和碰铁安装示意图

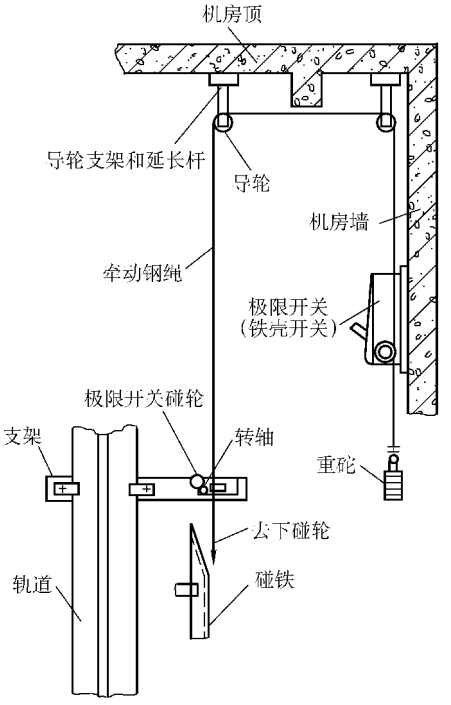


图 12-2　极限开关安装示意图

（6）极限和限位开关的安装位置应符合设计要求，当无设计规定时，碰铁应在轿厢地槛超越上、下端站地槛 50～200mm 范围内安装。接触碰轮后，能使开关迅速断开，且在缓冲器被压缩期间开关始终保持断开状态。

（7）轿厢自动门的安全触板应灵活可靠，其动作的碰撞力不应大于 5N。光电及其他形式的防护装置的功能必须可靠。

二、电梯安全运行的管理制度

电梯的管理部门应建立以下管理制度，以保证电梯的正常使用，同时应有监督部门对管理制度的实施进行监督和考核，这样管理制度才能与安全运行配套。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）电梯司机、维修人员、管理人员的技术、安全培训及考核制度。

（2）交接班制度及值班记录、巡视检查记录汇总制度。

（3）司机应对电梯运行情况、异常现象、巡视检查情况、故障情况做好记录，必要时应填写申请检修报告。

（4）维修人员应做好日常维护保养记录，事故处理或故障修复记录（事故现象、检修部位、更换部件、修理情况、有无变动线路等）。

（5）制定操作规程、司机工作守则、维修人员检修保养责任制、乘客公约、文明守则等。

（6）开机、停机、检修的安全操作规程及安全注意事项。

（7）机房管理检查制度、井道管理检查制度、轿厢管理检查制度、底坑管理检查制度等。

（8）电梯维修保养计划，见表12-3，仅供参考。

表12-3 电梯维修周期计划表

维修周期	维修内容
每 周	对主要安全装置、主机油位和各部润滑情况进行检查，并进行注油、补油及清扫工作，勿使各种机件堆积尘土及油污
每 月	对电梯各种安全装置进行检查。对电气控制系统进行检查，各种接触器、继电器、熔断器、电阻、插件、PC、变频器、可编程序控制器等元件的工作情况，各接线端子接触是否良好
每 季	对重要的机械部件和电气设备进行较详细的检查与调整组织有关人员进行技术检验
每 年	详细检查机械安全装置、电气设备和主要部件磨损情况，必要时进行更换
每3～5年	进行一次全面的拆卸清洗检修工作，并根据电梯使用的频繁程度确定大修

（9）电梯技术资料管理制度及电梯设备档案的建立。

（10）备品备件管理制度。

（11）安全保护装置的维护保养、检修、调整试验等记录。

（12）电梯司机、维修人员奖惩制度等。

三、电梯安全运行的条件

（1）根据投资情况和建筑物的环境条件，合理选择电梯的机型是保证电梯安全运行的首要条件。

（2）电梯制造质量及可靠性、安全性是保证电梯安全运行的先决条件，这里要注意电梯制造商的信誉、资质及其服务条件等，以免出现先天不足。

（3）电梯供电系统、井道土建工程、机房及其厅门的设计是保证电梯安全运行的重要条件之一，这里要注意土建工程设计是不容忽视的。

（4）电梯安装及调试单位的资质、信誉、服务条件及其作业人员的技术水平、职业道德是保证电梯安全运行的最重要的条件。电梯安装调试的全过程中，应委托监理或有实际经验的人或维修电工监督安装的全过程，这是保证安装及调试质量的最有效、最可靠的办法。

（5）电梯交付使用后的管理是保证电梯安全运行的重要条件之一，如专人管理、安全操作规程、安全注意事项、备品备件、检查及维修计划的制定实施等。

（6）电梯按周期进行巡视检查、维护保养、检修及小修、中修、大修是保证电梯安全运行最重要的措施，这里要特别指出的是维修运行人员要利用电梯闲置的时间里（如厂休、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

夜间停运时、备用电梯投运等）进行检修，不要等出了故障再去修理，也就是要把故障消灭在萌芽之中。

（7）提高电梯管理、运行、维修人员的技术水平、安全技术、职业道德以及乘管的公共道德、安全意识是保证电梯安全运行的重要条件之一。

综上所述，电梯的安全运行因素是多方面的并且是缺一不可的，同时这些条件又是相互联系而不可分割的，只有这些条件都具备的时候，才是电梯安全运行的时候。

四、电梯安全装置的试验

（1）试验前应按 GB 7588—2003 的要求进行下列检查：

1）检查检修门、安全门及检修活板门的关闭位置。

2）检查轿门的锁闭状况。

3）检查层门的锁闭状况。

4）检查层门的关闭位置。

5）检查无锁闭装置的单扇或多扇门扇的关闭位置。

6）检查轿门的关闭位置。

7）检查轿内安全门和应急活板门的锁闭状况。

8）检查钢丝绳或链条的非正常的相对延伸。

9）检查补偿绳的张紧度。

10）检查防跳装置。

11）检查安全钳的动作。

12）检查限速器的动作。

13）检查限速器的复位。

14）检查限速器绳的张紧度。

15）检查缓冲器的复位。

16）检查轿厢位置传递装置的张紧度（终端限位开关）。

17）曳引驱动电梯的极限开关。

18）检查钢丝绳或链条的松弛情况。

19）检查轿厢位置传递装置的张紧度（减速检查装置）。

20）检查减行程缓冲器的减速情况。

21）主开关的控制。

22）检查平层和再平层。

23）检查轿厢位置传递装置的张紧度（平层和再平层）。

24）检修运行开关。

25）紧急电动运行开关。

26）对接装卸操作。

27）行程限位装置。

28）钥匙操作的安全触点位置。

29）停止装置。

（2）极限开关应在轿厢或对重接触缓冲器之前起作用，并在缓冲器被压缩期间保持其动作状态。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）曳引机的检查

1）平衡系数的检查，平衡系数应为40%～50%。

2）曳引能力的检查，在相当于电梯最严重的制动情况下，停车数次，进行曳引检查，轿厢应完全停止。

3）对重支承在被其压缩的缓冲器上时，空载轿厢不能向上升起。

4）将轿厢停在首层平层位置，陆续平稳地加入载荷；其汽车用电梯应加200%的额定载荷，其他各类电梯应加150%的额定载荷，历时10min，检查各承载构件应无损坏，曳引绳无打滑现象，制动可靠，其游隙见表12-4。

表12-4 蜗轮蜗杆轴向游隙表 （单位：mm）

中 心 距	100～200	>200～300	>300
蜗杆轴向游隙	0.07～0.12	0.10～0.15	0.12～0.17
蜗轮轴向游隙	0.02～0.04	0.02～0.04	0.03～0.05

（4）限速器应运转平稳，动作可靠，铅封完好无损。

（5）安全钳的试验

1）轿厢安全钳。在动态试验过程中，轿厢安全钳动作可靠，使轿厢支承在导轨上。在试验之后，未出现影响电梯正常使用的损坏。

2）对重安全钳。由限速器操纵的对重安全钳，等同轿厢安全钳进行试验，无限速器操纵的对重安全钳，应进行动态试验。

（6）缓冲器的试验

1）液压、弹簧缓冲器载荷试验。在轿厢以额定载荷和额定速度下、对重以轿厢空载和额定速度下分别碰撞缓冲器，缓冲应平稳，部件应无损伤或明显变形。

2）液压缓冲器复位试验。在轿厢空载的情况下进行，以检修速度下降将缓冲器全压缩，从轿厢开始离开缓冲器一瞬间起，直到缓冲器回复到原状止，所需要时间应小于90s。

（7）校验轿内报警装置，其功能可靠。

（8）运行试验

1）轿厢分别以空载、50%的额定载荷和额定载荷并在通电持续率40%情况下，往复升降，各1.5h，电梯应运行平稳，制动可靠。

2）起动、运行和停止时，轿厢应无剧烈振动和冲击，制动器制动可靠，制动器温升不应超过60℃，曳引机减速机油温升不超过60℃，且温度不应超过85℃。

3）起动、制动应平稳迅速，加减速度最大值不大于1.5m/s^2，交流快速电梯平均加、减速度不小于0.5m/s^2。

4）载人电梯、病床电梯的轿厢运行应平稳，水平方向和垂直方向的振动加速度应符合表12-5的规定。

表12-5 电梯振动加速度允许值 （单位：cm/s^2）

项 目	等 级		
	合 格 品	一 等 品	优 等 品
垂直振动加速度	≤25	≤15	≤7
水平振动加速度	≤15	≤10	≤7

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）控制柜、电动机、曳引机工作正常，电流电压实测最大值应符合相应的规定；平衡负载运行试验，上、下方向的电流值应基本相符，差值不超过5%。

（9）超负载试验　电梯在110%的额定负荷、断开超负荷控制电路，通电持续率为40%的情况下，运行0.5h，电梯应能可靠的起动、运行和停止，制动可靠，曳引机工作正常。

（10）额定速度试验　轿厢加入平衡载荷，向下运行至行程中段（除去加速和减速）时速度不应超过额定速度的5%。

（11）平层准确度试验　平层准确度实测量值应符合表12-6的规定。

表12-6　电梯平层准确度标准　（单位：mm）

电梯种类	等级		
	合格品	一等品	优等品
交流双速 $v \leqslant 0.63$m/s	±15	±12	±10
交流双速 $v \leqslant 1.00$m/s	±30	±20	±15
交、直流调速 $v \leqslant 2.50$m/s	±15	±10	±5

（12）噪声试验应符合表12-7的规定。

表12-7　电梯噪声允许值　［单位：dB（A）］

项目	等级		
	合格品	一等品	优等品
机房噪声	≤80	≤75	≤70
运行中轿厢内噪声	≤55	≤52	≤48
开关门过程噪声	≤65	≤60	≤50

（13）可靠性检验为交付使用后的电梯，起动、制动6万次中发生失效或故障的次数应符合表12-8的规定。

表12-8　电梯失效、故障允许值

项目	等级		
	合格品	一等品	优等品
失效（故障）次数	≤5	≤2	≤1

（14）交付使用前，应保证电梯连续运行3000次起动、制动无故障。

第二节　电梯的运行维护

一、电梯的巡视检查

正在使用的电梯应在每班前进行一次巡视检查，间隔日期使用的电梯应在使用前进行一次巡视检查。

（1）轻载开动电梯，并在任意层门呼梯，检查下列项目：

1）呼梯、开门、关门、平层、制动应正常。

2）运行速度无明显变化。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）噪声及振动无明显变化或加重。

4）失重感、舒服感或增减速度感无异常变化。

5）内选正常。

6）信号系统及照明、通信、报警系统正常。

7）有无打火、放电或焦煳气味。

8）安全保护装置有无误动或失灵。

9）轿厢金属部分是否带电。

10）与上次运行有无其他不同或不妥等。

（2）检查机房设备（曳引机、电动机或机组、控制柜、电源及极限开关、选层器、曳引轮及钢丝绳等）是否正常，有无漏油、接触不良、元件损坏、打火放电痕迹或其他不妥。

（3）清除机身下部及传动部位的灰尘、污垢、油渍，并擦拭机房设备，进一步发现有无异常，各部位每小时渗油面积不应大于表 12-9 的规定。

表 12-9 每小时渗油面积

项 目	等 级		
	合 格 品	一 等 品	优 等 品
每小时渗出油迹面积/(cm^2/h)	150	50	0

（4）电动机的电压、电流、起动、变速、制动是否正常，温升是否正常。

（5）轿厢地坎、层门地坎有无异物，门开关是否灵活，否则应清除废屑并在滚轮部位、滑道上撒石墨粉少许（或铅笔末）。

（6）必要时，应站在轿厢顶上打慢车检查井道设施有无不妥；或进入底坑检查随行电缆、底坑设施（配重、导轨、限速度绳轮、缓冲器等）有无不妥。

（7）将电梯电源关掉，在机房内用盘车手轮盘动轿厢，有无异样或不妥，进一步发现故障。

（8）检查轿厢内的消防设施是否齐全，并清扫厢内外，使其卫生整洁。

（9）层门及机房门窗是否完好，有无被撬痕迹。

（10）各润滑部位的油杯、油嘴是否按规定加油等。

（11）其他电气部分的巡视检查，可参照前述章节关于电气巡视检查的内容。

二、电梯的检修

电梯保养的周期一般为一个月，小修的周期一般为 3 ~4 个月；中修的周期一般为 12 个月；大修一般应按电梯运行的状况确定，因电梯为室内设备，大修的周期可为 3 ~5 年，也可放宽到 5 ~8 年。

（1）保养的项目内容

① 对电梯各种安全装置进行检查、试验，必要时应进行调整，有电接点的要检查接点动作的可靠性、灵敏性。

② 检查电气系统的接触器、继电器、开关、熔断器、信号装置、报警装置、各种电气元件、接线端子、插件、PC、变频器、可编程序控制器等工作情况、连接是否可靠，电接点有无烧坏破损等。凡不符合要求的应及时修复或更换。

③ 清除柜、箱、盒、槽内的灰尘、污垢，紧固所有接线端子的螺钉，摇测电气线路和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电气设备的绝缘电阻，应大于0.5MΩ。

④ 检查机械传动部位的零部件有无不妥，并按表12-10的规定清洗或注油。

表12-10　电梯各主要机件、部位检修及清洗润滑周期表

机件名称	部　位	清洗加油时间	油脂型号	
曳引机	油箱	新电梯半年检查一次，一年更换新油。老电梯和使用不频繁电梯适当延长	冬齿轮油HL-20 夏齿轮油HL-30	
曳引机	蜗轮轴的滚动轴承	每月挤加一次 每年清洗一次	钙基润滑脂	
曳引机	制动器销轴	每周加一次	机油	
曳引机制动器	电磁铁可动铁心与铜套间	每月检查。每季加一次	用石墨粉润滑	
曳引机	电动机滚动轴承	每月挤加一次 每季清洗一次	钙基润滑脂	
曳引机	电动机滑动轴承	每周挤加一次 每季更换新油	机油或透平油，恩氏30～45℃	
导向轮、复绕轮、反绳轮	电梯机房、梯井及轿厢、对重架上	每周挤加一次 每年清洗一次	钙基润滑脂	
滑动导靴电梯导轨	导轨工作表面	每周加油一次 每年清洗一次	有自动加油装置者用HJ-40，无自动加油装置者，用钙基润滑脂	
滚轮导靴电梯导轨	导轨工作表面	不应加油		
电梯轿厢	滚轮导靴轴承	每季挤加一次，半年～一年清洗	钙基润滑脂	
电梯开关门装置	吊门滚轮及钩子锁及各滚轮轴承	每月挤加一次，每年清洗一次	钙基润滑脂	
电梯开关门装置	门导轨	每周或每月清洗一次	加少量机油	
电梯开关门装置	自动门直流电机轴承	每季挤加一次，每年清洗一次	钙基润滑脂	
电梯开关门装置	自动开关门传动机构，皮带轴承和活动臂销轴	每周加油一次，每半年清洗一次	钙基润滑脂、机油	
限速器	旋转销轴和涨绳轮	每周加油一次，每年清洗一次	钙基润滑脂	
安全钳	传动连杆	每月加油一次	机械油	
安全钳	楔块滚、滑动部分	每月加油一次	钙基润滑脂	
选层器	滑动拖板导向轨和传动部分	每月加油一次	钙基润滑脂	
油压缓冲器	油室	每月检查和补充油量一次	500kg 750kg 1000kg 1500kg	高速机械油HJ-5 高速机械油HJ-7 机械油HJ-10 机械油HJ-20

（2）小修的项目内容

① 保养的全部项目内容。

② 测量所有部件的绝缘电阻。

③ 对重要的机械部件（曳引机、传动部件、轿厢、对重、底坑设施等）和电气设备（电动机、控制柜、制动器、选层器、随行电缆、井道传感器及行程开关等）进行详细的检查及调整，并组织有关技术人员进行检查验收。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 检验轨距及其垂直度、平行度、接头台阶的修平度，应符合 GB/T 10060—2011 的要求。

⑤ 检查压道板的螺栓并紧固，同时检查导轨架上的其他螺栓并紧固。

⑥ 检查开门机及轿门、厅门开闭运行状态及其联锁系统。

⑦ 检查钢丝绳、曳引轮。

（3）中修的项目内容

① 保养及小修的项目内容。

② 机械安全装置的磨损情况，修理或更换，全面调整试验。

③ 电气安全装置及门系统的磨损情况，修理或更换，全面调整试验。

④ 检修曳引机，包括减速机、机械制动器、电动机、测速发电机、曳引轮、导向轮、复绕轮等，对于磨损较大或不易修复的部件要及时更换。

⑤ 电气系统，包括控制柜、电源装置、电子器件、轿厢操作盘、随行电缆、呼梯及信号系统、井道各传感器及行程开关等，更换元件或检修接点接线等。

⑥ 门及开关门系统，包括轿门、层门、开门刀、门锁等，更换元件并调整。

⑦ 曳引绳，包括对重钢丝绳、限速器钢丝绳。用煤油清洗油污，检查绳头组合螺母紧固及销钉插牢是否正常，当钢丝绳直径小于原直径 90% 或表面有较大磨损及严重腐蚀时应更换曳引绳，当曳引绳断丝超过表 12-11 时也应更换。

表 12-11 曳引绳表面钢丝磨损或锈蚀最小允许值

断丝处表面磨损或锈蚀为其直径的百分比	在一个捻距内最大断丝允许值（根数）	
	断丝在绳股之间均匀	断丝集中在 1 或 2 个绳股
10%	27	14
20%	22	11
30% 以上	16	8

⑧ 对限速装置及安全钳，应检查限速轮旋转油润滑状况并用煤油清洗，清除夹绳钳口油污，核定安全钳楔块与导轨工作面间隙，间隙应一致，一般为 2 ~ 3mm。检查安全钳提杆及转动机构是否灵活可靠，人为动作检查安全钳及限速装置的动作可靠性。

⑨ 选层器及其钢带，检查其滑块及其压力应良好，动作准确无误，并紧固所有螺钉。

⑩ 缓冲器，检查其顶面水平度、垂直度或油压缓冲器的油位及油的黏度等，应符合标准的要求。

⑪ 按表 12-10 的要求在有关部位加油或清洗后加油。

⑫ 检查上述没有涉及的部位，必要时要清洗部件并调整，使其达到标准要求。

（4）大修的项目内容

① 拆卸清洗各个机械部件（包括曳引机），根据其使用及破损程度更换，并经调整达到标准的要求。

② 拆卸检修各个电气部件（包括电动机），根据其使用及破损程度进行更换，摇测各部绝缘电阻，并经调整达到标准及运行要求。

③ 调整各个安全装置并达到要求。

④ 更换钢丝绳及各个绳轮。

⑤ 检查导轨导靴、对重、轿厢、缓冲器、补偿装置等或更换，达到标准要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑥ 系统调整试验，按 GB/T 10060—2011、GB 7588—2003、GB 50310—2002 等标准系统调试整机，达到安全可靠运行。

最后说明一点，电梯的检修周期是按其使用情况及频率决定的，检修的内容是按其实际使用及破损程度决定。电梯是一个复杂而特殊的机电一体的装置，电梯的安装、运行、维修、管理人员必须掌握电梯的工作原理、控制电路及其控制装置、保护装置，才能保证电梯的安全运行。

第三节　电梯常见故障判断及处理

由于电梯的结构和控制方式的不同，其故障也不尽相同，但是根据不同事物共性和差异性的原理，我们将不同结构、不同控制方式的电梯总结为两大类，即继电器·双速电动机式和 PLC·变频电动机式。这样我们在电梯故障判断和处理上就有了共同点。这里我们将继电器·双速电动机式电梯和 PLC·变频电动机式电梯常见故障判断及处理方法列出，供读者在维修工作中参考。

一、继电器·双速电动机式电梯故障判断及处理

继电器·双速电动机式电梯故障判断及处理见表 12-12。

表 12-12　继电器·双速电动机式电梯常见故障判断及处理

故障现象	故障判断	处理方法
关闭厅门、轿门经选层启动，轿厢不能运行	1. 开关门锁电气接点松动，未能接通	1. 调整门锁电气接点触头簧片，使之接触良好，或更换触头簧片
	2. 关门行程开关未接通	2. 调整行程开关位置、角度，使之接触动作灵活，紧固行程开关，固定螺钉
	3. 起动回路接点未接通或元件故障	3. 检查起动回路，找出故障元件
厅门未关能选层开车	1. 门锁继电器动作不正常	1. 调整门锁继电器，更换门锁继电器
	2. 门锁连接线短路	2. 检查门锁线路，排除短路点
关门夹人，安全触板失灵	1. 安全触板微动开关被压死，不能动作	1. 更换微动开关，使之连接或断开灵活
	2. 安全触板接线短路	2. 检查线路排除短路点
	3. 安全触板传动机构损坏	3. 检查调整传动机构触板拉链及转轴等，使之动作灵活
开关门速度明显降低	1. 开门机励磁线圈串联电阻 MQR 阻值过小	1. 适当增大 MQR 电阻值，进行试验，一般调至全电阻 3/4 比较合适
	2. 开门机皮带轮皮带打滑	2. 调整皮带轮偏心轴或开门机底座螺栓或更换皮带
开关门速度明显过快	开门机励磁线圈串接电阻 MQR 阻值过大或短路	适当减小 MQR 电阻值或找出故障点
开关门时门扇跳动，振动过大	1. 吊门滚轮磨损或导轨偏斜	1. 调整门导轨，更换吊门滚轮
	2. 吊门滚轮下的偏心轴挡轮间隙过大	2. 调整门导轨下的偏心轴挡轮间隙
	3. 地坎门滑道积尘过多卡有异物	3. 清扫地坎门滑道，排除卡阻异物并用铅粉润滑

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障现象	故障判断	处理方法
电梯运行中轿厢有抖动或晃动	1. 蜗轮副齿侧间隙增大，蜗杆推力轴承磨损或曳引机故障	1. 更换中心距调整垫及轴承盖处调整垫，或更换轴承，检查曳引机
	2. 曳引机地脚螺栓或挡板压板松动	2. 检查紧固地脚螺栓和挡板压板并进行找正
	3. 个别导轨架或导轨压板松动	3. 在轿顶上检查导轨架及压道板紧固情况，并进行紧固，校正轨距
	4. 导轨接口不平滑有“台阶”	4. 用细齿锉刀按要求进行修光平整并校正
电梯运行时在轿厢中听到摩擦响声	1. 轿厢滑动导靴尼龙衬磨损严重，其金属压板与导轨发生磨蹭	1. 更换新的导靴衬，并调整导靴弹簧，使四只导靴压力一致
	2. 滑动导靴衬套油槽中卡入异物	2. 清除卡存在导靴内的异物并进行清洗
	3. 安全钳楔块与导轨间隙过大，有时摩擦导轨	3. 调整安全钳楔块与导轨间隙使符合要求（2～3mm 为宜）
电梯运行中轿厢在通过厅门时有碰撞摩擦声响	1. 开门刀与厅门地坎间隙过小或摩擦	1. 测量各层间隙并检查轿厢有无倾斜现象，必要时用砣块调平轿厢
	2. 开门刀与门锁滚轮相碰或与异物相碰	2. 检查轿门倾斜度，必要时调整开门刀和门锁滚轮位置，清除异物
限速器有时误动作或有打点响声	1. 限速器转动轴由于油路不畅、锈蚀或磨损	1. 清洗限速器通畅油路，对转动轴磨损者可用零号砂布细磨修饰，清除杂物
	2. 弹簧或压紧螺钉松动	2. 螺钉松动可进行紧固，压簧松紧程度与限速器动作速度有关，应送电梯厂进行调整整定
预选层站不停车（选不上）	1. 内选层继电器 NXJ 失灵	1. 检修或更换 NXJ 继电器，检修内选线路，更换元件
	2. 选层器上滑块接触不良或接不上，滑块碰坏	2. 调整滑块距离，使接触良好，检修选层器
	3. 控制模块损坏	3. 更换模块
未选层站停车	1. 快速保持回路接触不良	1. 检查调整快速回路中的继电器接触器接点，使之动作灵活接触良好
	2. 有的层站换速碰块连接线与换速电源相碰或选层器上的层间信号隔离二极管击穿短路	2. 调整滑块连接线或更换二极管，调整选层器，有的熔丝熔断
	3. 控制线路有误	3. 找出控制线路故障点
局部熔丝经常烧断	1. 该回路导线有接地点或电气元件有接地	1. 检查回路接地点，加强电气元件与接地体的绝缘，找出接地点或短路点
	2. 有的继电器绝缘垫片击穿	2. 加绝缘垫片绝缘或更换继电器
主熔丝片经常烧断	1. 熔丝片容量小，压接松，接触不良	1. 按额定电流更换熔丝片，并压接紧固
	2. 有的接触器接触不实有卡阻或造成相短路	2. 检查调整接触器，排除卡阻或更换接触器
	3. 启动、制动时间过长	3. 按厂规定，调整启动、制动时间
	4. 启动、制动电阻（电抗器）接头压片松动	4. 紧固接点，压紧压片

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障现象	故障判断	处理方法
个别信号灯不亮	1. 灯丝烧断	1. 核对电压，更换灯泡
	2. 线路接点断开或接触不良	2. 检查线路，紧固接点
呼梯按钮和选层按钮失灵或不复位	1. 按钮连接线有断开点或接触不良	1. 检查线路，紧固接点
	2. 按钮块与边框有卡阻	2. 清除孔内毛刺，调整安装位置
	3. 隔离二极管装反	3. 调整或更换二极管
	4. 呼梯继电器或选层继电器失灵或控制线路故障	4. 更换继电器或找出故障点
停梯断电后再使用，发现运行方向相反	1. 内无相序保护装置，外线三相电源相序接反	1. 将三相电源线中任意两相互换
	2. 相序故障	2. 修理相序继电器或更换
电梯启动和运行速度有明显降低	1. 抱闸未完全打开或局部未张开	1. 调整抱闸间隙
	2. 三相电源有一相接触不良	2. 检查三相电源线路、紧固各接点，使接触良好
	3. 接触器触头接触不实	3. 检修或更换接触器
	4. 电源电压低	4. 调整三相电压使压降不超过 ±5%
	5. 电动机故障	5. 检修电动机
轿厢或厅门有麻电感觉	1. 轿厢接地线断开或接触不良	1. 检查接通接地线，并测量接地电阻应不大于4Ω
	2. 接零系统零线重复接地线断开	2. 在零线上做好重复接地成为保护接零系统
	3. 轿厢上的线路有接地漏电	3. 检查线路绝缘，使其绝缘电阻值不低于每伏工作电压1kΩ
平层误差过大（上行平层高，下行平层低）	抱闸弹簧过松，间隙大或不平	调整弹簧压力并按规定调整抱闸间隙
平层误差过大（上行平层低，下行平层高）	抱闸弹簧过紧，间隙小或不平	调整弹簧压力，并按规定调整抱闸间隙，调整平层器与感应铁距离间隙
平层误差过大（上行平层高，下行平层也高）	对重重量（平衡砣）过重	按平衡系数计算，用电流表测量正反方向电流值，调整对重砣块①
平层误差过大（上行平层低，下行平层也低）	对重重量（平衡砣）过轻	按平衡系数计算，用电流表测量正反方向电流值，调整对重砣块①

① 如对轿厢和对重重量不清楚，一时不能进行平衡计算时，可参考下列方法进行调整：

1. 将轿厢停在梯井全高的1/2处，并使轿厢和对重在同等高度线上（可按绳头组合位置的高度一致为准）。
2. 在机房中松开抱闸，用摇车手轮反正摇车试验轿厢和对重重量，并使轿厢和对重的重量相等。如摇车手轮正反转用力一致，则表明两者相等。
3. 在增减砣块后，如果轿厢和对重的重量相等，摇车手轮反正摇动都很松快。
4. 在对重一方再加上轿厢额定载重量的45%～50%（例如载重量为1t者加450～500kg）。

二、PLC·变频电动机式电梯故障判断及处理

这里以上海新时达电气公司STEP电梯为例，详细说明。

（一）故障说明

1. 故障类别

（1）显性故障

显性故障指电梯系统发生了比较严重而又不能自动复位、且必须由维修人员或经过专业

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

培训的人员排除、手动复位才能再次正常运行的故障。

如电梯运行中，门刀撞坏门锁或其他原因，使门锁回路在运行中突然断开并且不能自动复位，故障代码为02，该故障必须由维修人员手动修复门锁回路才能完成（故障代码编号见表12-14）。

显性故障，必须查明原因，及时解决问题。

（2）隐性故障

隐性故障指电梯系统发生了比较轻微的、无需维修人员或经过专业培训的人员排除、手动复位就能再次正常运行的一般性故障。

如电梯运行中，门刀瞬间蹭开厅门滚轮一下，或门锁某一处触点接触不好，跳一下又马上复位，也就是说门锁回路瞬间断开一下又立即复位。此时就会记录下02和22、31三个故障代码。

电梯运行中，门锁回路瞬间断开（02），又立即复位，电梯马上溜车急停（31）。溜车急停过程中，遇到平层插板，则平层停车；没有遇到平层插板，电梯系统认为前方出现故障，则电梯会在停下来后，马上反向自动找平层（22）：俗称反向溜车，到达最近的楼层平层停车。平层停车开门后，主板自动检测运行条件，判断是否符合正常运行条件，则会继续正常运行。如图12-3所示，图中虚线为理想运行曲线。09、31、24、31故障现象和曲线类似于02、31故障。09、31、22、24、31、22故障现象和曲线类似于02、31、22故障。

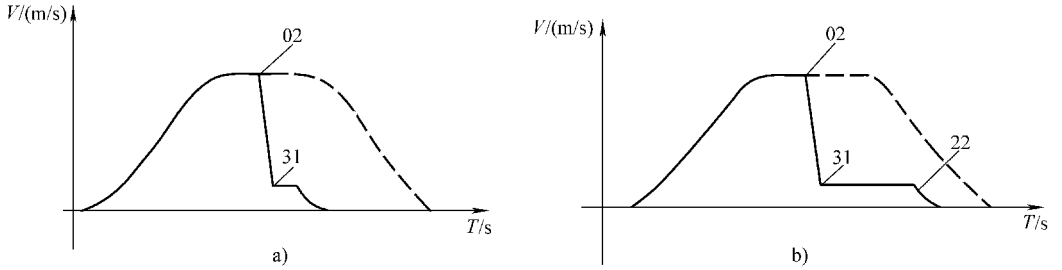


图12-3 电梯运行曲线及故障示意图

根据故障记录分析，02、09、24是故障发生的根本原因，31或31、22则是02、09、24故障引起的连锁故障，是主板在电梯故障时发出的保护性动作。

隐性故障具有隐蔽性，一般可通过故障记录查询，维修人员可根据故障记录找出原因，并通过对相关部件或线路的检查和调整，消除故障隐患。

（3）运行条件错误

运行条件错误指电梯运行中，人为的使运行条件出错而不满足电梯运行条件，造成运行中断的情况，只是电梯运行条件不满足，而不是故障。

如02故障，维修人员在5楼厅外想上轿顶，这时可打一个4楼指令，然后看着厅外显示，估计能上轿顶了，就用三角钥匙打开5楼厅门。如果这时电梯还在运行，就会马上停止，故障代码只有一个02。这时的02就并不是真正的故障，而是人为造成的条件错误。

电梯正常使用时，一般4s即可关门；超过1min关不上，蜂鸣器就会鸣叫，提醒门中间的人注意避开或不要阻挡关门；超过4min关不上，蜂鸣器继续鸣叫外，则会留下06（关门关不上）这一故障记录。一般故障轻微，在较短的时间内门中间的物件或人移开，系统会在错误条件消除后，自动复位继续投入正常运行；当故障严重时，则需人工断电再通电复位

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

了。所以，06 故障记录并不是真正的故障，而是人为造成的条件错误。

主板内最多只能保存 20 个故障记录。但真正有意义的故障信息很容易被一些没有实际意义的故障记录冲掉，而不利于故障隐患的查找和排除。因此，要求现场维修保养人员在维保和现场维修时，都必须用专用统一的笔记本记录下所有故障记录。一是便于分析故障发生规律，查找并排除故障隐患，二是便于总结现场经验，提高调试、维修、保养人员素质。

2. 电梯发生故障后的注意事项

无论在现场调试、维修，还是维护保养，在完成当前工作任务外，还必须针对一些重点事项和电梯现场经常容易出错的地方（详见（二）安装调试维修注意事项）做详细的检查。这样有利于提高维修工作的效率，也有利于提高系统的可靠性和稳定性。

电梯发生故障后，应注意以下几点：

① 外围线路是否满足系统运行的条件。

② 必须重点检查的事项是否都逐一认真细心检查。

③ 通信电压是否正常。

④ 主板及变频器内参数是否有异常值。

⑤ 机械系统是否有潜在的隐患。

⑥ 接地是否良好。

⑦ 电源是否正常。

⑧ 电梯轿厢移动时有无异常声响和振动。

⑨ 较大故障时必须详细检查系统硬件和设备。

⑩ 较大故障修复后必须进行系统测试。

（二）安装调试维修注意事项

1. 通信回路的正确的接线方法

（1）接线、换线，必须注意记录清楚相关线号，以免错接。

（2）外呼板接线必须注意插头线号与进柜端的线号对应关系，准确接线。只有逐一测量通信电压均正确无误后，才可插上该插头。外呼板通信电压标准及顺序参看 SM-04 外呼显示板图及现场应用图样。

（3）操纵箱内 02 轿厢板和 04 显示板必须在使用之前先拔下通信插头，轿厢通信线接好无误才可送电，这时在轿内用万用表测量通信插头电压顺序均正确无误后（两个插头都要量！切记！），方可插上该插头。严禁未知接线是否正确就盲目插上该插头。

（4）02 轿厢板和 04 显示板插头一样，顺序一样。注意插头括口朝上！

（5）通信板的正确安装方法和操作方法：

1）检查所有通信板与周围金属部件绝缘隔离情况，防止通信板与周围金属部件接触而发生短路。

2）所有通信板电路部分都不可用手直接接触，以防电子元件氧化或静电损坏。安装召唤控制板（04 板）之前先用手接触一下旁边接了地的金属部分放掉静电，安装 04 显示板或设置召唤地址时不要用手接触电路板部分，尤其不要接触芯片部分。

3）通信插头接线应注意：①看插针、卡簧片是否损坏；②线不要拉得太紧，防止拉脱接触不好；③夹线时应先将夹头顶到线的塑料皮处再夹紧，预防线头相互碰接短路。

（6）严禁将 TXV－－、TXV－、24V－COM、5V－COM、12V－0V，挪用其他电源用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（7）通信线如用屏蔽双绞线，则屏蔽线必须单端接地，严禁将屏蔽线与通信线中的任意一根线相连。

（8）通电之前必须先量一下开关电源 24V、5V、COM，旋转编码器 12V、0V、A、V，通信线 TXV + 、TXV - 、TXA + 、TXA - 与接地之间阻值大于 10kΩ；否则，请仔细检查一下相关回路。

（9）串行系统的所有电路板（01、02、04 板等）和变频器上绝不允许做任何改动和烙焊。变频器上方接线时，要用纸盖严在变上频器上，以防金属线头等掉入变频器中引起短路。

（10）错误方法：接线错误都会损坏通信板、影响电梯运行。

2. 两块平层插板之间高度绝对不允许超过 8m

平层板之间隙一般不宜超过 6m，如超过 8m 时，必须加上平层插板作为虚拟楼层。

召唤控制器地址设置：一般最底层平层插板所对应的召唤地址设为 1，向上每个平层插板所对应的召唤地址依次增 1；轿厢显示板的地址必须设为 0。

平层开关和平层插板位置一般不得变动，必须变动时，必须重新进行井道自学习，电梯才能投入正常运行。

楼层召唤控制器不得更动安装位置，当某一楼层召唤控制器拿到其他楼层用时，必须重新设置对应正确的层楼地址值方能投入使用。各楼层召唤控制器都必须设置相应的正确层楼地址值。

3. 未经允许，安装人员不准擅自修改系统的接线

安装、维修过程中，如需调整外围接线的，修改之前必须进行设计，改完后必须由非接线人员先检查一下对应线路的修改是否达到目的，并用万用表测量每一条线，要特别注意已接好的地方是否有必要修改，以防止接好的地方被改错。

检查无误后，方可通电试车。

4. 平层开关、限位开关、极限开关、强慢开关安装时必须调整到位

（1）看其是否有效动作。

（2）其动作距离按技术标准设定。

（3）用电梯正常检修速度运行进行实际测试。

5. 平层开关安装标准

轿厢地坎与厅门地坎保持绝对水平时，平层插板上面高出下平层开关，下面低出上平层开关的长度都是 10mm 左右，这样便于调舒适感和平层精度。平层插板标准长度为 220mm，并且要保证每块都一样长（长度误差不超过 3mm），如图 12-4 所示。

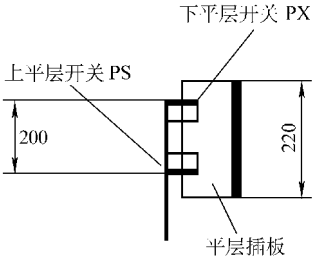


图 12-4 平层开关安装示意图

（1）平层开关用磁开关的，必须注意：

① 平层插板插入平层开关的深度必须足够深，以保证平层开关动作的有效性和可靠性。

② 平层插板上下垂直度要求较高，以保证平层停车时不会出现一只平层开关动作有效，另一只平层开关却已脱离有效动作范围，这样易影响电梯正常运行。

（2）平层开关用光电开关的，系统输入接口一般接受低电平有效信号：

① 将安装孔周围阴影部位油漆全部刮去，使光电开关金属外壳通过螺栓、支架、轿顶接地良好；如果刮去油漆后在安装螺栓下面压一根接地线，连到轿顶接线箱接地桩头上，效

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

果更好，见图 12-5。

② 光电开关最好用屏蔽线缆连到轿顶接线箱，并且将屏蔽层接地。

③ 光电开关最好用常开开关，可大大降低光电开关本身受干扰的程度。

④ 如果运行时光电开关有闪烁现象而导致电梯运行或平层有所异常，可能是受干扰，这时可在光电开关的 COM 与 PS（或 PX）之间连接一个 0.1μF/63V 的电容，如图 12-6 所示。

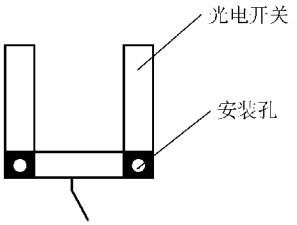


图 12-5　光电平层开关安装示意图

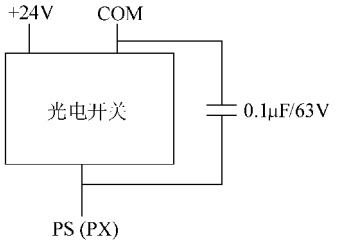


图 12-6　光电平层开关并联电容图

6. 通信线必须用双绞线，绞距在 2～3cm 之间。

7. 旋转编码器必须用屏蔽线；如需加长，则加长的部分也必须用屏蔽线，两者的屏蔽层必须可靠焊接，并与控制柜的接地端子连接；连接头部分须用金属屏蔽纸及胶带裹好。旋编多余的线头（如 Z 相）都必须用胶带单独裹好，不能与屏蔽线等接触。无论旋编线是否与动力线一起排布，都必须穿在金属管中，金属软管须从旋编一直到控制柜，如有接头，两接头金属部分须可靠相连，且在进控制柜的一端接地，另一端不能接地，见图 12-7。

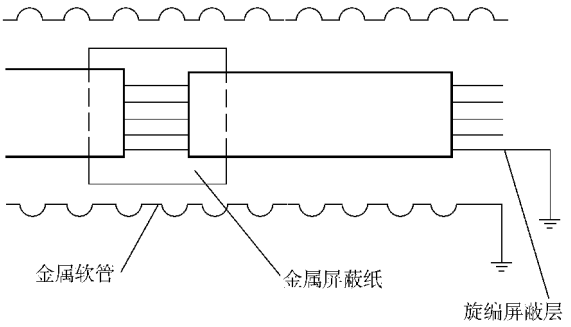


图 12-7　旋转编码器接线示意图

8. 通信回路必须在最底层的外呼显示板和轿内显示板各加一个终端电阻跳线。

9. 继电器、接触器、抱闸线圈、到站钟等电感性负载必须在线圈一侧加装吸收回路。交流型用 RC 吸收，电阻为 100Ω/4W，电容为 0.1μF/630V，直流型用反向并联二极管吸收。直流抱闸回路电流较大的可以用整流桥堆代替二极管。

10. 井道电缆和随行电缆要注意强电线缆和弱电线缆分开，中间用地线隔开，如果没有地线，至少用两根 0.75mm^2 铜导线作地线，此处强电线缆主要指 24V 以上的，如 36V、80V、110V、220V、380V 等，弱电线缆主要指 24V（包括 24V）以下的控制回路的线缆。

11. 接地系统

（1）以控制柜接地端子为基准，其他与之相连的部位有：曳引机地线、市电地线，旋编用金属软管进柜端和屏蔽线都要接地，变频器接地，开关电源接地，井道接地线，轿厢随行电缆的接地线，抱闸接地，通信电缆的屏蔽线等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

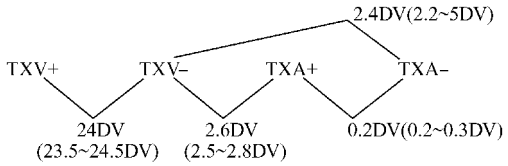
（2）轿顶接线箱以接地端子为基准；随行电缆中的接地线，门机接地、门机变频器接地、操纵箱外壳接地、光幕接地和平层光电开关用的屏蔽线等。

（3）井道接地线：每个外呼盒均须用一根黄绿线接地、厅门接地、通信线的屏蔽线等。

12. 通信电压

（1）正常情况下，没有接外围通信线时，在控制柜接线端子上可直接测量出主板通信电压。

（2）接入外围通信线，并且在最底层外呼显示板和轿厢显示板各短接一个终端电阻跳线，这时，可测量得电梯串行系统正常使用时通信电压：



其中，未加括号的是正常标准值，括号内为较理想的偏差范围值。

通信电压如偏差太大，则说明通信回路异常。

1）检查通信线路有无断线、接触不良或接错线、是否存在接地短路等现象。

2）检查 SM-02-B 轿厢板和 SM-04 显示板有无损坏等症状。

查找方法：①将轿厢和井道两路通信线分别单独接入系统测量通信电压，电压异常时说明接入的线路有通信板损坏；②通信回路电压异常，将某一块通信板脱离通信线时，通信电压立即恢复正常，则该板损坏；③正常情况下，SM-02-B 轿厢板或 SM-04 显示板与通信回路断开时，用万用表 20kΩ 档测量 TXV－与 TXA＋，TXV－与 TXA－间的阻值均为“1”即无穷大，则可以认为该板是正常的；而如果 TXV－与 TXA＋，TXV－与 TXA－间任一值不为“1”，即有阻值显示，则可以认为该通信板已损坏（通信回路故障）；④外呼和显示不接，主板空载通信电压应是 TXA＋对 TXV－为 3.0V 左右，TXA－对 TXV－为 2.0V 左右，否则主板通信口损坏。

外围通信板（SM-02-B 和 SM-04）通信回路故障时，表现为：电梯在大部分时间内能正常运行，偶尔会要指令或外召打不进，或者偶尔也会影响开门、关门动作，或可能造成主板“死机”；有时故障出了几分钟后能自动复位，有时须人为断一下电再送电后恢复正常。

13. 轿厢布线

操纵盘内部布线要尽可能使强电线路远离轿厢板，因为强电有可能造成轿厢板 CPU 死机。

14. 到站钟

到站钟建议用 24V 电子式，如果用强电线圈式则交流必须加阻容吸收，直流加反向二极管。

15. 电梯舒适感

对于主板加减速斜率按表 12-13 设置。

对于变频器参数（以安川为例）可按以下参数设置：（富士变频器不要在变频器中加斜率）

C1－01＝1.0，C1－02＝1.0，C2－01＝0.5，C2－02＝0.5，C2－03＝0，C2－04＝0，C5－01＝15，C5－02＝0.5，C5－03＝30，C5－04＝0.5，C5－07＝10，H3－12＝0.04

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 12-13　对于主板加减速斜率设置

项目 / 速度	Acceleration 加速斜率	Deceleration 减速斜率	S Jerk t0 启动初弯角时间	S Jerk t1 加速末弯角时间	S Jerk t2 减速初弯角时间	S Jerk t3 减速末弯角时间
1m/s	40～45	40～45	130～160s	110s	110s	100～130s
1.5m/s	50～55	50～55	130～160s	110s	110s	100～130s
1.6m/s	50～55	50～55	130～160s	110s	110s	100～130s
1.75m/s	55～60	55～60	130～160s	110s	110s	100～130s
2.0m/s	60～65	60～65	130～160s	110s	110s	100～130s

16. 观察轿厢输入信号

轿厢输入信号有无必须通过主板液晶显示器才能观察，主板在自动状态下在“轿厢输入”界面下观察，当为“＊”显示时表示此输入点导通，当为“－”显示时表示此输入点断开。当轿厢板通信正常时可以看到轿厢板上“D1”常亮，“D2”快速闪亮。

17. 调整平层的方法

（1）平层插板要插入光电开关或磁开关 2/3 深度，并且要检查每一层的平层插板都要垂直并且插入深度都一样。

（2）平层插板插入光电开关或磁开关后要保证两端露出 10～30mm，见图 12-8。

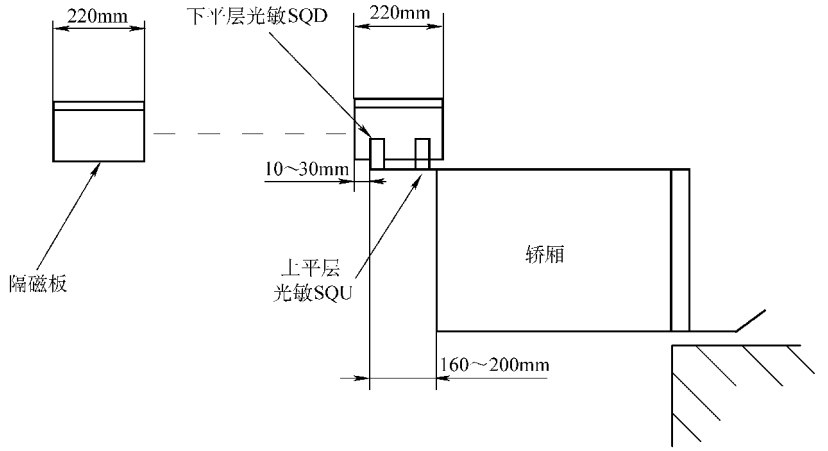


图 12-8　调整平层示意图

（3）安装时必须保证平层时每层的插板的中心和感应器的中心在同一直线上。

（4）电梯正常上行、下行到达每个楼层，记录轿厢地坎与厅门地坎高度差异。电梯向上运行时：轿厢地坎高为平层越层，轿厢地坎低为平层不到；电梯向下运行时：轿厢地坎低为平层越层，轿厢地坎高为平层不到。调整后对个别不平层的楼层相应移动本层的井道插板，移动后要注意再次调整。

如果各楼层平层高低差异较大，可通过调整平层插板使大多数楼层平层偏差相同，以此为参照，使这些楼层平层偏差控制在标准范围内。

（5）模拟量平层调整：

平层偏差在 15mm 以内的，可用 F56、F57 来调节平层精度；平层偏差大于 15mm 的，必须先调整平层插板，然后用 F56、F57 来调节平层精度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当上行时冲过平层则减小 F56，不到平层则增大 F56。当下行时冲过平层则减小 F57，不到平层则增大 F57。F56 和 F57 的设定范围是 0～100，50 为出厂值，表示没有偏移。

（6）数字量平层调整：

如果上、下平层精度都是平层不到，可将爬行速度适当调大；如果上、下平层精度都是平层冲过层，可将爬行速度适当调小。

但爬行速度调得太大，舒适感会很差。所以，上行或下行平层精度相差太多时，可先调整平层开关和平层插板相对位置。平层精度调整也可用 C1－02、C2－03、C2－04 调整平层精度。

（7）旋转编码器受干扰或质量较差时也会影响平层精度，要注意检查编码器是否用屏蔽线，并且屏蔽层要在控制柜一端接地。布线时使编码器接线不得和动力线在同一线槽内。

（三）常见故障判断

PLC・变频电动机式电梯常见故障见表 12-14。

表 12-14 PLC・变频电动式电梯常见故障判断

故障代码	内　容	故障原因	处理方法
02	运行中门锁脱开（急停）	运行中门刀擦门球	调门刀与门球的间隙
		门锁线头松动	压紧线头
03	错位（超过 45cm），撞到上限位开关时修正，即层楼置为最高层	上限位开关误动作	检查限位开关
		限位开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
04	错位（超过 45cm），撞到下限位开关时修正，即层楼置为最底层	下限位开关误动作	检查限位开关
		限位开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
05	电梯到站无法开门	门锁短接	停止短接
		门电动机打滑	检查皮带
		门电动机不工作	检查门机控制器
06	关门关不上，蜂鸣器响	关门时门锁无法合上	检查门锁
		安全触板动作	检查外呼按钮
		外呼按钮卡死	检查安全触板
		门电动机打滑	
		门电动机不工作	
08	通信中断	通信受到干扰	检查通信线是否远离强电
		通信中断	连接通信线
		终端电阻未短接	短接终端电阻
09	变频器出错，急停，停止运行	变频器故障	对应变频器故障代码表处理
10	错位（超过 45cm），撞到上终端减速开关时修正	上行多层减速开关误动作	检查多层减速开关
		多层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障代码	内　　容	故障原因	处理方法
11	错位（超过45cm），撞到下终端减速开关时修正	下行多层减速开关误动作	检查多层减速开关
		多层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
12	错位（超过45cm），撞到上终端减速开关时修正	上行单层减速开关误动作	检查单层减速开关
		单层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
13	错位（超过45cm），撞到下终端减速开关时修正	下行单层减速开关误动作	检查单层减速开关
		单层减速开关移动后未写层	重新写层
		编码器损坏	更换编码器
15	变频器未输出运行信号到SM-01的JP2.10（X19）	电动机电源接触器吸合后无运行信号	检查变频器
		接触器不吸合	检查连接线
16	变频器运行信号在上抱闸前无	抱闸接触器吸合后运行信号掉	检查变频器
17	参数错误	主控制器的设置参数超出本身的默认值	修改到允许范围以内
18	写层时层楼不符	设定参数与实际层楼不符	设定成一致
		平层插板偏离	调整平层插板
		平层感应器受到干扰	平层感应器接地，整理线路
20	平层开关动作不正确	动作次序不对，两个平层开关接反了	更改接线
		平层开关坏	更换平层开关
		轿厢卡死或钢丝绳打滑使电机空转	检查轿厢或钢丝绳
22	电梯反向溜车	变频器未工作	检查变频器
		严重超载	调整超载开关
		编码器损坏	更换编码器
23	电梯超速急停	编码器打滑或损坏	检查编码器的连接或更换
		严重超载	调整超载开关
24	电梯失速急停	机械上有卡死现象，如安全钳动作，蜗轮蜗杆咬死，电动机轴承咬死	检查安全钳，蜗轮、蜗杆、齿轮箱、电动机轴承
		抱闸未可靠张开	检查抱闸张紧力
		编码器损坏	检查编码器连线或更换
31	电梯溜车急停	抱闸弹簧过松	检查抱闸状况，紧抱闸弹簧
		严重超载	减轻轿厢重量，调整超载开关
		钢丝绳打滑	更换绳轮或钢丝绳
		编码器损坏	更换编码器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障代码	内　　容	故障原因	处理方法
32	安全回路断开急停	相序继电器不正常	检查相序
		安全回路动作	检查安全回路
33	电动机电源接触器保护，停止起动	接触器损坏，不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X16 输入信号断开	检查连接线
34	抱闸接触器保护，停止起动，电动机不能停止	接触器损坏，不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X17 输入信号断开	检查连接线
35	抱闸接触器保护，停止起动，电动机不能起动	接触器损坏，不能正常断开	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X17 输入信号断开	检查连接线
36	电动机电源接触器保护，停止起动	接触器损坏，不能正常断开	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		X16 输入信号断开	检查连接线
37	轿门锁继电器保护，停止起动	接触器损坏，不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号 X23 与 X27 不一致	检查连接线
38	抱闸开关故障	抱闸不张	检查连接线
		抱闸开关坏	更换抱闸开关
39	安全回路的触点保护	其中 KAS（安全继电器）的一副常开点是进主板的 X13 检测信号，另外 KAS 的线圈电压也进主板 X26 检测，这两路的检测信号应该是一致动作的	安全继电器卡死
			主板进线 AC110V 的部分损坏
44	门区开关动作不正确	两个平层感应器都动作而门区开关不动作	检查门区开关
		两个平层感应器都不动作而门区开关动作	检查门区开关
45	开门再平层继电器触点保护	接触器损坏，不能正常吸合	检查连接线，更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
49	在开门到位的状态下厅门锁与轿门锁不一致	厅门锁短接	拆除短接线
		轿门锁短接	拆除短接线
50	厅门锁与厅门锁继电器检测不一致	接触器损坏，不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号 X14 与 X28 不一致	检查连接线
51	门连续受阻超过 3 次	门地坎有异物	去除异物并加少许炭粉

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障代码	内　　容	故 障 原 因	处 理 方 法
52	开门再平层超过10s仍不平	平层感应器坏	更换平层感应器
53	控制调速器进线接触器信号与调速器进线接触器触点检测不一致	接触器损坏，不能正常吸合	更换接触器
		接触器卡死	更换接触器
		输入信号X15断开	检查连接线

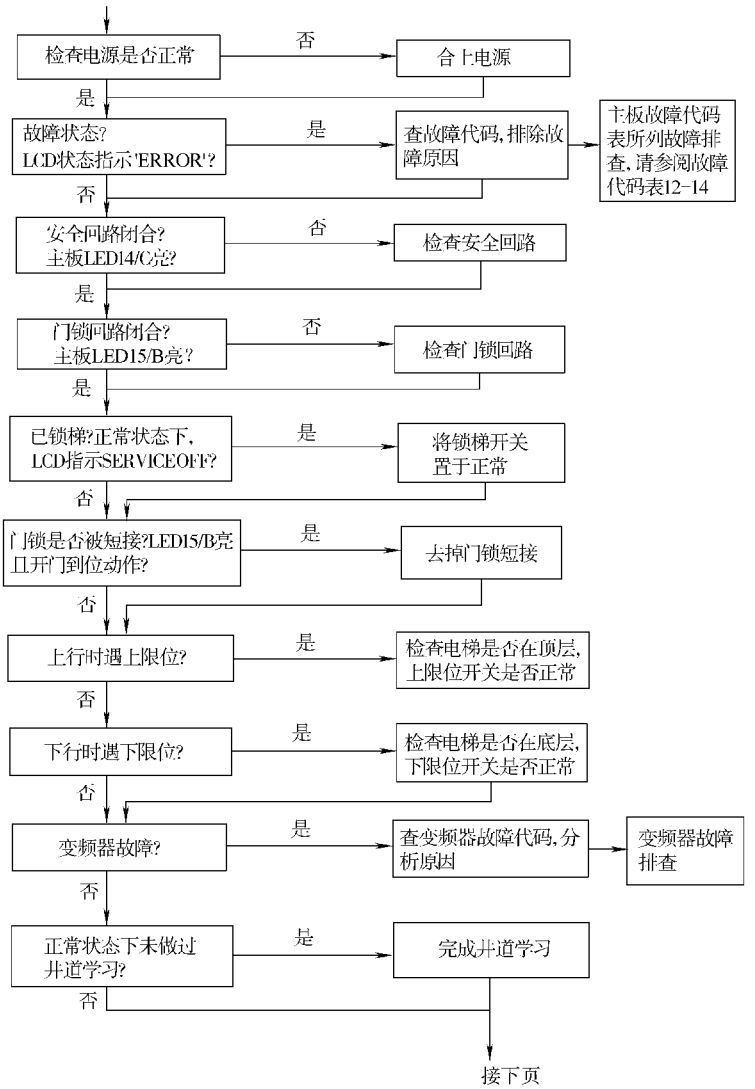
注：X□□，X为主板输入点，后面的数字为编号。

（四）常见故障处理程序

常见故障处理方法一般可按下列程序进行。其中，主要字母的意义是：

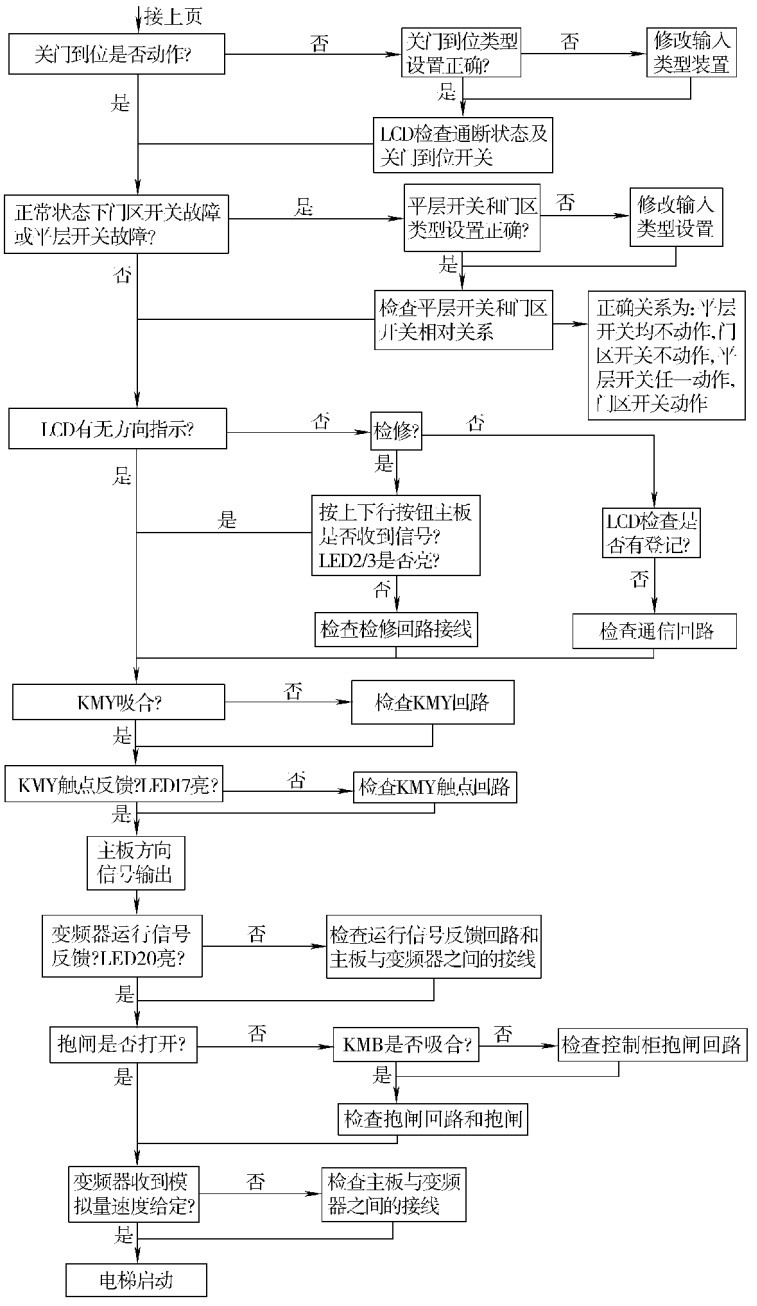
LCD液晶显示器，KMY输出接触器，LED主板显示器，KMB抱闸接触器，KAO开门继电器，KAQ提前开门继电器，KAC关门继电器，TXA＋/A－通信电缆的正负极，CAN总线。

1. 电梯不能启动



www.789pdf.com 789书库网

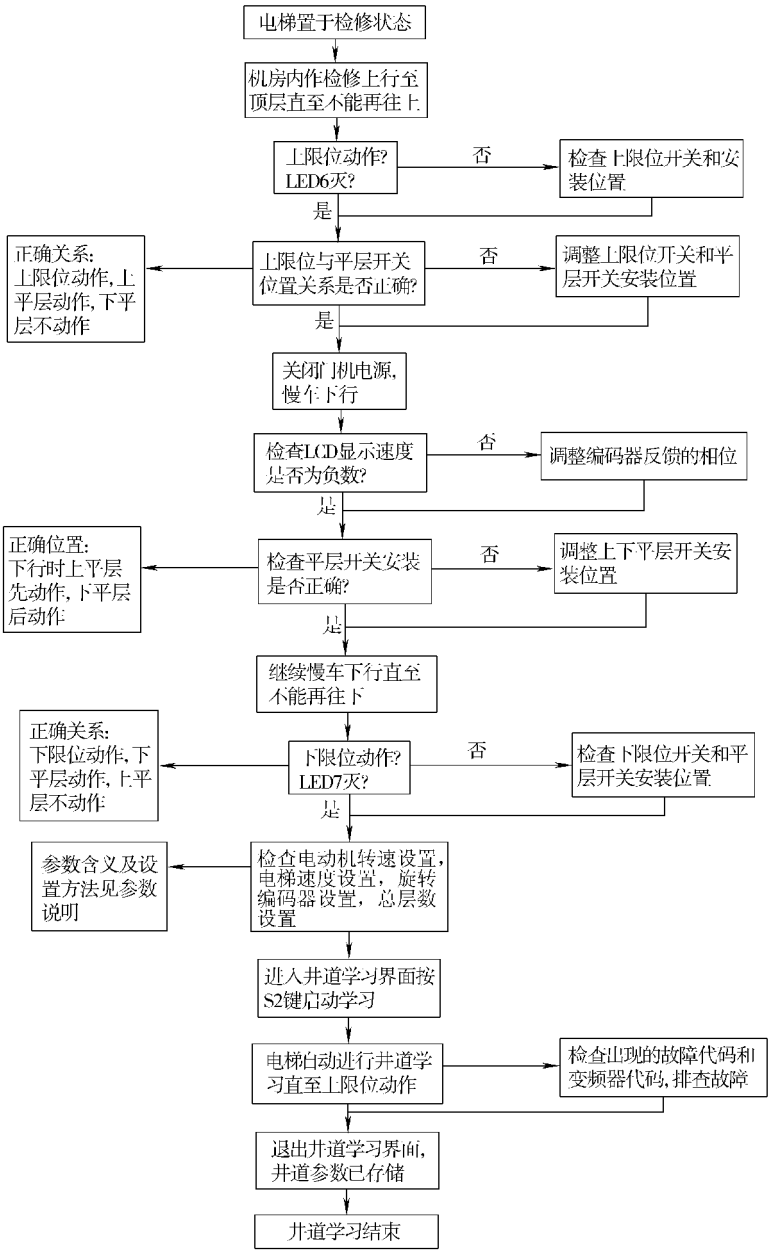
www.789pdf.com 789书库网



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

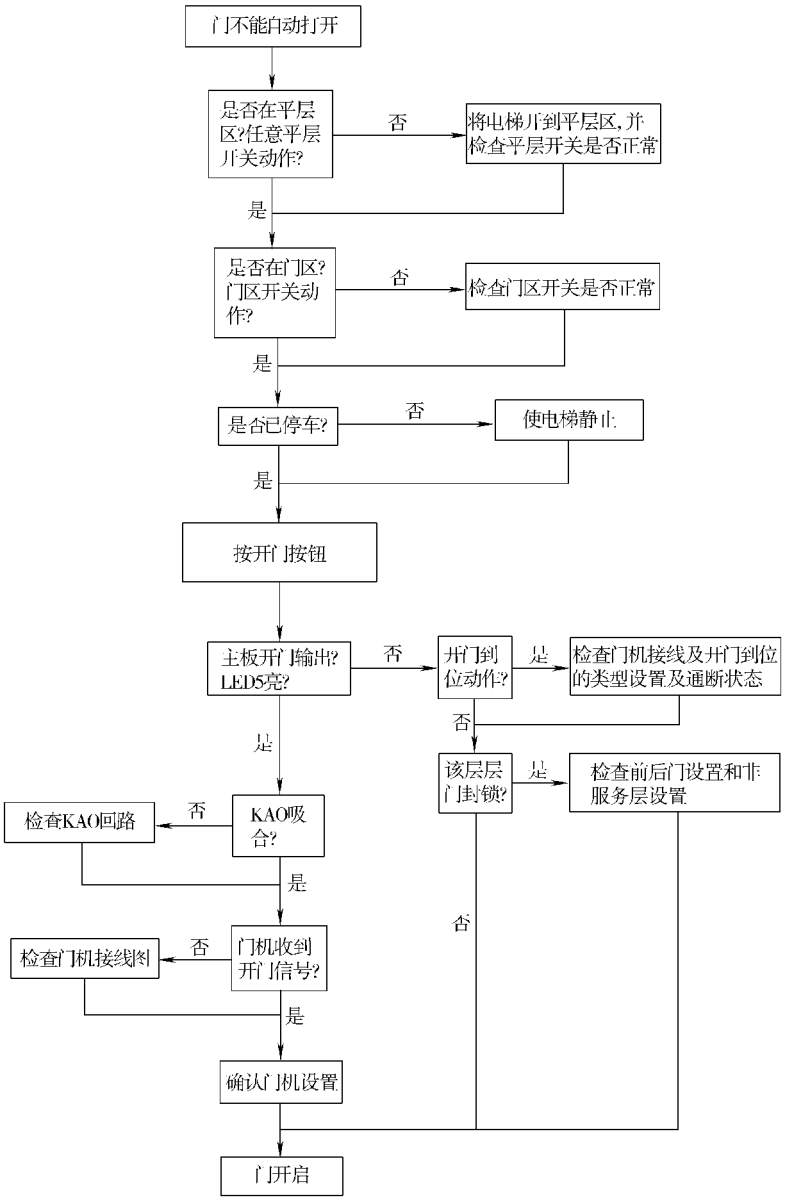
2. 电梯不能井道自学习



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

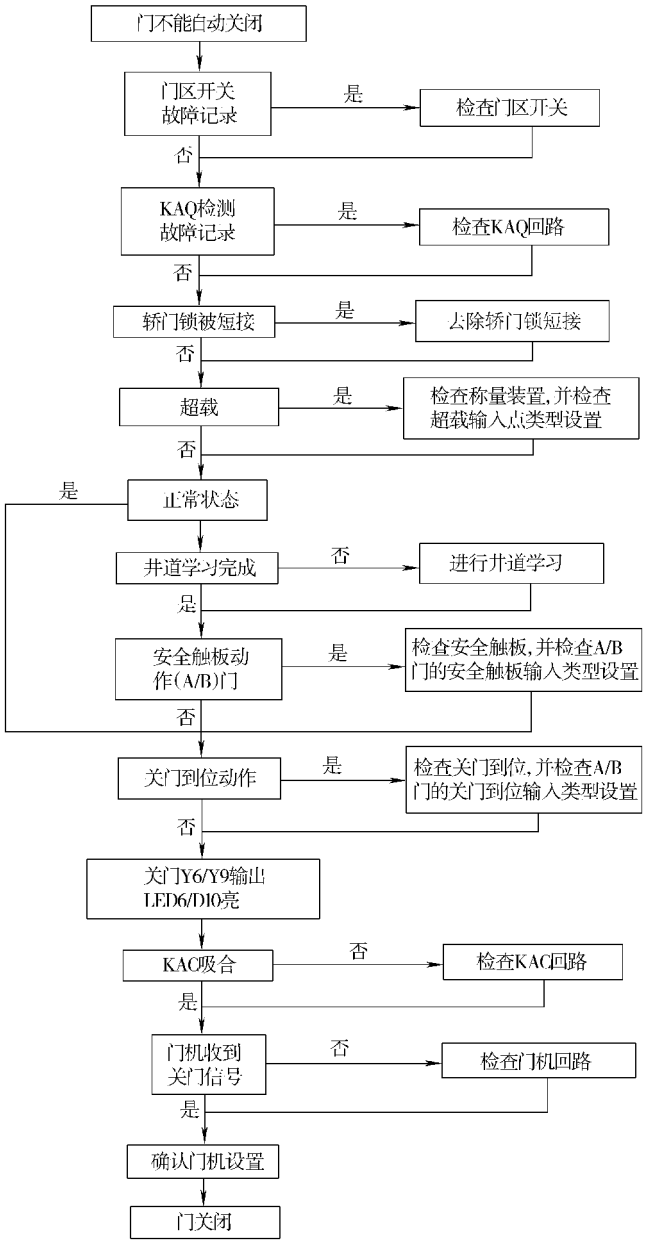
3. 电梯不能开门



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 电梯不能关门

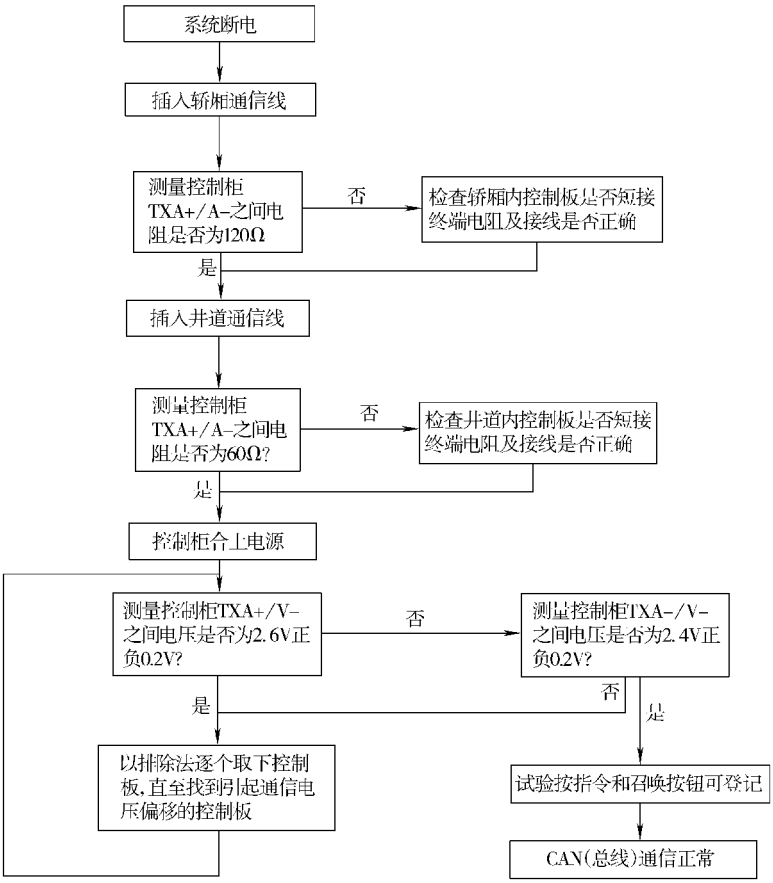


www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. CAN 总线通信检查

必须注意：在未进行通信线检查之前请勿连接通信总线。



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十三章　机床电气设备的修理和维护

机床和电梯一样，都是机电一体不可分割的，但是机床的安全性较高。因此，机床最主要的则是使用和维护。维修电工和维修钳工应掌握机床的电路和主要部件，以便能迅速排除故障。我们在第一节里要讲述检查和试验，这就是要求对机床来讲，也是要进行巡视检查，利用机床闲置停用时，维修电工应进行常规的检查，以便及早发现缺陷和毛病，及时更正，以防事故扩大。

同时我们列举了几个典型的机床电路进行分析，供查找故障时或学习机床电路时参考。

第一节　基 本 要 求

一、标识及技术文件

1. 警示符号

电气元件的箱柜、壁龛和任何地方，当从柜、壁龛等的外部不能辨别其中是否装有电气元件时，必须在其门或盖扳上装有黑边、黄底、黑色闪电符号的三角形标记⚠。

2. 控制装置的标识

控制装置必须在其门或盖板装上数据铭牌，如制造厂名称或其商标；电源额定电压、相数和频率；整机耗电总容量或满载电流总和；总电源短路保护器件的断流能力或熔断器的额定电流；设备的防护等级；设备的编号。

3. 控制器件的标识

电气控制器件，至少须具有下列标志：制造厂的名称或商标；器件的型号或索引号；工作电压性质和数值（可在器件或操作线图上标出）。当器件太小，难以在其上作标记时，可作例外，但应把必要的数据标在电气设备清单上。

4. 项目代号和线路标识（线号）

电气设备中每一个元、器件，必须有与原理图上一致的项目代号。该代号必须用耐久的方法标注在元器件的附近（优先）或其上本体。

所有的接线端子、电缆和导线都必须有耐久的、与原理图上相应接点一致的线号。

5. 技术文件

制造厂应提供为安装、操作和维修机床电气设备所必需的资料、图表和文字说明等。对于简单电气设备，有关资料可以归在一个文件里，但该文件要能表示电气设备的全部器件，并能实施电气设备和电网的连接。具体技术文件的内容及部分技术文件的特定要求，应由制造厂提供。技术文件中还应有电气设备清单、维修说明及易损件和备用件清单等。

二、技术要求

（1）电气元器件必须满足机床工业的要求，并符合有关国家标准中的规定。必须优先采用相同牌号、货源充足的元器件。

（2）所有元器件必须在制造厂所规定的范围内使用。如电压、电流、温度等极限值以

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

及对冷却和预防冲击、振动、油雾、蒸汽等方面的技术要求。

（3）电气设备应根据用户指定的电源电压和频率设计，并必须在满载和空载下、电源电压90%～110%的范围内和频率偏差±2%情况下均能可靠地工作。

（4）建议把机床电气设备连接到一个电源上。如果需要使用其他电压或电压系统来满足电气设备某些部分的要求，这样的电压（或系统）应当尽可能通过器件（如变压器、整流器、换流器等）供电，形成机床电气设备的一部分。

中线必须在用户同意下才可使用，并必须在技术文件（如安装图和原理图）上表示清楚。在电气系统内部，中线（N）和保护电路（PE）之间不得相连。

除机床电气设备与供电系统采用插销连接外，电源线应直接连到电源切断开关的电源端子上。否则，应为电源引入线设置独立的接线板。连接外部保护导线（PE）并接机壳的端子，应设在有关相线端子的附近。如用中线（N），必须给它设置端子，并应在所有电源端子上有明显的标志。

三、保护装置

1. 电气设备的保护

电气设备在正常工作和事故情况下，都必须具备保护人身安全防止电击的能力。通常至少要采用电源联锁开关或隔绝防护措施来进行直接防护。

漏电情况下的防护称为间接防护，对电气设备至少要采用下列规定的一种防护措施。

（1）自动切断电源的防护　防护方法有把裸露导体零件接到保护电路上和采用漏电自动切断电源的保护开关两种。

（2）采用“功能特低电压（FELV）”的防护　这种防护电路的最高电压不得超过交流50V（有效值）或直流120V（最大波动为10%）。

2. 短路保护要求

（1）总保护　电气设备制造厂除非根据用户要求，否则，不提供电气设备主电源电缆引入处的短路保护器件。通常，这个总保护器件装设在主电源电缆的起始点。

该总保护器件无脱扣机构时，必须像过载保护器件一样，允许电动机有最长的起动时间。如果总保护器件具有瞬时切断功能，瞬时动作电流的整定值，至少等于由它负责同时连接、起动或控制的所有电动机和装置的峰值电流总和的110%。

（2）电路和支路的保护　所有导线必须用短路保护器件作保护，该熔断器的额定电流和其他短路保护器件的整定电流，尽可能选小些。但必须满足电动机起动电流和变压器合闸电流的要求。所有的动力导线必须设置短路电流探测和切断器件。

但是，凡是采用中线（N）且直接与地连接（TN或TT供电系统），同时中线的截面积最小等于有关相线的截面积时，则在中线不需要短路电流探测器件和切断器件。

一个短路保护器件可以保护几个分支电路。在分支电路中，容许用瞬时过电流继电器件作保护，该继电器对有足够分断能力的器件起作用。该器件可以切断一个或几个电路或支路，也可切断总保护器件或急停器件。

3. 过载保护要求

（1）对1kW以上的、连续工作电动机，每台电动机必须具有过载保护。对所有的电动机，特别是冷却泵电动机都采用过载保护。

经常起动的电动机，配合过载保护是很困难的，因为时间常数与被保护的绕组的时间常

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

数（例如快速移动、锁紧、快速退回等的电动机）相差太大。在这种情况下，容许只配备短路保护。如果功率超过2kW，应采用专门保护器件，一般采用内装式热保护。

（2）电动机过载保护部件复原后，不得使电动机重新自行起动。

4. 失电压保护要求

（1）在电源中断又恢复后，如果电动机重新自行开动可能危及人身、机床或工作时，必须采用失电压保护，防止重新开动。

（2）如果机床容许中断电压零点几秒时，可以配备上欠电压延时器。当使用接触器时，延时中断和重新闭合都不能妨碍控制器（位置传感器或极限开关、继电器、按钮等）发出的立即中断信号。

5. 欠电压保护要求

由于电压降低会引起电气设备误动作，从而对人身、机床和正在加工的工件有潜在危险时，必须给设备配备上最低电压保护器，以确保在预定电平上起到保护作用。

6. 急停电器和电源开关要求

机床电气设备必须具备下述电器，即出现险情时停止机床的电器，必要时这种电器的指令应能使机床返回，以脱离危险；断开电气设备电源的开关。

（1）急停电器　当出现险情时，操作急停电器，必须能尽快地停止机床的故障部分，或者整台机床停止工作。可以采用的方法有用急停开关切断出现险情的电路，这样开关可以人工操纵，也可以遥控或用控制电路接受信号断开动力电路。

急停电器复位后，不得重新开动机床的任何部分。

急停电器的操作件必须是红色的，手柄或按钮底部面板上必须衬托以黄色，使得操作件十分显眼。

当有几个急停操作件时，必须使得事先动作的所有操作件在人工复位后，才可重新开动机床。

（2）电源开关　电源开关的操作件必须是手动的。在清洗、维修和长期停车期间，电源开关必须能把机床的全部电气设备的电源切断。对于电流不超过16A的小型机床，可似采用插销作为电源开关，但电动机总功率不得超过2kW。

电源开关必须满足下列要求：只能有一个断开位置和一个接通位置；必须有看得见的间隔或位置指示；必须有外部操作手柄。如果电源开关不能用作急停器件，它的操作手柄不得是红色，应为黑色；在断开位置上，必须有能锁住的机构；必须能切断电源电路的所有带电导线（包括中线）。

切断开关的手柄必须容易接近，应安装在地面之上或维修站台之上0.5～1.6m之间。

7. 故障防护要求

电气设备必须能预防发生故障时可能出现的危险，如在机床上采用机械的安全保护措施；对控制机床运动的电路采用适当的联锁；采用保障安全的辅助控制电路；采用双重信息的控制电路。故障防止可以使用上述一种或几种办法来达到保证安全的目的，并应当注意防止反馈信号的中断。

8. 抗干扰要求

（1）必须使电子设备自身产生的干扰减到最小。电子设备还必须能抵抗来自电源的干扰和外界的干扰。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）必须设法使静电和电磁干扰降低到允许的程度，如采用合适的滤波器和延时，选用合适的电平、满意的布线形式等。

（3）为了提高电子设备的抗干扰能力，尤其是对低电平输出的传感器，应当采取以下措施，即接参考电位电路或公共连接、接机壳、保证信号传输、使设备分开。

四、控制和信号要求

1. 控制和信号电路的电源和保护

（1）变压器的使用　对于具有5个以上电磁线圈（例如，接触器、继电器、电磁阀等）或电柜外还具有控制器件或仪表的机床，必须采用分离绕组的变压器给控制和信号电路供电，并应接在电源切断开关的负载侧，一般是接在两条相线之间。

（2）直接与电源连接的控制电路　如果电源具有接地中线时，在不要求专门保护措施情况下，可以把控制电路直接接到电源上。在这种情况下，控制电路必须连接在相线和接地中线之间。

（3）有几个控制变压器的电路　当机床有几个控制变压器时，每个变压器尽可能只给机床一个单元的控制电路供电。只有这样，才能使不工作的那个控制电路不会危及人身、机床和工件的安全。

（4）过电流保护　直接与电源电压连接的控制和信号电路，以及由控制和信号变压器供电的电路，必须有短路保护。

当控制和信号电路是通过变压器供电时，变压器二次侧的一根线接保护电路，而另一根线接短路保护器件。

控制和信号电路不需要过载保护。

2. 控制电路

（1）控制电压的优先值　对于简单的只有5个及以下电磁线圈的电气设备的机床，控制电路可以直接接到电源上，即接在两相线之间或相线与中线之间。这种控制电路电压不作规定，由电源电压而定。

由变压器供电的交流控制电路，二次电压为24V或48V、50Hz。

触头外露在空气中的电路，由于电压过低而使电路工作不可靠时，应采用48V或更高的电压如110V（优先值）和220V、50Hz。

直流控制电路的电压为24V、48V、110V、220V。

只能使用低电压的电子电路和电子装置可以采用其他的低电压值。

对大型机床，由于线路长，串联的触头多，压降大，一般不使用24V或48V。

（2）线圈和触头的连接　每个电磁动作器件的线圈、信号灯或向信号灯供电的变压器一次线圈，必须连接在控制电路接地的一边。各个器件的触头应接在线圈和控制电路的另一边之间。

如果保护继电器的触头与被它所控制的器件线圈之间的导线，是在同一个电柜或壁龛内，该保护继电器的触头可以连接在控制电路接地边和线圈之间。

（3）保护联锁　如果辅助功能（如润滑、冷却和排屑等）的任一电动机或装置停止工作，会危及人身安全、损坏机床或工件时，则它的意外停止（如由于热继电器动作）必须使其他电动机也停止运转。

各种操作同时进行会引起事故时，必须对这些操作设置可靠的联锁。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

控制器件（接触器、继电器和电子装置等）同时动作会带来危险时（例如相反运动），必须设法防止不正确动作的产生。控制电动机转向的反向接触器必须有联锁，使得换向时不发生短路并能正常工作。

当电动机采用反接制动时，必须采取有效措施，防止制动结束时电动机反转危害人身安全或损伤工件。绝对不允许采用时限方式控制电动机的反接制动和不会引起电动机的人为或非人为的错误起动。

并励和复励直流电动机，应具备过速或失磁保护，以防电动机过速运转。

如果超程会带来危险时，使循环正常进行的位置传感器，必须是双重的（即设置两个传感器），至少应保证停止有关运动。

3. 信号电路

当采用独立的信号电路（与控制电路不连接的电路）时，电路电压为交流或直流 6V、24V（优选电压），对应的灯泡为 6～8V、24～28V。

当采用独立的内装式变压器时，灯泡应为 6V（优选值）或 24V。在此情况下，可以把信号电路与控制电路连接。

五、电气元件布置

1. 电器的安排

电器在安排上尽可能组装在一起，使其成为一台或几台控制装置。只有那些必须安装在特定位置上的器件，如按钮、手动控制开关、位置传感器、离合器、电动机等，才允许分散安装在指定的位置上。

安装发热元件时，必须使箱内所有元件的温升保持在容许极限内。对发热很大的元件，如电动机的起动、制动电阻等，必须隔开安装，必要时可采用风冷。

2. 可接近性

所有电气元件必须安装在便于更换、检测方便的地方。

为了便于维修或调整，箱内电气元件的部位，必须位于离地 0.4～2m 之间。所有接线端子，必须位于离地至少 0.2m 处，以便于装拆导线。

3. 间隔和爬电距离

安装器件必须符合规定的间隔和爬电距离，并应考虑有关的维修条件。

控制箱中的裸露、无电弧的带电零件与控制箱导体壁板间的间隙为：对于 250V 以下的电压，间隙应不小于 15mm；对于 250～500V 的电压，间隙应不小于 25mm。

4. 控制箱内电器的安排

除必须符合上述有关要求外，还应做到：

（1）除了手动控制开关、信号灯和测量器件外，门上不要安装任何器件。

（2）由电源电压直接供电的电器最好装在一起，使其与其他控制电压供电的电器分开。

（3）电源开关最好装在箱内右上方，其操作手柄应装在控制箱前面或侧面。电源开关的上方最好不安装其他电器，否则，应把电源开关用绝缘材料盖住，以防电击。

（4）箱内电器（如接触器、继电器等）应按原理图上的编号顺序，牢固安装在控制箱（板）上，并在醒目处贴上各元件相应的文字符号。

（5）控制箱内电器安装板的大小必须能自由通过控制箱或壁龛的门，以便于装卸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

六、控制元件要求

1. 位置与安装

控制器件应尽可能地安装在干燥和清洁的地方，便于维护和检修，并避免装卸材料或其他移动设备时对其损害。

控制器件应安装在维修站台上至少 0.2m 的高处（位置传感器的脚踏控制开关除外）。

手控开关的手柄，必须安装在操作者容易摸到的范围内，并不得低于操作者站台上的 0.5m。手柄必须安装在操作者不需要靠近机床运动部件或者其他的危险部分就能摸到的地方。

2. 按钮的相对位置及颜色

（1）对应的“起动”和“停止”按钮应相邻安装。“停止”按钮必须在“起动”按钮的下边或左边。

当用两个“起动”按钮控制相反方向时，“停止”按钮可以装在它们之间。

（2）按钮的颜色，“停止”和急停按钮必须是红色。当按下红色按钮时，必须使设备停止工作或断电。

“起动”按钮的颜色是绿色。

“起动”和“停止”交替动作的按钮必须是黑色、白色或灰色，不得用红色和绿色；点动按钮必须是黑色。

复位按钮（如保护继电器的复位按钮）必须是蓝色。当复位按钮还有“停止”作用时，则必须是红色。

按钮颜色的含义及应用见表 13-1。

表 13-1 按钮颜色及其含义

颜 色	颜色的含义	典 型 应 用
红	急情出现时动作	急停
	停止或断开	总停 停止一个或几个电动机 停止机床的一部分 停止循环（如果操作者在循环期间按此按钮，机床在有关循环完成后停止） 断开开关装置 兼有停止作用的复位
黄	干 预	排除反常情况或避免不希望的变化。如当循环尚未完成，把机床部件返回到循环起始点按压黄色按钮可以超越预选的其他功能
绿	起动或接通	总起动 开动一个或几个电动机 开动机床的一部分 开动辅助功能 闭合开关装置 接通控制电路
蓝	红、黄、绿三种颜色未包括的任何特定含义	红、黄和绿色含义未包括的特殊情况，可以用蓝色 蓝色：复位
黑、灰、白	未赋予特定含义	除专用“停止”功能按钮外，可用于任何功能。如： 黑色：点动 白色：控制与工作循环无直接关系的辅助功能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）在自动和手动操作中，红色蘑菇头按钮用作急停。其他颜色的蘑菇头按钮，可用于“双手操作”的“循环开动”按钮，或用于备有机械保护装置“循环开动”按钮。在上述情况下，按钮不得为红色、应为黑色或灰色。

3. 指示灯和光标按钮的颜色及含义

（1）指示灯（通常灯亮发信息）用来发指示和作证明，前者是吸引操作者注意或指示操作者应完成某种任务；后者是证明一种命令、一种状态或条件，或者一种变化或过渡周期的结束。

指示灯颜色的规定：在使用指示灯的地方，红、黄、绿这三种颜色不得有其他含义；对于其他用途的指示灯，应使用蓝色或白色，见表 13-2。

表 13-2　指示灯的颜色及其含义

颜　色	指示灯亮的含义	说　明	典 型 应 用
红	危险或报警	警报潜在危险或要求立刻行动的情况	润滑系统压力出故障 温度超过规定（安全）极限 命令立即停止机床（如因为过载） 主要设备因保护器件动作而停止 出现容易接触的带电或运动部件的危险
黄	警　告	情况发生变化或即将发生变化	温度（或压力）不正常 出现短时的有限过载 自动循环正在进行
绿	安　全	表示安全、授权开始工作，表示无障碍	冷却液循环正常 机床准备就绪可以工作，所有必需的辅助工作完毕，各种机械处于起动状态，液压或电动机发电机组输出电压在规定范围内等 循环完毕，机床准备重新起动
蓝	按照情况需要赋予的特定含义	上述红、黄、绿三色未包括的任何特定含义，都可由蓝色表示	遥控指示 选择开关处于“整定”状态 装置处于“正向”状态 刀架或装置微量进给
白	未赋予特定含义	使用红、黄、绿三色存在问题时，可以用白色，如作证明	电源开关接通 正在选择速度或转向 与工作循环无关的辅助设备正在工作

（2）光标按钮应是灯亮和灯熄均为同一种颜色；释放按钮后，自行复位。不能采用光标按钮的地方，必须单独使用按钮和指示灯。光标按钮不得用于急停，也不得用于点动。

光标按钮用来发指示时，光标按钮灯亮，指示操作者可以或者应当按亮的按钮。在某些使用场合，指示操作者必须先完成某项任务，然后按那个按钮。灯灭，证明给出的命令已经被接受或执行完毕。使用的顺序：先是按钮灯亮，而后按压按钮。黄、绿、蓝三种通常用于这种方式。

光标按钮用来作证明时，当按下未亮的按钮时，使灯亮，证明由按钮所给出的命令已被接受或执行。此后，灯一直亮着，直至接到相反的命令为止。使用的顺序：先按压按钮，然后按钮灯亮。白色通常用于这种方式。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

光标按钮颜色的用法见表 13-3。

表 13-3 光标按钮颜色的用法

颜色及用法	光标按钮的含义	按钮的用途	应用举例及备注
红 （发指示）	不推荐使用红色光标按钮	“停止”或“断开”；有时用作“复位”（当该按钮还用作“停止”时）	如果需要使用红色，它们的含义必须严格符合表 13-1 对按钮颜色的规定
黄 （发指示）	注意或警告	避免险情出现而开始操作	某些数值（如电流、温度）接近极限 按下黄色按钮可以超越原来选定的其他功能
绿 （发指示）	机床或装置准备好可以操作	光标按钮授权后进行“起动”	起动一台或几台辅助功能电动机 起动机床部件 接通电磁吸盘或卡盘 开始循环或部分顺序动作
蓝 （发指示）	上述红、黄、绿三色和白色未包括的含义	上述红、黄、绿三色和白色未包含的任何用途	指示或命令操作者去执行某项任务，例如进行调整（在完成调整之后，按此按钮作为回答）
白 （作证明）	证实电路已经接通，或者证实一种功能或一个运动已开始或预选好	接通电路，或“起动”或预选	接通与工作循环无关的辅助电路 开动 预选：进给运动的方向和速度等 清除

七、线缆要求

1. 布线

（1）选用导线

1）硬线只能用在固定安装于不动部件之间，且导线的截面积应小于 0.5mm^2。若在有可能出现振动的场合或导线的截面积在大于等于 0.5mm^2 时，必须采用软线。

2）导线必须绝缘良好，并应具有抗化学腐蚀能力。在特殊条件下工作的导线，必须同时满足使用条件的要求。

3）导线的截面积，必须在能承受正常条件下流过的最大稳定电流的同时，还应考虑到线路允许的电压降、导线的机械强度和与熔断器相配合。

（2）敷线方法　所有导线从一个端子到另一个端子的走线必须是连续的，中间不得有接头。有接头的地方应加装接线盒。接线盒的位置应便于安装与检修，而且必须加盖。盒内导线必须留有足够长度，以便于拆线和接线。明设导线必须做到平直、整齐、走线合理的要求。

（3）接线方法　所有导线的连接必须牢固，不得松动。在任何情况下，连接器件必须与连接的导线截面积和材料性质相适应。

（4）导线的标志

1）保护导线（PE）必须采用黄绿双色；动力电路的中线（N）必须是浅蓝色；交流或直流动力电路应采用黑色；交流控制电路采用红色；直流控制电路采用蓝色。用作控制电路联锁的导线，如果是与外边控制电路连接，而且当电源开关断开仍带电时，应采用橘黄色或黄色；与保护导线连接的电路采用白色。

2）导线线号的标志应与原理图和接线图相符合。在每一根连线的线头上必须套上标有线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

号的套管，位置应接近端子处。线号应按主电路和控制电路与照明、指示电路分别编制。

① 主电路：三相电源按相序自上而下编号为 L_1、L_2、L_3；经过电源开关后，在出线端子上按相序依次编号为 U_{11}、V_{11}、W_{11}。主电路中各支路的编号，应从上至下、从左至右，每经过一个电器元件的接线柱后，编号要递增，如 U_{11}、V_{11}、W_{11}，U_{12}、V_{12}、W_{12}……单台三相交流电动机（或设备）的三根引出线按相序依次编号为 U、V、W（或用 U_1、V_1、W_1 表示），多台电动机引出线的编号，为了不致引起误解和混淆，可在字母前冠以数字来区别，如 1U、1V、1W，2U、2V、2W……在不产生矛盾的情况下，字母后应尽可能避免采用双数字，如单独一台电动机的引出线采用 U、V、W 的线号标志时，三相电源开关后的出线端编号可为 U_1、V_1、W_1。当电路编号与电动机线端标志相同时，应三相同时跳过一个编号来避免重复。

② 控制电路与照明、指示电路：应从上至下、从左至右，用数字依次编号。每经过一个电器元件的接线端子，编号要依次递增。编号的起始数字，除控制电路必须从阿拉伯数字 1 开始外，其他辅助电路依次递增 100 作为起始数字，如照明电路编号从 101 开始，信号电路编号从 201 开始等。

（5）控制箱（板）内部配线方法　一般采用能从正面修改配线的方法，如板前线槽配线或板前明线配线，较少采用板后配线的方法。

（6）控制箱（板）外部配线方法　除有适当保护的电缆外，全部配线必须一律装在导线通道内，使导线有适当的机械保护，防止液体、铁屑和灰尘的侵入。

1）导线通道应留有余量，允许以后增加导线。导线通道必须固定可靠，内部不得有锐边和远离设备的运动部件。

导线通道采用钢管，壁厚应不小于 1mm，若用金属软管时，必须有适当的保护。当利用设备底座作导线通道时，无需再加预防措施，但必须能防止液体、铁屑和灰尘的入侵。

2）移动部件或可调整部件上的导线必须用软线。运动的导线必须支承牢固，使得在接线点上不致产生机械拉力，又不出现急剧的弯曲。

不同电路的导线可以穿在同一线管内，或处于同一个电缆槽中。如果它们的工作电压不同，则所用导线的绝缘等级必须满足其中最高一级电压的要求。

凡安装在同一机械防护通道内的导线束，要提供备用导线的根数为：当同一管中相同截面积导线的根数在 3～10 根时，应有 1 根备用导线，以后每递增 1～10 根增加 1 根。

2. 连接保护电路

电气设备所有裸露导体零件（包括电动机、机座等），必须接到保护接地专用端子上。

（1）连续性　保护电路的连续性，必须用保护导线或机床结构上的导体可靠结合来保证。

为了确保保护电路的连续性，其连接件不得作任何别的机械紧固用，不得由于任何原因将保护电路拆断，不得利用金属软管作保护导线。

（2）可靠性　保护电路中严禁用开关和熔断器。除采用特低安全电压电路外，在接上电源电路前必须先接通保护电路；在断开电源电路后才断开保护电路。

（3）明显性　保护电路连接处应采用焊接或压接等可靠方法，连接处要便于检查。

八、检查和试验

1. 检查项目

（1）各个元部件的代号、标记是否与原理图上的一致和齐全。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）各种安全保护措施是否可靠。

（3）控制电路是否满足原理图所要求的各种功能。

（4）各个电气元件安装是否正确和牢靠。

（5）各个接线端子是否接牢固。

（6）布线是否符合要求、整齐。

（7）各个按钮、信号灯罩、光标按钮和各种电路绝缘导线的颜色是否符合要求。

（8）电动机的安装是否符合要求。

（9）保护电路导线连接是否正确、牢固可靠。测试外部保护导线端子与电气设备任何裸露导体零件和外壳之间的电阻，应不大于0.1Ω。

（10）检查电气线路的绝缘电阻，是否符合要求。其方法是：短接主电路、控制电路和信号电路，用500V绝缘电阻表测量与保护电路导线之间的绝缘电阻，不得小于1MΩ。当控制电路或信号电路不与主电路连接时，应分别测量主电路与保护电路、主电路与控制和信号电路、控制和信号电路与保护电路之间的绝缘电阻。

2. 空载例行试验

通电前应检查所接电源是否符合要求。通电后应先点动，然后验证电气设备各个部分的工作是否正确和操作顺序是否正常。特别要注意验证急停器件的动作是否正确。验证时，如有异常情况，必须立即切断电源查明原因。

3. 负载型式试验

在正常负载下连续运行，验证电气设备所有部分运行的正确性，特别要验证电源中断和恢复时，是否会危及人身安全、损坏设备。同时要验证全部器件的温升不得超过规定，在有载情况下验证急停器件是否仍然安全有效。

第二节　机床及机械传动设备的安全运行

机床一般指机械加工的车床、钻床、冲床、刨床、铣床、镗床等。机械传动设备一般指由电动机拖动的多类机械负载或传动装置，如刨边机、卷板机及工业生产的传动装置。

机床及机械传动设备的电气系统一般由电动机、电源装置自动测量装置和电气传动控制系统组成。电动机按前述章节电动机相关内容执行；电源装置、电气传动控制系统按前述章节低压电气系统、自动测量装置和自动仪仪表装置的有关规定执行。

一、基本要求

（1）发热严重、噪声及振动大的电气部件，起动电阻箱、电动机组，在场地允许的条件下，尽量布置在离操作者较远的位置上。经常维护检修、操作调整的部件，如控制柜，其周围则应留一定空间，以便维修人员维护及操作，并保证操作和维修的安全。

（2）线路穿管的设置，在机床内部的走线，穿过机床部件的孔或壁，必须要考虑便于操作，考虑机床运行安全，带电部分除了涂以带电警戒油漆符号或安装标牌外，带电部分的金属外壳必须可靠接地，必要时要加防护罩，控制柜要加锁，通常采用安全电压控制二次回路，一般不大于36V。

（3）重型或超重型机床或机械传动设备，为了保证人身及设备的安全，须多设几处事故紧急停车按钮，并有较完善的信号指示及故障信号装置。除了常规的电气信号外，还应增

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

设如导轨温度指示、润滑油油压油温和油量指示、通风良好指示、夹紧装置、吸盘系统操作指示等信号，以便出现故障时，迅速判断故障的原因并及时排除。

（4）机床及设备上的配线必须满足截面积、额定电压、导线颜色以及耐油和绝缘电阻的规定，其绝缘电阻应大于5MΩ。

（5）当控制柜及与器身的接零/接地不能保证可靠电接触的其他装有电气元件的金属部件或可移动的电动机的接地保护时，必须用镀锌接地螺钉并有镀锌平垫圈弹簧垫圈通过专用的接地线接地。接地螺钉直径一般为8mm，尺寸较小的部位直径不得小于5mm。不得在螺纹处、接触垫圈的平面处喷涂油漆。接地螺钉应有明显接地标志⏚，接地的金属主体与接地点之间的接触电阻不得大于$10^{-6}\Omega$。

（6）控制柜、箱、壁龛、电器盒、接线盒等以及控制柜上的通风散热的百叶窗，必须能防止油脂和铁屑等有害物质的侵入。装在上述装置内的电气元件，当门打开时，不得与周围的物体相碰。在环境恶劣条件下工作的电器，应将其密封起来。

（7）电器与控制板的紧固件，必须用镀锌件并有防松装置。导电的紧固件必须为铜质件，铜导线应一律镀锡，一般不得使用铝线。

（8）电源应接在电源开关的静触头上，电源引入线引入柜体前后必须采用防护措施以保护其绝缘层，必须装设护口电器壁龛门上，盖板上应有红色“⚡”标志。

（9）配线或插件板上不得使用酸性焊药且插件的插入必须正确可靠，并有防误插装置。插件必须保证干净无垢。

（10）除停车按钮和事故信号灯外，其他按钮和信号灯不准用红色，以避误操作。

（11）控制柜、板上所装电器或部件导电体间的爬电距离不得小于12mm；间隙不得小于8mm，保证通风散热，便于维修。

（12）发热元件一般应安装在柜的上方，并与感温器件保持300mm以上的距离。电力变流器件必须有足够的通风或水冷却，通风机必须良好，通风机一般按小型电动机保养。

（13）系统除了控制柜、电机及各种电气元件的接地外，床身及设备本体应可靠接地，一般不得少于两处，可共用一组接地体，接地电阻小于$10^{-3}\Omega$。

（14）除机床操作人员和机床电气维修人员外，非工作人员不得操作机床。机床操作人员必须按安全操作规程操作并持证上岗。

（15）机床发生故障时，必须先通知维修电工，以便正确判断故障的类别。

二、安全措施

机床及机床的电气系统必须设置安全措施，以保证操作人员、维修人员及设备本身的安全。安全措施包括保护接零、设置急停装置、采用安全电压、规定电源开关及插销的使用条件、设置控制柜的安全使用条件、导线及按钮的布置及安全使用条件等。

1. 保护接零

保护接零是将机床床身及电气设备的金属外壳与PE线直接连接或重复接地，漏电时，在其外壳上的对地电压限制在安全电压36V范围以下，避免对人身电击的危险。为预防机床电气设备漏电，免遭电击危险，保护接零电路的连续性必须得到保证，确保机床接地端子板和电气设备任何外露的金属导电体之间的电阻值不得大于0.1Ω，接地装置的连接点要采取必要措施，如进行加工，使其金属面平整，采用梅花式弹簧垫圈，确保有良好的导电性，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

同时必须满足以下要求：

（1）所有可拆卸的电器和箱体，必须具备接地螺钉或端子。

（2）金属软管不准当作地线使用，而且必须用专用接头和金属管垫使其与机床有良好的导电接触，以保证其接地良好。

（3）拆掉机床上某一电器时，不得把其他电器的保护接地线拆断，一般采用树叉式接法接地，同时拆卸后要仔细检查其连续性。

（4）机床电气设备紧固螺钉，不得用作接地螺钉，反之接地螺钉不得用作设备紧固件。而且电器的金属底座也不得用作接地母线。

（5）一个接地端子只许接一根保护地线。

2. 紧急停机

机床出现不正常的危急情况下，必须采取措施立即停车，以免事态扩大。紧急停车可以用电源开关来实现，也可用急停按钮来实现，对急停停机器件要求如下：

（1）手柄或蘑菇头按钮帽必须采用红色。

（2）底盘或底面必须是黄色的，其形状不作规定，可以是圆形、正四方形或其他形状。

（3）急停停机器件近旁不得作任何图样的形象化符号。

（4）急停按钮的按钮帽必须是圆形蘑菇式的，不许用其他形状的，如矩形、方形等。

（5）急停按钮的按钮帽必须突出来。

（6）急停按钮不得用带灯的按钮帽。

（7）急停按钮一般为自锁式的。

（8）急停装置必须便于操作，并设置在明显而便于触及的部位。

3. 安全电压

机床电路中除电动机外，照明电路，控制回路，制动装置，直流电源均使用安全电压，一般为 24V/36V。

4. 电源开关

进行清扫机床，维修机床或电气设备以及较长时间不使用时，必须使机床电气设备与电网隔离，以免发生人身及设备事故。电源开关有要求如下：

（1）所有带电端子应加盖，电源开关断电后，仍然带电的部分，必须加绝缘防护，以防偶然触电，盖上必须贴上三角红色闪电标志⚠，提醒人们注意。电源开关进线端子必须加盖，如果进线不经电源进线板，而是直接接在电源开关端子上，其电源侧端子必须加绝缘盖板。

（2）电源开关必须设锁住机构，以便不用机床时在断开位置上锁住主开关。大型机床须设有几把安全锁，每把锁都要有自己的钥匙，分别由需要者掌握。一个钳工和一个电工同时进行同一台机床的检修时，他们就得各自有一把锁将电源开关锁住。当两人各自分别完成任务后才把锁打开，这样有利于人身安全。

（3）机床电源开关必须有手动的操作手柄，以便操作方便且标志明显。

（4）电源只许有一个接通位置和一个断开位置，不许有几个接通和断开位置，也不许有其他功能的位置，倒顺开关不准用作电源开关使用。

（5）手动器件、如按钮、选择开关等，在其附近或在元件上，必须具有清楚、耐久的功能标志。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 插销用作电源开关的条件

用插销作为机床电气设备的电源开关必须满足以下条件：

（1）电动机功率不超过2kW，交流电流不超过16A，直流电流除外。

（2）插销必须有接地极，接地极应长于载流极，并必须做到先接触后断开。

（3）机床电气设备必须具有切断负载的开关，插销只能作为隔离开关用，绝对不许作为负荷开关用，不得用来切断电流。

（4）必须安装在从操作位置看得见和摸得着的位置上，操作方便。

6. 机床可以有几个辅助电源开关，这些开关不经过电源总开关，但必须有熔断器保护，如

（1）检修机床时照明电路的开关。

（2）维修用具的插销电路。

（3）欠电压脱扣电路和控制电路。

（4）与外界控制电路联锁的电路。

上述电路应有自设的主开关，以便不用时切断自己的电源。但这些开关必须连接在电源开关之前，主电源开关切断后，这些分电源开关的端子上还有电压，要求必须遮盖。同时必须在其电源开关的旁边加一标牌，注明那些电路在主电源开关切断后仍有电压并用红色标注，如：

注意：主电源开关切断后，此电路仍有电 这个电路可由某某开关来切断！

7. 控制柜（箱）

（1）控制柜或壁龛上的所有通孔均应密封，应达到防护等级的要求，决不许与冷却、润滑或油槽（箱）之间有通孔，以防止有害于元器件的工作性能或污染元件而致损坏。

（2）控制柜或壁龛门的开度不应小于90°，应有门的固定机构，门的宽度不得大于0.9m，当门用螺钉紧闭时，螺栓头不得装有手柄，以防随便打开电柜的门。

（3）门内和控制柜内壁的颜色应为橘黄色或橘红色。

（4）门上仅能安装人工控制开关、信号和测量仪表。人工控制开关是指按钮、电键开关、选择开关，不应为手动的电源开关。电源开关元件必须装于柜内。

（5）右开门和双开门的控制柜，电源开关最好安装在控制柜内右上方，而开关上方不得安装其他电器，如果必须安装其他电器时，电源开关上方必须用绝缘盖板遮挡住，以免发生电击危险或短路故障。

（6）装有电气元件的控制柜、壁龛及其他地方，当从控制柜、壁龛等的外部不能辨别其内部是否装有电气元件，必须在门或盖板上设有黑边、黄底、红色闪电符号的三角形标记⚠。

（7）打开控制柜必须用钥匙或工具，打开门前必须先断电源，打开门后，门内高于50V的带电部分必须加以保护，预防意外触电，同时应有文字标注。

（8）电气设备断电后，如有充电元件存在时，应给它并联上放电电阻，使其在5s内把电压降到120V以下，否则在门上装有警告牌。如果危险电压延伸到控制柜外面，必须强制把电压在5s内降到120V以下。

（9）控制柜必须符合防护等级的要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8. 布线色标

（1）色标。保护导线为黄绿双色线；动力电路的零线为浅蓝色，交流或直流动力电路为黑色，交流控制电路为红色，直流控制电路为蓝色，与保护导线连接的控制电路为白色，与电网直接相连的联锁电路为橘黄色或黄色。

（2）橘黄色或黄色。与电网直接连接的联锁电路，当电源断开后，仍然带电，如用断路器和分励线圈构成联锁电路，当门打开，电源开关断开后，此电路仍带电，就应采取橘黄色或黄色线。

（3）白色。白色导线用于控制电路与接地电路连接的导线（功能接地），在正常工作期间有电流流过。如控制变压器接保护导线一边，各个接触器、继电器接保护导线的一边都必须使用白色线。

（4）浅蓝色和蓝色。动力电路的浅蓝色与直流电路的蓝色线，在颜色深度上往往不易区分，此两种电路可用同一颜色的导线，但必须注意在用法上加以区别，如接线板的安排和不同的端子代号等。

（5）电缆中芯线的颜色。电缆芯线颜色不受规定的约束，但当芯线有黄绿双色的线芯时，则必须用作保护接地，不准作其他用，对于其他颜色的线芯使用时一定要编号。

9. 按钮的颜色及标记（见表 13-1）

10. 光标按钮颜色的含义（见表 13-2）

三、电气故障检查

机床电气设备的电气元件种类和规格繁多，不同的机床有不同的电气结构。因此引起机床电气线路发生故障的因素也很多，有时机床电气线路往往发生多种难以预料的故障，处理这些故障有时存在很大难度。

电气设备在运行中经常会发生各种各样的故障，当遇到故障时切忌无目的地乱找，不得胡拆乱卸，这样不仅不能迅速排除故障，反而会使故障扩大而引起严重事故。所以，必须按照事故处理程序逐步解决。处理事故程序和方法有五个方面。

1. 电气故障检查

处理故障前，先向机床操作者了解发生故障的情况和现象，以便准确地判断故障可能发生的部位，进而迅速排除故障。一般应向操作者了解以下几点：

（1）故障发生在机床开动前，还是开动后，还是运行中；是运行中自动停止，还是在异常情况后由操作者停下来的。

（2）发生故障时，机床处于什么工作状态，按了哪个按钮，扳动了哪个开关。

（3）故障发生前后机床有何种异常情况（如声音、振动、气味、弧光等）。

（4）以前机床有无发生过类似故障，是怎样处理的。

（5）听取机床故障介绍时，要正确地分析判断是机械或液压的故障，还是电气故障，或者是综合故障。

2. 电路分析

作为维修电工必须熟悉机床电路，按检查结果和结合故障现象，进行电路分析、判断，从主电路到控制电路，从交流电路到直流电路，逐步缩小故障范围，直到迅速查出故障点并加以排除。

复杂的机床电气线路，应将复杂线路分成若干单元以便分析，并正确判断出故障点。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 断电检查

检查前先将机床电源断开；必要时取下动力配电箱内的熔断器并上锁，在安全的情况下，根据不同性质的故障及可能产生故障的部位，逐一进行检查。

（1）检查电线进口处，有无损伤而引起的电源接地、短路、放电等现象。

（2）熔断器有无烧损痕迹，并判断是短路，还是过载。

（3）检查配线及电气元件有无明显变形损坏或过热，烧焦、变色或出现臭味。

（4）限位开关、继电保护装置、热继电器是否动作。

（5）断路器、接触器、继电器等的可动部分，动作是否灵活、可靠，接线是否松脱。

（6）可调电阻的滑动触点，电刷支架是否有窜动离开原位。

（7）导线连接是否良好，接头有无松动或脱落、烧坏。

（8）故障部分的导线、元件、电机等用万用表进行通断检查，并仔细检查有无其他不妥。

（9）用绝缘电阻表检查电机和控制线路的绝缘电阻，一般应不小于0.5MΩ。

（10）检查控制电路及元件有无故障和不妥。

4. 通电检查

断电检查找到故障原因经修复后，应对电气设备进行通电检查。

（1）先切断电动机电源，接通控制电路，操作按钮或开关，检查试验控制电路上的接触器、继电器等动作是否正确，如动作正确说明故障在主电路；如不动作或动作不正确，说明故障在控制电路，然后再进一步找出原因，确定故障点，予以排除。

（2）使用绝缘电阻表、万用表、钳形电流表等测量电阻、电压、电流等工作参数，将测量结果与正常值进行比较，从中分析故障原因并进行排除。

（3）对复杂的机床电气设备，应先将电路划分为若干单元，每一个单元应分段逐一检查，以防故障点被漏掉。

（4）断开全部开关，取下各熔断器，再按顺序逐一插入需要检查部位的熔断器，合上开关，观察有无冒烟、冒火、熔体熔断等现象。然后再观察各电气元件是否能按要求顺序动作，并需仔细地逐项检查，以免故障范围扩大。必要时应单独试验电动机运转是否正常以便确定故障是主电路，还是控制电路。特别是多台电动机的机床必须单独试验每台电动机。

（5）机床的正常运行，是由电气线路和机械系统互相协调配合实现的，机床出现故障停止运行，可能是电气原因，也有可能是机械系统的原因，因此，必须与机修人员共同检修。

5. 检查电路注意事项

（1）用绝缘电阻表测量绝缘电阻时，在低压系统中用500V绝缘电阻表，而在测量前应将弱电系统的元器件如晶体管、晶闸管、电容器、PC等断开，以免造成过电压而击穿，损坏元器件。

（2）检查时，若需拆开电机或电气元件接线端子，应在拆开处两端贴上标号，不要凭记忆记标号，以免出现差错。断开线头要作通电试验时，要检查有无接地、短路或人体接触的可能，要用绝缘胶布临时包扎，以防止发生意外事故。

（3）更换熔体时，应按原规格更换，严禁用铜线或铁丝代替，故障处理完毕前，先临时换上规格较小的熔体试验，以防止故障范围扩大。

（4）电动机、电动机扩大机、磁放大器、各种继电器及继电保护装置、微机系统需要作重新调整时，应按原资料提供的参数调整，不得更改技术参数，并做好记录，供下次调整时参考。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（5）检查完毕后，应先清理现场，恢复所有拆开的端子线头，检查一下熔断器、开关手把、行程开关的正常工作位置，再按规定的方法、步骤进行试车。不能强行起动机床。

第三节　常用机床电路分析

一、CW6163B 型车床的电路

1. 主电路

机床电源采用三相 380V 的交流电源，由电源开关引入，并有保护接地措施。

总熔断器 FU 主要起保护和隔离作用。电动机 M1 的短路保护是由低压断路器 QF 的电磁脱扣器来实现的；M2、M3 的短路保护是由熔断器 FU1 来实现。电动机 M1 与 M2 的过载保护是由各自的热继电器 FR1 与 FR2 来实现。交流电流表是用以监察 M1 在工作时的负载电流的。CW6163B 型车床的电气控制线路见图 13-1。机床电器元件明细表见表 13-4。

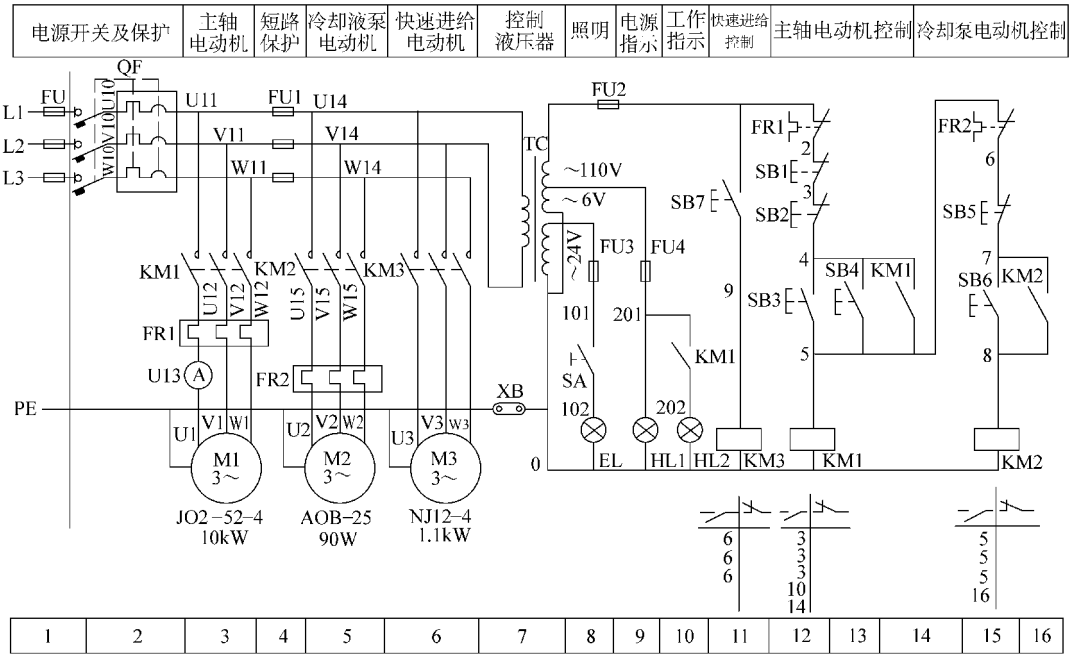


图 13-1　CW6163B 型车床电路图

表 13-4　CW6163B 型车床电器元件明细表

代　号	名　称	型号与规格	件数	备　注
QF	低压断路器	DZ5-50	1	减压式脱扣
M1	主轴电动机	J02-52-4 10kW	1	
M2	切削液泵电动机	AOB-25 90W	1	
M3	快速进给电动机	NJ12-4 1.1kW	1	
FU1	熔断器	RL1-15/6	3	
FU2		RL1-15/4	1	
FU3、FU4		RL1-15/2	2	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

代　号	名　称	型　号　与　规　格	件数	备　注
TC	控制变压器	BK-100　380V/110、24.6V	1	
KM1	交流接触器	CJ0-40　线圈电压 110V	1	
KM2、KM3	中间继电器	JZ7-44　线圈电压 110V	2	
FR1	热继电器	JR16-60/3D 整定电流 19.9A	1	
FR2		JR16-20/3D 整定电流 0.32A	1	
SB1、SB2	按　钮	LA19-11J　蘑菇形带自锁	2	红色
SB3		LA19-11D	1	绿色
SB4～SB6		LA19-11		二绿一红
SB7		LA19		
A	交流电流表	81T2-A0-50A	1	直接接入
HL1、HL2	指　示　灯	ZSD-0　6V	1	白色
EL	照　明　灯	JC2　24V、40W	1	
SA	灯　开　关		1	

2. 控制电路

控制电路由控制变压器 TC 供电，控制电压 110V，采用熔断器 FU2 作短路保护。

主轴电动机采用两地控制，在起动时，按起动按钮 SB3 或 SB4，接触器 KM1 线圈通电吸合，其常开触点（4-5）闭合自锁并接通了切削液泵电动机的控制电路电源。同时 KM1 主触点闭合，主轴电动机起动运转。停机时，按下停止按钮 SB1 或 SB2，接触器 KM1 失电释放，电动机 M1 断电停转并失去自锁。

因切削液泵电动机 M2 与主轴 M1 是实现两台电动机联锁控制。所以，只有当主轴电动机 M1 起动后，M2 才能起动，当 M1 停转时，M2 即随之停转。

为了安全需要快速进给电动机采用点动控制。按下按钮 SB7，即可实现快速进给运动。

电动机 M1 或 M2 过载时，其热继电器 FR1 或 FR2 动作，常闭辅助触点断开控制电路电源。接触器 KM1 或 KM2 断电释放，使电动机 M1 或 M2 失电停转，从而起到过载保护作用。

3. 照明、指示电路较为简单，自行分析。

二、X62W 型万能铣床的电路

1. 主电路

X62W 型万能铣床电气控制线路见图 13-2。M1 是主轴电动机；M2 是进给电动机；M3 是冷却泵电动机。

（1）主轴电动机 M1 通过换相开关 SA4 与接触器 KM1 配合，能进行正反转控制，而与接触器 KM2、制动电阻 R 及速度继电器 KS 的配合，能实现串电阻瞬时冲动和正反转反接制动的控制，并能通过机械进行变速。

（2）进给电动机 M2 能进行正反转控制，通过接触器 KM3、KM4 与行程开关及 KM5、牵引电磁铁 YA 的配合，能实现进给变速时的瞬时冲动，六个方向的常速进给和快速进给控制。

（3）冷却泵电动机 M3 只能正转。

（4）FU1 作机床总短路保护，也兼作 M1 的短路保护；FU2 作为 M2、M3 及控制照明变压器一次侧的短路保护；热继电器 FR1、FR2、FR3 分别作为 M1、M2、M3 的过载保护。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

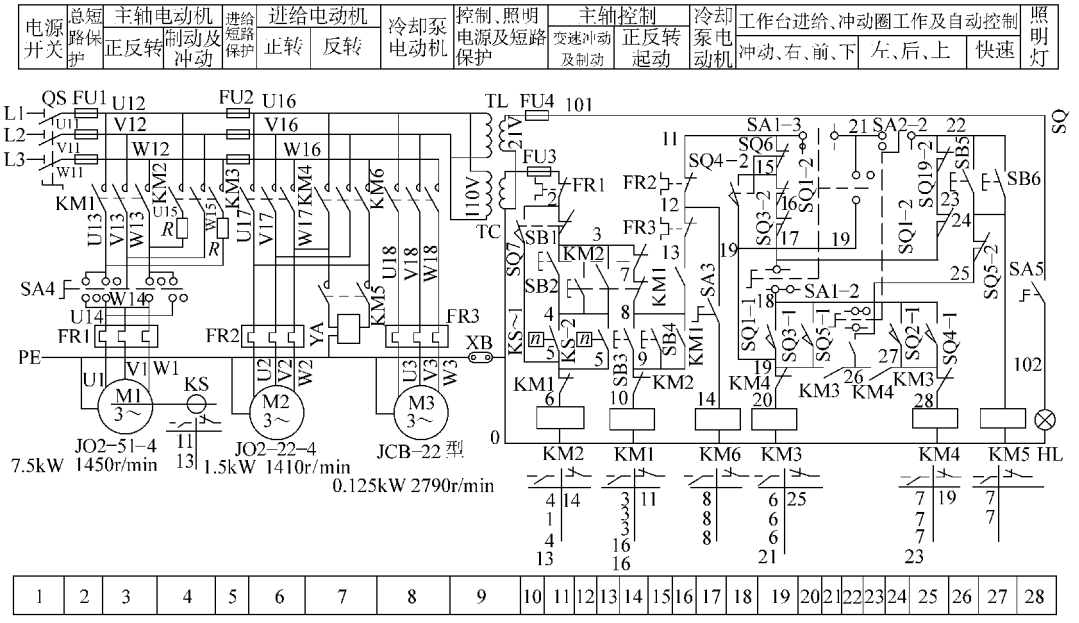


图 13-2 X62W 型万能铣床电路图

2. 控制电路

（1）主轴电动机的控制电路见图 13-3。

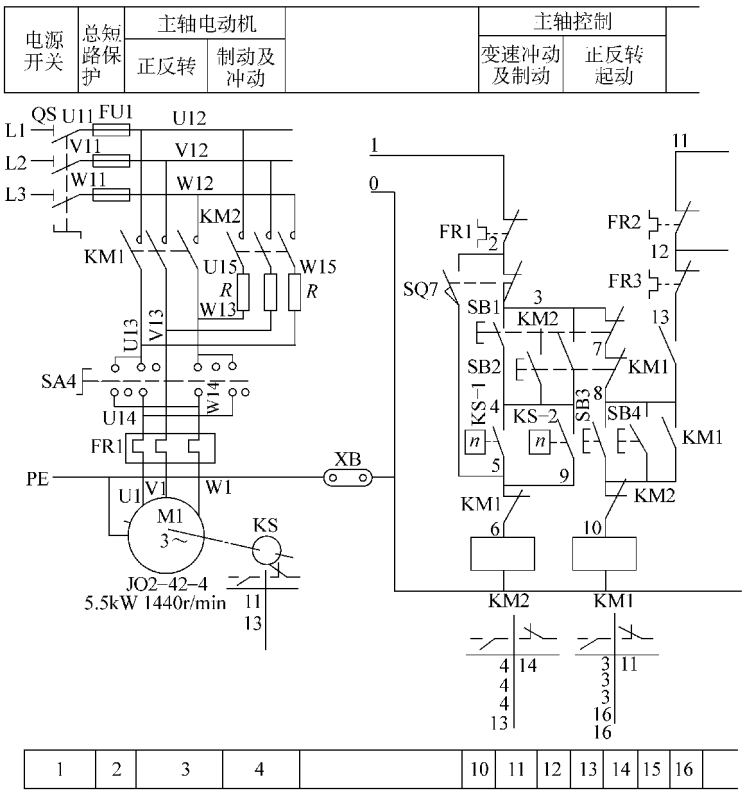


图 13-3 主轴电动机控制电气原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）SB1、SB3 与 SB2、SB4 为装在机床两边的停止（制动）和起动按钮，实现两地控制。

2）KM1 是主轴电动机起动接触器，KM2 为反接制动和主轴变速冲动接触器。

3）SQ7 为与主轴变速手柄联动的瞬时动作行程开关。

4）主轴电动机起动时，先将 SA4 扳到主轴电动机旋转方向，然后再按起动按钮 SB3 或 SB4 来起动电动机 M1。

5）M1 起动后，速度继电器 KS 的一副常开触点闭合，为主轴电动机的停转制动做好准备。

6）停机时，按停止按钮 SB1 或 SB2 切断 KM1 电路，接通 KM2 电路，改变 M1 的电源相序进行串电阻反接制动。当 M1 转速低于 120r/min，速度继电器 KS 的一副常开触点恢复断开，切断 KM2 电路，M1 停转，制动结束。

7）主轴电动机变速时的瞬动（冲动）控制，是利用变速手柄与冲动行程开关 SQ7 通过机械上的联动机构进行控制的。图 13-4 是主轴变速冲动控制示意图。

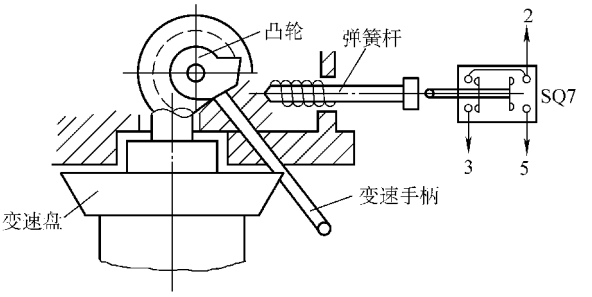


图 13-4　主轴变速冲动控制示意图

变速时，先下压变速手柄，然后拉到前面，当快要落到第二道槽时，转动变速盘，选择需要的转速。此时凸轮压下弹簧杆，使冲动行程开关 SQ7 的常闭触点先断开，切断接触器 KM1 线圈的电路，电动机 M1 断电；同时 SQ7 的常开触点后接通，KM2 线圈得电动作，M1 被反接制动。当手柄拉到第二道槽时，SQ7 不受凸轮控制而复位，M1 停转。接着把手柄从第二道槽推回原始位置时，凸轮又瞬时压动行程开关 SQ7，使 M1 反向瞬时冲动一下，以利于变速后的齿轮啮合。这里要注意，不论是开机还是停机时变速，都应以较快的速度把手柄推回原始位置，以免通电时间过长，引起 M1 转速过高而打坏齿轮。

（2）工作台进给电动机的控制　工作台的纵向、横向和垂直运动都由进给电动机 M2 驱动，接触器 KM3 和 KM4 使 M2 实现正反转，用以改变进给运动方向。它的控制电路采用了与纵向运动机械作手柄联动的行程开关 SQ1、SQ2 和横向垂直运动机械作手柄联动的行程开关 SQ3、SQ4，相互组成复合联锁控制。在选择三种运动形式的六个方向移动时，只能进行其中一个方向的移动，以确保操作安全。当这两个机械操作手柄都在中间位置时，各行程开关都处于未受压的原始状态，见图 13-5 和图 13-6。

在机床接通电源后，将控制圆工作台的组合开关 SA1 扳到断开位置，使触点 SA1-1（17-18）和 SA1-3（11-21）闭合，而 SA1-2（19-21）断开，再将选择工作台自动与手动控制的组合开关 SA2 扳到手动位置，使触点 SA2-1（18-25）断开，而 SA2-2（21-22）闭合，然后起动 M1。这样接触器 KM1 吸合，使 KM1（8-13）闭合，就可进行工作台的进给控制。

1）工作台垂直（上下）和横向（前后）运动的控制见图 13-5。

工作台的垂直和横向运动，由垂直和横向进给手柄操纵。此手柄是复式的，有两个完全相同的手柄分别装在工作台左侧的前、后方。手柄的联动机械一方面能压下行程开关 SQ3 或 SQ4，同时能接通垂直或横向进给离合器。操纵手柄有五个位置，五个位置是联锁的，工作台的上下和前后的终端保护，是利用导轨旁与工作台座上的撞铁。将操纵十字手柄撞到中间位置，使 M2 断电停转。操作手柄位置与工作台运动方向见表 13-5。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

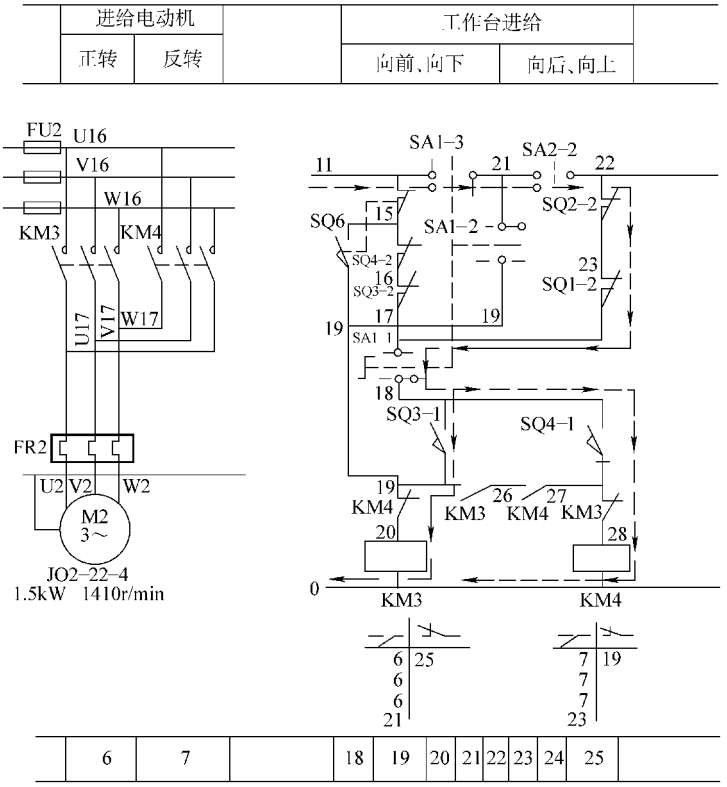


图 13-5 工作台垂直和横向运动控制电气原理图

表 13-5 工作台垂直与横向运动的操纵手柄位置

手柄位置	工作台运动方向	接通离合器
向上	向上进给或快速向上	垂直进给离合器
向下	向下进给或快速向下	垂直进给离合器
向前	向前进给或快速向前	横向进给离合器
向后	向后进给或快速向后	横向进给离合器
中间	垂直或横向停止	横向进给离合器

手柄位置	动作行程开关	动作接触器	M2 转向
向上	SQ4	KM4	反转
向下	SQ3	KM3	正转
向前	SQ3	KM3	正转
向后	SQ4	KM4	反转
中间	—	—	停止

工作台向上运动的控制　M1 起动后，将操作手柄扳至向上位置，其联动机构一方面机械上接通垂直离合器，另一方面压下行程开关 SQ4，图区 19 上的 SQ4（15-16）断开，图区 25 上的 SQ4（18-27）闭合，见表 13-6，接触器 KM4 线圈通电吸合，M2 反转，工作台向上运动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

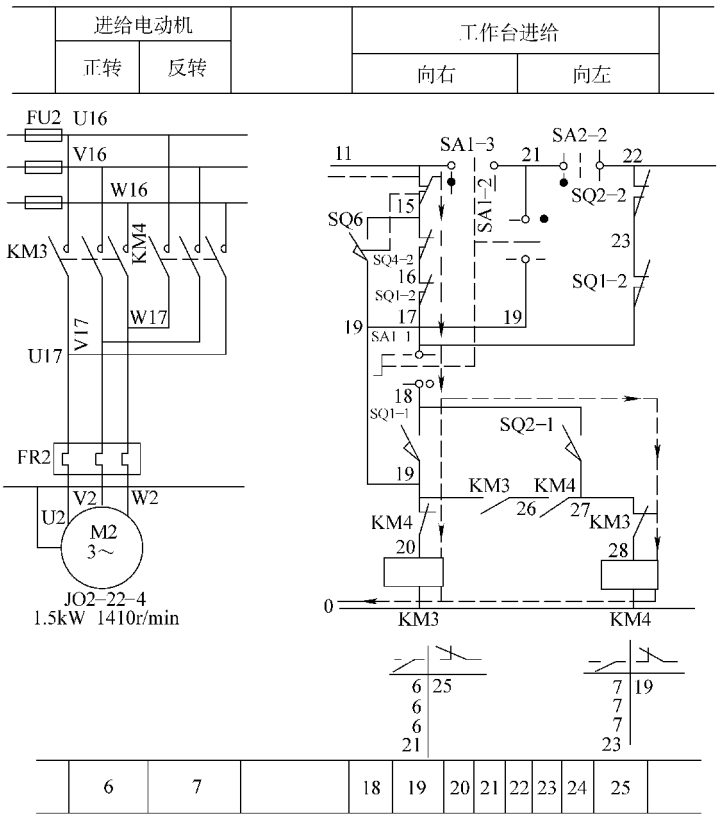


图 13-6　工作台纵向运动控制电气原理图

表 13-6　工作台垂直、横向进给行程开关 SQ3、SQ4 通断表

触点 \ 位置		向上、向后	停　止	向下、向前
SQ3	18—19	–	–	+
	16—17	+	+	–
SQ4	18—27	+	–	–
	15—16	–	+	+

工作台向后运动控制　当操纵手柄扳至向后位置，机械上接通横向进给离合器，而压下的行程开关仍是 SQ4，在电路上仍然接通 KM4，M2 反转，但在横向进给离合器的作用下，机械传动装置带动工作台向后进给运动。

工作台向下运动的控制　操纵手柄扳至向下位置时，机械上接通垂直进给离合器，同时压下行程开关 SQ3，其图区 19 上的常闭触点 SQ3-2（16-17）断开，图区 20 上的常开触点 SQ3-1（18-19）闭合，接触器 KM3 吸合，M2 正转，工作台向下进给运动。

工作台向前运动的控制　操纵手柄扳至向前位置时，机械上接通横向进给离合器，而压下的行程开关仍是 SQ3。在电路上仍然接通 KM3，M2 正转，但在横向离合器的作用下，机械传动装置带动工作台向前运动。

2）工作台的纵向运动也是由进给电动机 M2 驱动的，由纵向操纵手柄来控制。这个手

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

柄也是复式的，一个安装在工作台底座的顶面中央部位，另一个安装在工作台底座的左下方。手柄有三个位置：向左、向右、零位。手柄扳到向右或向左运动方向时，手柄的联动机构压下行程开关 SQ1 或 SQ2，使接触器 KM3 或 KM4 吸合，控制进给电动机 M2 的正反转。工作台左右运动的行程，可通过调整工作台两端的撞铁位置来实现。工作台纵向运动到极限位置时，撞铁撞动纵向操纵手柄，使它回到零位，M2 停转，工作台停止运动，实现了纵向终端保护，见图 13-6。

工作台向左运动的控制　M1 起动后，将操作手柄扳至向左位置，一方面在机械上接通纵向离合器，另一方面在电气上压下行程开关 SQ2。使图区 25 上的行程开关常闭触点 SQ2-2（22-23）断开，图区 24 上的行程开关 SQ2-1（18-27）闭合，其他控制进给运动的行程开关都处于原始位置，见表 13-7。这样接触器 KM4 吸合，M2 反转，工作台向左进给运动。

表 13-7　工作台纵向进给行程开关 SQ1、SQ2 通断表

触点 \ 位置		向左	停　止	向右
SQ1	18～19	−	−	+
SQ1	17～23	+	+	−
SQ2	18～27	+	−	−
SQ2	22～23	−	+	+

工作台向右运动的控制　操纵手柄扳至向右位置时，机械上仍然接通纵向进给离合器，但却压动了行程开关 SQ1。其 SQ1-2 常闭触点（17-23）断开，SQ1-1 常开触点（18-19）闭合，使接触器 KM3 吸合，M2 正转，工作台向右进给运动。

3）铣床在不作铣切加工时，工作台能快速移动，工作台快速移动控制，分手动和自动两种控制方法。铣工在操作时，多数采用手动快速进给控制。

工作台快速进给也是由进给电动机 M2 来驱动，在纵向、横向和垂直三种运动形式六个方向上都可以实现快速进给控制。

主轴电动机起动后，将进给操纵手柄扳到所需位置，工作台按照选定的速度和方向作常速进给移动时，再按下快速进给按钮 SB5（或 SB6），使接触器 KM5 通电吸合，接通牵引电磁铁 YA，通过杠杆使摩擦离合器接合，减少中间传动装置。工作台按原运动方向作快速进给运动，当松开快速进给按钮时，电磁铁 YA 断电，摩擦离合器断开，快速进给运动停止，工作台仍按原速进给时的速度继续运动。

4）变速时，为使齿轮易于啮合，进给变速与主轴变速一样，设有变速冲动环节。当需要进行进给变速时，应将转速盘的蘑菇形手轮向外拉出并转动转速盘，把进给量的标尺数字对准箭头，然后再把蘑菇形手轮用力向外拉到极限位置并随即推向原位。在一次操作手轮的同时，其连杆机构二次瞬时压下行程开关 SQ6，使 SQ6 的常闭触点 SQ6（11-15）断开，常开触点 SQ6（15-19）闭合，使接触器 KM3 得电吸合。其通电回路（见图 13-6）是 11-21-22-23-17-16-15-19-20-KM3-0，电动机 M2 正转。因为 KM3 是瞬时接通的，故能达到 M2 瞬时转动一下，从而保证变速齿轮易于啮合。

进给变速瞬时冲动的通电回路要经过 SQ1～SQ4 四个行程开关，只有当进给运动的操作手柄，都在中间（停止）位置时，才能实现进给变速冲动控制。与主轴变速时冲动控制一

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

样，电动机的通电时间不能太长，以防止转速过高，在变速时打坏齿轮。

（3）圆工作运动的控制　铣前螺旋槽、弧形槽等曲线时，可在工作台上安装圆形工作台及其传动机械。圆形工作台的回转运动也是由进给电动机 M2 驱动的。

圆工作台工作时，先将进给操作手柄都扳到中间（停止）位置，然后将圆工作台组合开关 SA1 扳到接通位置，这时图 13-6 中图区 19 和图区 20 上的 SA1-1 及 SA1-3 断开，图区 22 上的 SA1-2 闭合（见表 13-8）。准备就绪后，按下主轴起动按钮 SB3 或 SB4，则接触器 KM1 与 KM3 相继吸合。主轴电动机 M1 与进给电动机 M2 相继起动并运行，而进给电动机仅以正转方向带动圆工作台作定向回转运动。此时 KM3 的通电回路为 1-2-3-7-8-13-12-11-15-16-17-23-22-21-19-20-KM3-0。若要使圆工作台停止运动，可按主轴停止按钮 SB1 或 SB2，则主轴与圆工作台同时停止工作。

表 13-8　圆工作台组合开关 SA1 通断表

位置 / 触点	圆工作台	
	接通	断开
SA1-1（17-18）	−	+
SA1-2（19-21）	+	−
SA1-3（11-21）	−	+

由通电回路中可知，圆工作台不能反转，只能定向作回转运动，并且不允许工作台在纵向、横向和垂直方向上有任何运动。当圆工作台工作时，若误操作而扳动进给运动操纵手柄，由于实现了电气上的联锁，就立即切断圆工作台的控制电路，电动机停止运转。

X62W 型铣床电器元件明细表见表 13-9。

表 13-9　X62W 型万能铣床电器元件表

代号	名称	型号与规格	件数	备注
1M	主轴电动机	J02-51-4、7.5kW、1450r/min	1	380V、50Hz、T2
2M	进给电动机	J02-22-4、1.5kW、1410r/min	1	380V、50Hz、T2
3M	切削液泵电动机	JCB-22、0.125kW、2790r/min	1	380V、50Hz
KM1、KM2	交流接触器	CJ0-20、110V、20A	2	
KM3～KM6		CJ0-10、110V、10A	4	
TC	控制变压器	BK-150、380/110V	1	
TL	照明变压器	BK-50、380/24V	1	
SQ1、SQ2	位置开关	LX1-11K	2	开启式
SQ3、SQ4		LX2-131	2	自动复位
SQ5～SQ7		X3-11K	3	开启式
QS	组合开关	HZ1-60/E26、三极、60A	1	
SA1		HZ1-10/E16、三极、10A	1	
SA2		HZ1-10/E16、二极、10A	1	
SA4		HZ3-133、三极	1	
SA3、SA5		HZ10-10/2、二极、10A	2	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

代　号	名　称	型号与规格	件数	备　注
SB1、SB2	按　钮	LA2、500V、5A	2	红色
SB3、SB4		LA2、500V、5A	2	绿色
SB5、SB6		LA2、500V、5A	2	黑色
R	制动电阻器	ZB2、1.45W、15.4A	2	
FR1	热继电器	JR0-40/3、额定电流16A	1	整定电流14.85A
FR2		JR10-10/3、热元件编号10	1	整定电流3.42A
FR3		JR10-10/3、热元件编号1	1	整定电流0.415A
FU1	熔断器	R11-60/35、熔体35A	3	
FU2～FU4		RL1-15、熔体10A、3只、6A、2A、各1只	5	
KS	速度继电器	JY1、380V、2A	1	
YA	牵引电磁铁	MQ1-5141、线圈电压380V	1	拉力150N
EL	低压照明灯	K-2、螺口	1	配灯泡24V、40W

三、T68型镗床的电路

T68镗床有两台电动机，一台是主轴电动机M1，它通过变速箱传动机构带动主轴及花盘旋转并作为常速进给的动力，同时还带动润滑泵。另一台电动机M2，是快速进给电动机，它带动主轴的轴向进给、主轴箱的垂直进给、工作台的横向和纵向进给的快速移动。T68型镗床电气控制线路见图13-7。

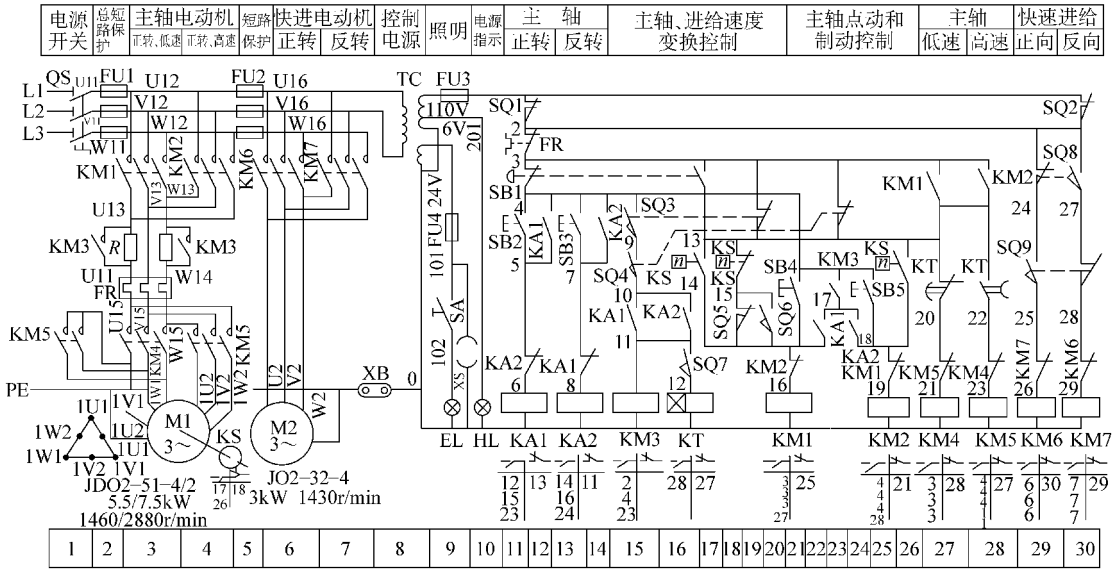


图13-7　T68型镗床电路图

M1是一台双速电动机，它可进行点动或连续正反转控制。停机制动采用速度继电器KS控制的反接制动。为了限止制动电流和减小机械冲击，M1在制动、点动及主轴和进给的变速冲动控制时串入了电阻器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

M2 能进行正反转控制，由于它的工作性质是短时工作制，一般不采用热继电器进行过载保护。

1. 开机前准备

（1）合上电源开关，电源指示灯 HL 亮，把照明开关 SA 合上，局部工作照明灯 EL 亮。

（2）选择主轴转速和进给量。主轴和进给量选择时，行程开关 SQ3～SQ6 的通断情况见表 13-10。

表 13-10　主轴转速和进给量变速行程开关 SQ3～SQ6 通断表

变换控制内容	触　点	变　换　时	变　换　后
主轴转速变换	SQ3（4-9）	－	＋
	SQ3（13-3）	＋	－
	SQ5（14-15）	＋	－
进给量变换	SQ4（9-10）	－	＋
	SQ4（3-13）	＋	－
	SQ6（14-15）	＋	－

（3）调整主轴箱和工作台的位置。调整后行程开关 SQ1 和 SQ2 的常闭触点均处于闭合状态。

2. 主轴电动机的控制

（1）正反转控制　正转时，按下按钮 SB2，中间继电器 KA1 吸合，使接触器 KM3 吸合。它们的常开触点 KA1（14-17）和 KM3（4-17）闭合，使接触器 KM1 通电吸合，KM4 随之吸合，电动机正向起动作低速（△接法）运转。

反转控制时，按下 SB3，继电器、接触器通电吸合顺序为 KA2—KM3—KM2—KM4，电动机反向起动并作低速运转。

（2）高低速转换控制　低速运转时主轴电动机 M1 定子绕组作△接法，$n=1460\text{r/min}$；高速时 M1 定子绕组为 2 丫接法，$n=2880\text{r/min}$。

1）低速控制与上述正反转控制过程相同。电动机 M1 定子绕组作△接法。

2）高速控制时把变速手柄换到高速位置时，微动开关 SQ7 受压而闭合，时间继电器 KT 线圈将与 KM3 同时吸合。经过 1～2s 延时后 KT（13-20）常闭触点断开，使 KM4 失电。电动机失电停转，同时时间继电器 KT（13-22）常开触点闭合，使接触器 KM5 线圈通电吸合，使电动机定子绕组从△接法转换为 2 丫接法，则使 M1 变为高速运转，转速 $n=2880\text{r/min}$。

从图 13-7 中可知，不管 M1 在低速运转时，还是在停机时，若将主轴变速手柄置于高速位置，电动机 M1 总是先低速运转（低速起动）1～2s 后，再自动转换到高速运转。

（3）停机制动控制　M1 在高速正转运行时，由于速度继电器 KS 的常开触点 KS（13-18）在转速为 120～150r/min 时已经闭合。为反接制动停机做好了准备。这时，按下停止按钮 SB1 将产生如下动作：

1）SB1（3-4）先断开，使 KA1、KM3、KT、KM1 的线圈同时断电，KM5 的线圈也即时断电。

2）KM1 断电，其主触点断开、电动机断电，KM1（18-19）闭合，为制动作准备。

3）KT 断电，其触点 KT（13-22）恢复断开；KT（13-20）恢复闭合，使电动机的制动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在低速运转状态下进行。

4）KM3 断电，其主触点断开，使 M1 制动时串入电阻器 R。

5）停止按钮的常开触点 SB1（3-13）后闭合时，这时电动机的转速很高，速度继电器 KS（13-18）仍处闭合状态。因为接触器 KM2 线圈通电吸合，KM4 线圈随之吸合，电动机在低速情况下串电阻进行反接制动。

6）KM2 吸合后，其常闭触点 KM2（14-16）断开，与接触器 KM1 进行互锁控制，而其常开触点 KM2（3-13）闭合。当放开停止按钮时，KM2 仍能通电，使制动继续进行。

7）当电动机 M1 的转速降至约 120r/min 时，速度继电器的常开触点 KS（13-18）恢复断开，KM2 断电，随之 KM4 也断电，电动机停转，反接制动结束。

如果 M1 反转时进行制动，则 KS 的另一副常开触点 KS（13-14）闭合，同样使 KM1、KM4 吸合进行反接制动。

（4）点动控制调整　调整正转（或反转）点动时，可按下按钮 SB4（或 SB5），此时接触器 KM1（或 KM2）吸合，使 KM4 也吸合。由于 KA1（或 KA2）、KM3、KT 都没有通电，电动机 M1 只能在△接法下串入电阻作低速转动。当松开按钮 SB4（或 SB5）时，因电路没有自锁作用，而且（3-13）是断开的，所以 M1 不会连续转动下去，也不能作反接制动。

（5）主轴变速及进给变速控制

1）主轴的变速是用变速操纵盘来调节变速传动系统而进行的。变速时，只将主轴变速操纵盘的操作手柄拉出即可，行程开关 SQ3 不再受压而分断不必按停止按钮 SB1，这样 SQ3（4-9）断开，SQ3（3-13）闭合，使行程开关 SQ5 因不受压而闭合。SQ3（4-9）的断开，使 KM3、KT 线圈断电而释放，KM1（或 KM2）也随之断电释放，电动机 M1 断电作惯性旋转。由于 SQ3（3-13）已经闭合，速度继电器 KS 一个方向的常开触点早已闭合，为反接制动做好了准备，所以使 KM2（或 KM1）、KM4 线圈立即通电吸合。电动机 M1 在低速状态下串电阻反接制动。当制动结束时，KS 的常开触点分断，便可转动变速操纵盘进行变速。变速后，将手柄推回原位，使 SQ3、SQ5 的触点恢复原来状态（见表 13-10），KM3、KM1（或 KM2）、KM4 的线圈相继通电吸合，电动机按原来的转向起动，而主轴则以新选定的转速运转。

变速时，假如齿轮卡住，手柄推不上时，因 SQ5 常闭触头已处闭合状态和速度继电器常闭触点 KS（13-15）也已恢复闭合，使接触器 KM1、KM4 线圈相继通电吸合，电动机在低速状态下串电阻起动。当转速升到接近 120r/min 时，KS（13-15）又断开，KM1、KM4 线圈失电释放，M1 又断电停转。当转速降到约 40r/min 时，KS（13-15）再次闭合，KM1、KM4 再次吸合，M1 再次起动，使电动机 M1 的转速在 40～120r/min 范围内重复动作，直到齿轮啮合后，方能推合变速操纵手柄，变速冲动才告结束。

2）进给变速控制与主轴变速控制过程相同，只是拉开的不是主轴变速操作手柄，而是进给变速操作手柄，压合的行程开关是 SQ4 和 SQ6。

3. 快速进给电动机的控制

当快速进给操纵手柄向里推时，压合行程开关 SQ9，接触器 KM6 线圈通电吸合，快进电动机 M2 正向起动，通过齿轮、齿条等实现快速正向移动。松开操纵手柄，SQ9 复位，KM6 失电释放，电动机 M2 停转。反之，将快速进给操纵手柄向外拉时，压合 SQ8，KM7 吸合，电动机反向起动，实现快速反向移动。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 联锁保护装置

工作台或主轴箱快速进给时易发生误操作，因此将行程开关 SQ1、SQ2 并联接在 M1 与 M2 的控制电路中。当工作台或主轴箱进给时，与手柄机械机构联接的行程开关 SQ1 受压，SQ1 常闭触点断开。同样，当手柄操纵主轴进给时，与手柄机械机构联接的行程开关 SQ2 也受压，SQ2 的常闭触点也断开。因此 M1、M2 必须在 SQ1、SQ2 中至少有一个处于闭合状态下才能工作。如果两个手柄都处在进给位置时，SQ1 和 SQ2 都断开，M1 与 M2 就不能进行工作或自动停转，从而达到联锁保护的目的。

T68 型镗床的电器元件明细表见表 13-11。

表 13-11　T68 型镗床电器元件明细表

代　号	名　称	型 号 与 规 格	件数	备　注
M1	主轴电动机	JD02-51-4/2、5.5/7.5kW	1	1460/2880r/min、D2
M2	快速进给电动机	J02-32-4、3kW、1430r/min	1	D2
QS	组合开关	HZ2-60/3、60A、三极	1	
SA		HZ2-10/3、10A、三极	1	
FU1	熔断器	RL1-60/40	3	配熔体 40A
FU2～FU4		R11-15/15.4	5	配熔体 15A3 只、4A2 只
KM1、KM2 KM4、KM5	交流接触器	CJ0-40、线圈电压 110V、50Hz	4	
KM6、KM7、KM3		CJ0-20、线圈电压 110V、50Hz	3	
KT	时间继电器	JS7-2A、线圈电压 110V、50Hz	1	整定时间 3s
KA1、KA2	中间继电器	JZ7-44、线圈电压 110V、50Hz	2	
TC	控制变压器	BK-300、380V/110V、24V、6V	1	
FR	热继电器	JR0-10/3D、整定电流 16A	1	
KS	速度继电器	JY-1、500V、2A	1	
R	电阻器	ZB2-0.9、0.9Ω	8	
SB1～SB5	按钮	LA2、380V、5A	5	
SQ1	行程开关	LX1-11H	1	
SQ3～SQ6		LX1-11K	4	开启式
SQ7		LX5-11	1	
SQ8、SQ9、SQ2		LX3-11K	3	开启式
XS	插座	T 型	1	专用插座
EL	机床工作灯	K-1 螺口	1	配 24V、40W 灯泡
HL	指示灯	DX1-0 白色	1	配 6V、0.15A 灯泡

第四节　机床维修要点

一、CW6163B 型车床

1. 电动机 M1、M2、M3 不能起动，故障点一般发生在 KM1、KM2、KM3 支路。检修

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时，应首先检查控制变压器输出电压是否为110V，然后检查FU2、SB3、SB6、SB7和KM1、KM2、KM3电磁线圈及各电器元件触点是否正常。同时试验KM直接通110V能否吸合。

2. 电动机M1只能点动工作却不能连续运转　电动机M1连续工作靠接触器KM1（4～6）触点闭合，KM1自保，电动机M1连续运转。电动机M1不能连续运转，是KM1（4～6）触点接触不良。

3. 电动机起动后，自动停转

电动机起动后自动停转，一般可能是电动机过载引起热继电器动作，KM1失电使电动机停转，或是熔断器FU2熔断体熔断，M1停转。

二、X62W型万能铣床

1. 主轴停机时无制动

主轴无制动，先检查按下停止按钮SB1或SB2后，反接制动接触器KM2是否吸合，如KM2不吸合，则故障原因一定在控制电路部分。检查时可先操作主轴变速冲动手柄，若有冲动，故障范围就缩小到速度继电器和按钮支路上。若KM2吸合，则故障原因就较复杂一些。一是，主电路KM2、*R*制动支路中，至少有断两相的故障存在；二是，速度继电器的常开触点过早断开。但在检查时，只要仔细观察故障现象。前者的故障现象是完全没制动作用，而后者则是制动效果不明显。时时检查KM本身是否正常。

上述分析可知，主轴停机时无制动的故障原因，较多是由于速度继电器KS发生故障引起的。KS常开触点不能正常闭合，原因是推动触点的胶木摆杆断裂。KS轴伸端圆销扭弯，磨损或弹性连接元件损坏；螺钉销钉松动或打滑等。若KS常开触点过早断开，原因是KS动触点的反力弹簧调节过紧；KS的永久磁铁转子的磁性衰减等。

2. 主轴停机后产生短时反向旋转，一般是由于速度继电器KS动触点弹簧调整得过松，使触点分断过迟引起，只要重新调整弹簧便可消除。

3. 按下停止按钮后主轴不停转

故障的原因一般有：接触器KM1主触点熔焊；反接制动时两相运行；起动按钮SB3或SB4在起动M1后绝缘被击穿。如按下停止按钮后，KM1不释放，则故障可断定由熔焊引起；如按下停止按钮后，接触器的动作顺序正确，KM1能释放，KM2能吸合，同时伴有嗡嗡声或转速过低，则可断定主电路断相故障存在。若制动时接触器动作顺序正确，电动机也能进行反接制动，但放开停止按钮后，电动机又再次自行起动，则可断定是起动按钮绝缘被击穿。

4. 工作台不能向上进给运动

铣床电气线路与机械系统的配合密切，工作台向上进给运动的控制是处于多回路线路之中。在检查时，可先依次进行快速进给、进给变速冲动或圆工作台向前进给。向左进给及向后进给的控制来逐步缩小故障的范围，然后再进行逐个检查故障范围内的元器件、触点、导线及接点。在检查时，还必须考虑到由于机械磨损或移位使操纵失灵等因素，应与机修钳工互相配合进行修理。

三、T68型镗床

1. 主轴的转速与铭牌不符

常见故障一般分两种：一种是主轴的实际转速比铭牌增加一倍或减少一半；另一种是电动机的转速没有高速挡或者没有低速挡。这两种故障现象，第一种大多由于安装调整不当引

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

起。因为 T68 型镗床有 18 种转速，是采用双速电动机和机械滑移齿轮来实现的。变速后，1、2、4、6、8…挡是电动机以低速运转驱动，而 3、5、7、9…挡是电动机以高速运转驱动。由图 13-7 可知，主轴电动机的高低速转换，是靠微动开关 SQ7 的通断来实现。微动开关 SQ7 安装在主轴调速手柄的旁边，主轴调速机构转动时推动一个撞钉，撞钉推动簧片使微动开关 SQ7 通或断。如果安装调整不当，使 SQ7 动作恰恰相反，则会发生主轴的实际转速比铭牌指示数增加一倍或减少一半。

第二种的故障原因较多，常见的是时间继电器 KT 不动作，或微动开关 SQ7 安装的位置移动，造成 SQ7 始终处于接通或断开的状态等。如 KT 不动作或 SQ7 始终处于断开状态，则主轴电动机 M1 只有低速；若 SQ7 始终处于接通状态，则 M1 只有高速。如果 KT 虽然吸合，但由于机械卡住或触点损坏，使常开触点不能闭合，则 M1 也不能转换到高速挡运转，而只能在低速挡运转。

2. 主轴电动机不能冲动

主轴变速手柄拉出后，主轴电动机不能冲动，一种是变速手柄拉出后，主轴电动机 M1 仍以原来转向和转速旋转；另一种是变速手柄拉出后，M1 能反接制动，但制动到转速为零时，不能进行低速冲动。产生这两种故障的一般原因，前者多数是由于行程开关 SQ3 的常开触点 SQ3（4-9）绝缘被击穿造成。而后者则因为行程开关 SQ3 和 SQ5 的位置移动，触点接触不良等，使触点 SQ3（3-13）、SQ5（14-15）不能闭合或速度继电器的常闭触点 KS（13-15）不能闭合所致。

3. 主轴电动机不能正反转点动与制动

一般在控制电路的公共回路上。如果伴随着不能进行低速运行，则故障可能在控制线路 13-20-21-0 中有断开点，否则，故障可能在主电路的制动电阻器及引线上有断开点。若主电路仅断开一相电源时，电动机还会伴有断相运行时发出的嗡嗡声。

4. 双速电动机电源进线接错

一是电动机不能起动，发出类似断相运行时的嗡嗡声并熔体熔断；二是电动机高速运行时的转向与低速时相反。故障的原因是，前者误将电动机接线端子 1U1、1V1、1W1 与线端 1U2、1V2、1W2 互换，使 M1 在△接法时，把三相电源 1U2、1V2、1W2 引入，而在 2 丫接法时，把三相电源从 1U1、1V1、1W1 引入，将 1U2、1V2、1W2 短接所致。而后者是误将三相电源在高速和低速运行时，都接成同相序所致。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十四章　自动化仪表系统及装置故障排除、调整试验

自动化仪表系统及装置与电气装置相同，由于安装、调试、运行、维护及元器件等多方面存在的不足也会在运行中出现一些故障。这些故障的排除有些方面与电气故障的排除基本相同，而更多的则与其不同。对于一般的电气维修人员，由于习惯于电气系统故障的排除，往往对仪表故障束手无策。对于自动化仪表系统及装置来说除其电源部分和执行装置部分外，它基本属于弱电系统，而有很多地方与弱电系统又不尽相同，因此，处理起来较为复杂。其实，自动化仪表系统及装置的故障排除最主要的是要掌握系统及元件的测试、调整和试验，不同的是试验时必须有相应的模拟装置，如温度、压力、差压、分析等信号应有专用的模拟其量值的装置。

这里我们主要讲述自动化仪表系统及装置的测试、调整、试验和注意事项，其他的与电气故障排除处理方法基本相同。

第一节　测试、调整及试验基础

一、故障排除、调整试验及试运行的准备工作

1）收集整理系统中所有仪表、元件、装置的校验/检定记录，并核对其可靠性，对没有记录的要单独重新进行校验/检定，出具记录。

2）从取源部件、传感器、变送器、仪表、执行器到仪表柜箱及整个系统（包括电源）仔细查线、核对接线是否正确可靠，并与安装使用说明书或图样对照，确保接线正确可靠。

3）从取源部件、传感器、变送器到盘柜仔细核对仪表管路是否正确，并核查气密试验记录，没有记录的要单独重新进行气密试验，出具记录，确保系统管路正确无误，核对时应与安装使用说明书或图样对照。

4）检查系统中所有仪表、元件、装置的安装质量及其管线进出的正确性。

5）与其他专业及人员沟通，确认其设备装置的状态，确认是否具备系统调试及试运行的条件，出具书面文件。

6）清理现场、准备调试用的设备装置材料、进行人员分工、制订纪律和要求、准备记录纸和笔。

7）制订调试方案和试运行方案，并向所有人员交底，提出注意事项和关键部位的要求。

8）与电气专业的技术人员沟通，并请其协同搞好调试工作，及时开启电源及其动力装置。

9）提出安全注意事项，设置安全设施。

10）制订应急预案，准备必要的消防器械和交通工具、急救药品等。

二、系统调整试验

主要包括平台仪表及其附件的校准和试验、仪表电源设备的试验、综合控制系统的试验和回路试验等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 一般规定

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 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面 2）～5）条要求外，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

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及安全防护采取必要措施。

第二节 试运行及故障排除方法

一、试运行的条件

1）仪表、元件、装置单体校验/检定合格。

2）系统接线已查线，接线正确牢固。

3）系统管路已核对，气密试验合格。

4）仪表、元件、装置安装质量合格。

5）系统调整试验（包括模拟试验）已进行，且符合设计要求。

6）电气系统已验收合格。

7）被控设备或系统已具备试运行条件。

二、投入试运行的程序

投入试运行的程序可按系统车间、房号依次进行，具体程序如下：

1）温度测控系统，将每个子系统按顺序一一分别试投入后关闭，处理出现的问题。

2）压力测控系统，其他同上。

3）流量测控系统，其他同上。

4）物位测控系统，其他同上。

5）机械量测控系统，其他同上。

6）其他测控系统，其他同上。

7）相连系统按顺序分别同时投入，并调整相关量，使系统达到平衡。

8）所有测控系统同时投入，调整相关量，使系统达到平衡，试运行 72h。

9）每项试投入时：先模拟，后实际；先接通仪表设备电源，后观测显示仪表；先调整变送器，后调整计算控制元件；先观测控制结果，后调整执行器；先观测、后调整，最后定值。

三、试运行及故障排除方法

1. 热电偶测温线路的投入

以热电偶多点测量为例，测温线路投入步骤如下：

1）打开显示仪表上防止运输时指针摆动的短路线。

2）将切换开关切换到零位（或拆下显示仪表接线柱的任意一根导线），用螺钉旋具转动仪表前的指针定位螺钉，使仪表指示于冷端补偿温度上（此温度值标在冷端补偿器铭牌上，一般为 0℃或 +20℃）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）恢复仪表接线，投入冷端补偿器电源（测量其输入电压为直流4V）切换开关切换到任一点热电偶上，若此时热电偶的热端温度高于冷端温度，则显示仪表指示出相应的热端温度值；若此时热电偶的热端处于室温状态，冷端的温度又较补偿温度为低，则仪表指针应向减小的方向移动；反之，指针应向增大的方向移动，其减小、增大的数值应等于冷端温度与补偿温度的差值。

4）热电偶测温线路投入后的常见故障及处理：

① 显示仪表无指示：对于热电偶单点测量线路，可用便携式电位差计或数字万用表按下列顺序逐段测量线路的热电动势，缩小故障范围，找出故障部位，加以消除。检修流程见图14-1。

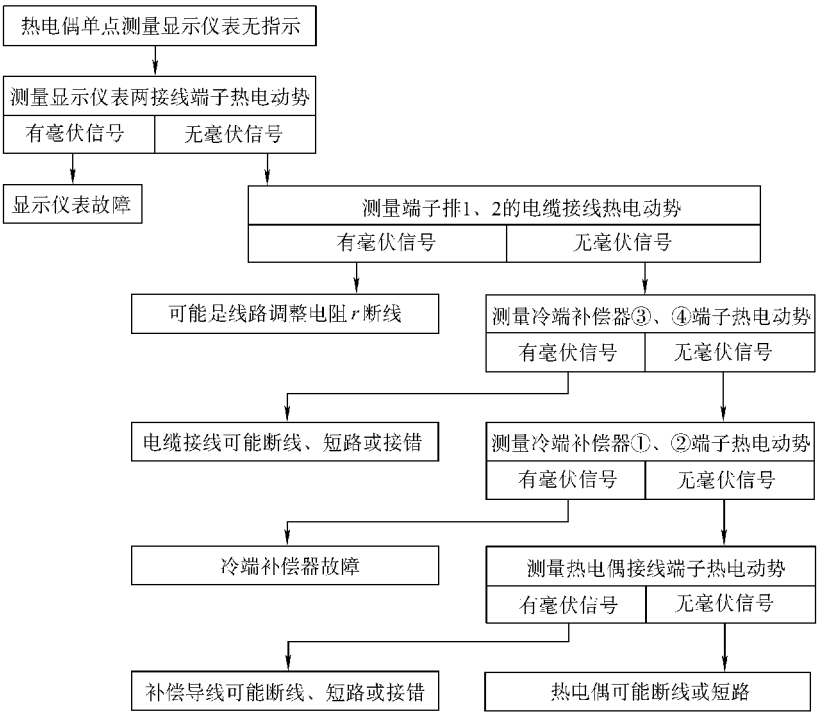


图14-1　显示仪表无指示检修流程

对于热电偶多点测量线路，应先将切换开关顺序切换一遍，若各点都无指示，则应检查显示仪表；若只有某几点不指示，则应检查切换开关是否接触不好或断线；如仍无指示，则可按上述方法检查热电偶线路的故障部位。

② 显示仪表指示异常：按照上述方法用便携式电位差计确定故障部分，以便修理。热电偶测温线路可能发生的仪表指示异常现象和原因分析见表14-1。

2. 热电阻测温线路的投入

以热电阻多点测量为例，测温线路投入步骤如下：

1）打开动圈仪表上防止运输时指针摆动的短路线。

2）在仪表未投入电源以前，调整好指针的零位。

3）投入仪表电源，切换开关切换到零位，仪表指示为零；逐点转动切换开关，仪表指针应指示到相应的温度值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 14-1 热电偶测温线路中仪表指示异常分析

故障现象	原因分析	修理方法
指示偏低	1）热电偶变质 2）热电偶的热接点将要断开 3）热电偶受潮、有灰尘等原因而漏电或短路 4）热电偶接线端子（胶木型的）因高温损坏而漏电 5）补偿导线与热电偶的极性接反 6）补偿导线绝缘不好或短路 7）在冷端温度高于补偿温度的情况下，冷点补偿器电源消失 8）在冷端温度高于补偿温度的情况下，补偿电源接反（断电后指示增大） 9）线路调整电阻偏大 10）切换开关接触不良，接触电阻大 11）接线端子接触不良 12）热电偶、补偿导线、冷端补偿器、显示仪表的分度号不符	1）更换热电偶 2）重新焊接热接点 3）将热电偶烘干，清理干净；若由于瓷管绝缘不良，应予更换 4）换用瓷接线柱 5）补偿导线在热电偶处的接线以及补偿导线在接线盒处的接线，同时改接极性 6）将短路处重新绝缘，或换补偿导线 7）检查后送电 8）重新改接 9）测量阻值后，重新配制 10）用酒精清洗切换开关的接触铜片，调整好动触头的压紧螺钉 11）紧固接线端子螺钉 12）更换设备，使之型号相同
指示偏高	1）热电偶变质 2）在冷端温度低于补偿温度情况下，冷端补偿器电源消失 3）在冷端温度低于补偿温度情况下，冷端补偿器电源接反（断电后指示减小） 4）线路调整电阻短路或偏小 5）热电偶、补偿导线、冷端补偿器、显示仪表的分度号不符	1）更换热电偶 2）检查后送电 3）重新改接 4）消除短路或重新配制 5）更换设备，使之型号相同
指示摆动	1）热电偶热端已断，但有断续连接现象 2）热电偶安装不牢固，发生摆动 3）线路连接端子、切换开关等接触不良 4）线路有断续短路或接地	1）重新焊接热端 2）将热电偶安装牢固 3）紧固各接线端子螺钉，清洗切换开关的接触铜片 4）找出短路处或接地处
指针指向刻度终端	一般是由于冷端补偿器的直流 4V 电源串入显示仪表	立即断开电源，检查线路，清除故障点
指针反方向指示	热电偶的极性接反	在多点测量线路中，若此现象各点都出现，可将显示仪表两接线调换；若此现象只在切换开关到某一点时出现，则应将此点的补偿导线在热电偶处的接线以及补偿导线在接线盒处的接线同时改换极性

4）热电阻测温线路投入后的常见故障及处理：热电阻测温线路投入后发生异常时，应首先判断是显示仪表还是线路的故障。对于热电阻多点测量线路，若各测量点的现象是一样

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的，则可判断故障在仪表内部或在线路公用部分；若只有其中一点或数点有异常而其他测量点正常，则指示异常的测量点有故障。

对于热电阻单点测量线路，可拆下显示仪表1、2、3接线端子上的导线，将1、2短接，2、3接一电阻箱。改变电阻箱的电阻值时，若指示随电阻箱的变化而变化，示值与电阻值能基本对应起来，则故障发生在线路上；否则故障在仪表本身。

热电阻测温线路可能发生的故障及原因见表14-2。

表14-2　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
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
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	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，对其进行修复 3）重新换接 4）查对线号
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，对其进行修复 2）用万用表逐段测量该桥臂线路电阻，检查故障部位，对其进行修复 3）用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
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能力降低，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，对其进行修复 2）用万用表逐段测量阻值，检查故障部位，对其进行修复 3）用万用表测量电源电压值，调整电压至规定值
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

3. 压力表的投入程序

1）开启一次阀门，使导管充满介质。

2）二次阀门为三通门时，缓缓开启排污手轮，用被测介质冲洗导管。干净后，再关闭排污手轮。

3）缓慢开启二次阀门（蒸汽或高温介质的压力表，应待导管内有凝结水或高温介质温度已降低至不烫手时，才开启二次阀门），投入仪表。

4）测量蒸汽或液体的压力表投入后，如指针指示不稳或有跳动现象，一般是导管内有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

空气，装有放气阀门的应进行放气。未装放气阀门的，可关闭二次阀门，将仪表接头稍稍松开，再稍稍打开二次阀门，放出管内空气。待接头有液体流出来后，再关紧二次阀门，拧紧接头，重新投入仪表。

5）多点测量的风压表投入后，应逐点检查指示是否正常。

6）真空压力表投入后，应进行严密性试验。在正常状态下，关闭一次阀门，5min 内指示值的降低不应大于 3%。

4. 差压仪表的投入程序

（1）冲洗仪表导管

1）关闭差压仪表的正、负压门，打开平衡门。

2）开启排污门，缓缓打开一次阀门，冲洗导管。

3）关闭排污门。

（2）准备启动仪表

待导管冷却后，再启动仪表；若管路中装有空气门，应先开启一下空气门，排除空气后，才能启动仪表。

（3）仪表的启动

1）检查仪表平衡门是否已处在开启位置。

2）渐渐开启仪表正压门。当测量介质为蒸汽或液体时，待充满被测凝结水或液体后，松开仪表正、负测量室的排污螺钉。待介质逸出并排净气泡后，拧紧排污螺钉，然后检查仪表各部分是否有渗漏现象，并检查仪表零点。

3）关闭平衡门，逐渐打开负压门，此时仪表应有指示。

（4）仪表投入后的检查

1）在运行过程中，如要检查导管及仪表是否工作正常，可稍开排污门。开正排污门时，仪表指示应减小；开负排污门时，仪表指示应增大。

2）在运行过程中，如要检查仪表零位，可先打开平衡门，再关负压门，从而进行观察（切勿在平衡门，正、负压门都在打开位置时，检查仪表零位）。

3）在运行过程中，如要进行排污冲洗时，必须注意先打开仪表平衡门，再关闭正、负压门，然后打开排污门，以免仪表承受过大的单向静压。

5. 补偿式平衡容器水位表的投入

水位表投入前，先关闭锅筒与平衡容器相接的蒸汽管上的一次阀门，打开连接下降管的排水管的上、下两个阀门，炉水即由排水管流入平衡容器，充满正压恒位水槽。然后冲洗导管，待导管内凝结水冷却后，打开锅筒与平衡容器相接的一次阀门，水位表即可投入。

6. 带隔离容器的仪表投入

带隔离容器的仪表在投入前，应先将仪表内的残余介质排除，并检查各连接接头已拧紧，再从隔离容器的上堵头处灌入隔离液。当仪表为差压表时，应同时把差压表的三个阀门全部打开，在一个隔离容器内灌注液体，并稍开差压计测量室的排污螺钉，排出空气后，再拧紧排污螺钉，继续灌注液体，直到由另一个隔离容器内溢出时为止，然后把差压表上的正、负压门同时关闭。

隔离容器灌液后，仪表即可投入运行。在运行中应检查是否有泄漏，防止隔离液漏光、腐蚀介质进入仪表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 差压测量仪表校验和注意事项

1）利用节流装置测量流量时，由于被测流量是与差压的平方根成正比例关系，因此仪表的流量指示值应为差压值的方根值。表计常用的显示方法有：

① 指示式流量表的标尺采用方根刻度。

② 差压变送器输出电流（或电压）与差压值成正比例关系，欲使显示仪表的指示与变送器电流或电压亦成正比例关系，则显示仪表的流量标尺应采用方根刻度。

③ 差压变送器的输出电流与差压值成正比例关系，经电子开方器后输入给显示仪表，则显示仪表的流量标尺便采用比例刻度。

④ 差压变送器（如差动变压器式差压变送器）的输出信号与差压值成正比例关系，显示仪表（如电子差动仪）采用平方特性的凸轮作为反馈，则显示仪表的流量标尺为比例刻度。

⑤ 差压流量变送器（如 DBL 型）在反馈回路内接入一个平方转换器，则变送器的输出电流就和被测的流量成正比，显示仪表的流量标尺采用比例刻度。

2）利用平衡容器产生差压，测量受压容器水位时，由于差压值是随着被测水位的升高而减小的，因此仪表的水位指示值与差压值成正比例关系而方向相反。一般仪表的指针机械零位在左边，标尺刻度都是从左向右增大，不能满足上述要求。解决方法是：

① 指示式水位表的导管连接采用正接，指针机械零位仍在左边，将标尺刻度改为从左向右减小。这样，水位最低时（差压值最大）水位表指示值最小。

② 差压变送器的导管连接采用正接，其输出电流与差压值成正比例关系。将指示式显示仪表指针的机械零位改在右边，并将显示仪表与变送器输出电流的连线反接，显示仪表标尺上的指示值由左向右增大。在差压增大时（水位降低），显示仪表接收负信号，指针就由右向左向水位标尺减小的方向移动。

③ 差压变送器（如差动变压器式差压变送器）的导管连接采用正接，变送器与显示仪表（如电子差动仪）两差动变压器二次侧之间的连接线反接，则差压增大时显示仪表接受负信号，指针向水位刻度减小的方向移动。

④ 差压变送器（如电动单元组合仪表的差压变送器）的导管连接采用正接，显示仪表（如电子电位差计）与变送器输出电流的连线采用反接，并在显示仪表输入端接入恒流单元输出的 10mA 电流，使显示仪表输入为恒流单元与变送器输出的差值，如图 14-2 所示。在最高水位时（变送器输出电流为 0mA），显示仪表接受恒流单元输出的 10mA 电流，指针指向右边（指示最高水位），随着水位的降低，差压值增大，变送器输出电流增大（与恒流单元的差值减小），显示仪表的指针向水位刻度减小的方向移动。

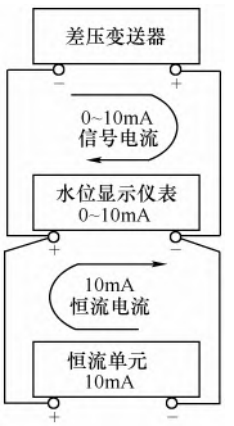


图 14-2　显示仪表接入信号电流与恒流电流差值的接线图

⑤ 差压变送器（如电动单元组合仪表变送器）的导管连接采用反接（即水位测点的正压管接至变送器的负压侧；负压管接至正压侧），对变送器进行零点负迁移，使水位最低时（差压为负的最大）变送器的输出电流为零，显示仪表指针在左边（最低水位），而水位最高时，变送器输出电流为 10mA，显示仪表指示最高水位。

压力测量仪表不存在上述问题，其指示值与压力值成正比例关系，因此，无论是指示式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

仪表或与变送器配套的显示仪表，都是均匀刻度，各校验点的示值与输入值成正比例。

8. 流量仪表的投入

1）按“4. 差压仪表的投入程序”对蒸汽流量、锅筒水位、给水流量的取源管道进行检查和测试，管路必须畅通无阻。

2）用数字万用表测试蒸汽流量、锅筒水位、给水流量三台变送器的输出（以实际量为准）。

3）用数字万用表测试比例积分调节器的输出，这时应观测伺服放大器的动作情况（先自动、后手动），并观测执行器的动作情况：

① 如果锅筒水位较高，可适当调小给水流量。

② 如果蒸汽流量较大，可适当调大给水流量。

③ 同时记录反馈信号的大小，如果反馈较小应适当调大，并观察基本平衡点的量并将其记录锁定。

④ 如果锅筒水位较低，可适当调大给水流量。

⑤ 如果蒸汽流量较小，可适当调小给水流量。

⑥ 同时记录反馈信号的大小，如果反馈量较小应适当调大，并观察基本平衡点的量并将其记录锁定。

用上述方法反复测试调整，最终使系统达到平衡。也就是蒸汽流量较大时，给水流量增加，保证水位不高于上限；蒸汽流量较小时，给水流量减小，保证水位不低于下限。因为系统采用负反馈，反复耐心调整可达到基本满意的结果。

流量调试投入较为繁琐，要耐心、细心，不要急于求成，调整时切记要微调。

仪表系统的故障排除、调整试验及投入试运行内容很多，这里仅以常见的为例进行讲述，读者可在其中摸索规律和经验，其实也不难，世上无难事，只怕有心人。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十五章　空调系统及装置故障排除、调整试验

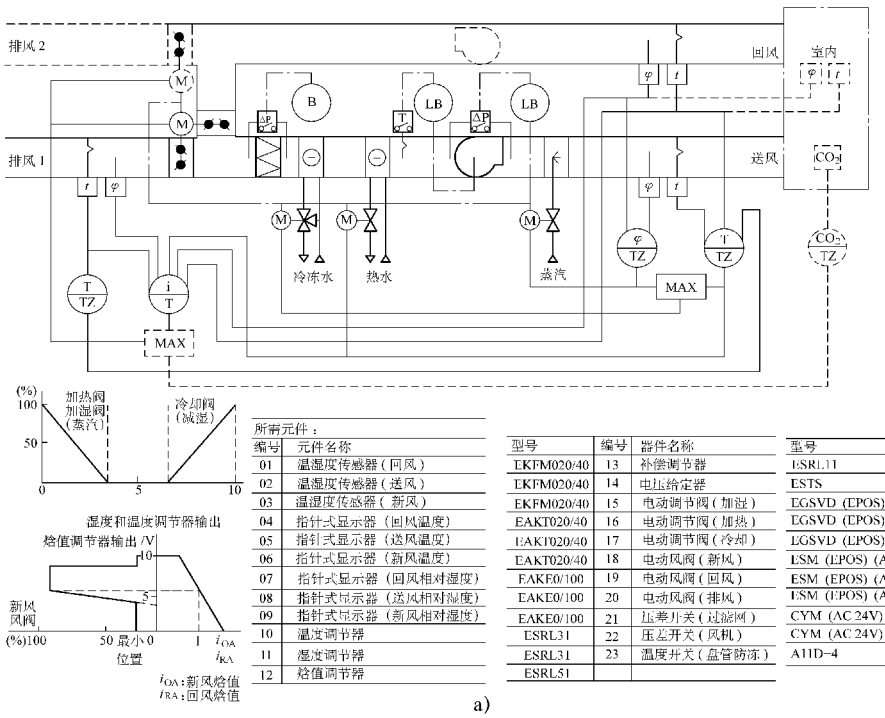
空调系统及装置与电气系统及装置、自动化仪表系统及装置有着密不可分的联系。因此，在故障排除、调整试验上与其有着很多相同的地方。掌握空调系统及装置的故障排除、调整试验技术技能最主要是要掌握图样、接线、调整试验方法、测试方法以及试运行投入的方法。同时应对系统的工艺流程、元件和装备的设置一定要有一个清晰的认识和完整的思路。

因此，在空调系统及装置的故障排除、调整试验中，一定要与其运行人员沟通，掌握全面的信息，往往凭个人主观臆断是很难排除故障的，一定要机电分离、强弱分离、主次分离，化整为零、接口入手、排除异常、各个击破，找到症结。

第一节　空调系统及装置的图样和接线

空调系统及装置的图样和接线很复杂，掌握和熟悉这样的图样是电气维修人员排除故障、调整试验的第一步。

这里以图 15-1 简单说明一下元件的接线。



所需元件：

编号	元件名称
01	温湿度传感器（回风）
02	温湿度传感器（送风）
03	温湿度传感器（新风）
04	指针式显示器（回风温度）
05	指针式显示器（送风温度）
06	指针式显示器（新风温度）
07	指针式显示器（回风相对湿度）
08	指针式显示器（送风相对湿度）
09	指针式显示器（新风相对湿度）
10	温度调节器
11	湿度调节器
12	焓值调节器

型号	编号	器件名称
EKFM020/40	13	补偿调节器
EKFM020/40	14	电压给定器
EKFM020/40	15	电动调节阀（加湿）
EAKT020/40	16	电动调节阀（加热）
EAKT020/40	17	电动调节阀（冷却）
EAKT020/40	18	电动风阀（新风）
EAKE0/100	19	电动风阀（回风）
EAKE0/100	20	电动风阀（排风）
EAKE0/100	21	压差开关（过滤网）
ESRL31	22	压差开关（风机）
ESRL31	23	温度开关（盘管防冻）
ESRL51		

型号
ESRL31
ESTS
EGSVD（EPOS）（AC 24V）
EGSVD（EPOS）（AC 24V）
EGSVD（EPOS）（AC 24V）
ESM（EPOS）（AC 24V）
ESM（EPOS）（AC 24V）
ESM（EPOS）（AC 24V）
CYM（AC 24V）
CYM（AC 24V）
A11D-4

a)

图 15-1　空气处理机组四管制送冷风和热风且加湿控制电气原理接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

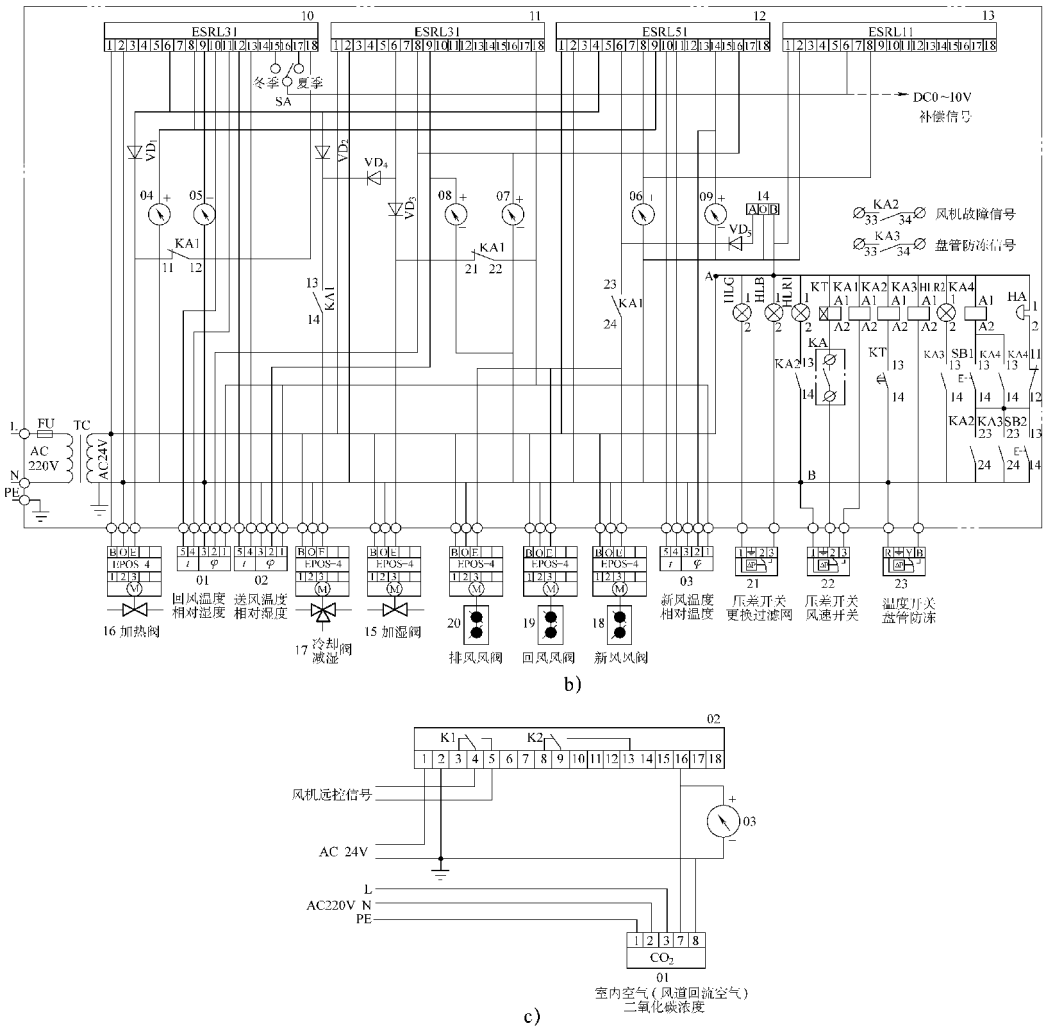


图 15-1 空气处理机组四管制送冷风和热风且加湿控制电气原理接线图（续）

1. 01 号温湿度传感器（回风温度、相对湿度）

01 号温湿度传感器有 5 个接线端子，其 1#端子要与 11 号湿度调节器的 18#端子连接，同时要与 02 号和 03 号温湿度传感器的 1#端子连接，01 号、02 号、03 号传感器的 1#端子对于 11 号调节器的 18#端子是“或”的关系。

2#端子要与 11 号湿度调节器的 8#端子连接。

3#端子要与 10 号温度调节器的 9#端子经 05 号指针式显示器（送风温度）连接，并与电源变压器 TC 二次侧的公共接地线连接。

4#端子要与 10 号温度调节器的 11#端子连接。

5#端子要与 10 号温度调节器的 10#端子连接。

2. 02 号温湿度传感器（送风温度、相对湿度）

1#端子上述已与 11 号湿度调节器的 18#端子连接。

2#端子要与 11 号湿度调节器的 9#端子连接。

3#端子与 TC 二次公共接地线连接。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4#端子要与10号温度调节器的13#端子连接。

5#端子要与10号温度调节器的12#端子连接。

3. 03号温湿度传感器（新温度、相对湿度）

1#端子上述已与11号湿度调节器的18#端子连接。

2#端子与12号焓值调节器的14#端子连接。

3#端子与TC二次公共接地线连接。

4#端子与12号焓值调节器的11#端子连接。

5#端子与12号焓值调节器的10#端子连接。

4. 16号加热阀（电动调节阀）

B#端子与TC二次电源端连接（24V）并与10号温度调节器的1#端子连接。

O#端子与TC二次公共接地线连接，并与10号温度调节器的2#端子连接，显然B#、O#端子是16号加热阀的电源，10号温度调节器的1#、2#也是电源，交流24V。

E#端子经二极管VD_1与10号温度调节器的6#端子、12号焓值调节器的4#端子连接，显然10号调节器的6#端子、12号调节器的4#端子和16号调节器的E#端子均是直流端子。

5. 17号冷却减湿阀（电动调节阀）

B#、O#端子是电源，与TC二次侧连接，O#接地。

E#端子经KA1常开触点（KA1是图15-1右下角信号报警系统中中间继电器KA1的常开触点13-14）和二极管VD_2接至12号焓值调节器的4#端子。

6. 15号加湿阀（电动调节阀）

B#、O#端子与TC二次侧连线，O#端子接地。

E#端子经二极管VD_4与11号湿度调节器的6#端子连接，这里要注意，11#湿度调节器6#端子与VD_4阳极连接后与二极管VD_2连接。

7. 20号排风风阀（电动风阀）

B#、O#端子与TC二次侧连接，O#接地。

E#端子经中间继电器KA1（23-24）与12号焓值调节器的6#端子连接。

8. 19号回风风阀（电动风阀）

B#、O#端子与TC二次侧连接，O#接地。

E#端子与20#排风风阀E#端子连接。

9. 18号新风风阀（电动风阀）

B#、O#端子与TC二次侧连接，O#接地。

E#端子与19#回风风阀E#端子连接。可以看出18#~20#风阀的E#端子是“或”的关系。

10. 其他

21号压差开关（更换过滤网）、22号压差开关（风速开关）和23号温度开关（盘管防冻）及报警信号系统的接线与上述及电气接线相同，这里不再赘述。

此外，还有几根接线未述：

1）电源变压器TC的一次侧与交流220V电源连接。

2）16号加热阀E#端子经KA1常闭触点（11-12）与10号调节器的18#端子连接。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）TC 二次接地端经 04 号指针式显示器分别与 10#调节器 8#端子、12#调节器 9#端子连接。

4）11 号、12 号调节器的 1#、2#端子分别与 TC 二次侧连接，为调节器的电源。

5）11 号调节器 9 号端子经 08 号指针式显示器（送风相对湿度）与 TC 接地端连接。

6）11 号调节器 8 号端子、12 号调节器 16#端子均经 07 号指针式显示器（回风相对湿度）与 TC 接地端连接。

7）12 号调节器 8#端子和 13 号调节器 8#端子均经 06 号指针式显示器（新风温度）与 TC 二次接地端连接。

8）12 号调节器 14#端子经 09 号指针式显示器（新风相对湿度）与 TC 二次接地端连接。

9）11 号调节器 18#端子经中间继电器 KA1 常闭触点（21-22）与 15 号加湿器 E#端子连接。

10）13 号调节器 1#端子与 TC 二次电源连接，2#端子与 TC 公共接地端连接；6#端子与转换开关 SA 连接，然后接至 DC0～10V 补偿信号。

11）14 号电压给定器 O#、B#端子分别与 TC 二次电源连接，A#端子经二极管 VD_5 与 12 号调节器 6#端子连接。

12）信号报警系统的 A、B 点分别与 TC 二次侧连接。

13）图 15-1c 的接线较为简单，请读者自行分析。

空调系统的自动控制部分接线较多，加之元件较多因此很繁琐。接线时一定要以一个元件为主全部接完后再接另一个元件；线与线的连接必须在元件端子上进行，每个端子一般不得超过两根线；接线后应先检查无误后才可开启电源变压器，让元件得电，然后观察有无不妥，否则应立即修复。接线一般不要超过三人，各负其责，查线时应互查，不得自查；接线前所有元件均应有合格证和检验试验报告，否则不得接线。

第二节　系统维修调整试验方法及试运行

系统调整试验及试运行基本与第十四章相同，不同的是除元件、设备可模拟试验外，系统调试时以实际送风调试，并按夏天、冬天分别调试。

这里以图 15-1 为例说明调试方法。

一、工艺流程图及设置

1）工艺上设新风-送风管和回风-排风管，其中新风-送风管 1 中设置新风阀、空气过滤器、空气冷却器和加热器、送风机、加湿器、湿度传感器、温度传感器和热电阻。回风-排风管 2 中设置排风风阀、排风机、湿度传感器、温度传感器。新风和回风管间设回风风阀。在被调节空气的室内设湿度传感器、温度传感器和 CO_2 传感器。

2）系统设联锁装置，并设温度调节指示仪、CO_2 调节指示仪、湿度调节指示仪、焓值调节器和最大信号选择器，其他设置与上述新风机组基本相同。

二、调节控制原理图

调节控制原理可分调节自控和信号报警两个内容。

1. 调节及自动控制系统

1）系统采用 220V 交流电源，控制部分采用经 TC 变压后的交流 24V 电源。

2）调节控制系统采用串级调节，所谓串级调节就是系统采用主调节器与副调节器串接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的形式，其中主调节器的输出作为副调节器副调参数的给定值，进而形成双回路闭环调节，如图 15-2 所示。系统中主调参数为回风温度和湿度，副调参数为送风温度和湿度。

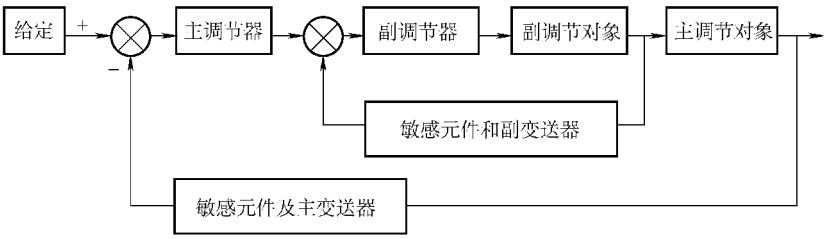


图 15-2　串级调节框图

3）系统设置 4 只温湿度传感器，分别去测量新风、送风、回风和被调室内的温度和湿度，被调室内还设有 CO_2 传感器，测量室内的 CO_2 浓度，并且将测量到的非电信号变为电信号。其中送风、回风和室内的信号送到温度调节器和湿度调节器中，与给定信号比较后输出连续 PI 调节信号去控制冷水、热水和蒸汽电动阀的开度，同时将信号送至新风处的焓值调节器中。焓值调节器是调节热能的，它接受温度和湿度信号，可进行 PI 调节。

4）焓值调节器一方面接受新风的温度、湿度信号，同时又接受回风和室内的温度、湿度信号，此外还接受送风被调节后的调节信号和室内 CO_2 浓度调节器的信号，根据新风和回风的焓值比较来调节新风阀、排风阀和回风阀的开度，达到经济运行的开度。

5）根据以上分析可以看出系统是通过两个调节器串联的方式进行工作的。串级温度调节器分程调节加热阀、冷却阀和控制焓值调节器，来控制回风的温度，副调送风温度，又按新风温度通过补偿调节器设定回风温度给定值。同时串级湿度调节器也是分程调节蒸汽加湿阀、冷却减湿阀来控制回风的相对湿度，副调送风湿度，其中冷却阀的控制是取自温度湿度调节器输出的最大（max）信号来自动选择调节的。焓值调节器的调节方式使两组串级调节（温度、湿度）达到配合合理，促使系统经济运行。

6）调节系统中设置了转换开关 SA，并由其决定冬季和夏季的工作方式。同时设置了 6 块指针式显式仪表，显示回风、送风、新风的温度和相对湿度。

2. 信号报警系统

信号报警系统取掉了工况转换中间继电器，请读者自行分析。同时系统设置了两只温度调节指示仪、一只湿度调节指示仪、一只焓值调节仪、一只 CO_2 调节指示仪，均装在仪表柜上。

该系统可人为按最小新风需要量设置风阀的最小位置，也可选用指针式仪表显示探测部位的温度和阀位，这些应按工艺设计要求进行。

其他形式的几种空气调节机组电气控制原理与上述内容基本相同，除了工艺上的差异外，在新风调节上采用的是混风调节器，实际上是一个温差调节器$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)$，它只接受新风、回风的温度信号及送风温度调节器的调节信号，然后进行超驰控制来调节新风阀、回风阀和排风阀而达到经济开度。超驰控制是指某参数达到临界时，为了系统安全，执行器受此参数控制，或处于最大或处于最小位置，有时比临界值稍小一点，保证系统安全。

三、送风机的控制原理图

空气调节自动控制系统中风机的控制原理图与前述章节中电动机的控制基本相同，一般

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

采用双速电动机直接起动或单速电动机直接起动，容量较大的采用Y-△起动，这里只介绍一种电动机控制原理图的另一种画法，供读者在识图中参考。图 15-3 是送风机Y-△起动控制原理图，表 15-1 是主要电器元件表，图中 X□:□（方框中为数字）是接线座的一种标注方法，表示接线座的序号，图中同一标注的序号是连接的。图中每一回路均用 1、2…按顺序表示，并在序号的下面画出该回路接触器辅助触头或继电器触头在图中各个回路的分布情况，其中数字表示回路的序号，△表示外引接点，-┤├-各表示常开触头、常闭触头。这种画法为分析电路带来了极大的方便。

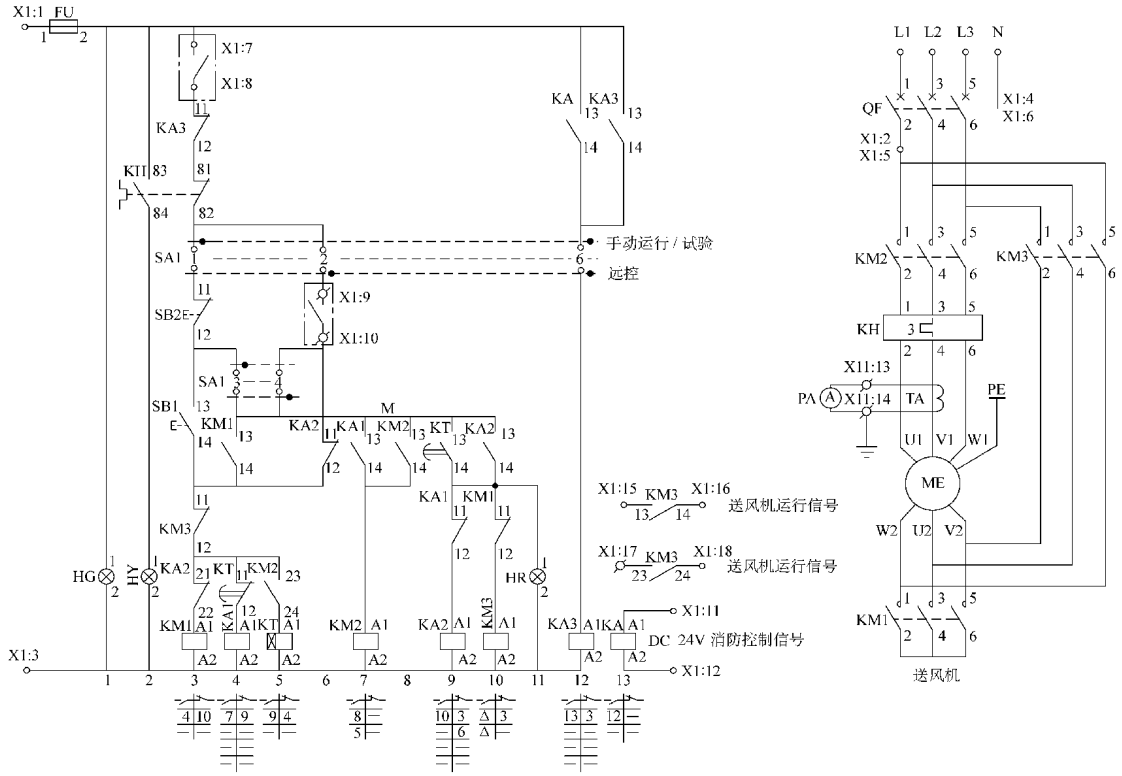


图 15-3　送风机Y-△起动控制原理图

表 15-1　主要电器元件表

文字符号	名　　称	型号规格
QF	断路器	设计确定
KM1～3、KM4～6	接触器	设计确定
KH、KH1、KH2	热继电器	设计确定
TA、TA1、TA2	电流互感器	设计确定
PA、PA1、PA2	电流表	设计确定
FU	熔断器	RT9-20/6A
SA1	转换开关	LW5-15D1044/4
SA2	转换开关	LW5-15D1370/5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

文字符号	名　称	型号规格
SA3	钮子开关	KN3-B1Z1D
SB1、SB3	控制按钮	LA101-P11-2220
SB2、SB4	控制按钮	LA101-P11-2210
KT1、KT2	时间继电器	JS23-31/2
KA1～5	中间继电器	JDJ1～44
KA	中间继电器	HH52 DC 24V
HG	信号灯	AD11-10/21 绿色
HY、HY1、HY2	信号灯	AD11-10/21 黄色
HR、HR1、HR2	信号灯	AD11-10/21 红色
X1	接线座	JH2-2.5L l=300mm

注：未注明的二次电路元件额定电压均为交流220V。

1. 手动运行（SA1打在手动运行/试验上）

1）电源有电、熔断器FU完好，第一回路接通，绿色信号灯HG点亮，说明控制电源正常。

2）第三回路中，KA3（11-12）、KH（81-82）、SB2（11-12）、KM3（11-12）、KA2（21-22）均为常闭触头，接线座（X1：7-X1：8）是由仪表控制回路的盘管防冻信号引来的常闭触头，SA1-1手动运行中是闭合的，因此手按动SB1按钮时接触器KM1吸合，其主触点将主电路中电动机的W2、U2、V2接成星形。其辅助触点的分布使第四回路的KM1常开触头（13-14）闭合自保，使第十回路的KM1常闭触头（11-12）打开，实现KM1和KM3的互锁。

3）第四回路中，KT（11-12）为常闭，中间继电器KA1得电吸合，其触头的分布使第七回路的常开触头KA1（13-14）闭合，使第九回路的常闭触头KA1（11-12）打开。这样第七回路的接触器KM2得电吸合，电动机接成星形全电压起动。KM2触头的分布使第八回路的常开触头KM2（13-14）闭合实现自保，使第五回路的常开触头KM2（23-24）闭合，这样时间继电器KT得电吸合并开始延时。

4）KT触头的分布使第四回路的KT（11-12）延时打开，这样KA1失电，其分布在第七回路的常开触头断开，因KM2（13-14）自保，不影响KM2的工作状态；分布在第九回路的常闭触头KA1（11-12）复位闭合，KT分布在第九回路的KT（13-14）延时闭合，这样第九回路接为通路，中间继电器KA2得电吸合。

5）KA2触头的分布使第三回路的KA2（21-22）打开，KM1失电，其分布在第四回路的KM1（13-14）打开解除自保，第十回路的KM1（11-12）复位闭合为KM3得电作准备，这时电动机星点被KM1解开。KA2在第六回路的触头KA2（11-12）打开，KA2在第十回路的常开触头KA2（13-14）闭合，接通了接触器KM3，电动机完成了星形起动到三角形运行的过渡，这时电动机U_1W_2、V_1U_2、W_1V_2被KM3连接为△联结，起动完毕。

6）KM3辅助触头的分布使第三回路的常闭触头KM3（11-12）打开，解除与KM1的互锁，两对常开触头KM3（13-14）、KM3（23-24）闭合，发出风机运行的信号，供外引电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

使用。同时 KT 失电，其第九回路的触头 KT（13-14）打开，因 KA2（13-14）闭合自保，不影响 KM3 和 KA2 的工作状态。

这时要注意到，△运行后 KM2、KA2、KM3 的得电回路是直接从 SB2（12）-SA1（3）-KM2（13）-KA2（13）的连线 M 上得到的（图中 M 的标注是作者为了识读的讲述而画上的，原图无 M 字样）。另外，△运行后，KM2 仍然吸合，这时图中 KH 和 TA 是接在电动机的相绕组上的，测得的电流是相电流，而不是线电流，在调整中应注意，这也是本电路的一个缺点。

7）在风机正常运行中，若发生以下情况，电动机将失电停止运行。

① 操作 SA1 或 SB2 可将电动机手动停止，使得运行人员在一旦发生事故时可及时停车。

② 运行过程中电动机过负荷时限超过热继电器 KH 的时限，KH 则动作，其常闭触头 KH（81-82）打开切断控制电源的回路，接触器 KM2、KM3 失电，电动机自动停止；KH（83-84）闭合点亮事故信号灯 HY。

③ 当火灾发生时，第十三回路的信号继电器 KA 得电吸合，发出火警信号，分布在第十二回路的常开触头 KA（13-14）闭合，使 KA3 接通吸合，第十三回路的常开触头 KA3（13-14）闭合自保，第三回路的常闭触头 KA3（11-12）打开切断控制回路电源，电动机停止。

④ 空调系统盘管防冻信号继电器 KA3 吸合后，外引接点接线座（X1：7-X1：8）打开，切断控制电路电源，电动机停止。

⑤ 当电动机内部发生短路或主回路发生短路时，断路器 QF 自动跳闸，切断电动机电源，电动机停止。

2. 远控运行（SA1 打在远控上）

1）与 1. 中的 1）相同。

2）SA1（2）接通，远控信号由接线座（X1：9－X1：10）引入，电源经 SA1（4）引入图中标注 M 的线段上，同时电源经 X1：10-KA2 常闭触头（11-12）-KM3 常闭触头（11-12）使 KM1、KA1 得电吸合，以下控制程序基本同手动控制的程序，可按 1. 中的 2）及以下的内容进行分析。

3）停车同 1.。

说明一点，新风及空气处理机组自控系统采用的传感器、调节器、电动阀、压差开关、温度开关及各种电子元件等，均应以工程提供的施工图样中标注的型号为准，其电路及工作方式应以其产品说明书为准，这里的图样及型号则是为了讲述的方便而选用的。

四、调试程序内容

1. 准备工作

2. 系统调整试验

3. 投入试运行

（1）试运行条件

（2）试运行程序

上述三点见第十四章相关内容。

五、维修调试及试运行方法

1）将转换开关 SA 打到夏季/冬季。

2）开启电压变压器 TC 的电源，使所有元件接通电源，然后检查柜、箱、设备、元件、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线路是否正常，并及时处理。

3）开启冷冻水泵/热水泵，并开启新风风机和排风风机，室外空气干燥时可开启蒸汽汽源，同时检查机械、电气是否正常，并及时处理。

4）微量手动开启17号电动调节阀（冷却）/16号电动调节阀（加热）及18号新风电动阀、19号回风电动阀和20号排风电动阀，同时观测06号新风温度显示器、04号回风温度显示器和05号送风温度显示器，根据下列要求进行调节：

① 室内温度较高可适当加大17号/16号以及18号、19号、20号电动阀，并记录04号、05号、06号温度显示器数值，精心掌握电动阀加大/减小量与温度的关系，最后锁定在设计温度上，然后将其打到自动调节上。

② 观测自动调节运行中的上述三表温度变化情况，若较大，则适当减少反馈量；反之加大反馈量。

③ 按上述几经调整，让温度保持在设计温度的±1℃上，试运行8h，观测其变化，否则再进行微调。

5）观测07号回风相对湿度显示器、08号送风相对湿度显示器和09号新风相对湿度显示器，其相对湿度偏低/偏高时，可适当微调11号湿度调节器，使其反馈量增大/减小，以观测结果，如有效则可适当再度微调；如无效，则应加大/减小蒸汽的汽源，这时再度观测，然后用上述方法进行微调。

湿度调整时，上述4）的调整保持不变。

6）上述4、5调整基本衡定后，观测12号焓值调节器，其值较低则可微调17号/16号及15号调节阀，以观结果，有效即可再度微调；无效则应加大/减小17号/16号和15号调节阀。反复调整，并掌握其变化规律和关系，最后将其锁定在设计数值上。

7）上述调整有效即可再度精调，否则应将系统全部停止，按上述方法再度进行调整。

8）空调系统的调整是一项非常细致的工作，同时调整受到多方因素的制约和影响，一般情况下，一次、两次是难以调好的，因此，应做到以下几点：

① 细致耐心，不得急于求成。

② 调试时应由一人指挥并确定调节元件及其调节的大小，任何人不得随意调节。

③ 调试时现场最好有建设单位的各种人员进行正常的工作，但不得干预或参与调整。

④ 开启的冷冻泵/热水泵、新风机、排风机和蒸汽汽源不得随意增大/减小给出量，如需变动时，必须由指挥人发出指令。

⑤ 调试时非调试人员应退出现场。

⑥ 调试时冷冻泵、热水泵、新风机、排风机、蒸汽汽源、电源等处必须有运行值班人员，随时接受指挥人的指令，不得擅离职守。

⑦ 调试时最好昼夜不停、一气呵成，中途除不可抗力外，调试人员应坚守岗位（可轮班现场休息），确保调试一次成功。

⑧ 空调系统较大时，应编制调试方案，并组织全体调试人员充分发挥每个人的积极性，修改方案，最后组织学习，照章办事。

⑨ 调试工作最好在天气较好时进行，要避开风雪雨天气。

⑩ 其他参照电气调试和仪表调试相关内容。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

六、维修调整试验总体要求

1. 一般要求

1）系统调试所使用的测试仪器和仪表的性能应稳定可靠，其精度等级及最小分度值应能满足调试的要求，并应符合国家有关计量法规及检定规程的规定。

2）通风与空调工程的系统包括电气控制调节系统调试，应由施工单位负责和实施，并由多工种配合，监理监督。

施工单位无能力的可委托给具有调试能力的其他单位并有合同协议约束。

3）系统调试前，承包单位应编制调试方案，报送专业监理工程师审核批准；调试结束后，必须提供完整的调试资料和报告。

4）通风与空调工程系统无生产负荷的联合试运转及调试，应在制冷设备和通风与空调设备单机试运转合格后进行。空调系统带冷（热）源的正常联合试运转不应少于8h，当竣工季节与设计条件相差较大时，仅做不带冷（热）源试运转。通风、除尘系统的连续试运转不应少于2h。电气控制调节系统应先进行单体调试。

5）净化空调系统运行前应在回风、新风的吸入口处和粗、中效过滤器前设置临时用过滤器（如无纺布等），实行对系统的保护。净化空调系统的检测和调整，应在系统进行全面清扫，且已运行24h及以上达到稳定后进行。

洁净室洁净度的检测，应在空态或静态下进行或按合约规定。室内洁净度检测时，人员不宜多于3人，均必须穿与洁净室洁净度等级相适应的洁净工作服。

2. 主要项目要求

1）通风与空调工程安装完毕，必须进行系统的测定和调整（简称调试）。系统调试应包括下列项目：

① 设备单机试运转及调试。

② 系统无生产负荷下的联合试运转及调试。

2）设备单机试运转及调试应符合下列规定：

① 通风机、空调机组中的风机，叶轮旋转方向正确、运转平稳、无异常振动与声响，其电动机运行功率应符合设备技术文件的规定。在额定转速下连续运转2h后，滑动轴承外壳最高温度不得超过70℃；滚动轴承不得超过80℃。

② 水泵叶轮旋转方向正确，无异常振动和声响，紧固连接部位无松动，其电动机运行功率值符合设备技术文件的规定。水泵连续运转2h后，滑动轴承外壳最高温度不得超过70℃；滚动轴承不得超过75℃。

③ 冷却塔本体应稳固、无异常振动，其噪声应符合设备技术文件的规定。风机试运转应符合①的规定。

冷却塔风机与冷却水系统循环试运行不少于2h，运行应无异常情况。

④ 制冷机组、单元式空调机组的试运转，应符合设备技术文件和现行国家标准GB 50274—2010《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》的有关规定，正常运转不应少于8h。

⑤ 电控防火、防排烟风阀（口）的手动、电动操作应灵活、可靠，信号输出正确。

⑥ 电气控制自动调节系统应与设备功能配套，显示参数准确，自动调节及时有效，电气控制系统电动机运行正常，温度调节误差±1℃，湿度调节误差±10%，其他参数±15%～

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

±20%。

3）系统无生产负荷的联合试运转及调试应符合下列规定：

① 系统总风量调试结果与设计风量的偏差不应大于10%。

② 空调冷热水、冷却水总流量测试结果与设计流量的偏差不应大于10%。

③ 舒适空调的温度、相对湿度应符合设计的要求。恒温、恒湿房间室内空气温度、相对湿度及波动范围应符合设计规定。

4）防排烟系统联合试运行与调试的结果（风量及正压），必须符合设计与消防的规定。

5）净化空调系统还应符合下列规定：

① 单向流洁净室系统的系统总风量调试结果与设计风量的允许偏差为0～20%，室内各风口风量与设计风量的允许偏差为15%。

新风量与设计新风量的允许偏差为10%。

② 单向流洁净室系统的室内截面平均风速的允许偏差为0～20%，且截面风速不均匀度不应大于0.25。

新风量和设计新风量的允许偏差为10%。

③ 相邻不同级别洁净室之间和洁净室与非洁净室之间的静压差不应小于5Pa，洁净室与室外的静压差不应小于10Pa。

④ 室内空气洁净度等级必须符合设计规定的等级或在商定验收状态下的等级要求。

高于等于5级的单向流洁净室，在门开启的状态下，测定距离门0.6m室内侧工作高度处空气的含尘浓度，亦不应超过室内洁净度等级上限的规定。

3. 一般项目要求

1）设备单机试运转及调试应符合下列规定：

① 水泵运行时不应有异常振动和声响、壳体密封处不得渗漏、紧固连接部位不应松动、轴封的温升应正常；在无特殊要求的情况下，普通填料泄漏量不应大于60mL/h，机械密封的不应大于5mL/h。

② 风机、空调机组、风冷热泵等设备运行时，产生的噪声不宜超过产品性能说明书的规定值。

③ 风机盘管机组的三速、温控开关的动作应正确，并与机组运行状态一一对应。

2）通风工程系统无生产负荷联动试运转及调试应符合下列规定：

① 系统联动试运转中，设备及主要部件的联动必须符合设计要求，动作协调、正确，无异常现象。

② 系统经过平衡调整，各风口或吸风罩的风量与设计风量的允许偏差不应大于15%。

③ 湿式除尘器的供水与排水系统运行应正常。

3）空调工程系统无生产负荷联动试运转及调试，还应符合下列规定：

① 空调工程水系统应冲洗干净、不含杂物，并排除管道系统中的空气；系统连续运行应达到正常、平稳；水泵的压力和水泵电动机的电流不应出现大幅波动。系统平衡调整后，各空调机组的水流量应符合设计要求，允许偏差为20%。

② 各种自动计量检测元件和执行机构的工作应正常，满足建筑设备自动化（BA、FA等）系统对被测定参数进行检测和控制的要求。

③ 多台冷却塔并联运行时，各冷却塔的进、出水量应达到均衡一致。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 空调室内噪声应符合设计规定要求。

⑤ 有压差要求的房间、厅堂与其他相邻房间之间的压差，舒适性空调正压为 0 ~ 25Pa；工艺性的空调应符合设计的规定。

⑥ 有环境噪声要求的场所，制冷、空调机组应按现行国家标准 GB/T 9068—1988《采暖通风与空气调节设备噪声声功率级的测定　工程法》的规定进行测定。洁净室内的噪声应符合设计的规定。

⑦ 电气控制及自动调节系统应满足设计要求。

4）通风与空调工程的电气控制和自动监测设备，应能与系统的检测元件和执行机构正常运行，系统的状态参数应能正确显示，设备联锁、自动调节、自动保护应能正确动作。

七、常用测试方法

系统调试基本正常后应测试管道漏风及室内静压差、空气过滤器泄漏、洁净度、风量/风速、菌类、温度、相对湿度、单向流速、噪声等参数，这些测试是电工和通风工配合进行的。主要仪器仪表有精密测压仪、微差压力计、光学粒子计数器、激光粒子计数器、凝结核计数器、热球风速仪、微生物采样皿、高精度温度计、高精度湿度计、测定架固定风速仪、倍频程分析声级计等。仪器的使用应按其使用说明书进行。测定后再对自检系统微调，以达到更高的满意度。

1. 漏风的测量试验

1）漏风量测试应采用经检验合格的专用测量仪器仪表，并由有使用经验的人员进行。

2）漏风量测试装置可采用风管式或风室式。风管式测试装置采用孔板作计量元件；风室式测试装置采用喷嘴作计量元件。

3）漏风量测试装置的风机，其风压和风量应选择分别大于被测定系统或设备的规定试验压力及最大允许漏风量的 1. 2 倍。

4）漏风量测试装置试验压力的调节，可采用调整风机转速的方法，也可采用控制节流装置开度的方法。漏风量值必须在系统经调整后，保持稳压的条件下测得。

5）漏风量测试装置的压差测定应采用微压计，其最小读数分格不应大于 2. 0Pa。

6）风管式漏风量测试装置：

① 风管式漏风量测试装置由风机、连接风管、测压仪器、整流栅、节流器和标准孔板等组成，如图 15-4 所示。

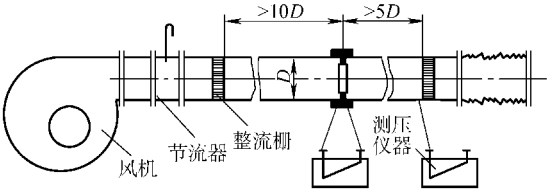


图 15-4　正压风管式漏风量测试装置

② 采用角接取压的标准孔板。孔板 β 值范围为 0. 22 ~ 0. 7（$\beta = d/D$）；孔板至前、后整流栅及整流栅外直管段距离，应分别符合大于 10 倍和 5 倍圆管直径 D 的规定。

③ 连接风管均为光滑圆管。孔板至上游 $2D$ 范围内其圆度允许偏差为 0. 3%；下游为 2%。

④ 孔板与风管连接，其前端与管道轴线垂直度允许偏差为 1°；孔板与风管同心度允许

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

偏差为0.015D。

⑤ 在第一整流栅后，所有连接部分应该严密不漏。

⑥ 用下列公式计算漏风量：

$$Q = 3600\varepsilon\alpha A_n \sqrt{\frac{2}{\rho}\Delta P} \tag{15-1}$$

式中　Q——漏风量（m^3/h）；

ε——空气流束膨胀系数；

α——孔板的流量系数；

A_n——孔板开口面积（m^2）；

ρ——空气密度（kg/m^3）；

ΔP——孔板差压（Pa）。

⑦ 孔板的流量系数与β值的关系根据图15-5确定，其适用范围应满足下列条件，在此范围内，不计管道粗糙度对流量系数的影响。

$10^5 < Re < 2.0 \times 10^6$

$0.05 < \beta^2 \leqslant 0.49$

$50mm < D \leqslant 1000mm$

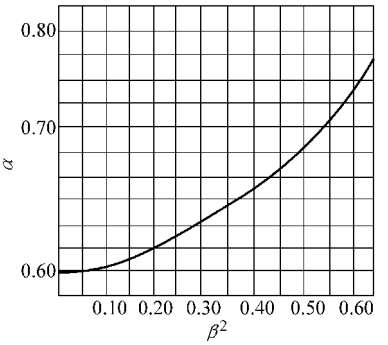


图15-5　孔板流量系数图

雷诺数小于10^5时，则应按相应流量测量节流装置规范求得流量系数α。

⑧ 孔板的空气流束膨胀系数ε值可根据表15-2查得。

表15-2　采用角接取压的标准孔板流束膨胀系数ε值（$k=1.4$）

β^4 \ P_2/P_1	1.0	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.85	0.80	0.75
0.08	1.0000	0.9930	0.9866	0.9803	0.9742	0.9681	0.9531	0.9381	0.9232
0.1	1.0000	0.9924	0.9854	0.9787	0.9720	0.9654	0.9491	0.9328	0.9166
0.2	1.0000	0.9918	0.9843	0.9770	0.9698	0.9627	0.9450	0.9275	0.9100
0.3	1.0000	0.9912	0.9831	0.9753	0.9676	0.9599	0.9410	0.9222	0.9034

注：1. 本表允许内插，不允许外延。

2. P_2/P_1为孔板后与孔板前的全压值之比。

⑨ 当测试系统或设备负压条件下的漏风量时，装置连接应按图15-6进行。

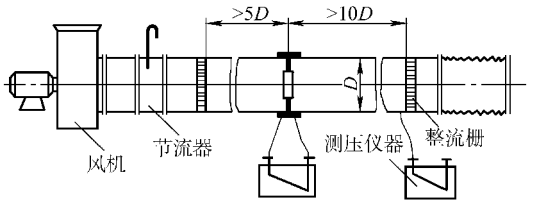


图15-6　负压风管式漏风量测试装置

7）风室式漏风量测试装置：

① 风室式漏风量测试装置由风机、连接风管、测压仪器、均流板、节流器、风室、隔板和喷嘴等组成，如图15-7所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 测试装置采用标准长颈喷嘴，如图 15-8 所示。喷嘴必须按图 15-7 的要求安装在隔板上，数量可为单个或多个。两个喷嘴之间的中心距离不得小于较大喷嘴喉部直径的 3 倍；任一喷嘴中心到风室最近侧壁的距离不得小于其喷嘴喉部直径的 1.5 倍。

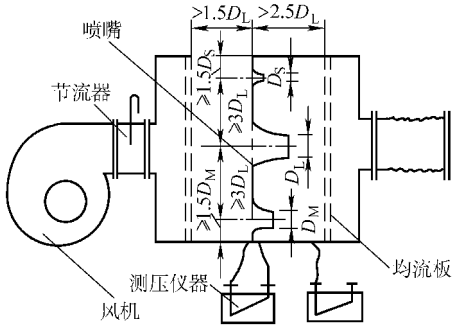


图 15-7 正压风室式漏风量测试装置

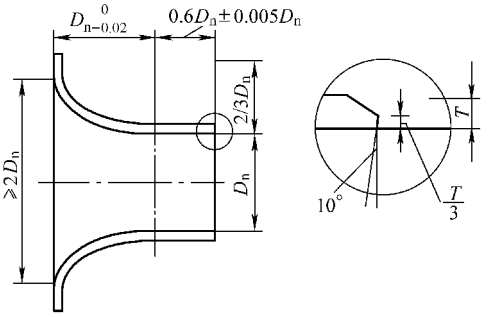


图 15-8 标准长颈喷嘴

D_S—小号喷嘴直径 D_M—中号喷嘴直径 D_L—大号喷嘴直径

③ 风室的断面面积不应小于被测定风量按断面平均速度小于 0.75m/s 时的断面面积。风室内均流板（多孔板）安装位置应按图 15-7 进行。

④ 风室中喷嘴两端的静压取压接口，应为多个且均布于四壁。静压取压接口至喷嘴隔板的距离不得大于最小喷嘴喉部直径的 1.5 倍。然后，并联成静压环，再与测压仪器相接。

⑤ 采用此装置测定漏风量时，通过喷嘴喉部的流速应控制在 15～35m/s 范围内。

⑥ 本装置要求风室中喷嘴隔板后的所有连接部分应严密不漏。

⑦ 用下列公式计算单个喷嘴风量：

$$Q_n = 3600 C_d \cdot A_d \sqrt{\frac{2}{\rho}\Delta P} \tag{15-2}$$

多个喷嘴风量为 $Q = \Sigma Q_n$ (15-3)

式中 Q_n——单个喷嘴漏风量（m^3/h）；

C_d——喷嘴的流量系数（直径 127mm 以上取 0.99，小于 127mm 按表 15-3 或图 15-9 查取）；

A_d——喷嘴的喉部面积（m^2）；

ΔP——喷嘴前后的静压差（Pa）。

表 15-3 喷嘴流量系数表

Re	流量系数 C_d	*Re*	流量系数 C_d
12000	0.950	80000	0.983
16000	0.956	90000	0.984
20000	0.961	100000	0.985
30000	0.969	150000	0.989
40000	0.973	200000	0.991
50000	0.977	250000	0.993
60000	0.979	300000	0.994
70000	0.981	350000	0.994

注：不计温度系数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑧ 当测试系统或设备负压条件下的漏风量时，装置连接应按图 15-10 进行。

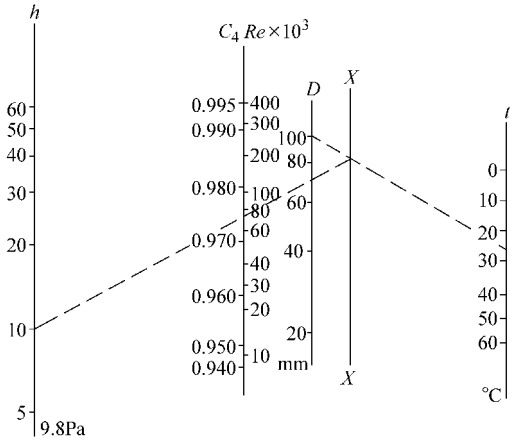


图 15-9　喷嘴流量系数推算图

注：先用直径与温度标尺在指数标尺（X）上求点，再将指数与压力标尺点相连，可求取流量系数值。

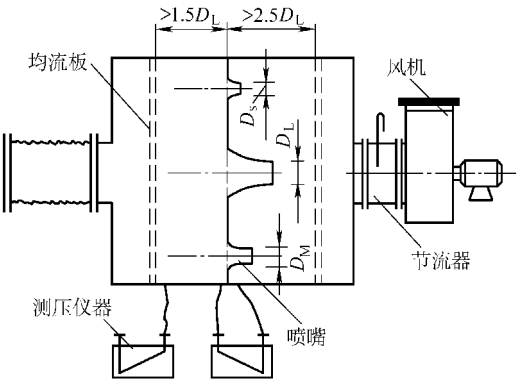


图 15-10　负压风室式漏风量测试装置

8）漏风量测试：

① 正压或负压系统风管与设备的漏风量测试，分正压试验和负压试验两类。一般可采用正压条件下的测试来检验。

② 系统漏风量测试可以整体或分段进行。测试时，被测系统的所有开口均应封闭，不应漏风。

③ 被测系统的漏风量超过设计和国家标准规范的规定时，应查出漏风部位（可用听、摸、观察、水或烟检漏），做好标记；修补完工后，重新测试，直至合格。

④ 漏风量测定值一般应为规定测试压力下的实测数值。特殊条件下，也可用相近或大于规定压力下的测试代替，其漏风量可按下式换算：

$$Q_0 = Q\ (P_0/P)^{0.65} \tag{15-4}$$

式中　P_0——规定试验压力，500Pa；

Q_0——规定试验压力下的漏风量［$m^3/(h\cdot m^2)$］；

P——风管工作压力（Pa）；

Q——工作压力下的漏风量［$m^3/(h\cdot m^2)$］。

2. 静压差的检测

1）静压差的测定应在所有的门关闭的条件下进行，并由高压向低压、由平面布置上与外界最远的里间房间开始，依次向外测试。

2）采用的微差压力计，其灵敏度不应低于 2.0Pa。

3）有孔洞相通的不同等级相邻的洁净室，其洞口处应有合理的气流流向。洞口的平均风速大于等于 0.2m/s 时，可用热球风速仪检测。

3. 空气过滤器泄漏测试

1）高效过滤器的检漏，应使用采样速率大于 1L/min 的光学粒子计数器。D 类高效过滤器宜使用激光粒子计数器或凝结核计数器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）采用粒子计数器检漏高效过滤器，其上风侧应引入均匀浓度的大气尘或含其他气溶胶尘的空气。对大于或等于0.5μm的尘粒，浓度应大于或等于3.5×10^5pc/m³㊀；或对大于或等于0.1μm的尘粒，浓度应大于或等于3.5×10^7pc/m³；若检测D类高效过滤器，对大于或等于0.1μm的尘粒，浓度应大于或等于3.5×10^9pc/m³。

3）高效过滤器的检测采用扫描法，即在过滤器下风侧用粒子计数器的等动力采样头，放在距离被检部位表面20～30mm处，以5～20mm/s的速度，对过滤器的表面、边框和封头胶处进行移动扫描检查。

4）泄漏率的检测应在接近设计风速的条件下进行。将受检高效过滤器下风侧测得的泄漏浓度换算成透过率，高效过滤器不得大于出厂合格透过率的2倍；D类高效过滤器不得大于出厂合格透过率的3倍。

5）在移动扫描检测工程中，应对计数突然递增的部位进行定点检验。

4. 室内空气洁净度等级的检测

1）空气洁净度等级的检测应在设计指定的占用状态（空态、静态、动态）下进行。

2）检测仪器的选用：应使用采样速率大于1L/min的光学粒子计数器，在仪器选用时应考虑粒径鉴别能力、粒子浓度适用范围和计数效率。仪表应有有效的检定合格证书。

3）采样点的规定：

① 最低限度的采样点数N_L，见表15-4。

表15-4 最低限度的采样点数N_L

测点数N_L	2	3	4	5	6	7	8	9	10
洁净区面积A/m²	2.1～6.0	6.1～12.0	12.1～20.0	20.1～30.0	30.1～42.0	42.1～56.0	56.1～72.0	72.1～90.0	90.1～110.0

注：1. 在水平单向流时，面积A为与气流方向呈垂直的流动空气截面的面积。

2. 最低限度的采样点数N_L按公式$N_L=A^{0.5}$计算（四舍五入取整数）。

② 采样点应均匀分布于整个面积内，并位于工作区的高度（距地坪0.8m的水平面），或设计单位、业主特指的位置。

4）采样量的确定：

① 每次采样的最少采样量见表15-5。

表15-5 每次采样的最少采样量V_S （单位：L）

洁净度等级	粒 径/μm					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
1	2000	8400	—	—	—	—
2	200	840	1960	5680	—	—
3	20	84	196	568	2400	—
4	2	8	20	57	240	—
5	2	2	2	6	24	680
6	2	2	2	2	2	68

㊀ pc即颗粒。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

洁净度等级	粒　径/μm					
	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
7	—	—	—	2	2	7
8	—	—	—	2	2	2
9	—	—	—	2	2	2

② 每个采样点的最少采样时间为1min，采样量至少为2L。

③ 每个洁净室（区）最少采样次数为3次。当洁净区仅有一个采样点时，则在该点至少采样3次。

④ 对预期空气洁净度等级达到4级或更洁净的环境，采样量很大，可采用ISO 14644—1规定的顺序采样法。

5）检测采样的规定：

① 采样时采样口处的气流速度，应尽可能接近室内的设计气流速度。

② 对单向流洁净室，其粒子计数器的采样管口应迎着气流方向；对于非单向流洁净室，采样管口宜向上。

③ 采样管必须干净，连接处不得有渗漏。采样管的长度应根据允许长度确定，如果无规定时，不宜大于1.5m。

④ 室内的测定人员必须穿洁净工作服，且不宜超过3名，并应远离或位于采样点的下风侧静止不动或微动。

6）记录数据评价。空气洁净度测试中，当全室（区）测点为2～9点时，必须计算每个采样点的平均粒子浓度 C_i 值、全部采样点的平均粒子浓度 N 及其标准差，导出95%置信上限值；采样点超过9点时，可采用算术平均值 N 作为置信上限值。

① 每个采样点的平均粒子浓度 C_i 应小于或等于洁净度等级规定的限值，见表15-6。

表15-6　洁净度等级及悬浮粒子浓度限值

洁净度等级	大于或等于表中粒径 D 的最大浓度 C_n/(pc/m³)					
	0.1μm	0.2μm	0.3μm	0.5μm	1.0μm	5.0μm
1	10	2	—	—	—	—
2	100	24	10	4	—	—
3	1000	237	102	35	8	—
4	10000	2370	1020	352	83	—
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7	—	—	—	352000	83200	2930
8	—	—	—	3520000	832000	29300
9	—	—	—	35200000	8320000	293000

注：1. 本表仅表示了整数值的洁净度等级（N）悬浮粒子最大浓度的限值。

2. 对于非整数洁净度等级，其对应于粒子粒径 D（μm）的最大浓度限值（C_n），应按下列公式计算求取。

$$C_n = 10^N \times \left(\frac{0.1}{D}\right)^{2.08}$$

3. 洁净度等级定级的粒径范围为0.1～5.0μm，用于定级的粒径数不应大于3个，且其粒径的顺序级差不应小于1.5倍。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 全部采样点的平均粒子浓度 N 的95%置信上限值，应小于或等于洁净度等级规定的限值，即

$$(N + t \times s/\sqrt{n}) \leqslant \text{级别规定的限值}$$

式中 N——室内各测点平均含尘浓度，$N = \sum C_i/n$；

n——测点数；

s——室内各测点平均含尘浓度 N 的标准差，$s = \sqrt{\dfrac{(C_i - N)^2}{n-1}}$；

t——置信度上限为95%时，单侧 t 分布的系数，见表15-7。

表15-7 t 系数

点数	2	3	4	5	6	7~9
t	6.3	2.9	2.4	2.1	2.0	1.9

5. 风量或风速的检测

1）对于单向流洁净室，采用室截面平均风速和截面积乘积的方法确定送风量。离高效过滤器0.3m，垂直于气流的截面作为采样测试截面，截面上测点间距不宜大于0.6m，测点数不应少于5个，以所有测点风速读数的算术平均值作为平均风速。

2）对于非单向流洁净室，采用风口法或风管法确定送风量，做法如下：

① 风口法是在安装有高效过滤器的风口处，根据风口形状连接辅助风管进行测量。即用镀锌钢板或其他不产尘材料做成与风口形状及内截面相同，长度等于2倍风口长边长的直管段，连接于风口外部。在辅助风管出口平面上，按最少测点数不少于6点均匀布置，使用热球式风速仪测定各测点的风速。然后，以求取的风口截面平均风速乘以风口净截面积求取测定风量。

② 对于风口上风侧有较长的支管段，且已经或可以钻孔时，可以用风管法确定风量。测量断面应位于大于或等于局部阻力部件前3倍管径或长边长，局部阻力部件后5倍管径或长边长的部位。

对于矩形风管，是将测定截面分割成若干个相等的小截面。每个小截面尽可能接近正方形，边长不应大于200mm，测点应位于小截面中心，但整个截面上的测点数不宜少于3个。

对于圆形风管，应根据管径大小，将截面划分成若干个面积相同的同心圆环，每个圆环测4点。根据管径确定圆环数量，不宜少于3个。

6. 室内浮游菌和沉降菌的检测

1）微生物检测方法有空气悬浮微生物法和沉降微生物法两种，采样后的基片（或平皿）经过恒温箱内37℃、48h的培养生成菌落后进行计数。使用的采样器皿和培养液必须进行消毒灭菌处理。采样点可均匀布置或取代表性地域布置。

2）悬浮微生物法应采用离心式、狭缝式和针孔式等碰击式采样器，采样时间应根据空气中微生物浓度来决定，采样点数可与测定空气洁净度测点数相同。各种采样器应按仪器说明书规定的方法使用。

沉降微生物法，应采用直径为90mm培养皿，在采样点上沉降30min后进行采样，最少培养皿数应符合表15-8的规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 15-8　最少培养皿数

空气洁净度级别	培 养 皿 数
<5	44
5	14
6	5
≥7	2

3）特殊环境洁净室（包括药厂生物洁净室）室内浮游菌和沉降菌测试，也可采用按协议确定的采样方案。

4）用培养皿测定沉降菌，用碰撞式采样器或过滤采样器测定浮游菌，还应遵守以下规定：

① 采样装置采样前的准备及采样后的处理，均应在设有高效空气过滤器排风的负压实验室进行操作，该实验室的温度应为（22 ±2）℃；相对湿度应为 50% ±10%。

② 采样仪器应消毒灭菌。

③ 采样器选择应审核其精度和效率，并有合格证书。

④ 采样装置的排气不应污染洁净室。

⑤ 沉降皿个数及采样点、培养基及培养温度、培养时间应按有关规范的规定执行。

⑥ 浮游菌采样器的采样率宜大于 100L/min。

⑦ 碰撞培养基的空气速度应小于 20m/s。

7. 室内空气温度和相对湿度的检测

1）根据温度和相对湿度波动范围，应选择相应的具有足够精度的仪表进行测定。每次测定间隔不应大于 30min。

2）室内测试点布置：

① 送回风口处。

② 恒温工作区具有代表性的地点（如沿着工艺设备周围布置或等距离布置）。

③ 没有恒温要求的洁净室中心。

④ 测点一般应布置在距外墙表面大于 0.5m，离地面 0.8m 的同一高度上；也可以根据恒温区的大小，分别布置在离地不同高度的几个平面上。

3）测点数应符合表 15-9 的规定。

表 15-9　温、湿度测点数

波 动 范 围	室面积≤50m²	每增加 20 ~50m²
Δt = ±0.5 ~ ±2℃	5 个	增加 3 ~5 个
ΔRH = ±5% ~ ±10%		
Δt ≤ ±0.5℃	点间距不应大于 2m，点数不应少于 5 个	
ΔRH ≤ ±5%		

4）有恒温恒湿要求的洁净室。室温波动范围按各测点的各次温度中偏差控制点温度的最大值，占测点总数的百分比整理成累积统计曲线。如 90% 以上测点偏差值在室温波动范围内，为符合设计要求。反之，则为不合格。

区域温度以各测点中最低的一次测试温度为基准，各测点平均温度与超偏差值的点数，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

占测点总数的百分比整理成累计统计曲线，90% 以上测点所达到的偏差值为区域温差，应符合设计要求。相对温度波动范围可按室温波动范围的规定执行。

8. 单向流洁净室截面平均速度，速度不均匀度的检测

1）洁净室垂直单向流和非单向流应选择距墙或围护结构内表面大于 0.5m，离地面高度 0.5～1.5m 作为工作区。水平单向流以距送风墙或围护结构内表面 0.5m 处的纵断面为第一工作面。

2）测定截面的测点数和测定仪器应符合 7. 中的 3）要求的规定。

3）测定风速应用测定架固定风速仪，以避免人体干扰。不得不用手持风速仪测定时，手臂应伸至最长位置，尽量使人体远离测头。

4）室内气流流形的测定，宜采用发烟或悬挂丝线的方法，进行观察测量与记录。然后，标在记录的送风平面的气流流形图上。一般每台过滤器至少对应一个观察点。

风速的不均匀度 β_0 按下列公式计算，一般 β_0 值不应大于 0.25。

$$\beta_0 = \frac{s}{v} \tag{15-5}$$

式中 v——各测点风速的平均值；

s——标准差。

9. 室内噪声的检测

1）测噪声仪器应采用带倍频程分析的声级计。

2）测点布置应按洁净室面积均分。每 $50m^2$ 设一点。测点位于其中心，距地面 1.1～1.5m 高度处或按工艺要求设定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十六章　弱电系统及装置故障排除方法

弱电系统及装置的内容很多，面也很广，除了日常使用的计算机以外，主要有火灾自动报警及自动消防系统、通信广播系统、有线电视（模拟/数字）系统、防盗保安系统、智能建筑及综合布线系统（包括综合布线、楼宇机电设备自控、三表及远程传输、信息网络智能化服务及管理、家居智能信息平台、小区物业管理自动化装置等）以及计算机控制在自动化仪表、空调系统、变配电继电保护、自动检测、电动机控制及变频起动器或软起动器、锅炉自动控制、电梯控制、机床控制等方面的应用。弱电与强电最大的区别则是电压低，一般为直流 mV 级，传输的电流很小，且为直流或脉动电流，一般为 mA 级或 μA 级，有的则是数字信号。

因此，在处理弱电系统及装置的故障时，与强电有很大的不同，但也有很多相似的地方。所以，有了强电技术技能的维修电工则很容易过渡到弱电故障维护中去。因为弱电设备、元件的结构较为复杂，涉及电子技术、电力电子技术、传感器技术、计算机技术以及逻辑数学的知识，在大学学四年也仅仅是入门，这里不便讲述，本章仅对常用弱电装置及系统中的故障排除及注意事项做一说明。

一、弱电系统及装置的构成及基本排障方法

弱电系统及装置一般由一次元件（传感器）、变换装置（变送器）、计算或判断装置（计算器）和执行装置（执行器）及其之间的传输导线组成。有的还配有一些辅助元件。

每个元件或装置均有输入接口和输出接口，在系统正常时每个元件或装置其输入接口和输出接口的信号值是非常重要的参数，在初始接收该项系统或装置时可将其值标注在图样上或设备元件旁，这样就可在出现故障时准备判断故障点，及时更换已损元件。更换时要测试其输入和输出值，且与损坏元件的规格、型号、几何尺寸相同。

排查时应从一次元件入手，一次元件输出不正常或无输出，则说明一次元件有误，然后用前述的试验方法去试验。如热电偶在加热炉内加热，其输出的 mV 值与加热温度值是对应的；同样热电阻输出的电阻值与加热温度是对应的，对应值可查表。

一次元件正常时，可先检查一下一次元件到变换装置间的导线和接线有无破损、短路、接地、虚接等现象。如正常，将变换装置输入输出的接线断开，先检查电源是否正常，然后用标准信号发生器输入到装置的输入端，用标准表测量其输出是否正常，如正常，说明故障点还在下一级；不正常说明变换装置损坏。

变换装置正常时，同样应检查与下一级的导线和接线，然后用同样的方法检查、测试、试验计算装置、执行装置和辅助元件，最后确定故障部位。无论多么复杂、多么疑难的电路及装置，先将其按第二章第二节分析复杂电路的方法及技巧将其解剖成一个个单元电路或组件，确定功能作用后用上述的方法即可找到故障点，但必须做到以下几点：

1）严禁乱拆乱卸，严禁胡乱调节可调节部分，这样不但不会排除故障，往往会扩大事故范围，给下一步寻查带来麻烦，或将元件损坏。

2）必须配备相应的仪器、仪表及试验装置，掌握其正确使用方法和注意事项并妥善保

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

管，保持其精度。

3）熟练掌握系统的图样和识读方法。

4）尽可能地去学习电子技术、电力电子技术、计算机技术、传感器技术，学习分析方法。

5）做好系统的维护、保养、定期检查、试验、测试工作，把故障消灭在萌芽状态，以减少损失。

6）维修中不得急于求成，不得不懂装懂，严格遵守维修作业规则。

二、弱电维修作业规则

1）关掉电源，从始端逐一检查有无明显的故障痕迹，如烧坏、元件发热、放电击穿等。

2）从系统始端逐一测试元件的输入、输出值是否正常，并逐一检查导线和接线情况。

3）将故障元件、导线拆下，换上新元件、新导线，同时立即对新元件、新导线进行测试和试验，各项参数应符合要求，其型号、规格、几何尺寸应与原件相同。

4）系统检查接线是否正确，有无其他不妥，同时测试、试验故障部位后面的元件有无不妥，否则应及时更换。

5）由质检员或技术人员复核系统有无其他不妥。

6）合闸送电，并观察系统状态。

7）复核元件和装置的可调部分，适当调整。

8）打印系统的运行参数。

9）观察、值守运行 72h。

10）填写相关记录、试验、测试报告等。

三、弱电维修基本要求

（一）总则

1）弱电系统维修质量验收应包括工程实施及质量控制、系统检测和竣工验收。

2）弱电系统工程应包括通信网络系统、信息网络系统、建筑设备监控系统、火灾自动报警及消防联动系统、安全防范系统、综合布线系统、智能化系统集成、电源与接地、环境和住宅（小区）智能化等。

3）弱电系统维修质量验收应按“先产品，后系统；先各系统，后系统集成”的顺序进行。

4）维修的现场质量管理应符合 GB 50339—2013 的规定，包括施工图会审、施工组织设计/方案、维修安全技术措施/方案、维修技术及质量标准及规范、维修用检测设备、仪器仪表检定校验、质量管理制度、质量检查检验制度、现场管理制度、维修人员资格证书及技能评价制度、设备元件材料检验、保管制度等。

5）火灾自动报警及消防联动系统、安全防范系统、通信网络系统的检测验收应按相关现行国家标准和国家及地方的相关法律法规执行；其他系统的检测应由省市级以上的建设行政主管部门、质量技术监督部门及消防部门、电信部门认可的专业检测机构组织实施。

（二）产品质量检查检验

1）维修所涉及的产品应包括各弱电系统中使用的材料、硬件设备、软件产品和工程中应用的各种系统接口。

2）产品质量检查应包括列入《中华人民共和国实施强制性产品认证的产品目录》或实

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

施生产许可证和上网许可证管理的产品，未列入强制性认证产品目录或未实施生产许可证和上网许可证管理的产品应按规定程序通过产品检测后方可使用。

3）产品功能、性能等项目的检测应按相应的现行国家产品标准进行；供需双方有特殊要求的产品，可按合同规定或设计要求进行。

4）对不具备现场检测条件的产品，可要求进行工厂检测并出具检测报告。

5）硬件设备及材料的质量检查重点应包括安全性、可靠性及电磁兼容性等项目，可靠性检测可参考生产厂家出具的可靠性检测报告。

6）软件产品质量检查：

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 所有自编软件均应提供完整的文档（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）。

7）系统接口的质量检查：

① 系统承包商应提交接口规范，接口规范应在合同签定时由合同签定机构负责审定。

② 系统承包商应根据接口规范制定接口测试方案，接口测试方案经检测机构批准后实施。系统接口测试应保证接口性能符合设计要求，实现接口规范中规定的各项功能，不发生兼容性及通信瓶颈问题，并保证系统接口的制造和安装质量。

（三）维修工程实施及质量控制

1）维修工程实施及质量控制应包括与前期工程的交接和工程实施条件准备、进场设备和材料的验收、隐蔽工程检查验收和过程检查、工程安装质量检查、系统自检和试运行等。

2）工程实施前应进行工序交接，做好与建筑结构、建筑装饰装修、建筑给水排水及采暖、建筑电气、通风与空调和电梯等分部工程的接口确认。

3）工程实施前应准备：

① 检查工程设计文件及施工图的完备性，弱电系统工程必须按已审批的施工图设计文件实施；工程中出现的设计变更，应填写设计变更审核表，并进行审批。

② 完善施工现场质量管理检查制度和施工技术措施。

4）必须按照合同技术文件和工程设计文件的要求，对设备、材料和软件进行进场验收。进场验收应有书面记录和参加人签字，并经监理工程师或建设单位验收人员签字。未经进场验收合格的设备、材料和软件不得在工程上使用和安装。经进场验收的设备和材料应按产品的技术要求妥善保管。

5）设备及材料的进场验收应填写设备材料进厂检验表并经双方验证，具体要求如下：

① 保证外观完好，产品无损伤、无瑕疵，品种、数量、产地符合要求。

② 设备和软件产品的质量检查检验应按（二）的规定进行。

③ 依规定程序获得批准使用的新材料和新产品除符合本条规定外，尚应提供主管部门规定的相关证明文件。

④ 进口产品除应符合规范规定外，尚应提供原产地证明和商检证明，配套提供的质量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

合格证明，检测报告及安装、使用、维护说明书等文件资料应为中文文本（或附中文译文）。

6）应做好隐蔽工程检查验收和过程检查记录，并经监理工程师签字确认；未经监理工程师签字，不得实施隐蔽作业，并应填写隐蔽工程（过程检查）验收表。

7）采用现场观察、核对施工图、抽样测试等方法，对工程设备安装质量进行检查和观感质量验收，并由监理工程师或质量监督站认可，并填写质量验收记录。

8）系统安装调试完成后，应对系统进行自检，自检时要求对检测项目逐项检测。

9）根据各系统的不同要求，应按周期对系统进行连续不中断试运行。填写试运行记录并提供试运行报告。

（四）系统检测

1）系统检测时应具备的条件：

① 系统维修完成后，已进行了规定时间的试运行。

② 已提供了相应的技术文件和工程实施及质量控制记录。

2）维修人员应按国家标准规范规定的检测项目、检测数量和检测方法，制定系统检测方案并经相应检测机构批准实施。

3）检测人员应按系统检测方案所列检测项目进行检测。

4）系统检测不合格应限期整改，然后重新检测，直至检测合格，重新检测时抽检数量应加倍；系统检测合格，但存在不合格项，应对不合格项进行整改，直到整改合格。

5）检测人员应填写系统检测记录和汇总表并由第三方认可。

（五）维修工程竣工验收

1）各系统竣工验收应包括以下内容：

① 维修实施及质量控制检查。

② 系统检测合格。

③ 维修验收文件资料完整。

④ 系统检测项目的抽检和复核应符合设计要求。

⑤ 观感质量验收应符合要求。

2）维修验收发现不合格的，应限期整改，直到重新验收合格。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十七章　运行维护电工安全技术要点

电工安全技术是电工技术的一个分支，在电气工程运行维护中占有举足轻重的地位，每一个从事电工工作的人从第一天起就必须掌握安全技术。一是保证自己的安全，二是保证他人的安全，三是保证电气系统的安全，四是保证电气设备的安全，这四点加上你的电工技术，你才是一个真正合格的运行维护电工。

第一节　电工操作程序和要求

电工操作及作业时必须按照操作程序、作业程序及其具体要求进行，只有这样才能在安全上做到滴水不漏，万无一失，初学者一定要记住这一点，只要操作或作业必须先想到安全。电工操作及作业的程序及要求见表 17-1。

表 17-1　电工操作/作业、程序及要求

类别	程　　序	要　　求
安装	1. 熟悉设计图样及要求或用户要求，掌握工程量及主要设备材料 2. 准备工具、器械及元件、设备及原材料并检查测试其完好性、安全性且确定工期 3. 勘察现场，安全条件及设置安全措施并准备安全用具、编制作业指导书或工艺卡、指导作业 4. 检查安全用具及仪器仪表、检测/试验电气设备、元件、导线、材料 5. 设置固定构件、敷设线路或母线、基础检查及设置，线路作业或线路架设 6. 安装和接线 7. 调整和试验 8. 通电试验 9. 试车或试运行 10. 检查试行状况、清理现场、整理安装记录及报告、交工验收	1. 满足设计要求，实现功能 2. 符合国家电气工程施工验收规范要求，主要标准号：GB 50147～50148—2010、GB 50168～50170—2006、GB 50171～50172—2012、GB 50173—2014、GB 50150—2006、GB 50254～50257—1996、GB 50303—2002 3. 满足安全要求，详见《新标准电工安全技术 365 问》一书 4. 每天下班时清理现场、清点工具和材料，并做好成品、半成品的防护工作和状态的标识 5. 冬季、雨季施工要满足季节的要求 6. 安装日志、各类记录齐全、日期及签字符合要求，真实及时
维修/修理	1. 现场勘察，掌握修理部位、作业内容项目，掌握工作量 2. 准备工具、器械及元件、设备、原材料并检查测试其完好性安全性、确定停电日期及工期，报有关部门批准，制定安全措施及维修/修理方案 3. 切断电源、验电、设置安全措施，检查安全用具及仪器仪表 4. 检查/试验被检修的设备、元件、材料 〈可不拆卸的及时排除故障 〈拆卸原来部件、更换安装、接线〉清点人员工具材料 5. 检查试验，解除安全措施	1. 满足用户要求，尽快恢复送电或使用 2. 满足安全要求 3. 安装部位应符合上述标准要求 4. 执行安全操作规程，详见《新标准电工安全技术 365 问》一书 5. 当天不能完成的作业，夜间应临时恢复送电或采用替换应急措施供用户使用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

类别	程　序	要　求
维修/修理	6. 通电试验，仍有故障按3、4、5执行 7. 正式送电、恢复运行或使用 8. 检查/监视运行状况，清理现场、清点工具材料、填写施工日志、检修记录、撤离现场	6. 恢复送电前，必须清点人员、工具、材料，以免遗忘于设备线路之上，必须拆除临时接线、接地部位 7. 按季节及现场条件做好防护工作 8. 做好记录，为下次检修提供依据
调整/试验	1. 熟悉设计图样并勘察现场，掌握作业内容及项目、核对设备元件应与图样相符 2. 准备工具器材仪器仪表、编制调整/试验方案和安全措施 3. 现场安全措施的设置，停电、验电、放电、接地线并布置试验设备及仪器 4. 检查安装接线，核对图样并做好标记，然后拆除有关接线 5. 单体测试元件并核对安装记录，及时填写单体测试记录 6. 试验接线并经非接线人员核对正确无误 7. 空投试验设备应正确无误，检查有无不妥并再次核对接线 8. 接通试验设备正式试验，监视人员应及时通报试验状况 9. 试验完毕，将试验设备回零，然后关掉电源 10. 10kV及以上高压变配电装置应进行倒送电试验，先从低压侧接通400V电源，然后从低压到高压逐级闭合开关并逐级测试观察3min，无误后直到全部闭合再观察测试2h，无误后从高压到低压逐级断开开关，详见《电气工程安装及调试技术手册（第3版）》一书 11. 整理记录并判验，填写试验报告 12. 拆除试验接线，恢复原来接线并检查无误 13. 清理现场，清点工具材料，撤离现场	1. 满足设计和试验规程要求 2. 满足安全要求并严格执行安全操作规程，详见《新标准电工安全技术365问》一书 3. 当天不能完成或间断试验时应设专人看护，否则试验应从头开始 4. 主要标准号GB 50150—2006 5. 潮湿天气及雨雪天不宜进行调试作业 6. 调整和试验必须在单体试验合格后进行 7. 试验电容器、电缆、大型变压器及电动机时试验前后必须放电，放电时间不小于2min 8. 升流升压试验必须从零位开始 9. 高压试验时必须有人监护，非工作人员不得靠近
送电试运行	1. 送电时，先送母线后送变压器，先站用变压器后主变压器，先35kV变压器后10kV变压器，先单台运行后并列运行，先总闸后分闸 2. 闭合回路时，先合隔离开关，后合断路器或负荷开关，断开回路时，先分断断路器或负荷开关，后分断隔离开关 3. 操作时，先发命令，再背诵命令，后进行操作，且监护与操作同步 4. 接入变压器时，先合高压侧，后合低压侧；切除时，先断低压侧，后断高压侧 5. 送出回路合闸时，先送负荷小的回路，后投负荷较大回路，切除时相反。先送室内后送室外 6. 变压器投入后，先空载运行后负载运行，并测电流、电压、听声音、查油路、测温度 7. 有直控高压电动机时，先空试高压电机，后负载运行，再送输出回路 8. 清理现场	1. 送电试运行必须先经调整试验合格 2. 送电前必须将负载侧的所有开关断开 3. 送电前必须进行系统检查，特别是要注意开关内外、设备上下、母线前后有无遗漏的材料工具及其他物品，避免短路发生 4. 送电前必须复查送出回路和受电单位相符，包括电压等级，导线或电缆截面等 5. 容量较大，电压35kV及以上、系统较复杂的应先编制送电方案后进行试运行 6. 送电试车一般应编制安全措施或安全作业指导书 7. 详见《电气工程安装及调试技术手册（第3版）》一书 8. 送电、试运行、试车中的故障、缺陷必须及时修复 9. 详尽记录状况

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

类别	程　序	要　求
试车	1. 先送电后试车 2. 先单机后联动 3. 先空载后负载 4. 先照明后动力 5. 先强电后弱电 6. 先总路后分路 7. 先厂区后厂外 8. 先小负载后大负载 9. 先室内后室外 10. 先手动后自动	
吊装/运输	1. 勘察作业现场及道路状况，掌握作业内容及项目特点 2. 根据设备重量、提升高度、运输距离准备作业器械工具，并编写作业指导书、确定主持人、人员分工、信号制定 3. 现场设置安全措施，安全员进入现场 4. 现场设置吊装/运输器械，并检查无误 5. 试吊及正式起吊，试吊高度一般为0.2m，时间10min，无误再正式起吊，并随时观察有无不妥或障碍 6. 就位后的固定及防护，运输中的防护、监视及报警 7. 卸车及就位时先试吊并观察有无不妥 8. 拆除器械、检查器械工具、撤离现场	1. 作业应由起重工主持 2. 雨天、大风天禁止电气设备的吊装/运输作业 3. 勘察现场及器械设置时必须注意土质情况，必要时应有防护措施并设监护人 4. 拉线桩、绞磨桩的设置必须牢固可靠，并有专人看管或监视 5. 吊装作业时，重物及吊臂之下不得有人，起吊后重物上不得有人，有情况时必须放下重物进行检查或重作，详见《新标准电工安全技术365问》一书 6. 吊装运输作业必须落实每人的责任，必须到位
钳工或木工作业	1. 勘察现场、熟悉加工图样、掌握作业内容和材料 2. 准备工具、器械及材料、部件并检查其完好性、安全性 3. 现场安全条件及安全措施的设置 4. 划线、下料、除锈、调直 5. 操作（锯、锉、钻、折弯、焊或榫、套螺纹等及过程中的测量修试成型、除棱角、毛刺、防腐处理）并随时测量或试验 6. 清点工具、清理现场	1. 下料时严禁用气割方法下料 2. 开孔时严禁用气割方法开孔 3. 焊接表面应光洁、无裂纹、毛刺、砂眼、气泡等 4. 套好的螺纹应涂少许黄油，以免锈蚀 5. 成品堆放时应有保护螺纹的措施 6. 工件一般应编号、标识，这样便于安装
建筑物上开凿作业	1. 勘察现场、熟悉开凿项目及开凿部位的结构 2. 准备工具器械并检查其完好性、安全性 3. 现场安全条件及安全措施的设置 4. 划线操作及过程中测量修试 5. 和灰及埋铸、抹灰、堵塞、衬垫等操作及过程测量 6. 修试、保养、成型保护 7. 清点工具、清理现场	1. 开凿作业必须戴护目镜和手套 2. 高处作业必须戴安全带，详见《新标准电工安全技术365问》一书 3. 和灰应按其用途掌握其软硬度，用于埋铸、堵塞、衬垫时应干硬 4. 开凿作业一般只适用于补救措施 5. 开凿时应避开建筑物已埋设好的管线 6. 开凿时应注意土建工程的成品保护 7. 开凿位置必须准确

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

类别	程　序	要　求
焊接	1. 勘察现场、熟悉被焊接工件及其部位 2. 准备工具器械及现场安全条件的设置、清理现场的易燃物 3. 试焊—调节电流—正式施焊（先点住后施焊，保证不变形） 4. 焊接过程中及成型后的测量及保护 5. 清点工具清理现场	1. 焊接作业前应办动火证，必要时应备有灭火器 2. 焊接时要保证不得发生火灾 3. 焊缝饱满，光洁，无裂纹、毛刺、砂眼、气泡等 4. 详见《新标准电工安全技术365问》一书
土方作业	1. 勘察现场，熟悉开挖项目及作业内容、道路、障碍物、土质、有无地下管线等 2. 准备工具器械并检查其完好性、安全性、适用性 3. 现场安全条件及安全措施的设置、确定专职安全员 4. 划线并向开挖的工人交底（规格、要求、注意事项及工期等） 5. 开挖及过程中的测量修试及设置标记（当天不能完成时，要清点工具、清理现场及安全标志） 6. 质量检查验收、回填及设置标记 7. 清理现场、清点工具、撤离现场 8. 整理资料并将开挖部位标注在图样上	1. 土方作业、顶管作业必须查清地下有无管线电缆，必要时应由相关单位出具凭证 2. 必须制定防止塌土的措施，禁止从下部掏挖土层，于建设物旁开挖时，必须考虑建筑物有无倒塌或塌陷可能 3. 土石的倒运必须有防止回落到坑内的措施 4. 开挖后的坑、沟及夜间作业时，必须有明显的警示措施，如红灯、专人看护等 5. 雨季作业应尽量缩短工期、随挖随填，不能填土的必须有护坡，防止灌淹 6. 冬季回填时应将冻土打碎。回填土必须夯实，最上土层应高出地面300mm 7. 较大石块、土块回填时应有防止砸伤电缆、电杆根部、管路的措施 8. 顶管作业的底坑必须有遮栏及顶板防护，并有专人看护 9. 顶管作业中，前后人员必须密切配合，使用电动工具时应遵守安全用电的规则 10. 详见《新标准电工安全技术365问》一书
顶管作业	1. 勘察现场、熟悉、顶管规格、穿越道路、障碍物的土质、有无地下管线、顶管部位及距离等 2. 准备工具器械，检查其完好性、安全性，并编制作业指导书，确定人员 3. 现场安全措施的设置、确定专职安全员及警戒范围、夜间作业方案 4. 土方工程开挖并设置顶管器械并检查无误 5. 检查被顶管材的质量及保护管的质量 6. 顶管作业及过程中的测量及纠正 7. 土方的倒运 8. 拆卸器械 9. 质量检查验收、回填及设置标记、成品保护 10. 清理现场、清点工具、撤离现场、解除警戒 11. 整理资料并将顶管部位标注在图样上	

第二节　电工安全注意事项及安全管理措施

一、安全注意事项

电工安全的内容很多，限于篇幅的关系，这里列出了60条安全注意事项，供读者参考。

（1）开工前或作业前应检查使用工具、安全用具、防护用品以及仪器仪表等，不妥之处应提前处理；仪表应有周期检定证书并在周期之内，扳手、锤子、锯弓等工具、小零部件应放入工具袋带到现场。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）人工手动弯管器煨弯时，操作场地必须宽阔平坦，严禁站在沟旁、房檐边无栏杆处作业，操作时要集中精力，身体要离开所煨管子的垂直面，以免弯管器滑脱伤人；操作时不要用力过猛，要缓慢用力，以防管子材质受损或扳脱后伤人。严禁超越弯管器规格的操作。

（3）用铁锯弓锯削管子或型钢时，应将管子或型钢夹在固定的压力钳中，固定管子不得使用平口台虎钳或台虎钳。管子或型钢两端应垫平或托起，以免切断时掉落伤人。锯削时，锯条的锯齿向前方向应和锯削推力的方向一致，用力不宜过猛，压力不宜过大，以免锯条折断伤人。两人操作时，应步调一致，避免操之过急，管口毛刺应及时用锉清除。

（4）用电动无齿锯锯削管子或型钢时，应将其和锯盘垂直放置，手压锯盘下降时应缓慢，并戴防护眼镜。钢材放置根数不宜超过两根，钢材两端也应垫平，并用卡具卡死。

（5）用套螺纹扳子套螺纹，操作者应站立在套螺纹扳子垂面的两侧，防止扳动时击伤头部或滑脱伤人，并随时检查扳机和压力挂钩是否扣紧，防止滑机。操作时两人要相互呼应，同时用力，松挡要缓慢。取下套螺纹扳子一定要将其直立于案子旁并放稳，以免倒置伤人。管口毛刺应清除，清除毛刺或打喇叭口时要戴防护眼镜。

（6）管子灌砂煨弯时，必须先清扫管子内壁（用铁丝拉动金属刷子），再将砂子过筛后用火炒干，灌入管内，管口用木塞堵死。煨弯前应先检查煨桩、绳索及起重工具是否安全可靠，管子加热时，管口前禁止站人。煨制时用力应一致，但不宜过猛。

（7）螺纹接管时，应用管钳子将管卡紧，缓慢用力拧紧，不得用锤砸。管钳子扳动时不得用套管加长手柄操作，避免扳脱伤人。大管螺纹接管时，操作人员身后不得站人。任何时候管钳子、活扳子不准代替锤子。

（8）在建筑物上剔槽打眼，锤把必须结实、无松动，錾子无飞刺。操作时应戴手套和眼镜，操作的下方和墙的后面不得有人。用冲击钻、电锤在建筑物上开孔，应使钻和建筑物开孔面垂直；使用射钉枪时，应用肩头顶住手柄并使其和墙面垂直才能扣动扳机，墙后严禁站人。任何时候射钉枪口不准对人，射钉及子弹应专人严格管理。

（9）清扫管壁、穿带线、穿导线时，操作双方要一呼一应，有节奏进行，不要用力过猛，以免伤手。任何时候都不准眼对管口或用嘴吹管口。当穿线拉不动时切忌用猛力拉拽，应将导线退回查明原因再穿线。

（10）削线头时刀口要向外，左手应戴手套垫在线下缓慢削去，将绝缘层削切成斜坡式，整体以锥形为好，不得用刀口按导线外皮圆周削切，以免损伤线芯。二次回路接线时应用剥线钳削线头。

（11）蹬梯作业不得站在最高台阶上，梯脚、凳脚要有防滑措施，人字梯或凳下部应有两扇之间的连接装置（铁链或铁丝），所有蹬高用具包括脚扣，使用前应先检查，确认无破损时才能使用。蹬高用具一般不得外借。

（12）敷设地极棍时，一般用大锤砸，要稳、准，防止飞锤；扶地极棍的人要站在侧面且戴手套，不得摇晃，尽量远离地极；操作者应由有经验的人进行。

（13）立杆作业要分工明确，专人指挥，做好充分的准备工作，人人要服从指挥，没有指挥的命令不得随意作业；立杆未稳、未埋土夯实时，吊钩或梢木不得松开或移动，当卡盘装好，埋土超过卡盘并夯实后，才能松钩或移开。

（14）杆上作业必须系安全带，脚扣和安全带使用前要检查，有无断痕、裂纹，扣带及插棍、挂钩是否完整、缺件；上下传递工具、材料必须用小绳并且上下呼应，严禁抛扔。杆

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上有两人及两人以上操作时应相互配合，互相照应，特别是分层作业时，严禁违章作业，不用的工具应放在工具袋内，不得放在杆上别的部位，工具袋应挂好系紧，传递工具要手对手传递，任何时候不得松开安全带。杆下人员必须戴安全帽，并远离电杆 3m 以外。下杆时应使用脚扣，不得从杆上或拉线、大绳上滑下。

（15）紧线作业时，操作人员必须闪开紧线器并在线路方向侧向操作，并将夹紧螺钉拧紧，以免滑脱伤人。紧线用的镀锌铁丝或钢丝绳，应能承受全部拉力，根数应根据导线截面大小及耐张段距离长短增减。紧有角度的导线，应在外侧作业，以免拉脱伤人。紧线时导线下侧不得站人，必要时应在紧线杆的另一侧作临时拉线。调整拉线或设置临时拉线时，杆上不得有人。导线、镀锌铁丝、钢丝油绳、拉线用的钢芯绞线质量应上乘。

（16）架空线路作业，遇雷雨天气应立即停止工作，杆上人必须下杆，不得在杆上避雨。已架好未送电的线路，每隔 5 跨应将线路临时接地一次，避免后续作业触雷电，送电前必须拆除。

（17）电缆敷设时，电缆盘上的电缆端头应绑扎牢固，才能滚动电缆盘。施放电缆应选择坚实平坦地面支撑电缆轴，放线架和千斤顶应转动灵活，电缆轴架起落必须保证端面圆盘垂直地面，不得倾斜，而卷筒的轴线应与地面平行，转动时按卷动电缆的反方向缓慢转动，切忌拉倒支架。木盘保护板拆除后要集中堆放，以免钉子扎脚。

（18）电缆敷设应统一指挥，速度不宜快，敷设至拐弯处时，应站在外侧操作，在穿过墙洞、沟口、管口、隔层等时应距其口处 1m 以上操作。在电缆沟敷设时应先将沟内杂物清除干净，应将敷设途径的障碍拆除。

（19）电缆头制作应采用热缩或冷缩工艺和材料。受条件限制制作环氧树脂电缆头时，烘干石英粉时必须戴好口罩，配制药液应戴防护镜和医用手套。现场必须通风良好，在上风头操作。当皮肤接触胺固化剂时，应立即用水冲洗或用酒精擦净，如发现头晕或疲倦，应立即离开现场，到通风处或采取医疗措施。熔化电缆胶应用温火，高空灌电缆头，下面不得站人，操作者应在上风头。不得用锡焊容器加热电缆胶或加热变压器油，容器必须有盖有嘴，以免流出烫伤。电缆头制作时应注意防火、防尘、防烫、防烧伤等。

（20）送电前，对所有安全用具、测量仪表、操作工具进行详细检查和试验，保证绝缘良好、安全可靠，并准备好消防器材和医务救护工作。主要有高压绝缘拉杆、绝缘靴、绝缘手套、绝缘垫、高压验电器、绝缘电阻测试仪、万用表、试电笔及高压验电器、钳形电流表、携带式接地线、熔蜡片等，必要时应有电业部门出示的试验报告、计量部门的检定证书。消防器材应有四氯化碳灭火剂、干粉灭火剂、二氧化碳灭火剂、一溴甲烷（1211）灭火剂等。救护车、医生及抢救药品等应进入现场。

（21）送电前应熟悉系统，严格遵守送电程序和规则，并准备好通信工具。先拆除临时保护地线，检查系统有无不妥之处。停电和送电操作应有负责人签发或发布操作命令，送电方和受电方联系并确认无误、准备工作完毕后方可操作。送电操作程序是先总闸后分闸，先隔离后负荷。合一级检查一级，逐级合闸逐级检查。停电操作程序和送电程序相反。发生紧急情况，可越级拉负荷开关或断路器，任何情况下严禁带负荷拉隔离开关。送电或停电的回路应在该回路操作手柄上挂标志牌，避免误操作，并有专人看管，非工作人员一律禁止入内。操作时应两人进行，一人操作，一人监护。所有电气设备，未经检查和验电前一律当有电看待，万万不可忽视，遵守先验电、后操作的程序，切忌盲目操作。切记高压验电器验电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时不得接触高压带电部位。

（22）装好的配电柜、控制柜、盘不得随意通电，如必须使用，应经有关部门同意并检查合格后方可使用，然后挂好警告牌。各类开关和熔断器更换时不得随意更换规格，应按原规格更换，禁止用金属丝代替熔断器的熔体。当电路出现跳闸、熔体熔断、保护继电器动作时应查明原因，然后才能重新合闸起动，严禁盲目合闸。

（23）电气设备发生故障后，检修前必须拉闸或取下熔断器，并用验电器试验，确认无电时方可进行检修，必要时要挂标志牌并有人监护，或者有临时接地装置。修复后应先试验控制电路，然后盘车，并测量绝缘电阻合格后才允许重新起动。

（24）一般不允许带电作业，必须带电作业时应经上一级部门批准并有人监护，操作人员应具备带电作业的技能，必须穿戴相应电压等级的绝缘防护用品，使用相应电压等级的绝缘工具，操作人员的任何部位与带电部分的净空距离应大于表 17-2 中的数值。

表 17-2　操作人员与带电部分的净空距离

带电部位的额定电压/kV	净空距离/m
1.0 以下	0.5
6～10	0.7
35	1.0
35 以上	1.5

监护人员应具有带电作业经验，任何情况下都能看到操作者的每一个部位，夜间作业必须用多只手电照明或有充分的常电照明。

（25）施工用的临时电气线路应严格遵守 JGJ 46—2005 的规定，不得随意乱拉电气线路。三相五线低压线路应在 3.5m 以上用绝缘物架设，严禁用金属丝绑扎、揪拉。接头要牢固，绝缘导线接头的位置相与相、相与工作零线或保护线应错开 150mm 以上，并用绝缘带包好。多芯橡胶电缆、防水线剥线口处要加厚绝缘层，甩头不要太长。室外闸箱应有防雨措施，距地坪应在 1.4m 以上。临时用电宜用三相五线制，电动工具应用漏电开关保护，并有良好的接地。在金属构件上、潮湿地段、夜间作业等易触电的环境中，照明一律使用安全电压，即 36V 及以下。闸箱应可靠接地。临时供电的变压器应设在杆上或变压器台上，并设置围栏，接地电阻应在 4Ω 以下，高压侧至少应有跌落式熔断器、避雷器保护，低压侧应有熔断器或断路器保护。近 5m 以内不得堆放杂物，必要时应有专职电工维护运行。主要干线和重要支线，必须按正规线路安装。临时线路长度不宜超过 500m，与建筑物、树木或其他导线距离不得小于 2m，跨越马路时高度不得低于 6m，导线截面应满足强度和负荷要求。架设临时线路必须用专用电杆、专用绝缘子固定，也可选用木杆、木横担，但电杆梢直径不得小于 100mm，两杆间距一般不超过 25m；室内临时布线宜采用橡套电缆（防水线），布线应整齐，长度一般不宜超过 10m，距地面高度不得小于 2.5m。沿地面敷设时，跨越道路时应穿钢管保护。用电点应有闸箱，严禁从线路上直接引线或用插销代替开关。

（26）变配电装置及送电线路因故障需检修时，停电作业应遵守以下安全操作规程：

1）切断有关电源，操作手柄上应上锁或挂标志牌，并有人监护。

2）用验电器验电，验电时先按电压等级选择验电器，并戴上相应电压等级的绝缘手套，踩在高压绝缘板上，在设备进出线两侧各相分别验电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）验明设备、线路确认无电后，即将把被检验设备或线路的进户端接地短路，即放电。

4）装设接地线应由两人共同进行，先接好接地端，然后把另一端与高压拉杆端部金属部分夹好，先在设备或线路的验电处短接一下，把剩余的电荷放掉，然后再将设备或线路三相短路，并将接地线另一端与其夹好。拆时顺序相反。

5）接地线应使用截面积不小于 $25mm^2$ 的多股软裸铜线和专用线夹，严禁用缠绕方法接地短路。

6）检修完毕，应全面逐项检查确认无误时方可拆除临时短路接地线，然后再按程序送电，停电作业操作规程见表 17-3。

表 17-3 停电作业操作规程

顺序	1	2	3	4	5	6	7	8
操作规程	拉闸停电	验电	放电	挂接地线	装设遮栏	挂标志牌	临护	作业

（27）用高压绝缘拉杆或手柄传动机构拉、合高压开关，应戴高压手套，穿高压靴或踩高压垫。对于单极开关，拉闸时应先拉中间相，再拉边相；合闸时应先合边相，再合中间相。在有风时拉闸，应从下风头逐个顺序拉开，合闸时应从上风头逐个顺序合闸。雨雪天操作时，除穿戴相应的安全防护用品外，应装防雨伞形罩，并须有人监护。

（28）电气设备的金属外壳，必须接地或接零。接地电阻小于或等于 4Ω；设备的保安方式可接地或接零，在电力变压器低压侧中性点不接地系统应采用保护接地，在中性点接地系统应采用保护接零，且中性线应重复接地，但同一系统中不允许有的接地有的接零。常用设备的接地电阻允许值见表 17-4。

表 17-4 常用设备的接地电阻允许值

接地类别	允许值/Ω	备注
大接地短路电流系统接地	$R \leqslant 0.5$	短路电流 >500A
小接地短路电流系统接地	$R \leqslant 10$	短路电流 <500A
大变压器或发电机工作接地	$R \leqslant 4$	容量 >100kV·A
小变压器或发电机工作接地	$R \leqslant 10$	容量≤100kV·A
零线重复接地	$R \leqslant 10$	容量≤100kV·A
		不少于三处时可取 $R < 30\Omega$
电气设备保护接地	$R \leqslant 4$	正常时不带电的金属部分
电气设备保护接地	$R \leqslant 10$	引入线装有 25A 以下的熔断器
低压线路杆塔接地	$R \leqslant 30$	
进户线绝缘子脚接地	$R \leqslant 30$	指低压
阀型避雷器（FZ）接地	$R \leqslant 4$	变配电所母线上
阀型避雷器（FS）接地	$R \leqslant 10$	线路出线段
管型避雷器接地	$R \leqslant 10$	
独立避雷针接地	$R \leqslant 10$	个别可取 $R \leqslant 30\Omega$
工业电子设备保护接地	$R \leqslant 10$	包括 X 光机
烟囱防雷接地	$R \leqslant 30$	包括水塔、料仓等
弱电系统接地	$R < 1$	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（29）进行耐压试验时，试验设备和被试设备的金属外壳应可靠接地；被试设备或电缆两端，如不在同一地点，另一端应有人看守或加锁。试验前必须对仪器仪表进行校验或检定，接好线后应由非接线人员检查，确认无误后方可升压。升压时除监护人员和操作人员外，其他人应远离现场。升压或降压应逐级缓慢进行，因故停电作业时，应先使电源切断，然后将被试设备进行放电，并将升压设备高压侧放电后短路接地，然后将仪器恢复到零位。试验结束时，应先将设备恢复零位，再切断电源开关，然后设备放电，检查无误后才能结束作业。

（30）电气传动装置系统及高低压各型开关（柜）调试时，应将其他柜上有关的开关手柄取下或上锁、悬挂警告标志牌，防止误合闸。

（31）用绝缘电阻表测试设备或线路的绝缘电阻，要防止有人触及被测设备或线路，测定容性或感性设备材料（特别是容量大于 100kV·A、电缆长度大于 200m 时）后，必须放电，雷电时禁止测量线路的绝缘电阻。任何时候，严禁不拉闸测试绝缘电阻。

（32）电压互感器二次侧必须可靠接地，一次侧和二次侧均应有熔断器保护，严禁二次侧短路；电流互感器的二次侧应可靠接地，不允许二次侧装设开关或熔断器，严禁二次侧开路。

（33）消弧线圈一般接于中性点不接地系统中变压器或发电机的中性点与大地之间。调整其分接头时，必须将其和网络断开后进行；必须严格根据信号和接地电压表的指示，证明网络中确实不存在接地故障时，才能操作消弧线圈的刀开关，并要考虑防止消弧线圈变更分接时，引起系统共振现象。正常运行时，不允许将两台变压器同时接到一个消弧线圈上。当电网发生接地故障时，不得停运消弧线圈（本身故障除外），一般允许运行 2h，如时间超过而接地故障仍不能消除，应加强监视，消弧线圈上层油温不得超过 85℃。

（34）任何时候、任何情况下电气元件的接线应遵守以下原则：

三相开关包括接触器、刀开关的上闸口接三相电源，下闸口接负载；两极开关上闸口接单相电源或两相电源，下闸口接负载，接单相电源时面对开关右极接相线（火线），左极接零线；单极开关，包括拉盒、按钮上闸口（静触头）接相线，下闸口（动触头）接负载的相线端。

两孔单相插座，面对插座的右极接相线，左极接零线；三孔单相和三相四孔的接地线或接零线均应在上方，且单相的另两极为左零右火；交、直流或不同电压的插座安装时应有明显的区别，且插头均不能互相插入。螺口灯泡的螺口端应接零线，顶端舌片接相线。

（35）在中性点不接地电网中，应采用保护接地，而不采用保护接零。单相时可在相线和中性线上装设开关和熔断器。在中性点接地电网中，应采用保护接零、重复接地，而不采用保护接地。而零干线上严禁装设开关和熔断器，单相设备的接零线应接在零线的干线上，而不是支线上。因此设备的接零线应单独设置（也称三相五线制），不容许将接零端子接在零线端子上，如图 17-1 所示。

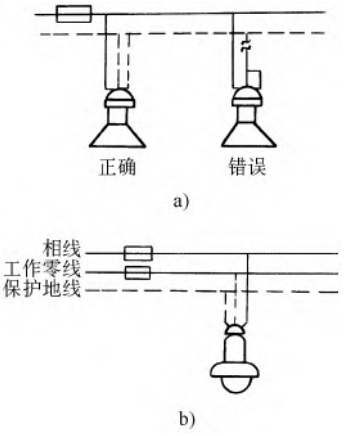


图 17-1　保护线的正确接法
a）三相四线制　b）三相五线制

（36）易燃易爆火灾危险场所应严格按特殊场所的要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

选择相应的电气设备或元件，见《新标准电工安全技术365问》一书。

防爆电气设备在接线时须配弹簧垫，导线不得有接头。所有接头处和连接处应在接线盒或接线罩内进行，然后密封并涂耐热漆（1321醇酸磁漆）。电气设备不论其电压大小、安装位置高低，正常不带电的金属部分均须可靠接地或接零；生产设施、管道、贮罐等应可靠接地。其接地线或接零线应单独敷设，不得利用金属管道和其他金属构架或是电气系统的工作零线或地线作为接地或接零用。高频电气设备应有屏蔽，并且设备外壳和屏蔽体应接地，其接地线一般不宜太长，应限制在1/4波长之内或者避开1/4波长的奇数倍。

（37）煤矿井下高压不应超过7000V，低压不应超过1140V，照明、手持电器、信号装置、通信设备等额定电压不应超过127V，远距离控制线路的额定电压不应超过36V。其电气设备选择见表17-5。

表17-5 井下电气设备的选择

使用场所 / 类别	煤（岩）与沼气突出的矿井和沼气喷出的巷道区域	沼气矿井			
		井底车场、总进风道或主要进风道		采区进风道	总回风巷道、主要回风道、采区回风道、工作面和工作面进风、回风道
		低沼气矿井	高沼气矿井		
高低压电机和控制设备	矿用防爆型（防爆安全型除外）	矿用一般型	矿用一般型	矿用防爆型	矿用防爆型（防爆安全型除外）
照明灯具	矿用防爆型（防爆安全型除外）	矿用一般型	矿用安全型	矿用防爆型	矿用防爆型（防爆安全型除外）
通信、信号、自动化装置和仪表、仪器	矿用防爆型（防爆安全型除外）	矿用一般型	矿用安全型	矿用防爆型	矿用防爆型（防爆安全型除外）

井下变压器中性点禁止接地；电气设备应装设保护接地，所有保护接地和局部接地装置，都应同主接地极连接，形成一个总接地网。接地网上任一保护接地点的接地电阻应不超过2Ω，手持移动工具不应超过1Ω；电气设备及线路应设漏电保护及检漏装置；裸导体架设高度一般为2.2m，不行人的巷道上为1.8m。

（38）安全距离

1）10kV及以下架空线路的线间距离不应小于表17-6所列数值。

表17-6 架空线路导线最小线间距离 （单位：m）

挡距 / 线路电压/kV	40及以下	50	60	70	80	90	100	110	120
10	0.6	0.65	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0	1.05	1.15
低压	0.3	0.4	0.45	0.5	—	—	—	—	—

注：1. 表中所列数值适用于导线的各类排列方式。

2. 靠近电杆的两导线间的水平距离，不应小于0.5m。

2）架空线路导线与地面距离，在导线最大弛度时，不应小于表17-7所列数值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 17-7　导线与地面的最小距离　（单位：m）

线路经过地区	线路电压	
	1kV 以下	1～10kV
居民区	6.0	6.5
非居民区	5.0	5.5
交通困难地区	4.0	4.5

3）架空导线与街道、行道树间的距离，不能低于表 17-8 所列数值。

表 17-8　导线与街道、行道树之间的最小距离　（单位：m）

最大弛度时的垂直距离		最大风偏时的水平距离	
1kV 以下	1～10kV	1kV 以下	1～10kV
1.0	1.5	1.0	2.0

4）架空线路与建筑物的距离不得低于表 17-9 中所列数值。

表 17-9　架空电力线路对建筑物水平和垂直最小间隔距离　（单位：m）

项　目	线路额定电压/kV		
	0.22～0.38	1～15	20～35
在最大弧垂时的垂直距离	2.5	3	4
在最大风偏时对接近部分的水平距离	1	1.5	3

5）架空导线对地面、水面及公路、铁路交叉的最小垂直距离见表 17-10。

表 17-10　架空导线对地面、水面、公路和铁路的最小垂直距离　（单位：m）

项　目			线路额定电压/kV		
			0.22～0.38	1～20	35
经过地区跨越项目及距离/m	对地面（水面）	居民区	6	6.5	7
		非居民区	5	5.5	6
		居民密度小，交通困难的地区	4	4.5	5
		不能通航及不能浮运的河湖（冬季至冰面）	5	5	6
		不能通航及不能浮运的河湖的最高水位	3	3	3
	对铁路	标准轨	7.5	7.5	7.5
		窄轨	6	6	6
	对公路和城市道路		6	7	7
	对河流	常年洪水位（至水面）	6	6	6
		至最高航行水位的最高桅顶	1	1.5	2

6）架空线路交叉跨越的最小垂直距离，见表 17-11。

7）同杆架设不同线路时，高压位于低压之上，弱电线路位于电力线路之下，横担间的最小垂直距离，应不小于表 17-12 中的规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 17-11 架空配电线路与各种架空电力线路交叉跨越的最小垂直距离 （单位：m）

配电线路电压/kV	电力线路/kV					
	1 以下	1～10	35～110	220	330	500
1～10	2	2	3	4	5	8.5
1 以下	1	2	3	4	5	8.5

表 17-12 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

8）低压接户线的档距不宜超过 25m，超过时应架设接户杆。低压接户线的线间距离，不应小于表 17-13 中所列数值。

表 17-13 低压接户线的线间距离

架设方式	档距/m	线间距离/mm
自电杆上引下	25 及以下	150
	25 以上	200
沿墙敷设	6 及以下	100
	6 以上	150

9）低压配线与管道间最小距离应符合表 17-14 中规定。

表 17-14 低压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。交叉距离需考虑便于维修，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10）直埋电缆与一些工程设施的最小距离，不应小于表 17-15 中的数值。

表 17-15　直接埋地敷设的电缆与各种设施的最小净距

序号	项　目		最小允许净距/m		备　注
			平行	交叉	
1	电力电缆间及其与控制电缆间				1. 控制电缆间平行敷设的间距不作规定，序号第 1、3 项，当电缆穿管或用隔板隔开时，平行净距可降低为 0. 1m 2. 在交叉点前后 1m 范围内，如电缆穿入管中或用隔板隔开，交叉净距可降低为 0. 25m
	（1）10kV 及以下		0. 10	0. 50	
	（2）10kV 以上		0. 25	0. 50	
2	控制电缆间		—	0. 50	
3	不同使用部门的电缆间		0. 50	0. 50	
4	热管道（管沟）及热力设备		2. 00	0. 50	1. 虽净距能满足要求，但检修管路可能伤及电缆时，在交叉点前后 1m 范围内，尚应采取保护措施 2. 当交叉净距不能满足要求时，应将电缆穿入管中，则其净距可减为 0. 25m 3. 对序号第 4 项，应采取隔热措施，使电缆周围土壤的温升不超过 10℃
5	油管道（管沟）		1. 00	0. 50	
6	可燃气体及易燃液体管道（管沟）		1. 00	0. 50	
7	其他管道（管沟）		0. 50	0. 50	
8	铁路路轨		3. 00	1. 00	
9	电气化铁路路轨	交流	3. 00	1. 00	
		直流	10. 00	1. 00	如不能满足要求，应采取适当防腐蚀措施
10	公路		1. 50	1. 00	特殊情况，平行净距可酌减
11	城市街道路面		1. 00	0. 70	
12	电杆基础（边线）		1. 00	—	
13	建筑物基础（边线）		0. 60	—	
14	排水沟		1. 00	0. 50	

注：当电缆穿管或者其他管道有防护设施（如管道的保温层等）时，表中净距应从管壁或防护设施的外壁算起。

11）架空明设电缆之间及电缆与管道之间的最小距离不应小于下列数值：

低压电缆之间　　35mm

低压电缆与高压电缆之间　　150mm

低压电缆与热力管道之间　　1000mm

低压电缆与非热力管道之间　　300mm

12）电缆在电缆沟、隧道内敷设时的最小净距见表 17-16。

表 17-16　电缆在电缆沟或隧道内敷设时的最小净距　（单位：mm）

敷设条件 / 类别	电缆隧道	电缆沟	
		沟深 600mm 及以下	沟深 600mm 以上
两边有电缆支架，支架间的水平净距（通道宽）	1000	300	500
一边有电缆支架，支架与墙壁间的水平净距（通道宽）	900	300	450
电缆支架层间的垂直净距			
电力电缆	200	150	150
控制电缆	120	100	100
电力电缆间的水平净距	35	35	35

注：电力电缆间的水平净距不应小于电缆外径。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

13）室外配电装置的最小安全净距见表17-17，参考图17-2、图17-3和图17-4。

表17-17 室外配电装置的安全净距 （单位：mm）

符号	适用范围	图号	额定电压/kV									
			0.4	1～10	15～20	35	60	110J	110	220J	330J	500J
A_1	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状遮栏向上延伸距地面2.5m处与遮栏上方带电部分之间	图17-2 图17-3 图17-4	75	200	300	400	650	900	1000	1800	2500	2800
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	图17-2	75	200	300	400	650	1000	1100	2000	2800	4300
B_1	1. 设备运输时，其外廓至无遮栏带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 3. 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间 4. 带电作业时的带电部分至接地部分之间	图17-2 图17-3 图17-4	825	950	1050	1150	1400	1650	1750	2550	3250	4550
B_2	网状遮栏至带电部分之间	图17-3	175	300	400	500	750	1000	1100	1900	2600	3900
C	1. 无遮栏裸导体至地面之间 2. 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	图17-3 图17-4	2500	2700	2800	2900	3100	3400	3500	4300	5000	7500
D	1. 平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 2. 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	图17-2 图17-3	2000	2200	2300	2400	2600	2900	3000	3800	4500	5800

注：1. 110J、220J、330J、500J系指中性点直接接地电网。

2. 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间，对于220kV及以上电压，可按绝缘体电位的实际分布，采用相应的B值检验，此时允许栅状遮栏与绝缘体的距离小于B_1值。当无给定的分布电位时，可按线性分布计算。500kV相间通道的安全净距，亦可用此原则。

3. 带电作业时的带电部分至接地部分之间（110J～500J），带电作业时，不同相或交叉的不同回路带电部分之间，其B_1值可取A_2+750mm。

4. 500kV的A_1值，双分裂软导线至接地部分之间可取3500mm。

5. 海拔超过1000m时，A值应按图17-7进行修正。

6. 本表所列各值不适用于制造厂生产的成套配电装置。

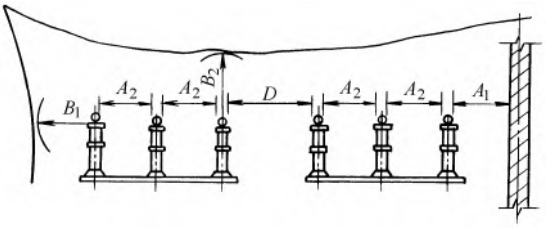


图17-2 室外A_1、A_2、B_1、D值校验示意图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

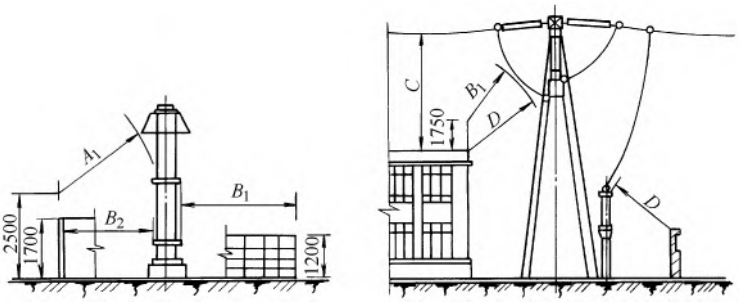


图 17-3　室外 A_1、B_2、C、B_1、D 值校验示意图

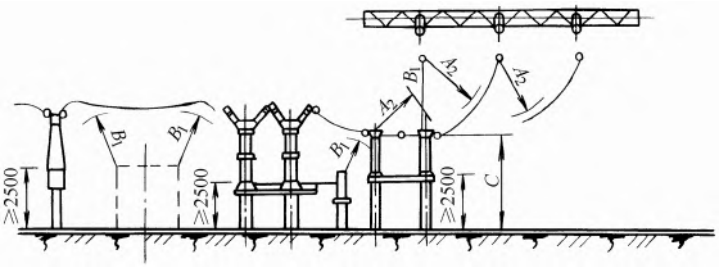


图 17-4　室外 A_2、B_1、C 值校验示意图

14）室内配电装置的最小安全净距见表 17-18，参考图 17-5 和图 17-6。

表 17-18　室内配电装置的安全净距　（单位：mm）

符号	适用范围	图号	额定电压/kV										
			0.4	1～3	6	10	15	20	35	60	110J	110	220J
A_1	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状和板状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处与遮栏上方带电部分之间	图 17-5	20	75	100	125	150	180	300	550	850	950	1800
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间	图 17-5	20	75	100	125	150	180	300	550	900	1000	2000
B_1	1. 栅状遮栏至带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	图 17-5 图 17-6	800	825	850	875	900	930	1050	1300	1600	1700	2550
B_2	网状遮栏至带电部分之间	图 17-5 图 17-6	100	175	200	225	250	280	400	650	950	1050	1900
C	无遮栏裸导体至地（楼）面之间	图 17-5	2300	2375	2400	2425	2450	2480	2600	2850	3150	3250	4100
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	图 17-5	1875	1875	1900	1925	1950	1980	2100	2350	2650	2750	3600
E	通向室外的出线套管至室外通道的路面	图 17-6	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4500	5000	5000	5500

注：1. 110J、220J 系指中性点直接接地电网。

2. 网状遮栏至带电部分之间当为板状遮栏时，其 B 值可取 A_1+30mm。

3. 通向室外的出线套管至室外通道的路面，当出线套管外侧为室外配电装置时，其至室外地面的距离不应小于表 17-17 中所列室外部分之 C 值。

4. 海拔超过 1000m 时，A 值应按图 17-7 修正。

5. 本表所列各值不适用于制造厂生产的成套配电装置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

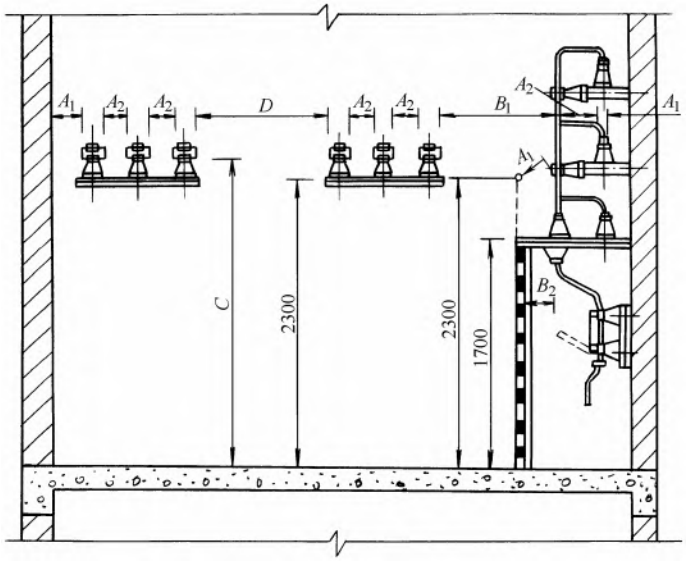


图 17-5 室内 A_1 A_2、B_1、B_2、C、D 值校验示意图

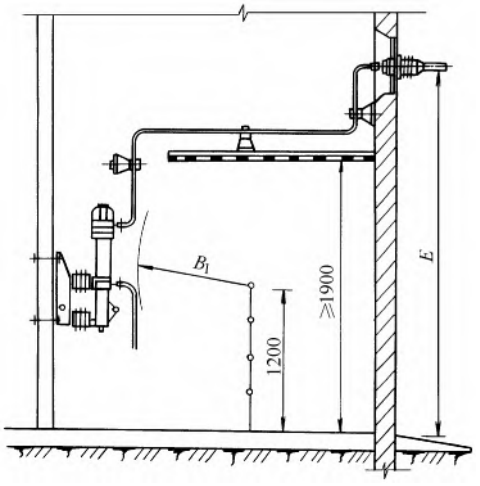


图 17-6 室内 B_1、E 值校验示意图

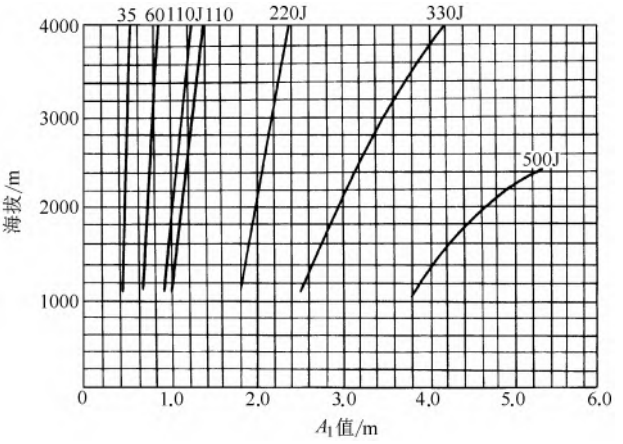


图 17-7 海拔大于 1000m 时 A 值修正曲线
（A_2 值和室内的 A_1、A_2 值可按本图之比例递增）

15）室内变压器，其外廓与四壁之间的最小距离，应符合表 17-19 中的规定。

表 17-19 变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距

项目 \ 变压器容量	100～1000kV·A	1250kV·A 及以上
变压器与后壁、侧壁的净距/m	0.6	0.8
变压器与门的净距/m	0.8	1.0

16）检修安全距离。在低压操作中，人体或人使用的工具与带电体之间的最小距离应不小于 0.1m。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在高压无遮护操作中，人体或人使用的工具与带电体之间的最小距离：10kV 及以下为 0.7m；20～35kV 为 1.0m。否则应设临时遮栏，加以防护。如用绝缘杆操作，上述距离可分别为 0.4m、0.6m。

在高压线路上作业，上述数值 10kV 及以下为 1.0m；35kV 为 2.5m，如达不到时，应停电处理。

在使用喷灯或气焊时，火焰不得喷向带电体，火焰与带电体的最小距离：1kV 以下为 1m；10kV 以下为 1.5m；10kV 以上为 3m；

在架空线路附近起重作业，起重机具及被吊物体、线索与线路的最小距离，见表 17-20。

表 17-20　起重机具与输电线的最小距离

输电线路电压/kV	<1	1～35	60	110	154	220	330	V≥60kV
最小允许净距/m	1.5	3	3.1	3.6	4.1	4.7	5.8	0.01（V－50）+3

注：当 V≥60kV 时，可用式 0.01(V－50)+3 计算最小允许距离。

（39）电气作业（包括调试）完毕或下班前，对所用的工具、仪表、材料要进行清理和查对，如有遗失和破损要妥善处理，避免遗留在设备之内或混合在好料之中而发生意外事故。经两人（至少两人）检查确认无误方可离开现场。作业当中应及时清理现场中的废物废料及脚下杂物，避免跌倒受伤，也利于文明施工和环境保护。

（40）变压器吊心、大电机抽心或大型电机设备吊装应有起重工配合，操作人员必须戴厚布手套。起吊后，变压器芯子离开法兰 20mm 时、大电机抽心吊钩刚吃力时、设备离开地面 100mm 时，应停止上升，必须给其外加冲击力，并对吊装机具进行受力检查，无异常情况方可正式起吊。吊到所需位置后，在芯子底部下垂位置上加垫能够承受芯子全部重量的支承横梁或道木，然后缓慢放在横梁或道木上，并用木楔支稳后才可撤离吊钩，以免倒置或滚动。严禁在吊装中或未加支承横梁时，在吊物底部探头观察、伸手抚摸。芯子装回原位时严禁用手对位或手指伸入螺钉孔内，应用铜棒插入对位。任何时候吊物底部不准有人。

（41）大型电气设备或器材运输时，左右宽度各不得超出车厢 200mm，高度由地面算起不得超过 4m，长度前后共不得超过车身 2m，超出部分不得触地，并应摆放平稳，捆扎牢固。电杆运输应配备专用搁架。超宽、超高、超长的设备物件运输应事先征得交通管理部门的同意，并严格遵守交通部门的管理和规定，此外还必须制定运输方案和安全技术措施。

（42）大型电气设备材料吊装时应核定钢丝绳应力，起吊时严禁在物件上站人，吊臂和重物下不得有人，停止作业时应刹住制动器，操纵杆返回空挡，关好司机楼门、上锁，严格遵守吊装起重作业的有关规定和操作规程。

（43）所有绝缘、检验工具、仪器仪表、作业工具应妥善保管、严禁他用，并定期检查、检定或校验，仪器、仪表检定周期见表 17-21。

表 17-21　常用仪表、仪器检定周期

仪器仪表名称或种类	周　　期
标准电流表（包括各种仪器、设备上的表）	1 年
标准电压表（包括各种仪器、设备上的表）	1 年
万用表	1 年

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

仪器仪表名称或种类	周　　期
钳形表	1 年
绝缘电阻测试仪	半年
接地电阻测试仪	半年
相序表	1 年
交直流电桥	1 年
电位差计	1 年
频率表	1 年
示波器	1 年
交流信号发生器	1 年
转速表	1 年
点温计	1 年

（44）熔化焊锡、锡块、加热变压器油的容器工具应干燥，防止爆溅。

（45）喷灯不得漏气漏油，有漏气漏油应及时修复，直至不泄漏才能使用。喷灯不得在易燃、易爆或火灾危险场所点火使用。喷灯使用完后应立即灭火放气。应按喷灯规定的燃料加油，不得混装。任何时候喷嘴不得对人。

（46）有人触电或电气着火应先立即切断电源，再进行急救。切断电源一是拉闸断电，二是用绝缘物挑开电线，严禁直接推拉触电者；可穿绝缘鞋并站在绝缘垫上用绳子拉开，或者用绝缘钳子、木柄斧头，站在绝缘垫上剪断或砍断电源线。切断电源后应妥善处理电源侧的开关，避免二次触电。

1）对触电者应根据触电程度不同分别采用适当的现场急救方法。

① 对神志清醒，能回答问话，感到心慌无力，四肢发麻的轻度触电者，可让其就地休息，并请医生到现场诊断、观察，并做好急救准备。切忌立刻走动，2h 之后无异常则可送回休息。

② 对神志不清、失去知觉，但呼吸正常的触电者，可用担架或门板将其抬到附近空气清新、流通的干燥地方，解开衣服静卧休息，暂不做人工呼吸，并迅速请医生到现场诊断治疗。

③ 对失去知觉、呼吸困难并逐渐微弱的触电者，应立即进行人工呼吸，同时应立即请医生到现场急救，并迅速将触电者送往医院，在送医院途中不得停止人工呼吸。

④ 对呼吸、脉搏和心跳都已停止的触电者，应立即进行人工呼吸和胸外心脏挤压术，直到医生赶来。严禁听心音、量血压时停止抢救和停止人工呼吸。同时应迅速送往医院，途中不得停止人工呼吸和胸外心脏挤压术。

现场急救时应先将触电者衣扣解开，裤带松脱，用耳贴在其胸部仔细听有无心音，如没有，立即进行胸外心脏挤压术。用头发、棉花毛、纸屑等轻微小物放在其鼻孔处，观察有无呼吸，如没有，应立即进行人工呼吸。同时应检查并清除触电者口腔内的食物或呕吐物，取出假牙。检查触电者呼吸道和喉头有无分泌物，如有，抢救者应用口吸出。

现场急救一般不得使用药物，任何药物都不能代替人工呼吸和胸外心脏挤压，必要时要适量用呼吸中枢兴奋剂和可拉明。不得使用肾上腺素，只有心电图显示心跳确已停止时，方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可按医嘱适量应用。

对于外伤严重、危及生命者应同步进行抢救，一般轻伤应先使触电者恢复呼吸和心跳，然后再进行外伤治疗。在进行人工呼吸的同时，可对触电者使用氧气口罩或氧气袋，这对恢复呼吸有很大帮助。

2）电气设备着火，应根据电气设备的不同，分别采用不同的灭火方法。

① 充油电气设备外部着火，可用 CO_2、CCl_4、1211、干粉等灭火机灭火。用 CCl_4 灭火时，消防人员应站在上风头，灭火后要注意通风。如油箱破坏，喷油燃烧，火势很大时，应将油引放入贮油坑，并用上述灭火机灭火，要防止燃烧着的油流入电缆沟中。

② 电动机发生火灾时，可用喷雾水枪灭火，并使其慢慢转动，防止轴和轴承变形，也可用 CO_2、1211 灭火，不宜用干粉、砂子、泥土灭火。

③ 电缆沟内电缆着火，可将电缆沟的隔火门关闭或将其两端封堵死，采用窒息法灭火；也可用干粉、1211、CO_2 灭火机灭火；火势太大可向沟内灌水，直到将故障点用水封住。电缆沟内灭火应戴防毒面具、绝缘手套、穿绝缘靴，严禁用手直接触及电缆。

明敷电缆着火一般用干粉、1211、CO_2 灭火，也可用喷雾水枪灭火。

④ 一般电气设备或盘、柜着火可选用 CO_2、1211、CCl_4、干粉灭火，也可用喷雾水枪灭火，严禁用水或泡沫灭火机灭火。

电气火灾发生后，应用绝缘工具拉闸，切断电源的范围要选择适当，不得影响消防照明。剪断电源线时，每相应在不同部位，避免短路；架空线路应在电源侧的支持物附近剪断，避免短路和落下，如有电源线落在地面，要划出警戒区，防止跨步电压；对空中设备灭火时，操作人员身体的位置与带电体之间的仰角不应大于 45°，以防带电体落下。

发生重大设备人身事故时，除及时将触电者送医院抢救和扑灭火灾部位外，要尽力保留现场，待消防部门赶到后处理。

（47）安装高压油开关、低压断路器等有返回弹簧的开关设备时，应将开关置于断开位置；安装配电柜时，手指不得放在两盘接缝处，更不得伸入连接螺孔和地脚螺孔内；顶棚内或吊顶内安装不准直接在板条天棚或隔音板上通行及堆放材料，必要时应在龙骨上铺设脚手板。

（48）电杆用小车搬运时应捆扎牢固并用木楔左右挤紧，人抬时动作要一致，电杆不得离地太高，一般为 300mm；设备开箱时严禁敲打或撬取，应谨慎小心，不得损坏内部物件；搬运电气设备时应轻拿轻放。对贵重、稀有、关键设备应由经验丰富的负责任的技工进行搬运和安装；对不熟悉的设备要详细阅读说明书和有关资料，切忌乱拆乱放。

（49）电焊作业时，电焊机外壳应接地良好，电源的装拆应由电工进行，焊钳与把线必须绝缘良好，更换焊条应戴手套，操作时应穿绝缘鞋；高空作业时应将把线和地线用绳子吊往高处，不得手持把线登高；地线应连接良好，不得打火；雷雨天气应停止露天焊接；作业前应检查机件各部分是否完整，电流调节器是否灵活，导线有无破损；收放把线和地线时应关掉电源，单相焊机应用双极开关；电焊机调节分头、更换零件或较长时间停止使用时，以及工作人员离开现场均应切断电源；长期停用的焊机使用前应测量绝缘。电焊作业时严禁焊条头乱扔，防止造成短路、管路堵塞。

（50）气焊作业时，乙炔发生器必须设有防止回火的安全装置，浮桶必须装设厚度为 1～1.5mm、直径不少于浮桶断面 60%～70% 的胶皮；氧气瓶及气嘴、氧气表、焊割工具把和扳手严禁油脂；压力表及安全减压阀应定期校验和检定；氧气瓶应放在阴凉处，搬运时轻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

拿轻放，严禁碰撞、振动和暴晒，放气嘴不得对人。乙炔发生器不得放置在电线的下方，与氧气瓶不得放在一处，距离应大于10m；乙炔发生器之间应相离至少10m。氧气瓶、乙炔发生器四周10m以内不应有明火及易燃易爆品；检验是否漏气应用肥皂水，严禁用明火；氧气瓶、防水回火器冻结后应用热水加热，严禁火烤。电石应放在金属桶中并密封，置于通风、干燥、无漏雨的库房保管；开桶时要避免明火和火花工作完毕应将气阀关好，拧紧安全罩，乙炔浮桶提出，提出时头部应避开桶的上方，拔出后要卧放，严禁扣在地上。有条件的地区应使用乙炔瓶，逐渐淘汰电石桶。乙炔瓶应有乙炔表及减压阀（注意事项同电石桶和氧气瓶）。气焊设备不得与电线、高温物接近，气焊把、氧气表不得乱放，以防堵塞。乙炔管用氧气吹除后，应把管内氧气排净再用。由于焊嘴过热或堵塞而发生回火或爆鸣，应先关乙炔阀后关氧气阀，然后放在冷水中冷却后用钢针使其畅通。点火时应先开氧气阀，后开乙炔阀并立即点火。使用中乙炔气管着火时，应先弯拆软管，然后关乙炔阀；氧气管着火，应先松顶针，后关氧气阀。

（51）焊接作业时，焊工应穿工作服，口袋应有遮盖、裤腿袖口不得卷起，应系鞋盖，戴工作帽及手套。必须在易燃易爆场所作业时，应取得有关部门签发的动火证并有相应的技术措施。焊接作业完毕后要检查作业地点，确认无着火可能及危险隐患后，才能离开现场。

（52）油漆作业时应穿戴好防护用品，若进行有毒油漆作业，要体格检查，并戴好防毒面具，制定具体安全措施。储存油漆应设专门仓库，要通风、加锁、严禁烟火、不得住人，油漆作业不得靠近火源及容易发生火花的设备，靠近盘柜作业或油刷盘柜其电气盘柜不得送电。倾倒、搬动油漆及溶剂，要轻拿轻放，不得发生撞击。作业地点应通风，使用空压机喷漆作业时压力不得超过规定，操作前必须检查胶管有无漏气，接头是否牢固，发现破裂者不得使用。

（53）在起重机、桥式起重机上检修作业应测量车身的接地电阻，至少应小于1Ω。

（54）起重、吊装、装卸、运输作业时，起重机械，如绞磨、汽车吊、卷扬机、手摇绞车必须放平放稳，并有制动逆止装置；起吊时应先试吊离地100mm，检查无误方可再正式起吊；使用开口滑车时，应将开门勾环扣紧；起重时，在绞磨起重机的滚筒上，至少应绕有五圈钢丝绳，拖尾钢丝绳应随时拉紧，并应由有经验的人负责；起重机具应按铭牌使用，不得超重使用；钢丝绳应定期检查和浸油，当有断股者、或钢丝绳磨损严重、或遇火及电弧烧伤者应予报废。

（55）使用行灯变压器应为双绕组变压器并有熔断器保护、二次电压不超过36V，环境恶劣时应为12V及以下；一次电源线不应大于3m，并为绝缘护套线或橡胶电缆；二次侧和金属壳应可靠接地；不常使用的行灯变压器，使用前应测绝缘电阻和电压并进行外观检查。

（56）使用手持电动工具或移动电具时，电源线必须绝缘良好，一般为多股防水线，其中有一股为接地线并可靠接地，不常使用的电动工具，使用前应测绝缘电阻，更换部件时，应关掉电源，任何时候不得用手触及旋转部分，使用时应穿绝缘鞋、戴防护眼镜。手持电动工具或移动式电器应装设漏电保护器。

（57）电气工作人员上岗时应戴安全帽、戴手套、穿工作服、穿绝缘鞋，并携带相应工作的安全防护用品及工具。

（58）送电试车应编制作业方案及技术措施，并经上级部门审核批准严格执行。

（59）涉及其他专业的安全措施应参阅有关资料执行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（60）根据具体工程性质不同，参照上述条款，灵活制定安装过程中的安全防护措施，做好安全交底，保证安全施工。

二、电气安全措施

1. 保证电气安全的两大措施

保证电气安全主要有组织管理措施和技术措施两种。

组织管理措施又分管理措施、组织措施和急救措施三种。其中管理措施主要有安全机构及人员设置，制定安全措施计划，进行安全检查、事故分析处理、安全督察、安全技术教育培训，制定规章制度、安全标志以及电工管理、资料档案管理等。

组织措施主要是针对电气作业、电工值班、巡回检查等进行组织实施而制定的制度。

急救措施主要是针对电气伤害进行抢救而设置的医疗机构、救护人员以及交通工具等，并经常进行紧急救护的演习和训练。

技术措施包括直接触电防护措施、间接触电防护措施以及与其配套的电气作业安全措施、电气安全装置、电气安全操作规程、电气作业安全用具、电气火灾消防技术等。

组织管理措施和技术措施是密切相关、统一而不可分割的。电气事故的原因很多，有时也很复杂，如设备质量低劣、安装调试不符合标准规范要求、绝缘破坏而漏电、作业人员误操作或违章作业、安全技术措施不完善、制度不严密、管理混乱等都会造成事故发生，这里面有组织管理的因素，也有技术的因素。经验证明，虽然有完善先进的技术措施，但没有或欠缺组织管理措施，也将发生事故；反过来，只有组织管理措施，而没有或缺少技术措施，事故也是要发生的。没有组织管理措施，技术措施将实施不了，且得不到可靠的保证；没有技术措施，组织管理措施只是一纸空文，解决不了实际问题。只有两者统一起来，电气安全才能得到保障。因此，电气安全工作中，一手要抓技术，使技术手段完备，一手要抓组织管理，使其周密完善，只有这样，才能保证电气系统、设备和人身的安全。

2. 电气安全组织管理的任务

1）有计划且经常组织员工，特别是单位领导干部学习国家对劳动保护、安全用电方面的方针、政策、法规以及当地供电部门、本行业的法规、条例等，并及时有力地贯彻执行。

2）经常组织电气技术人员、管理人员、电工作业人员及针对用电人员、电器操作人员，进行电气安全技术管理和电气安全技术的学习培训。

3）有计划、有针对性地组织电气安全专业性检查，及时发现和消除安全隐患和因素，同时对电气系统、电气管理和电气作业人员、电气操作人员的不安全行为、违章及误操作进行监督检查并及时纠正。

4）对电气工程的设计、安装调试进行电气安全督察，及时纠正和消除电气工程中的不安全因素，特别是电气设备元件本身的安全可靠性能，是安全督察的重点。

5）制定电气安全措施计划，搞好技改工作，改善员工劳动条件，治理尘、毒、噪声、电磁危害、静电、火灾爆炸等行业性职业危害，保障用电安全。

6）制定和修订电气安全的规章制度及组织措施中的电气作业、电工值班、巡回检查等制度以及电气安全操作规程等，并组织实施。

7）做好触电急救工作，及时处理电气事故，并适时进行演练，以确保战之能胜。同时做好电气安全资料档案管理工作。

8）做好电气作业人员（电工）的管理工作，如上岗培训、专业技术培训考核、安全技

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

术考核、档案管理等。

9）制定安全标志，并做好安装、维护、检查、宣传等。

10）配合单位的安全工作，做好综合管理工作，全力保证安全技术措施的实施。

3. 电气安全管理规章制度

1）岗位责任制，主要内容是各级电气人员、电器操作人员、安全管理人员的职责和任务。

2）交接班制度，主要内容是安装调试人员、运行人员、维修人员、电器操作人员交班、接班的要求和注意事项，以及必须交代说明的有关内容。

3）巡视检查制度，主要内容是运行维护人员在工作中巡视检查电气设备、线路、元件的时间、路线、部位、要求及标准、记录、处理意见等有关内容。

4）试验切换制度，主要内容是试验或调试人员对运行的设备、线路进行试验时，回路切换的有关规定。

5）缺陷管理制度，主要内容是运行中的电气设备及线路虽没有妨碍正常运行的缺陷，但必须随时严密监视缺陷的有关项目、要求、标准并记录等有关规定。

6）作业验收制度，主要内容是在电气设备、线路安装或检修后对其合格与否进行验收的有关规定，如签字、认可等。

7）运行分析制度，主要内容是对运行的电气设备、线路根据其运行状况和记录数据进行定期或不定期的分析，以便判断其是否正常或带病运行，为设备检修提供可靠的依据。

8）技术培训制度，主要内容是对电气工作人员学习新技术、新设备进行培训以及提高理论水平而制定的，根据不同层次、不同水平、不同时期进行定期和不定期的、业余和专业的学习培训。

9）保卫制度，主要内容是针对电气设备、线路、电气数据以及其他电气装置的安全保密而制定的制度，如出入、上下班、审核、保险柜、电网等。

10）电气设备、线路运行和操作规程，主要内容是各种电气作业正确的操作方法（包括检修）和注意事项。

11）设备检修制度，主要内容是各种电气设备检修的周期、检修项目、检修标准，以及检修程序、申请报批、批复签字等。

12）设备分析制度，基本同运行分析制度。

13）临时线路安装审批制度，主要内容是临时电气线路安装前申报程序、申请报批签字以及临时线路安装的条件，如图样、路径、容量、电压等级、用途、架设方式等。

14）安全责任制，主要内容是各级电气人员、电器操作人员、安全管理人员安全方面的职责和任务。

15）电气设备及线路安装、试验和质量标准，参照国家标准制定的企业标准。

16）设备交接验收制度，主要内容是电气设备到货交接、安装调试完毕交接等有关程序、验收项目及其标准、签证等。

17）安全措施编制和实施制度，主要内容是针对工程具体情况编制新的安全措施并付诸实施。

18）安全施工检查制度，主要内容是对施工过程进行安全检查的制度以及纠正不安全因素的措施等。

19）值班制度，主要内容是对运行或试运行的电气设备、线路值班监视运行，如巡视

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

项目标准、记录数据、事故处理程序等。

20）作业票制度，有关在电气设备上作业必须履行书面命令的规定及程序等。

21）作业许可制度，进入电气作业前验证各种安全措施及注意事项的规定及程序等。

22）作业监护制度，有关作业人员在作业过程中能完全受到监护人严密的监督和监护，并及时纠正不安全动作及错误作业，在靠近带电部位时受到提醒，以确保作业人员安全及作业方法正确的规定等。

23）作业间断制度，作业间断是作业因时间、气候及其他原因中断，到复工时重新检查所有安全措施且得到许可后才能作业的制度。

24）作业转移制度，作业地点转移后对安全措施、注意事项、带电范围交接检查的制度。

25）作业终结制度，作业完毕清点现场，验收检查试验，签发时间、签名的制度。

26）查活及交底制度，对作业内容、范围、标准、安全措施、注意事项等详细交底的制度。

27）送电制度，对检修作业完毕、新工程或线路竣工、停电后等送电作业的规序、安全检查、注意事项、签发命令、试验结果、投切顺序而制定的制度。

28）调度管理制度，对电气系统的运行、电气作业及检修、故障处理等进行控制、管理、签发命令、接受或发布命令等制定的有关程序、内容及要求。

29）事故处理制度，为处理各种电气事故制定的程序、方法、安全措施、注意事项、质量要求、处理条件等。

30）其他有关安全用电及电气作业的制度，根据具体情况制定的各种制度。

上述管理制度要根据本单位的实际情况制定。其中，最关键的是制度的执行状态及电气工作人员的职业道德及作业行为规范，这是管理者不容忽视的。

第三节　电工安全技术基本常识

一、电工不安全行为和习惯性违章作业

在运行维护及用电过程中，由于诸多原因，人们往往有意无意地重复着不安全的行为，重复着习惯性违章作业，这是极其危险的，无论是对人本身，还是对电气系统、电气设备、电气线路都是不允许的。作为一名电气工作者、一名运行维护电工、一名用电人员，在用电操作中必须克服和纠正这些不安全行为和习惯性违章作业，这样才能进一步保证用电安全。

1. 不安全行为

不安全状态和不安全行为见表 17-22 和表 17-23。

表 17-22　不安全状态分类

序号	分　类	内　容
1	防护、保险、信号等装置缺乏或有缺陷	（1）无防护 （2）无防护罩 （3）无安全保险装置 （4）无报警装置 （5）无安全标志 （6）无护栏或护栏损坏

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	分　类	内　容
1	防护、保险、信号等装置缺乏或有缺陷	（7）（电气）未接地 （8）绝缘不良 （9）风扇无消音系统、噪声大 （10）危房内作业 （11）未安装防止“跑车”的挡车器和挡车栏
2	防护不当	（1）防护罩未在适当位置 （2）防护装置调整不当 （3）坑道掘进，隧道开凿支撑不当 （4）防爆装置不当 （5）采伐、集材作业安全距离不够 （6）放炮作业隐蔽所有缺陷 （7）电气装置带电部分裸露
3	设备、设施、工具、附件有缺陷	（1）设计不当，结构不合安全要求 （2）通道门遮挡视线 （3）制动装置有缺陷 （4）安全间距不够 （5）挡车网有缺陷 （6）工件有锋利毛刺、毛边 （7）设施上有锋利倒棱
4	强度不够	（1）机械强度不够 （2）绝缘强度不够 （3）起吊重物的绳索不合安全要求
5	设备在非正常状态下运行	（1）设备带“病”运转 （2）超负荷运转
6	维修、调整不良	（1）设备失修 （2）地面不平 （3）保养不当，设备失灵
7	个人防护用品用具——防护服、手套、护目镜及面罩、呼吸器官护具、听力护具、安全带、安全帽、安全鞋等缺少或有缺陷	（1）无个人防护用品、用具 （2）所有防护用品、用具不符合安全要求
8	生产（施工）场地环境不良	（1）照明光线不良 （2）照度不足 （3）作业场地烟雾弥漫，视物不清 （4）光线过强 （5）通风不良 （6）无通风 （7）通风系统效率低 （8）风流短路 （9）停电停风时放炮作业 （10）瓦斯排放未达到安全浓度放炮作业

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	分　类	内　容
8	生产（施工）场地环境不良	（11）瓦斯浓度超限 （12）作业场所狭窄 （13）作业场地杂乱 （14）工具、制品、材料堆放不安全 （15）采伐时，未开“安全道” （16）迎门树、坐殿树、搭挂树未作处理
9	交通线路的配置不安全	（1）操作工序设备或配置不安全 （2）地面滑 （3）地面有油或其他液体 （4）冰雪覆盖 （5）地面有其他易滑物 （6）贮存方法不安全 （7）环境温度、湿度不当 （8）标志不全或字迹不清

表 17-23　不安全行为分类

序号	分　类	内　容
1	操作错误、忽视安全、忽视警告	（1）未经许可开动、关停、移动机器 （2）开动、关停机器时未给信号 （3）开关未锁紧，造成意外转动、通电或泄漏等 （4）忘记关闭设备 （5）忽视警告标志、警告信号 （6）操作错误（按钮、阀门、扳手、把柄等的操作） （7）奔跑作业 （8）供料或送料速度过快 （9）机器超速运转 （10）违章驾驶机动车 （11）酒后作业 （12）客货混载 （13）冲压机作业时，手伸进冲压模 （14）工件不牢 （15）用压缩空气吹铁屑
2	造成安全装置失效	（1）拆除了安全装置 （2）安全装置堵塞，失掉了作用 （3）调整错误造成安全装置失效
3	使用不安全设备	（1）临时使用不牢固的设备 （2）使用无安全装置的设备
4	用手代替工具操作	（1）用手代替手动工具 （2）用手清除切屑 （3）不用夹具固定，用手拿工件进行机加工
5	物体存放不当	成品、半成品、材料、工具、切屑和生产用品等存放不当

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	分　类	内　容
6	冒险进入危险场地	（1）冒险进入涵洞 （2）接近漏料处（无安全设施） （3）采伐、集材、运材、装车时，未离危险区 （4）未经安全监察人员允许进入油罐或井中 （5）未“敲帮问顶”即开始作业 （6）冒进信号 （7）调车场超速上下车 （8）易燃易爆场合明火 （9）私自搭乘矿车 （10）在绞车道行车 （11）未及时瞭望
7	攀、坐不安全位置	如平台护栏、汽车挡板、吊车吊钩
8	在起吊物下作业、停留	
9	机器运转时加油、修理、检查、调整、焊接、清挡等工作	
10	有分散注意力行为	
11	在必须使用个人防护用品用具的作业或场合中，忽视其使用	（1）未戴防护目镜或面罩 （2）未戴防护手套 （3）未穿安全鞋 （4）未戴安全帽 （5）未佩戴呼吸护具 （6）未佩戴安全带 （7）未戴工作帽
12	不安全装束	在有旋转零部件的设备旁作业，穿过肥大服装；操纵带有旋转零部件的设备时戴手套
13	对易燃、易爆等危险物品处理错误	

2. 习惯性违章作业

习惯性违章作业的原因见表 17-24。

表 17-24　习惯性违章作业的原因

序号	原　因	说　明
1	图省事怕麻烦	有些电工嫌做安全措施多余、麻烦，作业中想怎么干就怎么干，怎么方便就怎么干，随意性很强。长期如此，养成了错误习惯，作业中只想省事、方便，却把安全规程、安全措施统统忘到了脑后
2	心存侥幸冒险蛮干	有些人明知违章还这么干，这是对自己的生命、家庭、集体极不负责任的一种表现。因为安全规程的每一条规定都是人们在总结了无数血的教训后得来的，不按规程办，就要出事故，这只是一个时间早晚的问题
3	反习惯性违章不力	管理人员反习惯性违章不力，对习惯性违章行为视而不见，见而不管，管而不严。这是习惯性违章不能从根本上杜绝的关键。有些管理人员，每天都有很长时间在现场转，但就是发现不了问题。很重要的原因是管理人员（也包括专业管理人员）怕得罪人，不敢抓，不敢管，更不敢考核。发现违章行为不制止，不纠正，不处罚，其实质是对违章行为的认同、包庇和纵容，是对职工的生命安全极端不负责任，更是严重的失职

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

习惯性违章作业暴露的问题见表 17-25。

表 17-25　习惯性违章作业暴露的问题

序号	问　题	说　明
1	“安全第一，预防为主”的方针没有落实到位	把注意力集中在如何发现、制止、处理习惯性违章上，对那些同样威胁电工安全只是没有产生不良后果的习惯性违章，从严处理、宣传教育、吸取教训
2	安全责任制没有落实到位	作业管理人员，在布置工作时要强调作业注意事项，在检查工作时要及时发现隐患，解决问题
3	从严治企的方针没有落实到位	有些管理人员口头上喊着从严管理，实际工作中却不能坚持从严检查，从严考核，对违章现象说完了事，既教育不了当事人，也教育不了大家，根本谈不上“三不放过”
4	安全培训没有落实到位	一些违章行为，不仅违章者本人没有意识到，监护人、同一作业组的人都在现场，却没有人提醒和制止。这说明大家都不知道这是违章，反映出安全基础知识还很缺乏，安全意识还很低

习惯性违章作业的预防对策见表 17-26。

表 17-26　习惯性违章作业的预防对策

序号	对　策	说　明
1	提高电工安全作业的自觉性	通过加强安全基础知识培训，认清习惯性违章的危害，自觉抵制习惯性违章，养成自觉遵章守纪的好习惯
2	强化管理	要求电管理人员充分发挥作用，从严查处习惯性违章。做到事前提醒，事中纠正，事后处罚，使作业人员充分吸取教训

电气作业习惯性违章的表现形式及纠正措施见表 17-27。

表 17-27　电气作业习惯性违章的表现形式及纠正措施

序号	表 现 形 式	纠 正 措 施
1	冒险不使用防护用具带电作业	严格禁止
2	让雇用的临时工、民工、油漆工等自由出入电气作业场所，而未按有关规定履行手续，且又无人监护	应禁止雇用的临时工、民工、油漆工等自由出入电气作业场所
3	擅自扩大工作范围，超出工作票上规定的工作范围工作	严格执行工作票上规定的工作范围工作
4	工作班成员未撤离工作现场甚至还在工作，就提前办理工作终结手续	必须在工作终结后办理工作终结手续
5	非单人值班，变电所倒闸操作单人进行	变电所倒闸操作应有监护人
6	倒闸操作不带票、不唱票、不复诵，不认真校对设备，倒闸操作任务结束后一次性打钩代替核对	严格执行倒闸操作程序
7	现场工作负责人、监护人不到位，负责人临时离开现场，未临时委托能胜任人员代替且未通知全体工作人员	现场工作负责人应带头执行有关规定
8	登杆前不核对线路名称和杆号就盲目登杆	登杆前必须核对线路名称和杆号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	表现形式	纠正措施
9	登杆前不检查3m划线、杆子埋深及拉线牢固程度，盲目登杆	登杆前必须先检查电杆状况
10	还未等工作人员全部下杆就提前拆除接地线	确认电杆上无人后方可拆除接地线
11	单人巡线时，发现缺陷，擅自登杆（塔）检查，又不注意安全距离	禁止擅自登杆（塔）检查
12	遇有电气设备火情或人员触电时，不先切断电源慌忙进行抢救	遇有电气设备火情和人员触电时，应先切断电源
13	接触高温物体工作，不戴防护手套，不穿专用防护服	接触高温物体时，如果不戴防护手套，不穿专用防护工作服，可能被烫伤。作业前应进行认真检查，对接触高温物体，不戴防护手套、不穿用防护工作服者，不准上岗
14	不按规定穿用工作服，穿用工作服时，衣服和袖口不扣好，女职工进入生产现场穿裙子和高跟鞋，辫子、长发不盘在工作帽内	不按规定规范着衣服或肢体可能被转动的机器绞住绞伤。在作业前，应对着装进行严格检查，不按规定着装的不准上岗作业
15	进入施工作业现场不正确佩戴安全帽；虽然戴上安全帽，却不系好帽绳；把安全帽当成小凳子坐	进入施工生产现场前，严格检查工人佩戴安全帽的情况，不正确佩戴安全帽者不准进入施工生产现场。发现把安全帽当凳子坐的现象应严肃查处
16	带电断开或接续空载线路时不戴护目镜	在作业中，不仅要带护目镜，还应采取安全措施
17	使用电动工具时不戴绝缘手套	使用电动工具时戴绝缘手套，能有效地防止电弧灼伤或电击伤。在作业前进行严格检查，对不戴绝缘手套者不允许操作电动工具
18	在室外地面高压设备上工作时，四周不设围栏	工作时，四周应立即用围网做好围栏，并悬挂相当数量的“止步！高压危险！”的标识。对不设围栏的，应给予批评教育或处罚
19	移开或越过遮栏进行工作	不论高压设备带电与否，值班人员都不得移开或跨越遮栏工作。需要移开遮栏工作时，必须与带电设备保持足够的安全距离，并有人在场监护
20	不办理工作票盲目作业	工作票是电气作业的行动指南，也是保障安全的重要措施，对不办理工作票即展开工作的，工人有权拒绝作业
21	带负荷拉隔离开关	对违反规定带负荷拉隔离开关者，不论后果严重与否，均应从严处罚
22	接错电源相，用手触摸电气设备触电	无论是否有电，对电气设备一律视为有电，严禁用手触摸。电工应增强责任心和提高技术水平，防止接错电源相
23	进出高压室时，不随手将门锁好。结果有小动物进入，导致弧光短路事故	在巡视时进出高压室时随手将门锁好
24	雷雨天气不穿绝缘靴，巡视室外高压设备	不穿绝缘靴者，不能进行雷雨天室外高压设备的巡视
25	在带电设备周围，使用钢卷尺测量	在带电设备周围进行测量工作，必须使用绝缘体的尺子
26	与带电部位安全距离小	作业前，应认真检查和测量安全距离是否合适，作业时，与带电部位的安全距离必须保持在安全规程规定的范围内
27	不采取安全措施，在带电线路下方穿越放线	如必须在带电线路下方穿越放线，必须采取万无一失的安全措施，防止导线弛度上升

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	表现形式	纠正措施
28	电气设备不接地漏电	电气设备必须接地，没有接地的不能使用
29	约时停用或恢复重合闸	对约时停用或恢复重合闸的，应立即纠正，并给予责任者相应的处罚
30	随意拆除电器设备接地装置，认为电气设备绝缘没有损坏，不使用接地装置也不会触电	接地装置不能随意拆除，也不能对接地装置随意处理
31	非电工接引电源，因为不懂电的基本知识，误将黑色接地线接在A相相线上，使电源箱外壳带电。当其用手去扶电源箱时，当即触电倒下	严禁非电工接电源，发现非电工接电源时，应立即制止，并给予批评教育和处罚
32	非电工冒险移动电源盘	不论有电无电，严禁非电工移动电气设备
33	擅自进入变电所干私活	严禁擅自进入变电所。对擅自进入变电所干私活的，应给予批评教育和处罚
34	带电部位不设明显警告标志	带电部位必须设明显的警告标志
35	翻越栏杆，在运行的设备上行走或坐立	栏杆上、管道上、靠背轮上、安全罩上或运行中的设备上，都属于危险部分，翻越或在上面行走和坐立，容易发生摔、跌、轧、压等伤害事故
36	在机器转动时装拆或校正传动带	装拆或校正传动带必须在机器停止时进行，否则有可能绞伤手指或手臂
37	在机器未完全停止以前，进行修理工作，认为等机器完全停止，排除故障再重新起动，影响工作效率	在机器未完全停止之前，不能进行修理工作
38	在机器运行中，清扫、擦拭或润滑转动部位，导致手部或臂部被机器绞伤	在机器转动时，严禁清扫、擦拭或滑润转动部位，只有确认对工作人员确无危险时，方可用长嘴壶或油枪往油盅里注油

工器具使用习惯性违章作业的表现形式及纠正措施见表17-28。

表17-28　工器具使用习惯性违章作业的表现形式及纠正措施

序号	表现形式	纠正措施
1	脚手架不按规定敷设立栏、斜（横）撑、不满铺竹片、不检验挂牌，不注明承载能力	脚手架必须按规定敷设立栏、斜撑等
2	使用带缺陷的梯子或底部无防滑装置的梯子进行高空作业	严禁使用有缺陷的梯子进行高空作业
3	在杆塔上作业，将安全帽挂在杆塔抱箍和横担上，或当工具包使用	应正确使用安全帽
4	不熟悉使用方法，擅自使用电气工具，如提着电气工具的导线部位；因故离开工作场所或遇到临时停电时，不切断电源	不熟悉其使用方法的人员，不能擅自使用
5	忽视检查，使用带故障的电气用具	电线漏电、没有接地线、绝缘不良等，既有碍作业，又存在发生触电的危险，因此绝不能忽视对电气用具的检查。使用前必须检查电线是否完好、有无可靠接地、绝缘是否良好、有无损坏，并应按规定装好漏电保护开关和地线，对不符合要求的不能使用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	表 现 形 式	纠 正 措 施
6	在开挖的土方斜坡上放置物料	杜绝在土方斜坡上面放置工具材料
7	不对易燃易爆物品隔绝即从事电、火焊作业，在从事电、火焊作业时焊花飞溅，将易燃易爆物品点燃，引起火灾	在从事电火焊作业时必须办理相关工作票，对现场存有易燃易爆物品，采取可靠的隔离措施后方可作业
8	不熟悉使用方法，擅自使用喷灯	不熟悉使用方法的人员，不能擅自使用喷灯
9	电动机具带病工作	作业前，应认真检查电动机具及电源，该维修的维修，防止隐患引发事故，对带病的电动机具不得使用
10	使用有缺陷的大锤作业	工具有缺陷，不但妨碍作业，而且容易诱发伤亡事故。大锤歪斜就容易抡偏，击伤手臂，如果锤柄断裂，锤头会飞出伤人

起重及高处作业习惯性违章的表现形式及纠正措施见表 17-29。

表 17-29 起重及高处作业习惯性违章的表现形式及纠正措施

序号	表 现 形 式	纠 正 措 施
1	利用吊物上升或下降，立足不稳，从吊物上坠落而受到伤害	严禁工作人员站在吊物上指挥上升或下降
2	在有可能突然下落的设备下面工作，抓斗或吊斗突然下落，人员被砸伤	应离开危险区域，在安全环境里工作
3	非起重人员从事起重作业	严禁非起重人员从事起重作业，非起重工对违章指挥行为应拒绝
4	把安全带挂在不牢固的物件上	选择悬挂安全带的物件，必须牢固可靠
5	安全带弹簧卡扣误扣在衣服上	系完安全带后，应认真进行检查，看是否处于安全可靠的状态
6	高处作业嫌麻烦不使用工具袋，导致高处坠物伤人	高处作业必须使用工具带，高处作业时把工具装在袋中，较大的工具还应用绳索拴在牢固的物件上
7	高处作业时，将工具及材料随意上下抛掷	应采取绳索上下传递工具或材料
8	上爬梯不注意逐档检查	上下爬梯时，不但应逐档检查是否牢固，还应两手各抓一个梯阶，小心稳妥，以防意外
9	肩荷重物攀登移动式梯子或软梯，因荷重失稳，从梯子滑落或从软梯上坠落而致伤	严禁肩负重物登梯，对肩负重物登梯者应立即劝止
10	将梯子放在门前使用，门被推开时，把梯子推倒，造成梯上工作的人员坠落	严禁在门前使用梯子，如果必须在门前使用时，应采取防止门突然开启的措施或指定专人看守
11	在不坚固的结构上侥幸工作	在作业前，应认真检查所处的环境是否坚固。如果不坚固时，应选择坚固的物体

其他作业习惯性违章的表现形式及纠正措施见表 17-30。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 17-30　其他作业习惯性违章的表现形式及纠正措施

序号	表现形式	纠正措施
1	酒后从事各种作业	严禁酒后作业
2	着装不合劳动保护要求	着装应按劳动保护要求
3	不按工种要求着装和佩戴安全用具，如电焊工不穿电焊工作服；高压验电不戴绝缘手套；车工戴手套作业；使用砂轮时不戴防护眼镜	应严格按工种要求着装
4	电焊、架子、爆破、起重、驾驶等特殊工种不按持证的规定上岗	特种作业必须持证上岗
5	现场平台、扶梯、栏杆、孔洞盖板、照明、通道等安全设施不完善，应设遮栏、围栏、标示牌而不设	安全设施不完善时必须采取安全措施
6	在油库，危险品库、制氢站等易燃、易爆区域违章动火，违章吸烟	严禁在易燃易爆品附近动火、吸烟
7	电工上班期间穿裙子、背心、高跟鞋、拖鞋	电工上班时间着装必须规范
8	工作班负责人对工作班成员中情绪激动、家庭纠纷和明显精神状态差的不闻不问	情绪低落人员应暂停作业
9	现场触电抢救不能正确施行心肺复苏法，不能正确使用肾上腺素针剂	认真学习触电急救方法
10	电气设备着火，使用泡沫灭火器灭火，结果适得其反，越喷火焰越大	扑灭电气设备火灾，只能使用干式或二氧化碳灭火器，不得使用泡沫灭火器。泡沫灭火器只能用于扑救油类设备起火。电器设备起火时，应沉着冷静，选取干式或二氧化碳灭火器灭火
11	在带电体、带油体附近点火炉或喷灯，结果导致火灾	在点燃喷灯时，必须在安全可靠的场所，严禁在带电带油体附近点燃
12	搅拌熔化的电缆胶时，使用冰冷的金属棒，结果当将其放进滚热的胶液里，发生爆溅而被烫伤	搅拌或盛取电缆胶或焊锡液时，必须用预先加热的金属棒或勺子，以避免由于冷热不均而生成水分引起爆溅烫伤
13	敷设电缆时，用手搬动滑轮或滚轮以便尽快完成作业，结果手被滑轮或滚轮挤伤	严禁用手搬动滑轮或滚轮，并及时制止他人用手搬动滑轮或滚轮
14	电工值班时睡觉	严格禁止

由以上这些表可以看出由于种种并且复杂的原因导致了运行人员或用电人员在作业过程容易出现诸多的不安全行为及违章作业，这是绝对不容许的。电气系统中电气安装调试工程必须保证安全生产，在安装调试过程中，人的安全、设备的安全、线路的安全、电力系统的安全、环境安全等涉及的安全事宜永远是第一位的。因此，所有的用电单位及个人必须做到以下 12 点：

1）建立完善、全面的安全生产管理体系，落实各个层次的安全生产责任制。

2）建立实践型的安全生产培训教育体系，使每个参与生产的人员具备安全生产技能，时刻保持安全生产状态。

3）编制并实施可行的各种电气运行维护作业的安全技术措施及安全设施设置的具体设置方法、材料的使用及其设施的维护保管等。

4）建立并实施实实在在的安全生产管理及检查制度和安全设施验收制度，安全员时时在现场监督指导、企业安全机构天天讲安全生产。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）企业须增加保障安全生产的投入，每项工程投入的安全技术措施费及劳保用品费不得低于国家规定和实践需要，费用要专款专用。

6）施工组织设计文件中的安全条款，项目经理必须落实，不得成为虚设。

7）项目经理或电气安全负责人是电气系统安全运行及安全生产的第一责任人，在作业过程中实施项目安全控制。

8）安全生产管理体系各层次的人员在选用上要以热爱安全工作、对安全工作认真负责、兢兢业业、不辞劳苦、具有一定运行维护技能和权威性、秉公办事为准。

9）操作人员不违章作业，管理人员不违章指挥。

10）保证安全生产的基本条件：

① 严格的安全管理制度。

② 完善的电气作业安全措施。

③ 细致的电气安全操作规程。

④ 运行维护人员技术技能的培养和提高。

⑤ 确保电气设备、元件、材料产品质量。

⑥ 运行维护人员应介入工程设计工作，确保电气工程设计的质量。

⑦ 运行维护人员应介入安装调试工作，确保电气工程安装的质量。

⑧ 加强抵制自然灾害侵袭的能力及措施。

11）严禁班前、班中饮酒。

12）电工操作程序和要求：电工操作及作业时必须按照操作程序、作业程序及其具体要求进行，只有这样才能在安全上做到滴水不漏，万无一失，初学者一定要记住这点，只要操作或作业必须先想到安全。

二、电气作业常用安全警语

1）电气作业完毕后，必须清点工具、材料、人员，如有遗漏不得合闸送电。

2）高空作业必须系安全带。

3）电工作业时，必须戴安全帽、穿工作服、穿绝缘鞋。

4）电气作业完毕后，必须对线路、设备进行测试，如有不合格不得合闸送电。

5）电气作业，严禁穿拖鞋进入现场。

6）在架空线路下面进行作业时，必须有人监护，必须有确实可行的安全防护措施。

7）电气作业必须执行安全技术防护条例（或措施）。

8）电气作业中，不得以任何借口违背安全操作规程进行作业。

9）雷雨天气禁止室外电气作业。

10）施工用临时电源，必须经验收合格使用。

11）拆除临时电源时，必须有人监护。

12）夜间作业必须有足够的照明，完善的安全措施以及监护人。

13）夜间严禁高压作业。

14）在起吊、牵引电杆等构件的过程中，受力钢丝绳的周围、上下方、转角内侧和起吊物的下面，严禁人员逗留和通过。

15）严禁在电流互感器二次回路中带电工作。

16）严禁对运行中的电动机进行维修工作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

17）严禁使用无风扇护罩、无靠背轮护罩及无轴端盖的电动机。

18）严禁带电移动电动机。

19）严禁使用皮尺或线尺测量带电线路的对地距离。

20）高处工作传递物件或工具时不得抛掷。

21）雷雨天气禁止在室内、外电气设备上进行操作和维护。

22）严禁带电移动或维修、试验各种电器设备和家用电器。

23）在带电设备周围严禁使用钢卷尺、皮卷尺和线尺（夹有金属丝者）进行测量。

24）严禁私自改变低压系统运行方式。

25）禁止采用“一相一地”用电。

26）严禁私设电网防盗和捕鼠狩猎、捕鱼。

27）严禁使用挂钩线、破股线、地爬线和绝缘不合格的导线接电。

28）严禁攀登、跨越电力设施的保护围墙或遮栏。

29）发现有人触电不要赤手拉触电者。

30）发现电力线路断落时，不要靠近导线落地点 8m 以内。

31）家庭用电禁止拉临时线和使用带插座的灯头。

32）发现有线广播扬声器发出怪叫时，不准乱动设备，要先断开广播开关，再处理。

33）擦拭灯头、开关、电器时，要断开电源后进行，在换灯泡时，要站在干燥凳子等绝缘物上。

34）用电器具外壳、手柄开关、机械防护有破损、失灵等有碍安全情况时，应及时修理，未经修复不得使用。

35）发生电气火灾时，要先断开电源开关再灭火，严禁用水熄灭电气火灾。

36）严禁利用大地作相线、中性线和保护中性线。

37）电力线路严禁跨越易燃、易爆物的场院和仓库。

38）电力线路的导线禁止使用单股、破股（拆股）线和铁线。

39）低压接户线严禁采用裸铝线，必须采用耐气候型绝缘电线。

40）低压接户线禁止有接头。

41）严禁使用普通型塑料绝缘电线代替地埋线，因为普通型塑料绝缘电线达不到地埋线的绝缘标准。

42）雷电时严禁操作跌落式熔断器和进行更换熔丝的工作。

43）禁止用一根保护接地线连接几个需要接地的受电设备。

44）单人巡视时不应做任何登杆工作，以防无人监护而造成触电事故。

45）事故巡视时，无论线路是否停电，均应视为带电。

46）严禁用隔离开关拉开接地故障和故障电容器、电压互感器及避雷器。

47）遇有 5 级以上的大风时，严禁在杆塔多回线路中进行部分线路停电检修工作。

48）刚参加工作的人员不得一人单独巡线、单独值班、单独操作。

49）偏僻山区和夜间巡线必须由两人进行。

50）暑天、大雪天巡线必须由两人进行。

51）风力大于 5 级时，一般不宜进行带电作业。

52）断落的树枝等接触高压导线时，严禁用手直接去取。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

53）单人值班时不得单独从事修理工作。

54）在同一时间内，一个工作负责人只能发给一张工作票。

55）如遇雷电（听见雷声、看见闪电）、雪雹、雨雾不得进行带电作业。

56）工作许可人不得签发工作票。

57）负责监护人不得兼做其他工作。

58）在未办理工作票终结手续以前，值班员不准将施工设备合闸送电。

59）装设接地线必须由两人进行。

60）装设接地线必须先接接地端，后接设备端。

61）拆除接地线必须先拆设备端，后拆接地端。

62）装拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套。

63）禁止使用不符合规定的导线作接地线或短路线之用。

64）严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌。

65）等电位作业时，在瓷横担线路上严禁挂梯作业。

66）等电位作业人员在作业中严禁用酒精、汽油等易燃品擦拭带电体及绝缘部分，防止起火。

67）等电位作业人员严禁带负荷断接引线。

68）等电位作业人员严禁同时接触未接通的或已断开的导线两个断头，以防人体串入电路。

69）等电位作业时，严禁用断、接空载线路的方法使两电源解列或并列。

70）低压带电作业上杆前应先分清相线、地线，选好工作位置。

71）低压带电作业人员断开导线时，应先断开相线，后断开中性线。搭接导线时，顺序相反。

72）低压带电作业时，人体不得同时接触两根线头。

73）试验用刀开关必须带罩，禁止从运行设备上直接取试验电源。

74）高压试验工作不得少于两人。

75）试验现场应装设遮栏或围栏，向外悬挂“止步，高压危险”的标示牌，并派人看守。

76）高压试验人员在全部加压过程中，应精力集中，不得与他人闲谈，随时警戒异常现象发生，操作应站在绝缘垫上。

77）使用钳形电流表在高压回路上测量时，严禁用导线从钳形电流表另接表计测量。

78）使用绝缘电阻表测量高压设备绝缘时，应由两人担任。

79）雷电时，严禁测量线路绝缘。

80）雷电时，禁止在室外变电所或室内的架空引线上进行检修和试验。

81）在带电作业时，严禁随时停用或恢复重合闸。

82）电气工作人员在班前、班中严禁饮酒。

83）电气工作严禁无证上岗（指资格证、安全操作证）。

84）检修作业严禁带电进行。

85）带电作业，必须有人监护。

86）巡视检查线路、设备时，禁止攀登电杆或配电变压器台架。

87）巡视检查设备时，不得越过遮栏或围墙。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

88）严禁以投切熔丝的方法对线路（干线或分支线）进行送（停）电操作。
89）工作票签发人不得兼任该项工作的工作负责人和工作许可人。
90）严禁约时停送电。
91）严禁工作人员或其他人员私自移动已挂好的接地线。
92）接地线装设好以后，严禁使用其他导线作接地线。
93）严禁工作人员和其他人员随意移动遮栏或取下标示牌。
94）线路立杆过程中，杆坑和杆下禁止有人工作或走动。
95）新立电杆在杆基完全牢固以前，严禁攀登。
96）电杆上有人工作时，杆下严禁行人逗留。
97）遇有大雾、雷雨或 3 级以上大风天气时，严禁登杆作业。
98）严禁采用突然剪断导线的方法撤线。
99）质量在手中，安全在心中。
100）崇高职业道德，确保工程安全。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十八章　运行维护电工作业质量管理与监督

由于历史的原因以及传统的运行维护作业习惯，除电业部门、大型高精尖企业以外，一般的工矿企业、单位对运行维护电工作业的质量一直无人问津。只要处理后电通了、电机转了、生产线开车了、锅炉送气了、泵抽水了、仪表动作了就是好电工。其实这是一个大错特错的事情，由于没有作业质量管理与监督，一些常用的设备几经反复修理，原材料及元器件检测试验几率较小，反而事故频频，维修频频，既浪费了原材料，又浪费了人工；既增加了运行维修费用，又增加了生产成本。其实，运行维护电工作业应和安装电工作业一样，必须进行作业质量管理和监督，这样既能保证电气系统安全运行，又能节约成本，还能提高运行维护电工的技术技能，可谓一举三得。

一、运行维护电工作业质量管理与监督的总体要求

1）运行维护作业时用到的所有元件、材料、器件应进行检测和试验，以保证其为合格品，并填写检测和试验报告，严禁假冒伪劣产品混入运行值班作业或检修工程中去。检测和试验方法同前，见第五章相关内容。

2）待修设备元器件的拆除和拆线应有记录，特别是较为复杂、接线点多的必须有记录，并由其他工作人员确认后签字。

3）新设备元器件安装接线后应先由其他工作人确认后签字，然后进行调整和试验。

4）上述三条确保无误后才能送电试车，送电试车应做到先空载、后重载；先单送各个分路，无误后再送所有分路；先照明，后动力。

5）建立运行维护作业质量管理体系，从人、机、料、法、环各个程序上把关监督，把事故消灭在萌芽初始状态；对于大中型的维修作业要编制维修作业设计（方案），把好每个环节。

6）建立运行维护作业质量检查制度，有互检、专检和特检三种方式。一般较简单的作业应进行互检；较为复杂或贵重设备维修应进行专检或特检，由专职质量检查员进行，出具质量检查报告，并附有测试记录和试验报告。

二、运行维护质量保证体系的建立

运行维护质量保证体系是一个单位或一个系统为了保证产品或运行维护作业的质量、保障工艺程序正常进行，对质量工作实行全面管理和系统分析而建立的一种科学管理的网络，它不是机械管理的滞后体系，而是一个动态的、超前的、全面的、系统的保证质量的体系。

运行维护质量保证体系的主要内容及作用如下：

（1）任务　根据运行维护作业生产工艺的特点、程序，从每个影响质量的因素出发，实行生产工艺及产品的中间检测及控制或超前控制，加强质量监督，保证产品或安装质量，进而达到计划的质量等级。

（2）体系的组成　运行维护质量保证体系是质量保证体系的一个分支。质量保证体系一般由五个分支系统组成，即由总工程师主持的质量监督管理系统、由总工程师和质量保证工程师主持的质量保证系统、由主管生产厂长（经理）主持的生产作业系统及物资供应系统、由主管劳动调配厂长（经理）主持的劳动管理系统。这五个分支系统有着密切的联系，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

保证了体系的正常运行。

（3）中心环节　生产作业系统是保证质量的中心环节，是工程质量的制造系统。运行维护作业是生产工人用技术技能、机具设备按照国家工程的标准规范进行作业而逐步完成。运行维护工艺过程中间，质量保证系统和监督管理系统要进行检测和控制，并形成循环的反馈系统，直到达到质量计划等级。

（4）保证中心环节的条件　首先是要建立一个由生产一线工人及运行维护人员组成的质量信息管理系统，也就是说生产一线工人及运行维护人员要树立自我质量意识并参与质量及其信息反馈，把生产细节中不利于质量的因素（人及技能、材料、工艺操作规程、工具设备等）及时反映出来，这样来做到超前控制，将质量事故倾向及隐患消灭在形成事实以前，这是一个动态的过程。再者是物资供应系统，所提供的物资必须保证质量、保证到货日期、不得使假冒伪劣产品进入现场。同时在保证质量和到货日期的条件下，要尽量降低物资的价格。

（5）全面质量管理　企业实行全面质量管理，每个人的工作行为都与工程质量有关。

（6）运行维护技术技能培训　提高所有工作人员及工人的技术技能、业务素质，保障质量保证系统的正常运行。

（7）质量事故分析及处理　运行维护质量事故发生后要在 24h 内反馈到各有关部门并从 26 个影响工程质量的环节分析，找出事故原因，然后用中心环节的手段修复，达到质量计划等级。对涉及的人和事要进行严肃处理。

（8）制订应急预案　及时处理重大运行维护质量事故。平时应对应急人员和预案进行演练，一旦发生事故，能确保生产、经营顺利进行和生产、经营质量。

三、电气检修技术质量总体要求

1. 一般规定

1）电气检修的质量技术管理，除应符合现行国家标准、验收规范的规定外，尚应符合下列规定：

① 检修电工、焊工、起重吊装工和电气调试人员等，按有关要求持证上岗。

② 检修或安装和调试用各类计量器具仪器、仪表，应检定合格，在有效期内使用。

2）除设计要求外，承力建筑钢结构构件上，不得采用熔焊连接固定电气线路、设备和器具的支架、螺栓等部件；且严禁热加工开孔。

3）额定电压交流 1kV 及以下、直流 1.5kV 及以下的应为低压电器设备、器具和材料；额定电压大于交流 1kV、直流 1.5kV 的应为高压电器设备、器具和材料。

4）电气设备上计量仪表和与电气保护有关的仪表应检定合格，当投入试运行时，应保证在有效期内。

5）变配电所的空载试运行和电气动力工程的负荷试运行，应按规范规定执行；电气动力工程的负荷试运行，依据电气设备及相关设备的种类、特性，编制试运行方案或作业指导书，并应经技术主管审查批准，经确认后执行。

6）动力和照明工程的漏电保护装置应做模拟动作试验。

7）接地（PE）或接零（PEN）支线必须单独与接地（PE）或接零（PEN）干线相连接，不得串联连接。

8）高压电气设备和布线系统及继电保护系统的交接试验，必须符合现行国家标准 GB

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

50150—2006《电气装置安装工程　电气设备交接试验标准》的规定。

9）低压电气设备和布线系统的交接试验，应符合规范的规定。

10）送至智能化变配电所变送器的电量信号精度等级应符合设计要求，状态信号应正确；接收智能化变配电所的指令应使电气工程的断路器动作符合指令要求，且手动、自动切换功能正常。

2. 主要设备、材料、成品和半成品进场验收

1）主要设备、材料、成品和半成品进场检验结论应有记录，确认符合规范规定，才能在施工中应用。

2）因有异议送有资质试验室进行抽样检测，试验室应出具检测报告，确认符合规范和相关技术标准规定，才能在施工中应用。

3）依法定程序批准进入市场的新电气设备、器具和材料进场验收，除符合规范规定外，应有 3C 认证证书，尚应提供安装、使用、维修和试验要求、型式试验报告等技术文件。

4）进口电气设备、器具和材料进场验收，除符合规范规定外，尚应提供商检证明和中文的质量合格证明文件、规格、型号、性能检测报告以及中文的安装、使用、维修和试验要求等技术文件。

5）经批准的免检产品或认定的名牌产品，当进场验收时，可不做抽样检测。

6）变压器、箱式变电所、高压电器及电瓷制品应符合下列规定：

① 查验合格证和随带技术文件，变压器有出厂试验记录。

② 外观检查时，有铭牌，附件齐全，绝缘件无缺损、裂纹，充油部分不渗漏，充气高压设备气压指示正常，涂层完整。

7）高低压成套配电柜、蓄电池柜、不间断电源柜、控制柜（屏、台）及动力、照明配电箱（盘）应符合下列规定：

① 查验合格证和随带技术文件，实行生产许可证和安全认证制度的产品，有许可证编号和安全认证标志。不间断电源柜有出厂试验记录；技术文件包括型式试验报告。

② 外观检查时，有铭牌，柜内元器件无损坏丢失、接线无脱落脱焊，蓄电池柜内电池壳体无碎裂、漏液，充油、充气设备无泄漏，涂层完整，无明显碰撞凹陷。

8）电线、电缆：

① 按批查验合格证，合格证有生产许可证编号，按《额定电压 450/750V 及以下聚氯乙烯绝缘电缆》标准生产的产品有安全认证标志。

② 外观检查时，应包装完好，抽检的电线绝缘层完整无损，厚度均匀。电缆无压扁、扭曲，铠装不松卷。耐热、阻燃的电线、电缆外护层有明显标识和制造厂标。

③ 按制造标准，现场抽样检测绝缘层厚度和圆形芯线的直径；芯线直径误差不大于标称直径的 1%；常用的 BV 型绝缘电线的绝缘层厚度不小于表 18-1 的规定。

表 18-1　BV 型绝缘电线的绝缘层厚度

序　　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
电线芯线标称截面积/mm^2	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
绝缘层厚度规定值/mm	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6

④ 对电线、电缆绝缘性能、导电性能和阻燃性能有异议时，按批抽样送有资质的试验

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

室检测。

9）封闭母线、插接母线应符合下列规定：

① 查验合格证和随带安装技术文件。

② 外观检查时，防潮密封良好，各段编号标志清晰，附件齐全，外壳不变形，母线螺栓搭接面平整、镀层覆盖完整、无起皮和麻面；插接母线上的静触头无缺损、表面光滑、镀层完整。

10）裸母线、裸导线应符合下列规定：

① 查验合格证。

② 外观检查时，包装完好，裸母线平直，表面无明显划痕，测量厚度和宽度符合制造标准；裸导线表面无明显损伤，无松股、扭折和断股（线），测量线径符合制造标准。

11）电缆头部件及接线端子应符合下列规定：

① 查验合格证。

② 外观检查时，部件齐全，表面无裂纹和气孔，随带的袋装涂料或填料不泄漏。

3. 工序交接确认和验证

1）架空线路及杆上电气设备维修安装应按以下程序进行：

① 线路方向和杆位及拉线坑位测量埋桩后，经检查确认，才能挖掘杆坑和拉线坑。

② 杆坑、拉线坑的深度和坑型，经检查确认，才能立杆和埋设拉线盘。

③ 杆上高压电气设备交接试验合格后，才能通电。

④ 架空线路做绝缘检查，且经单相冲击试验合格后，才能通电。

⑤ 架空线路的相位经检查确认后，才能与接户线连接。

2）变压器、箱式变电所维修安装应按以下程序进行：

① 变压器、箱式变电所的基础验收合格，且对埋入基础的电线导管、电缆导管和变压器进、出线预留孔及相关预埋件进行检查，才能安装变压器、箱式变电所。

② 杆上变压器的支架紧固检查后，才能吊装变压器且就位固定。

③ 变压器及接地装置交接试验合格后，才能通电。

3）成套配电柜、控制柜（屏、台）和动力、照明配电箱（盘）维修安装应按以下程序进行：

① 埋设的基础型钢和柜、屏、台下的电缆沟等相关建筑物检查合格，才能安装柜、屏、台。

② 室内外落地动力配电箱的基础验收合格，且对埋入基础的电线导管、电缆导管进行检查合格后，才能安装箱体。

③ 接地（PE）或接零（PEN）连接完成后，核对柜、屏、台、箱、盘内的元器件规格、型号，且交接试验合格，才能投入试运行。

4）低压电动机、电加热器及电动执行机构应与机械设备完成连接，绝缘电阻测试合格，经手动操作符合工艺要求，才能接线。

5）不间断电源按产品技术要求试验调整，应检查确认，才能接至馈电网路。

6）低压电气动力设备试验和试运行应按以下程序进行：

① 设备的可接近裸露导体接地（PE）或接零（PEN）连接完成，经检查合格后，才能进行试验。

② 动力成套配电（控制）柜、屏、台、箱、盘的交流工频耐压试验、保护装置的动作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

试验合格后，才能通电。

③ 控制回路模拟动作试验合格，盘车或手动操作，电气部分与机械部分的转动或动作协调一致，经检查确认，才能空载试运行。

7）裸母线、封闭母线、插接式母线维修安装应按以下程序进行：

① 变压器、高低压成套配电柜、穿墙套管及绝缘子等安装就位，经检查合格后，才能安装变压器和高低压成套配电柜的母线。

② 封闭、插接式母线安装，在结构封顶、室内底层地面施工完成或已确定地面标高、场地清理、层间距离复核后，才能确定支架设置位置。

③ 与封闭、插接式母线安装位置有关的管道、空调及建筑装修工程施工基本结束，确认扫尾施工不会影响已安装的母线，才能安装母线。

④ 封闭、插接式母线每段母线组对接续前，绝缘电阻测试合格，绝缘电阻值大于20MΩ，才能安装组对。

⑤ 母线支架和封闭、插接式母线的外壳接地（PE）或接零（PEN）连接完成，母线绝缘电阻测试和交流工频耐压试验合格后，才能通电。

8）电缆头制作和接线应按以下程序进行：

① 电缆连接位置、连接长度和绝缘测试经检查确认后，才能制作电缆头；电缆头制作后耐压试验必须合格，否则不得使用。

② 控制电缆绝缘电阻测试和校线合格后，才能接线。

③ 电线、电缆交接试验和相位核对合格后，才能接线。

9）接地装置维修安装应按以下程序进行：

① 建筑物基础接地体：底板钢筋敷设完成，按设计要求做接地施工，经检查确认后，才能支模或浇捣混凝土。

② 人工接地体：按设计要求位置开挖沟槽，经检查确认后，才能打入接地极和敷设地下接地干线。

③ 接地模块：按设计位置开挖模块坑，并将地下接地干线引到模块上，经检查确认后，才能相互焊接。

④ 装置隐蔽：检查验收且接地电阻合格后，才能覆土回填。

10）引下线维修安装应按以下程序进行：

① 利用建筑物柱内主筋作引下线，在柱内主筋绑扎后，按设计要求施工，经检查确认后，才能支模。

② 直接从基础接地体或人工接地体暗敷埋入粉刷层内的引下线，经检查确认不外露后，才能贴面砖或刷涂料等。

③ 直接从基础接地体或人工接地体引出明敷的引下线，先埋设或安装支架，经检查确认后，才能敷设引下线。

11）等电位联结应按以下程序进行：

① 总等电位联结：对可作导电接地体的金属管道入户处和供总等电位联结的接地干线的位置经检查确认后，才能安装焊接总等电位联结端子板，按设计要求进行总等电位联结。

② 辅助等电位联结：对供辅助等电位联结的接地母线位置检查确认后，才能安装焊接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

辅助等电位联结端子板，按设计要求进行辅助等电位联结。

③ 对特殊要求的建筑金属屏蔽网箱：网箱施工完成，经检查确认后，才能与接地线连接。

12）接闪器安装：接地装置和引下线应施工完成，才能安装接闪器，且与引下线连接。

13）防雷接地系统测试：接地装置施工完成测试接地电阻应合格；避雷接闪器安装完成，整个防雷接地系统连成回路，才能系统测试。

4. 检修过程检验与试验

（1）绝缘电阻测试　绝缘电阻测试包括各类电气设备装置、动力、照明、电缆线路及其他必须进行绝缘电阻测试的电气装置，绝缘电阻一般应测试三次，安装或检修前、安装或检修后、调试前分别测一次。

检修过程的检验与试验，必须由具有相应资质的人员进行，检验与试验必须有技术主管认可的记录。检修过程的检验、试验是电气维修中最重要的检验试验，一般可分为自检、互检、专检和监检。

（2）接地电阻测试　接地电阻测试包括电气设备、系统的防雷接地、保护接地、工作接地、防静电接地以及设计要求的接地电阻测试，检测工作必须在接地装置敷设完毕且回填土之前进行，测试和回填必须由技术主管在场监督。

（3）电气设备、元器件通电安全检查　电气设备、元器件安装后应按层、按部位、按子系统进行通电全数检查，如开关控制相线，相线接螺口灯座的灯芯，插座左零右相上接保护零线，电气设备外壳接地（零），核对电源电压及相序等。

（4）电气设备空载试运行　成套配电（控制）柜、台、箱、盘通电试运行，电压、电流应正常，各种仪表指示应正常。

电动机及其拖动的设备应试通电空转，检查转向和机械转动有无异常情况，测试空转电流，以判定试运行是否正常，电动机空载试运行时要记录其电流、电压和温升以及噪声是否有异常撞击声响，空载试运行电动机一般为 2h，记录空载电流，且检查机身和轴承的温升。变压器空载运行、检查温升、声响、电位、电压相序等应正常。

（5）高压设备及电动机调整试验记录　应由有相应资格的单位进行试验并记录。

（6）漏电断路器模拟试验　动力和照明工程的漏电保护装置应全数使用漏电断路器检测仪做模拟动作试验，应符合设计要求的额定值。

（7）发电机组应试发电　电压、电流、频率、相序应正常。

（8）电能表检定记录　电能表在安装前送有相应检定资格的单位全数检定，应有由检定单位出具的法定记录。

（9）大容量电气线路节点测温记录　大容量（630A 及以上）导线、母线连接处或开关，在设计计算负载运行情况下应做温度抽测记录，采用红外线遥测温度仪进行测量，温升值稳定且不大于设计值。

（10）避雷带支架拉力测试　避雷带支架应按照总数量的 30% 检测，10m 之内测三点，不足 10m 的全部检测。检测时使用弹簧秤。

（11）架空线路试验　架空线路应有详细的安装和试验记录，应有绝缘电阻、耐压试验等。

现场常用检验、试验工具及仪器见表 18-2。

变配电所检修质量监控要点见表 18-3。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 18-2 现场常用检验、试验工具及仪器

名 称	规格/型号	名 称	规格/型号
皮尺	100m	弹簧秤	10kg
钢卷尺	3m	漏电断路器检测仪	5406A 型
千分尺	0.01mm	红外线测温仪	MT2
万用表	MF47	钳形电流表	UT205
绝缘电阻表	ZC-7500V、1000V、5000V	水准仪	DS3
接地电阻测试仪	ZC-8	经纬仪	JDJ2E

表 18-3 变配电所检修质量监控要点

项 目	质量监控要点
准备工作要点	1）确定检修设备及部位，确定工作量及工时计划 2）确定检修时间，并与供电部门联系，尽量利用停电时间 3）确定检修人员或检修单位，并审核其技术能力和检修方案 4）确定检修用仪器仪表、配件及材料、元件 5）制定检修安全方案 6）确定总负责人，并召开会议进行培训，提出检修要求
开箱点件验证	验证以下设备开箱质量和装箱文件 （1）发电机定子的检验和复验 （2）发电机转子的检验和复验 （3）发电机附件的检验和复验 （4）主变、厂高变和起备变检验，特别是充氮气压真空记录，放残油试验 （5）SF_6 断路器检验，特别是充油充氮记录 （6）220kV 及以上断路器（GIS）检验 （7）电压互感器检验 （8）电流互感器检验 （9）避雷器检验 （10）盘、柜箱检验 （11）大型电动机检验 （12）直流设备检验 （13）事故保安电源设备检验
原材料、半成品、成品件审验	审验以下项目的生产许可证和质量证明材料，对新产品应检验鉴定资料和试验报告 （1）封闭母线外形及密封检验 （2）电缆桥架外形检验 （3）硬母线外观检验 （4）硬铜、铝矩（管）母线，电阻率检验 （5）绝缘油品质检验 （6）开关油品质检验 （7）蓄电池用浓硫酸品质检验

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
原材料、半成品、成品件审验	（8）蓄电池用蒸馏水品质检验 （9）SF_6 气体品质检验 （10）合金钢材料的检验和化验 （11）重要装置材料的检验和化验 （12）高压高温焊料检验 （13）设备二次灌浆（土建单位提供试块）
高压电器检修	高压电器装置主要包括交流 500kV 及以下室内、外空气断路器，油断路器，SF_6 断路器，SF_6 封闭式组合电器，真空断路器，断路器的操动机构，隔离开关，负荷开关及高压熔断器，电抗器，避雷器，电容器等装置 （1）安装应固定牢靠，外表清洁完整，无渗漏；动作性能符合规定 （2）电气连接应可靠且接触良好 （3）断路器、开关等其操动机构的联动应无卡阻现象；分、合闸指示正确；辅助开关动作正确可靠；液压、空压系统应无渗漏，压力表指示正确 （4）断路器基础或支架安装允许偏差 1）基础的中心距离及高度的误差不应大于 10mm 2）预留孔或预埋铁板中心线的误差不应大于 10mm 3）预埋螺栓中心线的误差不应大于 2mm （5）密度继电器的报警，闭锁定值应符合规定；电气回路传动正确 （6）SF_6 气体压力、泄漏率和含水量应符合规定 （7）油断路器应无渗油，油位正常，真空断路器灭弧室的真空度应符合产品的技术规定 （8）接地必须良好且符合规定 （9）绝缘部件及瓷件应完整无损，表面清洁，油漆应完整，相色标志正确 （10）相关的交接验收试验项目完整，技术指标应符合设计规定，调整试验报告真实可靠
电力变压器、油浸电抗器检修	1. 设备外观检查 （1）油箱及所有附件应齐全、无锈蚀及机械损伤，密封良好 （2）油箱箱盖或钟罩法兰及封板的连接螺栓应齐全，紧固良好，无渗漏；浸入油中运输的附件，其油箱应无渗漏 （3）充油套管的油位应正常、无渗漏、瓷体无损伤 （4）充气运输的变压器、电抗器，油箱应为正压，其压力为 0.01～0.03MPa （5）装有冲击记录仪的设备，应检查并记录设备在运输和装卸中的受冲击情况 2. 器身检查 器身检查是一项重要的工序和蔽遮工程，除施工单位外应有包括制造厂和业主单位的代表参加，并认真、及时地做好有关施工技术记录，对检查结果，各方认可后应及时签字，当满足下列条件之一时，可不进行器身检查 （1）制造厂规定可不进行器身检查，且合同中明确说明者 （2）容量为 1000kV·A 以下、运输过程中无异常情况者 （3）就地生产仅作短途运输的变压器、电抗器，如果事先参加了制造厂器身总装，质量符合要求，而且在运输过程中进行了有效监督，无紧急制动、剧烈振动、冲撞或严重颠簸等异常情况者 3. 器身检查的主要项目和要求 （1）运输支撑和器身各部位应无移动现象，运输用的临时防护装置及临时支撑应予拆除，并经过清点做好记录以备检查

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
电力变压器、油浸电抗器检修	（2）所有螺栓应紧固，并有防松措施；绝缘螺栓应无损坏，防松绑扎应完好 （3）铁心检查 1）铁心应无变形，铁轭与夹件间的绝缘垫应良好 2）铁心应无多点接地 3）铁心外引接地的变压器，拆开接地线后铁心对地绝缘应良好 4）打开夹件与铁轭接地片后，铁轭螺杆与铁心、铁轭与夹件、螺杆与夹件间的绝缘应良好 5）当铁轭采用钢带绑扎时，钢带对铁轭的绝缘应良好 6）打开铁心屏蔽接地引线，检查屏蔽绝缘应良好 7）打开夹件与线圈连接片的连接，检查紧固螺栓绝缘应良好 8）铁心拉板及铁轭拉带应紧固，绝缘应良好 （4）绕组检查 1）绕组绝缘层应完整，无缺损、变位现象 2）各绕组应排列整齐，间隙均匀，油路无堵塞 3）绕组的紧固螺栓应紧固，防松螺母应锁紧 （5）绝缘围屏绑扎牢固，围屏上所有线圈引出处的封闭应良好 （6）引出线绝缘绑扎牢固，无破损、拧弯现象；引出线绝缘距离应合格，牢固可靠 （7）无励磁调压切换装置各分接头与线圈的连接应紧固正确；各分接头应清洁，且接触紧密，弹力良好；所有接触到的部分，用0.05mm×10mm塞尺检查，应塞不进去；转动接点应正确地停留在各个位置上，且与指示器所指位置一致；切换装置的拉杆、分接头凸轮、小轴、销子等应完整无损；转动盘动作应灵活，密封良好 （8）有载调压切换装置的选择开关、范围开关应接触良好，分接引出线应连接正确、牢固，切换开关部分密封良好，必要时抽出切换开关芯子进行检查 （9）绝缘屏障应完好且固定牢固，无松动现象 （10）检查强油循环管路与下轭绝缘接口部位的密封情况 （11）检查各部位应无油泥、水滴和金属屑末等杂物 注意，变压器有围屏者，可不必解除围屏，本条中由于围屏遮蔽而不能检查的项目，可不予检查。铁心检查时，其中的3）~7）项无法拆开的可不测 4. 带电试运行前检查 （1）变压器、电抗器按交接验收的全部电气试验项目应合格；保护装置整定值符合规定并应投入；操作及联动试验正确；调整试验报告真实可靠 （2）接于中性点接地系统的变压器，进行冲击合闸时，其中性点必须接地 （3）储油柜、冷却装置、净油器等油系统上的节气门均应打开，且指示正确 （4）接地引下线及其主接地网的连接应满足设计要求，且接地应可靠 （5）铁心和夹件的接地引出线套管应按要求接地，套管的接地小套管及电压抽取装置不用时其抽出端子均应接地；备用电流互感器二次端子应短接接地；套管顶部结构的接触及密封应良好 （6）本体、冷却装置及所有附件均应无缺陷，且不渗油 （7）基础及轮子的制动装置应牢固 （8）油漆应完整、相色标志正确，顶盖上无遗留杂物 （9）事故排油设施应完好，消防设施齐全 （10）测温装置指示应正确，整定值符合要求 （11）冷却装置试运行正常，联动正确；水冷却装置的油压应大于水压；强迫油循环的变压器、电抗器应起动全部冷却装置，进行循环4h以上，放完残留空气 （12）储油柜和充油套管的油位应正常

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
电力变压器、油浸电抗器检修	（13）分头的位置应符合运行要求；有载调压切换装置的远方操作动作应可靠，指示正确 （14）变压器的相位及绕组的联结组标号应符合并列运行要求 （15）空载全电压冲击合闸，规定为五次应均无异常；第一次受电后持续时间不应少于10min，励磁涌流不应引起保护装置的误动作，并应对各部分进行检查，如声音是否正常、各连接处有无放电等异常情况 （16）变压器并列前，应注意先核对相位 （17）变压器、电抗器带电投入前，应有经批准的安全措施及调试和运行的操作细则 （18）第一次带电投入时，可全电压冲击合闸，如有条件时应从零起升压；冲击合闸时，变压器宜由高压侧投入；对发电机变压器组接线的变压器，当其间无操作断开点时，可不进行全电压冲击合闸
互感器检修	（1）互感器的电压比分接头的位置和极性应符合规定 （2）二次接线板应完整，引线端子应连接牢固，绝缘应良好，标志清晰 （3）具有吸湿器的互感器，其吸湿剂应干燥，油封油位正常 （4）互感器的呼吸孔的塞子带垫片时，应将垫片取下 （5）油位指示器、瓷套法兰连接处、放油阀均应无渗油现象 （6）隔膜式储油柜的隔膜和金属膨胀器应完整无损，顶盖螺栓紧固（产品出厂时已封好，不允许打开，注意保持铝封完好） （7）油浸式互感器应水平安装，排列应整齐，同一组的极性方向应一致 （8）具有等电位弹簧支点的母线贯穿式电流互感器，其所有弹簧支点应牢固，并与母线接触良好，母线应位于互感器中心 （9）零序电流互感器的安装，不应使构架或其他导磁体与互感器铁心直接接触，或与其构成分磁回路 （10）互感器需补油时，应按制造厂规定进行 （11）安装时应将出厂时加上的保护罩、附加的防爆膜及临时支撑拆除 （12）电容式互感器必须根据产品的组件编号安装，不得互换，各组件连接处的接触面，应除去氧化层，并涂以电力复合脂；阻尼器装于室外时，应有防雨措施 （13）具有均压环的互感器，均压环应安装牢固、水平、且方向正确，具有保护间隙的，应按制造厂规定调好距离 （14）互感器外壳、铁心引出接地端子等应按制造厂的规定接地良好 （15）交接验收电气试验项目齐全、合格、试验报告真实可靠
母线装置检修	1. 母线装置的开箱检查 （1）设备和器材包装及密封良好，开箱检查按装箱单中逐一检查、清点、验收，不得遗漏 （2）硬母线应平直、无变形、扭曲，外观光洁无裂纹、折皱；软母线不得有扭结、松股、断股、明显损伤及严重腐蚀等缺陷；扩径导线不得有明显凹陷和变形 （3）支持绝缘子和套管表面光滑无裂纹、破损，交流耐压试验合格 （4）金具表面光滑、无裂纹、伤痕、砂眼、锈蚀、滑扣等缺陷，镀锌层无脱落，规格应与设计图样相符、零配件配套应齐全 （5）成套供应的封闭母线各段标志清晰，附件齐全，外壳无变形，内部无损伤，母线搭接面平整，镀银层完好 2. 室内、外配电装置的安全净距离 室内、外配电装置的安全净距离应符合电气装置安装工程母线装置施工及验收规范的规定，在施工中，应对这些部位按规定进行核对，保证母线的安全距离符合要求，避免发生设备或人身事故 3. 交接验收电气试验项目齐全、合格，试验报告、真实可靠

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
电缆线路检修	1. 电缆架和电缆沟 （1）电缆架安装位置正确，平整牢固，连接可靠，间距均匀，排列整齐一致，镀锌层或油漆完整色泽均匀 （2）抽查测量托架及支吊架和桥架的垂直和水平偏差应在规范的规定范围内 （3）电缆桥架跨越建筑物的沉降缝、伸缩缝处应有补偿装置 （4）金属桥架的连接处跨接地线可靠；金属桥架（托）架和支（吊）架的接地保护良好，与接地干线的连接符合规定 （5）电缆沟走向、深度、沟槽底宽符合要求，且沟内无杂物，无积水，盖板齐全；隧道内照明、通风排水等设施符合设计 2. 电缆敷设与接线 （1）按照设计图样检查电缆规格、型号、截面；电缆外观无机械损伤、绞扭、护层破裂现象 （2）电缆与热力管道、热力设备之间的净距应符合规定 （3）电缆与热管道（沟）、油管道（沟）、可燃气体及易燃液体管道（沟）、热力设备或其他管道（沟）净距应符合设计规定 （4）检查直埋电缆回填土的施工及验收记录，旁站回填土分层夯实电缆埋设深度应符合规定 （5）电缆终端、电缆接头及充油电缆的供油系统安装牢固，无渗漏现象；充油电缆的油压及表计整定值符合要求；电缆终端的相色正确；三芯电力电缆终端处的金属护层接地良好 （6）充油电缆及护层保护器的接地电阻符合要求 （7）防火封堵按设计规定设置 （8）防火阻燃措施符合设计要求，封堵严实可靠，无明显的裂缝或可见的孔隙；阻火墙的防火门严密，两侧电缆有防火包带或涂料 3. 电气试验项目齐全、合格，试验报告真实可靠
电气装置接地	（1）地下敷设的接地装置的埋设深度及间距应符合设计规定；当无规定时，埋设深度不宜小于0.6m；除接地体外接地体引出线的垂直部分和接地装置焊接部分应进行防腐处理；垂直地极间距不宜小于其长度的2倍；水平地极不宜小于5m；回填土内不应加有石块、垃圾及腐蚀物，应分层夯实 （2）接地极和接地线材质、规格等应符合设计要求 （3）接地网的外缘应闭合，外缘各角应成圆弧 （4）明装地线的支持件间距，水平直线部分为0.5～1m；垂直部分宜为1.5～3m；转弯部分宜为0.3～0.5m；接地线沿建筑物墙壁水平敷设时，离地面距离应为250～300mm；其间隙宜为10～15mm；当跨越建筑伸缩缝、沉降缝时，应弯成弧状作为补偿器 （5）接地体（线）的焊接应牢固无虚焊，焊接搭接长度及形式（扁钢与钢管、角钢的焊接）等均应符合规定 （6）施焊处应进行防腐处理 （7）各种电气设备，应分别按设计和产品的说明书要求可靠接地 （8）整个接地网外露部分的连接可靠，接地线规格正确，防腐层完好，标志齐全明显 （9）避雷针（带）的安装位置及高度符合设计要求 （10）供连接临时接地线用的连接板的数量和位置符合设计要求 （11）工频接地电阻值及设计要求的其他测试参数均应符合设计的规定，数据真实可靠，为确保测量值的正确性，雨后不应立即测量接地电阻 （12）其他详见机工版《电气工程安全技术及实施（第2版）》相应内容

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
旋转电机检修及试运行	1. 设备配件开箱检查见证 设备配件和器材到达现场后，应检查，并做开箱检查记录 （1）设备包装及密封良好，在运输过程中无碰撞损坏现象 （2）设备的规格、型号应符合设计要求，附件、备件以及根据合同规定提供的专用工具齐全 （3）水内冷电机的定子、转子进出水管管口的密封完好 （4）汽轮发电机、调相机的铁心、转子等的表面及轴颈的保护层完整、无损伤和锈蚀现象 （5）充氮运输的电机，氮气压力符合产品的技术要求 （6）产品的技术文件齐全，符合合同规定的要求 2. 旋转电机维修 （1）在进入发电机定子工作时，一定要严格检查着装，应保持清洁，严禁遗留金属物件；不得损伤绕组端部和铁心；不得碰伤定子绕组或铁心；穿转子时，要监督不得碰伤定子绕组或铁心 （2）线圈绝缘层完好，无伤痕，绑线牢靠；槽无断裂，不松动；引线焊接牢固；内部清洁，通风孔道无堵塞 （3）轴承工作面光滑清洁，无裂纹锈蚀，润滑油脂的型号、规格和数量符合要求；风扇叶片完好无裂纹 （4）电机的外壳接地必须可靠、良好；采用条形底座的电机应有两个及以上的接地点 （5）电刷和换向器或集电环接触良好，在刷握内能上下活动，电刷上的压力正常，引线和电刷连接紧密可靠 （6）绕线转子电动机的电刷抬起装置动作可靠；短路刀片接触良好，动作方向与标志一致 （7）电机电刷在运行时，无明显火花 （8）电机接线端子与导线端子连接紧密，不受外力；连接用的锁紧装置完整齐全 （9）电机接线盒内不同相的导线间和导线对地间的裸露部分的最小距离符合规定 （10）电机的接线应符合电机铭牌的要求 3. 电动机试运行 （1）监视电动机的温度，温度不应超过电动机铭牌上允许的限度 （2）监视电动机在运行中的声音、振动和气味，正常运行，声音均匀，运转平稳，无绝缘漆气味和焦臭味 （3）电动机的振动和电动机的轴窜动都应不超过规定 （4）监视轴承的工作情况，注意轴承的发热和声响情况，当使用温度计法测量时，滚动轴承发热温度不允许超过95℃，滑动轴承发热温度不允许超过80℃ （5）测量电动机运行时的振动情况，电动机双倍振幅值不应大于表6-4的要求 4. 交接验收电气试验项目齐全、合格，试验报告真实可靠
盘、柜及二次回路接线	1. 盘、柜的维修 （1）基础型钢安装牢固，顶部和侧面平直度每米偏差不超过1mm，全长偏差不超过5mm （2）盘、柜与基础型钢连接紧密，固定牢固，接地可靠 （3）盘、柜间接缝平整，使用塞尺检查接缝间距不超过2mm （4）盘、柜垂直度每米偏差不超过1.5mm （5）成排盘、柜顶平直度，相邻两盘、柜不超过2mm，盘、柜面平整度不超过1mm （6）盘、柜顶平直度和盘、柜面平整度，成排都不超过5mm （7）盘、柜面标志牌、标志框齐全、正确、清晰 （8）手车和抽屉式开关柜推拉灵活，无卡阻碰撞现象，动、静触头中心一致，接触紧密，二次回路切换触头和机械、电气闭锁动作准确、可靠

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项　目	质量监控要点
盘、柜及二次回路接线	（9）接地触头接触良好，动作程序符合要求 （10）盘、柜油漆完整均匀，盘、柜清洁；照明装置齐全 2. 盘、柜内的设备及接线 （1）设备元器件完整齐全、固定牢固，操作部分灵活、准确 （2）二次接线排列整齐美观，线路走向合理，接线准确，固定牢靠，导线与端子排的连接紧密，标志清晰、齐全 （3）盘柜接地及绝缘合格 3. 电气试验应合格，试验报告真实可靠
低压电器检修	（1）安装牢靠、排列整齐；电器活动部件动作灵活、可靠；导电接触部分紧密良好，触头压力符合电器技术要求；操动机械动作灵活，触头动作一致，各联锁传动装置动作正确 （2）母线与电器连接时，接触面应符合要求 （3）电源进线和负荷出线的接线位置应符合规定 （4）连接处不同相的母线最小电气间距应符合要求 （5）低压断路器裸露在箱体外部且易触及的导线端子，应有绝缘保护 （6）接线应排列整齐、牢固、美观 （7）电器的接地、接零可靠；绝缘电阻符合要求 （8）标志齐全完好、字迹清晰，标识符合设计要求 （9）操作灵活可靠、无卡阻；电磁铁心吸合、释放正常，无异常声响；联锁传动装置的动作应准确无误 （10）线圈及接线端子的温度不超过规定允许值 （11）触头压力、接触电阻不超过规定值 （12）电气试验应合格，试验报告真实可靠

四、变配电所检修技术规程

变配电所检修是一项复杂的系统工程，特别是工程项目较大时或者是新设备、新材料、新工艺、新技术在工程中应用较多时，更是体现出其复杂和难度。

为保证变配电所检修质量、保证工期进度、保障安全生产、保障施工现场环境以及投入使用后的安全运行，从事变配电所检修工作的单位或个人必须遵守变配电所检修技术规程。

（一）工程管理

1）大型变配电所检修应按已批准的工程设计文件图样及产品技术文件施工。

2）大型变配电所检修方案的设计单位必须是取得国家建设或电力主管部门核发的相应资质的单位，无证设计或越级设计是违法行为。

3）电气或电力产品（设备、材料、附件等）的生产商必须是取得主管部门核发的生产制造许可证的单位，其产品应有型式试验报告或出厂检验试验报告、合格证、安装使用说明书，无证生产是违法行为。

4）承接变配电所检修的单位必须是取得国家建设主管部门或省级建设主管部门核发的相应资质的单位，无证施工或越级施工是违法行为。由本单位检修时应取得供电部门认可，并严格执行本规程。运行维护人员应直接参与检修和工程管理，不放过任何瑕疵和隐患。

5）承接变配电所检修的单位中标后应做好以下工作：

① 组织技术人员、施工人员审核图样，提出对图样的意见和建议，为会审图样做准备。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

② 组织技术人员、管理人员、施工人员对图样中的设备、元器件、材料进行核算，编制加工计划，提出意见和建议，为会审图样做准备。

③ 组织技术人员、施工人员、管理人员实地勘察作业现场，掌握作业条件，了解当地风情民俗、气候环境等，为会审图样和施工组织设计做准备。

④ 图样会审，达成一致性的图样会审纪要，作为检修工程实施的重要依据。

⑤ 按会审后的图样和会审纪要组织工程预算人员和原材料供应部门的人员编制工程施工预算书和设备、材料供应计划，并提交企业主管部门、主管经理批准。

⑥ 签订检修合同。

⑦ 编写检修施工组织设计，从人力、机具、材料、法规、环境及标准规范出发详细编写，中心内容是检修工艺及质量标准、施工进度计划、机具计划、人力计划、投资计划、物资供应计划、安装技术及安全技术交底、现场管理机构设置和质量计划、安全管理方案、环境管理方案及其保证实施措施等。

⑧ 组织项目班子，建立管理体系，确定人员，组织施工队伍。进行人力资源分工并确定其职责，确定人选要基于能力，技术测试不是评出来的，也不是鉴定出来的，而是在实践中干出来、练出来的。检修人员、调试人员应分别具备相应的资格。

⑨ 施工准备时，进一步落实机具计划、人力计划、物资供应计划及施工现场设置和设施。组织全体施工人员学习施工组织设计、质量计划、安全方案、环境方案、标准规范及安装技术、安全技术交底。

⑩ 配合土建工程施工预埋管路及铁件。

⑪ 按图样设计及要求、标准图册进行预制加工。

⑫ 开工前的组织协调及动员大会。

(二) 工程实施及现场管理

1）技术主管和检修人员要精读图样，掌握设计意图及工程的功能，确定检修工艺方法，特别是新设备、新材料、新工艺、新技术除图样上的内容外，要精读其产品安装使用说明书，并按其要求及标准确定安装调试工艺方法。

2）组织相关人员检查并落实施工组织设计中的各项条款和安全设施设置，没落实的要查明原因，敦促落实，定期检查。

3）要记录现场每天发生的各种事宜，特别是人员分工、进度、质量、安全等事宜。

4）对新购进的设备、元器件、材料进入现场的检验和试验是把好工程质量的第一道关口，要从以下四方面检验：

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。

同时进行测试和试验，杜绝假冒伪劣产品进入维修工程。

检验、试验和测试必须有第三方在场，检验、试验和测试的人员必须是具有相应资格的人员。现场使用的检验、试验和测试的仪器、仪表、量具必须是在其检定周期内的合格品，且在使用前应进行检查。

检验、试验和测试应有详细记录，贵重、大型的设备应有生产商在场。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）线缆敷设时必须测试绝缘电阻，隐蔽部位和绝缘电阻的测试应有第三方的认可文件。

6）设备的安装及吊装（无论大小、无论价格高低）应遵守下列规定：

① 基础必须牢固，支持件或铁件应经拉力试验。基础应经监理验收，混凝土基础应有土建施工人员在场。

② 设备的吊装就位必须由起重工配合，特别是大件吊装就位应以有经验的起重工为主，电工配合。设备就位后经检测（水平、竖直、几何尺寸等）合格后方可紧固。

③ 设备就位后安装人员应进行测试或试验，正常后应进行机械传动或（和）通电（没条件的可通临时电，临时电的电压、频率等参数必须与设备铭牌标注相符）试验，结果应符合规范或设计、产品技术文件的规定或要求。

7）接线必须正确无误，并经非接线人进行核对，接线必须牢固，电流较大的必须用塞尺检测或测试接触电阻。

8）接地及接地装置的设置，其隐蔽部分应经技术人员验收，接地电阻应符合规范要求。

9）加工制作的部件及电缆头制作在安装前必须进行检测和试验，并遵守上述规定。

10）上述 4）~9）条的过程中检修人员、专职质检人员，须进行过程的检测及验收，凡不符合规范要求的要立即进行修复，严重不合格的要重新进行安装。过程检测包括：

① 班组自检。

② 班组互检。

③ 质检员专检。

过程检测是检修工程最重要的检测手段，必须有详尽记录和签证，作为验收的依据。

11）单体调整试验的要求如下：

① 单体调整试验应由调试人员进行，并出具调整试验报告。

② 单体调试包括设备、元器件功能、性能、传动、通电、模拟动作试验，检查接线和单体功能调整试验。

③ 单体调整试验应有技术主管、电气工程师或第三方在场签字。

12）系统调整试验的要求如下：

① 系统调整试验须由调试人员进行，并出具调整试验报告，为竣工验收提供依据。

② 系统调整试验应先进行各个子系统功能、性能、传动、通电试验或模拟动作，然后再进行全系统的调整试验，均应符合设计及规范要求。

③ 系统调整试验应有技术主管、电气工程师或第三方在场签字。

13）系统送电及试运行的要求如下：

① 系统送电及试运行必须在检测检验合格、单体及系统调整试验合格并有第三方签证的基础上进行。

② 系统送电及试运行应编制送电及试运行方案（包括应急预案），工程较大时文件应由上级主管部门批准。

③ 系统送电及试运行应按其工程大小级别邀请相应主管部门（供电、电信、消防、技术监督、生产商等）的技术人员、管理人员、监检人员参加。

④ 系统送电及试运行应按子系统分别一一进行，每个子系统送电后应开动该子系统的全部设备（按正常的开车率），并进行电流、电压、功能、转速等参数的测试应正常。

⑤ 每个分支系统单一送电试运行正常后，即可将所有分支系统全部送电投入运行，并

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

进行系统和各个分支系统的电流、电压、功能、转速等参数的测试，全系统应正常。

⑥ 系统送电试验时若分支系统不合格应立即组织人员进行处理，直到合格并经送电和试运行检验。

⑦ 系统送电及试运行正常后应投入正式运行，至少应进行 72h 的运行，进而观测有无不妥，并将其移交建设单位。

14）竣工验收的要求如下：

① 实物验收：实物验收已在系统送电及试运行步骤中进行，建设单位应派人接收，建设单位暂时不能接收时，运行 72h 后应停运。

② 资料验收：检修单位应提供完整的检修及试运行记录，并有技术主管、电气工程师或第三方签字。

15）总体要求：上述 4）~14）条均应按相应的国家标准和规范进行；新产备、新材料、新技术、新工艺暂无标准和规范时，应按产品安装使用说明书进行，必要时应组织厂商及专家和主管部门暂订标准规范。暂订标准规范应按一定的法定程序进行，并报上一级主管部门批准。

五、运行维护相应管理制度和规定

1. 运行维护工作制度

运行维护是变电所运行及维护人员班组正常工作，如气动机构定期放水工作、蓄电池测量电压、粘贴示温蜡片、防小动物工作、防汛、防风、防寒及检查各电气设备等工作。将以上这些工作分解列表，各班次按规定执行。

2. 运行常规培训制度

变电所运行人员及系统维修人员常规培训形式有，现场考问、事故预想、反事故演习、技术讲座、技术问答等。

1）现场考问：在每天交接班时进行。由交班人员考问接班人员，每人一题，由交班正值按标准答案进行评价，并做好记录。问题应根据设备情况、季节特点等出题，年内不得重复。

2）事故预想：针对所辖变电站实际情况每月每值进行一次。事故预想，主要围绕本站可能发生的问题，值班长组织全体值班人员进行讨论，从而提高运行人员的应变能力和事故处理能力。

3）反事故演习：每月至少组织一次全员参加的现场反事故演习，由班组培训员作出计划。由班组培训员或班组长对演习作出切合实际的评价。

4）技术讲座（学习）：每月一次，由班组培训员组织进行，应该根据人员素质、设备状况，组织全员学习，不少于 2 课时并保存讲课资料。

5）技术问答：每月由班组培训员出题（每人一题），运行人员必须独立完成答卷，培训员要及时评价。

6）每季结合培训内容和规程的学习进行一次技术考试，总结学习效果。

3. 应建立的几项规定

为使变电所各项工作管理标准化，还应建立以下规定：

1）备品备件、工具、材料管理规定。

2）配电室钥匙、防误闭锁钥匙管理规定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）防小动物（鼠药、危险品）管理规定。

4）消防工作管理规定。

5）防汛、防风、防寒工作管理规定。

6）设备缺陷管理制度。

发现缺陷后，按设备缺陷情况进行初步分类定级（分为紧急、重大、一般三级）。当值值班员应及时汇报车间和调度值班员，并将变电设备缺陷输入微机，传送至 MIS 网。

对不能立即消除的缺陷在运行中加强监控，并及时向有关部门通报缺陷发展情况。缺陷消除验收合格后，在缺陷记录簿和 MIS 网上注销并签名。

4. 变电所污秽等级规定：

0 级：大气清洁无明显污染地区。

1 级：大气轻微污染的地区（工业区附近沿海地带及盐场附近）。

2 级：空气严重污染的地区（化工厂、冶金厂附近），火电厂烟囱附近且附近有冷水塔、严重盐雾侵袭地区。

5. 工作票及使用范围

（1）以下工作需要填第一种工作票：

1）高压设备上的工作需要全部停电或部分停电者。

2）高压户内二次接线和照明回路上的工作，需要将高压设备停电或做安全措施者。

（2）以下工作填用第二种工作票：

1）带电作业和在带电设备的外壳上工作。

2）控制盘和低压配电盘、配电箱、电源干线上的工作。

3）二次接线回路上的工作，无需将高压设备停电者。

4）转动中的发电机、同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作。

5）非当值值班人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳形电流表测量高压回路的电流。

（3）第一、二种工作票的有效时间，以批准的检修期为限。第一种工作票至预定时间工作尚未完成，应由工作负责人办理延期手续。工作票有破损不能继续使用时，应补填新的工作票。

6. 变电所常用的消防设备和用具如下：干粉灭火器、二氧化碳、四氯化碳灭火器、1211 灭火器、泡沫灭火器、消防栓、消防水龙带、消防砂及砂箱、消防水桶、消防铲等。

7. 变配电所应按负荷大小、季节冷暖风雨进行运行、维护、检修、巡检等工作。一般条件下，夏季要比冬季负荷大，但冬季出现事故受天气影响不易处理。因此要把上述工作按月份排列出来，把事故消除在萌芽状态。

（1）一月份气候特点：时值冬季是全年最冷季节，天寒干燥、多大风、风雪频繁。

易发事故的特征：

1）导线拉力大、摆度大，易发生断线和混线事故。

2）注油设备油位下降，易引起设备缺油，严重时可能引起事故。

3）设备操动机构金属件紧缩，活动部分发涩，易引起拒动和自动脱扣的事故。

工作安排：

1）元旦检修及特巡工作，特别是导线的松弛度和注油设备的油面变化。

2）春节检修的准备工作，提出缺陷情况和检修项目，报主管部门审批，并及时做好人

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

员和器材的准备工作。

3）加强防火工作，继续做好防寒、防冻工作。

4）做好防止工作人员滑跌、摔伤的安全工作。

5）防止雾季闪络事故，进行户外变配电设备的清扫工作。

以上以北方天气为参考，1～12月份均同。

（2）二月份气候特点：上旬较冷，中旬开始转暖，是一年中雾日最多的月份。

易发事故的特征：

1）雾日多，易发生绝缘子污秽闪络事故。

2）冻土开始融化，冬季施工质量不良的设备基础可能开始下沉；严重时可能引起事故。

工作安排：

1）加强绝缘子特巡工作。

2）审批防雷措施计划，开展防雷工作；对避雷器的动作记录器进行校核。

3）防雨工作，检查土建设施的防雨情况。

4）对所有绝缘设备进行全面的检查、鉴定。

5）对已发现的设备缺陷，催促“消缺”以保春节供电。

6）加强春节期间的安全工作，加强值班巡视，并组织特巡，加强保卫治安工作。

（3）三月份气候特点：气温显著上升，大地解冻、风沙大、雨量小。

易发事故的特征：

1）因气候条件，易发生污秽绝缘子的闪络事故。

2）导线摆度大，发生混线或对地弧光闪络事故。

3）鸟类活动频繁，鼠蛇亦开始活动，易发生鸟害或鼠蛇小动物事故。

4）农灌负荷加大，易发生配电线路事故。

工作安排：

1）继续加强绝缘子的特巡工作，防止污闪事故发生。

2）继续抓紧防雷装置检查和完善工作。

3）加强电气设备和房屋的防雨、防潮工作。

4）农田灌溉，负荷加大，做好设备检查和反事故演习。

5）刮风时检查导线摆动情况。

6）开展防鸟、鼠、蛇等小动物危害活动，并加强特巡工作。

7）做好一季度的设备评级工作。

（4）四月份气候特点：是大风最多的月份，雨量较小，可能出现雷电活动。

易发生事故的特征：

1）风大、导线摆动大，可能发生断线和混线事故。

2）鸟类和鼠蛇活动频繁，易发生小动物事故。

3）设备检修、试验工作开始，操作频繁，易发生电气误操作事故。

工作安排：

1）开展设备绝缘试验工作。

2）第一次大雨之后，对所内土建设施进行全面的巡视。

3）继续抓紧防雷、防雨、防潮、防风措施的落实和检查工作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）进行防暑过夏准备，对通风、降温、防晒设施和冷却装置进行试验检查。
5）加强倒闸操作制度的贯彻，检查闭锁联锁装置防止误操作事故。
6）做好迎接“五一”国际劳动节的准备工作，对设备进行重点检查。
7）搞好变电所绿化工作。
(5）五月份气候特点：气温显著升高，出现雷电活动。
易发生事故的特征：
1）小动物繁殖季节活动频繁，易发生小动物事故。
2）农电负荷出现高峰，可能出现过负荷设备事故。
3）可能发生雷害事故。
工作安排：
1）继续抓好防雷、防雨、防潮工作和防暑过夏工作的落实。
2）检查各注油设备的油位情况，要求及时对不合格的油位进行调整。
3）检查农业负荷供电线路设备元件的载流容量，做好反事故措施。
4）检查排水和疏水系统的设备，注意电缆沟的排水情况。
5）加强防小动物工作。
(6）六月份气候特点：气温较高、雨量增大、雷电活动较强、风小。
易发生事故的特征：
1）雷害事故较多，也可能发生设备进水爆炸事故。
2）设备接头过热，严重时可能发生接头过热烧毁事故。
3）直流系统绝缘能力降低，严重时可能造成设备误动作事故。
工作安排：
1）继续抓好防雷、防雨、防潮工作。
2）对设备接头进行测温和检查试温蜡片熔化情况。
3）检查设备排水、疏水系统，并对防汛工作进行检查。
4）对春检设备的技术资料进行全部整理和归档。
5）继续抓好防小动物工作。
6）做好二季度设备评级调整工作。
(7）七月份气候特点：是全年最热月份，雷害最多、雨量最大、温度亦高。
易发生事故的特征：
1）雷害事故频繁，可能发生设备进水爆炸事故。
2）暴雨、洪水威胁设备的安全运行。
3）水温、油温高，接头发热，威胁设备的安全运行。
4）直流系统绝缘水平降低，严重时可造成继电保护误动作。
工作安排：
1）加强防雷、防雨和防高温装置的特巡工作。
2）对导线弛度和设备接头进行测量检查。
3）对房屋漏水、溅水缺陷进行检查处理。
4）检查排水、疏水系统，并对防汛措施进行检查。
5）加强二次设备的防潮检查，对二次线进行清扫、曝晒和绝缘电阻摇测工作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6）对见习、实习值班人员进行培训和半年考核。

7）做好防高温和发生设备过热事故的预防工作，加强对变压器、电容器的温升检查和测量工作。

（8）八月份气候特点：持续高温天气，雨量集中、雷害频繁。

易发事故的特征：

1）雷害事故频繁。

2）暴雨、洪水威胁设备安全运行，可能发生设备进水爆炸事故。

3）直流系统绝缘能力降低，严重时可能造成设备误动作。

4）水温、油温高、接头易发热，给安全运行造成威胁。

工作安排：

1）加强防雷、防雨、降温装置的特巡工作。

2）继续对防汛措施进行检查。

3）加强二次设备的防潮检查，对二次线进行检查清扫，对户外端子箱进行通风、晾晒、去潮。

4）对户内外环境卫生进行整理清扫。

（9）九月份气候特点：空气潮湿、气温下降，降水量减少。

易发生事故的特征：

1）还有雷雨造成事故的可能。

2）空气湿度大、绝缘能力降低，易发生二次设备误动作。

工作安排：

1）做好迎接国庆节的准备工作，抓紧重点设备检修和检查，加强节日值班巡视和特巡。

2）组织落实好节日的安全保卫工作和反事故预想工作。

3）进行迎高峰（负荷），防严寒的准备工作。

4）整理室内环境和室外环境迎接国庆节。

5）做好三季度设备评级调整工作。

（10）十月份气候特点：深秋转寒、雨量稀少、气温变化大。

易发生事故的特征：

1）有可能发生绝缘子污秽闪络事故。

2）小动物活动频繁，有可能发生小动物引发的事故。

工作安排：

1）加强节日值班，确保国庆供电安全。

2）做好迎接高峰负荷和防寒、防冻工作。

3）对防小动物措施进行全面检查。

4）对重点负荷设备进行接点测温和检查工作。

（11）十一月份气候特点：气温降低，可能有几次大雾、冰霜和粘雪夹雨。

易发事故的特征：

1）有可能发生绝缘子的污闪事故。

2）全年负荷最大月份，有可能发生接头发热的事故。

3）设备操动机构金属元件紧缩或发涩，易引起设备振动或自动脱扣的事故。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）有可能发生小动物事故。

工作安排：

1）继续进行防寒、防冻、防冰和迎接高峰负荷工作。

2）加强污秽绝缘子和接头的特巡工作，在高峰负荷时测量接头的温度。

3）检查操动机构的电热加温装置的运行情况。

4）对防止小动物措施进行全面的检查。

5）检查充油设备的油位情况。

（12）十二月份气候特点：天气寒冷、降大雪、有大雾天气。

易发生事故的特征：

1）设备过负荷，严重时可能造成设备接头（触头）的烧毁事故。

2）冰冻导线，或导线弛度过小、拉力增大，有可能发生导线断线事故。

3）操动机构金属元件紧缩、发涩，油位下降，严重时有可能引起事故。

工作安排：

1）加强过负荷设备的巡视检查。

2）在高峰负荷时，对接头进行测温，在雪天，借接头积雪融化情况，检查接头是否发热。

3）继续进行防风、防冻、迎高峰负荷工作的检查。

4）做好迎“元旦”工作，对重点设备进行检修、检查。

5）做好全年工作总结，制定明年具体工作计划。

6）做好见习人员的全年考评工作。

7）做好四季设备评级调整工作和技术资料的整理归档工作。

8）其他年终总结经验教训工作等。

9）明年工作改进计划和实施细则。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附　　录

附录 A　常用线路垂度表

温度/℃ / 弧垂/m / 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
LJ-25，$\sigma=6.4\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
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，$\sigma=6.4\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
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，$\sigma=6.4\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
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，$\sigma=6.4\text{kg/mm}^2$，$K=2.5$							
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

温度/℃ / 弧垂/m / 档距/m	-20	-10	0	10	20	30	40
LJ-70，$\sigma=6.4kg/mm^2$，$K=2.5$							
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
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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录 B　润滑脂的品种、代号、物理化学性质及用途选用表

名称		代号	颜色	滴点/℃ 不低于	针入度 (25℃，150g) $\frac{1}{10}$mm	水分① (%)	游离碱 (NaOH%)	游离酸 (mgKOH/g)	灰分① (%)	矿物油黏度 50℃ /($10^{-6}m^2/s$)	机械杂质 (%)	用　途
钠基润滑脂	1 号	ZN-1	深黄色到暗褐色均匀油膏	130	230～270	≤0.50	≤0.20	无	≤4.0	17～43	—	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		140	265～295	≤0.40	≤0.20	无	4.0	27～53	—	
钙钠基润滑脂	1 号	ZGN-1	黄色到深棕色均匀软膏	120	250～290	≤0.70	≤0.20	无	—	27～43	—	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	200～240	≤0.70	≤0.20	无	—	27～43	—	
钙基润滑脂	1 号	ZG-1	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	310～340	≤1.50	≤0.2	—	—	37～53	≤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	265～295	≤2.00	≤0.2	—	—	17～33	≤0.40	
	3 号	ZG-3		85	220～250	≤2.50	≤0.2	—	—	17～33	≤0.50	
	4 号	ZG-4		90	175～205	≤3.00	≤0.2	—	—	37～53	≤0.50	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

名称		代号	颜色	滴点/℃ 不低于	针入度 （25℃，150g）$\frac{1}{10}$mm	水分① （%）	游离碱 （NaOH%）	游离酸 （mgKOH/g）	灰分① （%）	矿物油黏度 50℃ /（$10^{-6}m^2/s$）	机械杂质 （%）	用　途
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	黄褐色到暗褐色软膏	135	200～260	无	—	—	—	27～43	≤0.20	
复合钙基润滑脂	1号	ZFG-1	淡黄色至暗褐色光滑透明油膏	180	310～340	痕迹	≤0.20	无	—	—	—	用于高温有严重水分场合的封闭式电动机
	2号	ZFG-2		200	265～295	痕迹	≤0.20	无	—	—	—	
	3号	ZFC-3		220	220～250	痕迹	≤0.20	无	—	—	—	
	4号	ZFG-4		240	175～205	痕迹	≤0.20	无	—	—	—	
铝基润滑脂	2号	ZU-2	淡黄色到暗褐色光滑透明油膏	75	230～280	无	—	—	—	—	—	用于高温工作条件及严重水分的场合，特别适用于湿热带型电动机
白色特种润滑脂	1号		白色光滑均匀软膏	170	310～340	无	≤0.2	≤1.0	—	—	无	
	2号			170	265～295	无	≤0.2	≤1.0	—	—	无	
	3号			170	220～250	无	≤0.2	≤1.0	—	—	无	
	4号			170	175～205	无	≤0.2	≤1.0	—	—	无	
二硫化钼锂基润滑脂	1号		黑色均匀油膏	170	310～340	无	≤0.2	—	—	—	—	
	2号			175	265～295	无	≤0.2	—	—	—	—	
	3号			180	220～250	无	≤0.2	—	—	—	—	
	4号			185	175～205	无	≤0.2	—	—	—	—	

① 均指成分含量的质量分数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社微信服务号

上架指导 工业技术／电气工程
ISBN 978-7-111-48524-7
策划编辑◎牛新国 / 封面设计◎鞠杨
定价：158.00元

ISBN 978-7-111-48524-7

www.789pdf.com 789书库网