www.789pdf.com 789书库网

实用电工手册

北京科学技术出版社

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

实用电工手册

《实用电工手册》编写组

北京科学技术出版社

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

实用电工手册

《实用电工手册》编写组

*

北京科学技术出版社出版

（北京西直门外南路19号）

北京市新华书店发行　各地新华书店经售

一二〇一工厂印刷

*

787×1092毫米　32开本　23印张　536,000字

1983年2月第一版　1986年12月第四次印刷

印数 220,001—260,000 册

统一书号：15274·002　　定价：3.40元

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

内 容 提 要

本手册是为适应一般工矿企业、农村社队进行电气设备维修和技术革新而编写的。

编写中注意了科学性、实用性和新颖性，省略了繁琐的推理和不必要的叙述，以大量图表、公式详细地介绍了电工常用计算公式，电动机、变压器、高低压电器、常用电工仪表、电工材料等的选用、计算参数和使用注意事项，并对各种常用设备在运行中易发生的故障进行了分析，阐明了故障的排除方法。

本手册介绍的产品型号，以国家颁发的新型号产品为主。除对常用电工设备进行了介绍，还增加了近年发展起来的新产品、新技术，如对Y系列异步电动机、新型驱动微电机、变速电动机、半导体、集成电路、远红外电热器件的技术数据，C形变压器的设计，家电产品的电气维修等，都作了简明扼要的介绍。考虑到维修工作的需要，本手册也介绍了目前仍在使用的部分老型号产品，有些还附有新旧型号对照表。为方便维修国外引进电气设备，书后附有国外常用电路图形符号。

本手册也可用作培训、考核各级电工的学习参考书。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目　录

第一章　常用计算公式及基础资料…… 1
1-1　常用计算公式…… 1
1-1.1　电流强度的计算…… 1
1-1.2　电压的计算…… 1
1-1.3　电阻与电导的计算…… 1
1-1.4　欧姆定律…… 2
1-1.5　电路中电阻值的计算…… 3
1-1.6　电路中电容量的计算…… 4
1-1.7　电池组的连接及计算…… 5
1-1.8　电源的串联和并联计算…… 6
1-1.9　基尔霍夫定律及其计算…… 6
1-1.10　电功及电功率的计算 …… 7
1-1.11　电流的热效应(焦耳-楞次定律)…… 8
1-1.12　电流的化学效应 …… 8
1-1.13　交流电路中的关系式 …… 8
1-1.14　交流电路中纯电阻、纯电容和纯电感的计算 …… 9
1-1.15　交流电路中阻抗的计算 ……10
1-1.16　三相交流电路中负载的连接 ……11
1-1.17　三相交流电路中的功率计算 ……12
1-1.18　电磁感应定律 ……12
1-2　基础资料……13
1-2.1　电工常用基本符号……13
1-2.2　电工常用计量单位及符号……14
1-2.3　电工系统图图形符号……16
第二章　电动机……32

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2-1 电动机的分类……32
2-2 三相异步电动机的运转原理……32
2-3 三相异步电动机的型号、性能和用途……34
2-3.1 三相异步电动机的型号和用途……34
2-3.2 电动机的铭牌……39
2-3.3 电动机的性能与常用计算公式……42
2-4 常用三相异步电动机的技术数据……45
2-4.1 J2 系列电动机的技术数据 ……45
2-4.2 JO2 系列电动机的技术数据……46
2-4.3 JO3 系列电动机的技术数据……49
2-4.4 Y 系列电动机的技术数据……50
2-4.5 JQ2 系列电动机的技术数据……53
2-4.6 JQO2 系列电动机的技术数据 ……54
2-4.7 JZ 系列电动机的技术数据 ……55
2-4.8 JZR 系列电动机的技术数据……56
2-4.9 JDO2 系列电动机的技术数据 ……57
2-5 单相异步电动机……63
2-5.1 交流串励电动机……63
2-5.2 罩极电动机……64
2-6 驱动微电机……65
2-6.1 驱动微电机的型号表示法……66
2-6.2 新系列驱动微电机的技术数据……66
2-7 旋转式直流弧焊机……72
2-7.1 直流弧焊发电机的技术数据……72
2-7.2 直流弧焊机用电动机的技术数据……74
第三章 电动机的使用与维修……75
3-1 电动机的选择……75
3-1.1 电动机容量的选择……75
3-1.2 电动机种类的选择……76
3-1.3 电动机电压的选择……77

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-1.4 电动机转速的选择……77
3-1.5 电动机结构型式的选择……77
3-2 电线及电缆的选用原则……77
3-2.1 导线的容许温升及最大容许持续电流……77
3-2.2 根据线路工作电流选择导线截面……77
3-2.3 根据容许电压损失选择导线截面……78
3-3 起动保护设备的选择……79
3-3.1 J2系列电动机起动保护设备及导线选择表 ……80
3-3.2 JO2系列电动机起动保护设备及导线选择表……82
3-3.3 电焊机的起动保护设备及导线选择表……86
3-3.4 吊车供电开关及导线选择表……92
3-4 电动机传动方式的选择……94
3-4.1 直接传动……94
3-4.2 皮带传动……94
3-5 电动机的安装……95
3-5.1 电动机的基础……95
3-5.2 电动机的安装与校正……95
3-6 三相异步电动机的起动……96
3-6.1 电动机起动前的准备与检查……97
3-6.2 鼠笼式电动机的直接起动……98
3-6.3 鼠笼式电动机的Y-△起动 ……99
3-6.4 鼠笼式电动机的电阻降压及电抗降压起动 ……100
3-6.5 鼠笼式电动机的自耦变压器起动 ……101
3-6.6 鼠笼式电动机的延边三角形起动 ……102
3-6.7 鼠笼式电动机的频敏变阻器起动 ……102
3-6.8 双速异步电动机起动与自动加速控制电路 ……104
3-6.9 绕线式电动机的起动 ……105
3-7 电动机的运行 ……107
3-7.1 电动机的最高容许温度和最大容许温升 ……107
3-7.2 电动机的容许电压变动 ……107

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-7.3 电动机的容许振动和轴向窜动量 ……107
3-7.4 电动机在运行中的维护 ……107
3-8 三相异步电动机的制动 ……110
3-8.1 机械制动 ……110
3-8.2 反接制动 ……111
3-8.3 能耗制动 ……111
3-9 几种常用控制电路 ……113
3-9.1 点动控制电路 ……113
3-9.2 单向起动控制电路 ……114
3-9.3 可逆起动控制电路 ……114
3-9.4 自动往返控制电路 ……115
3-10 电气保护措施……116
3-10.1 短路保护……116
3-10.2 过载保护……117
3-10.3 单相运行保护……118
3-10.4 失、欠压保护……120
3-10.5 接零保护……121
3-11 三相异步电动机的修理和完好标准……121
3-11.1 电动机的拆装与注意事项……121
3-11.2 小修与大修……123
3-11.3 电动机的完好标准……124
3-12 三相异步电动机常见故障及处理办法……128
3-13 三相异步电动机定子绕组的检修……128
3-13.1 绕组断路故障的检修……128
3-13.2 绕组通地故障的检修……129
3-13.3 绕组短路故障的检修……130
3-13.4 绕组接反时的检修……130
3-14 三相异步电动机定子绕组的重绕……132
3-14.1 绕组的种类及特点……132
3-14.2 绕组的拆除……132

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-14.3 绕制线圈……133
3-14.4 嵌放线圈……133
3-14.5 接线……134
3-14.6 浸漆与烘干……142
3-14.7 绕组及电动机特性试验……145
3-15 三相异步电动机转子绕组的修理……146
3-15.1 铸铝转子的修理……146
3-15.2 绕线转子的修理……147
3-16 三相铝线异步电动机的焊接……149
3-16.1 气焊……149
3-16.2 冷压焊……150
3-17 三相异步电动机简易计算和改制……152
3-17.1 改变导线规格的计算……152
3-17.2 电动机重绕线圈的计算……153
3-17.3 改极计算……160
3-17.4 改压计算……162
第四章 变压器……165
4-1 变压器原理及构造……165
4-1.1 变压器原理……165
4-1.2 变压器的构造……167
4-2 电源变压器的计算……170
4-2.1 小功率电源变压器的计算……170
4-2.2 单相C型电源变压器的计算……180
4-2.3 三相E型变压器的计算……201
4-3 小功率电源变压器的绕制及检验……207
4-3.1 绕制工艺……207
4-3.2 检验……213
4-4 电力变压器的选择……215
4-4.1 电力变压器的容量选择……215
4-4.2 电力变压器的技术数据……216

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4-5 电力变压器连接组别和检验 ……228
4-5.1 变压器连接组别 ……228
4-5.2 变压器的检验 ……228
4-6 电力变压器并列运行 ……236
4-6.1 并列运行的条件 ……236
4-6.2 并列运行的步骤 ……237
4-7 电力变压器维护与修理 ……237
4-7.1 运行前的检查 ……237
4-7.2 变压器的操作 ……238
4-7.3 运行时应注意的事项 ……238
4-7.4 停止运行 ……239
4-7.5 维护检修 ……239
4-8 控制用变压器技术数据 ……240
4-9 常用电焊机性能及变压器绕组数据 ……247
4-9.1 BX系列交流电焊机性能及变压器绕组数据 ……247
4-9.2 ZXG系列整流器式直流电焊机性能及
变压器绕组数据 ……255
第五章 低压电器 ……257
5-1 低压电器型号表示法及其意义 ……257
5-2 熔断器 ……260
5-2.1 有填料封闭管式熔断器 ……260
5-2.2 无填料封闭管式熔断器 ……260
5-2.3 有填料封闭管式快速熔断器 ……261
5-2.4 螺旋式熔断器 ……261
5-3 手动开关 ……262
5-3.1 常用组合开关 ……262
5-3.2 负荷开关(铁壳开关) ……262
5-3.3 开启式负荷开关(胶盖瓷底刀开关) ……263
5-3.4 熔断器式刀开关 ……263
5-4 自动开关 ……264

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-4.1 常用框架式自动开关 ……264
5-4.2 常用塑料外壳式自动开关 ……265
5-4.3 限流式自动开关 ……266
5-4.4 漏电开关 ……266
5-5 交流接触器 ……267
5-6 起动器 ……267
5-6.1 电磁起动器 ……267
5-6.2 常用星三角起动器 ……269
5-6.3 常用自耦减压起动器 ……270
5-7 控制继电器 ……271
5-7.1 交直流电流继电器 ……271
5-7.2 三相交流电磁继电器 ……271
5-7.3 电流继电器 ……272
5-7.4 常用中间继电器 ……272
5-7.5 常用时间继电器 ……272
5-7.6 常用热继电器 ……274
5-8 主令电器 ……275
5-8.1 常用微动开关 ……275
5-8.2 常用控制按钮 ……276
5-8.3 常用行程开关 ……277
5-8.4 常用万能转换开关 ……277
5-8.5 常用主令控制器 ……278
5-9 常用电阻器 ……279
5-10 电磁铁……279
5-10.1 牵引电磁铁……279
5-10.2 单相制动电磁铁……280
5-10.3 三相制动电磁铁……280
5-10.4 常用起重电磁铁……281
5-10.5 常用电磁离合器……281
5-11 控制器……232

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-11.1 常用凸轮控制器……282
5-11.2 平面控制器……282
5-12 信号灯……283
5-13 低压电器常见故障及维修……284
5-13.1 自动开关常见故障及解决方法……284
5-13.2 磁力起动器、接触器、电磁继电器等的常见故障及解决方法……286
5-14 常用低压电器线圈数据及换算公式……289
第六章 配电线路及照明……294
6-1 高压配电系统示意图……294
6-2 高压配电设备……294
6-2.1 高压配电设备的选择……294
6-2.2 高压配电系统的操作及注意事项……296
6-3 高压电器技术数据……296
6-3.1 高压熔断器……296
6-3.2 高压隔离开关……298
6-3.3 断路器……299
6-3.4 负荷开关……300
6-3.5 电压互感器……302
6-3.6 电流互感器……302
6-4 低压配电线路……305
6-4.1 低压架空线路施工一般要求……305
6-4.2 低压架空线路的结构及安装……307
6-5 户内低压线路……312
6-5.1 接户线、进户线的型式及安装……312
6-5.2 户内低压线路结构及导线选择……315
6-5.3 各种导线的连接……316
6-5.4 线夹、瓷瓶和铝片卡的固定……317
6-5.5 导线的绑扎……319
6-5.6 线路的敷设……320

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-5.7 电度表的安装 ……325
6-5.8 低压配电盘 ……326
6-6 照明 ……328
6-6.1 照明技术基本计算公式及单位 ……328
6-6.2 常用照明电光源 ……329
6-6.3 白炽灯(普通灯泡) ……329
6-6.4 低压照明灯泡 ……329
6-6.5 日光灯(荧光灯)及其使用维护 ……332
6-6.6 经济荧光灯(冷阴极自镇流式) ……339
6-6.7 照明管形卤钨灯 ……340
6-6.8 高压汞灯及其配件 ……340
6-6.9 钠灯 ……342
6-7 工厂灯具 ……343
6-8 常用照明附件 ……348
6-9 常用照明电灯线路 ……350
第七章 电工材料 ……352
7-1 导电材料 ……352
7-1.1 裸导线 ……354
7-1.2 电磁线 ……363
7-1.3 通用绝缘电线 ……368
7-1.4 电缆 ……370
7-1.5 各种规格导线的安全载流量和铜丝的熔断电流 ……372
7-1.6 常用低压熔丝规格 ……376
7-1.7 新老产品代替对照表及线规对照表 ……378
7-2 绝缘材料 ……381
7-2.1 常用绝缘材料分类及耐热等级 ……381
7-2.2 电工用薄膜、粘带及复合材料 ……383
7-2.3 绝缘漆布、绝缘层压板及印刷电路用敷铜箔层压板 ……385
7-2.4 云母材料 ……387
7-2.5 电瓷 ……388

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-2.6 铁绑线 ……393
7-2.7 绝缘漆 ……393
7-2.8 绝缘油 ……396
7-3 电阻与电热材料 ……399
7-3.1 电阻材料 ……399
7-3.2 电热材料和元件 ……401
7-3.3 远红外电热元件 ……404
7-3.4 热电偶 ……412
7-4 磁性材料 ……412
7-4.1 磁性材料分类 ……412
7-4.2 电工硅钢板 ……413
7-5 其他材料 ……415
7-5.1 电刷 ……415
7-5.2 润滑油和润滑脂 ……416
7-5.3 胶粘剂 ……418
7-5.4 滚动轴承 ……423
7-5.5 皮带 ……427
第八章 常用电工仪表 ……431
8-1 电测仪表的基本知识 ……431
8-1.1 电测仪表的等级及分类 ……431
8-1.2 电测仪表的主要技术指标 ……431
8-1.3 常用开关板式仪表的型号意义 ……437
8-2 控制测量用仪表 ……437
8-2.1 电流表和电压表 ……437
8-2.2 功率表和千乏表(无功功率表) ……447
8-2.3 电度表 ……449
8-2.4 三相功率因数表 ……451
8-2.5 频率表 ……453
8-2.6 记录仪表 ……455
8-3 维护检修常用仪表 ……456

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8-3.1 万用表 ……456
8-3.2 兆欧表 ……459
8-3.3 钳形表 ……465
8-3.4 直流电桥 ……466
8-3.5 交流电桥 ……470
8-3.6 直流电位差计 ……471
8-4 常用数字仪表 ……474
8-5 示波器的使用和注意事项 ……476
8-5.1 示波器的组成 ……477
8-5.2 示波器的使用方法 ……477
8-5.3 示波器使用注意事项 ……480
第九章 电子元器件 ……482
9-1 国产半导体器件型号命名方法 ……482
9-2 晶体二极管 ……483
9-2.1 晶体二极管的特性和简易测试 ……483
9-2.2 晶体二极管使用注意事项 ……485
9-2.3 常用晶体二极管的型号及主要参数 ……487
9-3 稳压二极管 ……494
9-3.1 稳压二极管的特性及主要参数说明 ……494
9-3.2 稳压二极管的应用 ……496
9-3.3 常用稳压管的型号及主要参数 ……498
9-4 晶体三极管 ……500
9-4.1 晶体三极管的特性及工作状态 ……500
9-4.2 晶体三极管的接法 ……502
9-4.3 晶体三极管基本偏置电路 ……506
9-4.4 晶体三极管的简易测试 ……506
9-4.5 常用晶体三极管的型号及主要参数 ……511
9-5 单结晶体管 ……528
9-5.1 单结晶体管的特性及简易测试 ……529
9-5.2 单结晶体管的应用 ……530

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-5.3 常用单结晶体管的型号及主要参数 ……532
9-6 场效应管 ……534
9-6.1 场效应管的结构和特性 ……534
9-6.2 场效应管的应用及注意事项 ……537
9-6.3 常用场效应管的型号及主要参数 ……537
9-7 光电耦合器 ……543
9-7.1 光电耦合器的特性 ……544
9-7.2 光电耦合器的应用 ……545
9-7.3 常用光电耦合器的型号及主要参数 ……546
9-8 可控硅元件 ……547
9-8.1 可控硅元件的特性及简易测试方法 ……550
9-8.2 可控硅整流电路 ……558
9-8.3 可控硅元件的保护 ……562
9-8.4 可控硅元件对触发电路的要求 ……572
9-8.5 可控硅元件的型号及主要参数 ……572
9-9 常用的半导体集成电路 ……575
9-9.1 半导体集成电路的型号命名和外形识别 ……576
9-9.2 双极型数字集成电路 ……577
9-9.3 MOS型数字集成电路……589
9-9.4 线性集成电路 ……591
9-9.5 常用集成电路的型号及主要技术参数 ……595
9-10 国产电子管命名方法及其特性参数……613
9-11 电阻器、电位器、电容器型号命名，标称值及性能比较……623
9-11.1 电阻器、电位器，电容器型号命名方法……623
9-11.2 标称值……625
9-11.3 各种电阻体、电位器的性能比较和电容器的选择……627
第十章 常用电气设备的维修 ……631
10-1 机床电气设备的一般维修……631
10-1.1 机床电气设备的保养项目……631
10-1.2 机床电气设备的大修项目……632

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10-2 C620-1 普通车床的电气维修 ……633
10-3 Z37 摇臂钻床的电气维修……636
10-4 X62W 万能铣床的电气维修……639
10-5 M7130 卧轴平面磨床的电气维修 ……643
10-6 电焊机的电气维修……646
10-7 手电钻的电气维护……650
10-8 铅蓄电池的使用与维护……653
10-9 家用电风扇的使用与维护……659
10-10 家用洗衣机的使用与维护 ……666
10-11 家用电冰箱的使用与维护 ……670
10-12 电熨斗的使用与维护 ……675
10-13 电吹风机的主要性能及维护 ……677
第十一章 安全用电 ……681
11-1 安全用电的意义……681
11-2 触电的几种形式……681
11-2.1 单相触电……681
11-2.2 双相触电……681
11-2.3 跨步电压触电……681
11-2.4 接触电压触电……681
11-3 发生触电事故的原因及预防措施……682
11-3.1 发生触电事故的原因……682
11-3.2 预防……682
11-4 常用电气安全工具……683
11-5 触电紧急救护……684
11-6 接地和接零装置……687
11-6.1 为什么要接地与接零……687
11-6.2 接地体及接地线的选择……688
11-6.3 接地装置的安装……690
11-6.4 接地电阻的简易测量……694
11-7 防雷保护……695

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附　录 ……698
附表 1　常用长度换算表 ……698
附表 2　面积换算表 ……699
附表 3　体积换算表 ……700
附表 4　角度换算表 ……701
附表 5　速度换算表 ……701
附表 6　压力换算表 ……702
附表 7　功与功率换算表 ……703
附表 8　质量换算表 ……704
附表 9　常用温度刻度表 ……705
附表 10　空气湿度表 ……706
附表 11　常用的物理量 ……707
附表 12　国外常用电路图形符号 ……708

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第一章　常用计算公式及基础资料

1-1　常用计算公式

1-1.1　电流强度的计算

每秒钟流过导体横截面的电量，称为电流强度，简称电流，以 I 表示，单位为安培(A)，简称安。

$$I=\frac{q}{t}(\text{安})$$

式中　q——流过导体横截面的电量(库仑)；

t——时间(秒)。

1-1.2　电压的计算

单位正电荷由高电位移向低电位时电场力所作的功，称为电压，用 U 表示，单位为伏特(V)，简称伏。

$$U=\frac{W}{q}(\text{伏})$$

式中　W——电场力所作的功(焦耳)；

q——电量(库仑)。

1-1.3　电阻与电导的计算

1.　导体电阻的计算

电荷在导体内移动时，导体阻碍电荷移动的能力称为电阻，用 R 表示，单位为欧姆(Ω)，简称欧。

$$R=\rho\frac{l}{S}(\text{欧})$$

式中　ρ——电阻系数，又称导体的电阻率(欧·毫米^2/米)；

l——导体的长度(米)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

S——导体的截面积(毫米²)。

2. 电导系数的计算

电阻系数(ρ)的倒数称为电导系数，又称电导率，用γ表示，单位为米/欧·毫米²。

$$\gamma=\frac{l}{\rho}\text{(米/欧·毫米²)}$$

电导系数与电阻的关系是

$$\gamma=\frac{l}{RS}\qquad R=\frac{l}{\gamma S}$$

3. 电阻与温度的关系

$$R_2=R_1[1+\alpha(t_2-t_1)]\text{(欧)}$$

$$t_2-t_1=\frac{R_2-R_1}{R_1\alpha}\text{(度)}$$

式中 t_1、t_2——分别为导体的温度(度)；

R_1——温度为t_1时导体的电阻(欧)；

R_2——温度为t_2时导体的电阻(欧)；

α——导体电阻的温度系数。

1-1.4 欧姆定律

1. 部分直流电路的欧姆定律(见图1-1)。

$$I=\frac{U}{R}\text{(安)}$$

$$U=IR\text{(伏)}$$

$$R=\frac{U}{I}\text{(欧)}$$

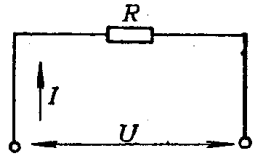


图 1-1 部分直流电路图

式中 U——电路两端的电压(伏)；

I——电路中的电流(安)；

R——电路中的电阻(欧)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 全电路欧姆定律 在闭合直流电路中，电流的大小与电源的电动势成正比，与全部电路中的电阻总和成反比。关系式如下，电路见图 1-2。

$$I=\frac{E}{r+R}\text{(安)}$$

式中 E——电源的电动势(伏)；

I——电路中的电流(安)；

r——电源的内阻(欧)；

R——电路中的电阻(欧)。

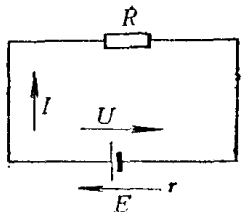


图 1-2 全电路欧姆定律的电路图

3. 交流电路的欧姆定律

$$I=\frac{U}{Z}$$

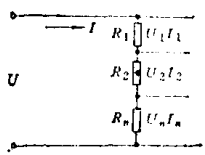
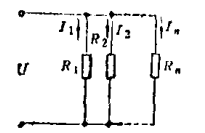
式中 I——电流(安)；

U——电压(伏)；

Z——阻抗(欧)。

1-1.5 电路中电阻值的计算

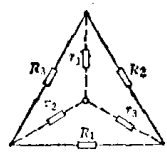
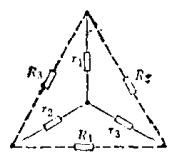
表 1-1 电 阻 的 连 接

方式	连 接 图	等值参数的计算	电路中的电压	电路中的电流
串联		总电阻等于各电阻之和 $R_{总}=R_1+R_2+\cdots+R_n$	总电压等于各段电压之和 $U_{总}=U_1+U_2+\cdots+U_n$	各支路电流均和总电流相等 $I_{总}=I_1=I_2=\cdots=I_n$
并联		总电阻的倒数等于各电阻倒数之和 $\frac{1}{R_{总}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_n}$	各电阻两端的电压相等，并等于外加电压 $U_{总}=U_1=U_2=\cdots=U_n$	总电流等于各支路电流之和 $I_{总}=I_1+I_2+\cdots+I_n$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 1-2　电阻的星形连接与三角形连接的互换关系

变换形式	变换图	等值参数	注
星形变成三角形		$R_1=\frac{r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1}{r_1}$ $R_2=\frac{r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1}{r_2}$ $R_3=\frac{r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1}{r_3}$	此公式可记为两电阻的乘积之和，用对面电阻来除
三角形变成星形		$r_1=\frac{R_2R_3}{R_1+R_2+R_3}$ $r_2=\frac{R_3R_1}{R_1+R_2+R_3}$ $r_3=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2+R_3}$	此公式可记为两电阻的乘积，用三个电阻之和来除

1-1.6　电路中电容量的计算

电容量的计算公式为：

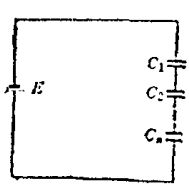
$$C=\frac{Q}{U}(\text{法})$$

式中　Q——进入电容器的电荷量(库仑)；

U——电容器两端的电压(伏)；

C——电容器的电容量(法)。

表 1-3　电 容 的 连 接

方式	连接图	公式
串联		$\frac{1}{C_{总}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots+\frac{1}{C_n}$ 若 n 个电容量相等的电容 C_0 串联时，则 $C_{总}=\frac{C_0}{n}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

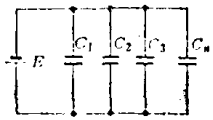
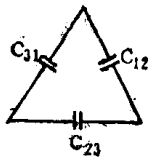
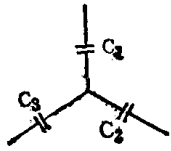
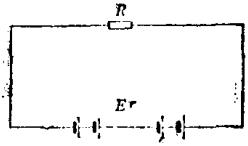
方式	连接图	公式
并联		$C_{总}=C_1+C_2+\cdots+C_n$ 若 n 个电容量相等的电容 C_0 并联时，则 $C_{总}=nC_0$

表 1-4　电容的三角形、星形连接的互换关系

变换形式	变换图	等值参数
星形变成三角形		$C_{12}=\dfrac{C_1\cdot C_2}{C_1+C_2+C_3}$ $C_{23}=\dfrac{C_2\cdot C_3}{C_1+C_2+C_3}$ $C_{31}=\dfrac{C_3\cdot C_1}{C_1+C_2+C_3}$
三角形变成星形		$C_1=C_{12}+C_{31}+\dfrac{C_{12}\cdot C_{31}}{C_{23}}$ $C_2=C_{23}+C_{12}+\dfrac{C_{23}\cdot C_{12}}{C_{31}}$ $C_3=C_{31}+C_{23}+\dfrac{C_{31}\cdot C_{23}}{C_{12}}$

1-1.7　电池阻的连接及计算

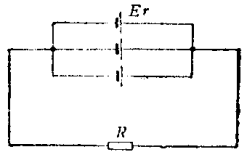
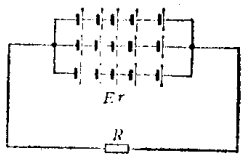
表 1-5　电池组的连接

方式	连接图	公式
串联	 (a)	$I=\dfrac{nE}{R+nr}$ 在 $R\gg r$ 时 $I\approx\dfrac{nE}{R}$ 在 $R\ll r$ 时 $I\approx\dfrac{E}{r}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

方式	连接图	公式
并联	 (b)	$I=\dfrac{E}{R+\dfrac{r}{n}}$ 在 $R\gg r$ 时 $I\approx\dfrac{E}{R}$ 在 $R\ll r$ 时 $I\approx\dfrac{nE}{r}$
混联	 (c)	$I=\dfrac{nE}{R+\dfrac{nr}{m}}$ n 个电池串联后又与 m 串电池并联

式中：R-外电阻(欧)；r-电源的内电阻(欧)；E-电源电压(伏)；
I-电路中的电流(安)；n-每串电池数；m-电池串数。

1-1.8 电源的串联和并联计算

表 1-6 电源的串联和并联计算表

方式	电压公式	电流公式
串联	$E_{总}=E_1+E_2+\cdots+E_n$	$I_{总}=I_1=I_2=\cdots=I_n$
并联	$E_{总}=E_1=E_2=\cdots=E_n$	$I_{总}=I_1+I_2+\cdots+I_n$

1-1.9 基尔霍夫定律及其计算

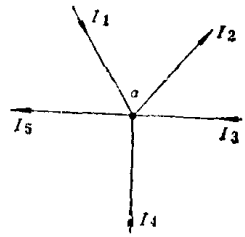
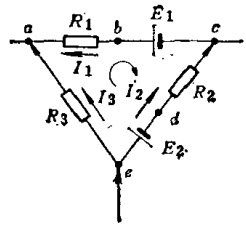
表 1-7 基尔霍夫定律及其计算表

名称	基尔霍夫第一定律	基尔霍夫第二定律
定律内容	对于任何节点而言，所有流进节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即 $\Sigma I_r=\Sigma I_{ch}$	在任何一个闭合回路中，各段电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。即 $\Sigma IR=\Sigma E$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	基尔霍夫第一定律	基尔霍夫第二定律
定律的另一种形式	对于任何节点，流出(或流入)该节点的电流代数和恒等于零，即　$\Sigma I=0$	从一点出发绕回路一周回到该点时，各段电压的代数和恒等于零，即　$\Sigma U=0$
图　例	(a)  对节点 a 有如下关系： $\Sigma I=-I_1+I_2-I_3-I_4+I_5=0$	(b)  对回路有如下关系： $\Sigma U=U_{ac}+U_{ce}+U_{ea}$ $=-I_1R_1-I_2R_2+I_3R_3+E_1$ $-E_2=0$

1-1.10　电功及电功率的计算

电流所做的功叫电功，算式如下：

$$W=qU=UIt=I^2Rt=\frac{U^2}{R}t\ (\text{焦耳})$$

式中　q——通过导线横截面的电量(库仑)；

I——通过电阻的电流(安)；

U——电阻两端的电压(伏)；

R——电阻(欧)；

t——时间(秒)。

单位时间内电流所做的功叫电功率(简称功率)，算式如下：

$$P=\frac{W}{t}=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}(\text{瓦})$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在实际生产中电功常用的单位是“度”。1度表示功率1千瓦的电器设备使用1小时所消耗的电能，即

1度＝1千瓦×1小时＝1千瓦·小时

1-1.11 电流的热效应(焦耳-楞次定律)

$$Q=0.24I^2Rt=0.24IUt=0.24\frac{U^2}{R}t\ (卡)$$

式中 Q——热量(卡)；　I——电流(安)；

U——电压(伏)；　R——电阻(欧)；

t——时间(秒)。

1-1.12 电流的化学效应

$$M=10.36\frac{A}{n}It\times10^{-8}(克)$$

式中 M——电极上析出物质的质量(克)；

A——物质的原子量；

I——电流(安)；

n——物质的原子价；

t——时间(秒)。

1-1.13 交流电路中的关系式

1. 交流电的有效值U_E、I_E、平均值U_A、I_A和最大值U_{max}、I_{max}的关系。

表 1-8 交流电的有效值、平均值与最大值的关系

	电压	电流	电动势
有效值与最大值的关系	$U_E=\frac{U_{max}}{\sqrt{2}}=0.707U_{max}$	$I_E=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}=0.707I_{max}$	$E_E=\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}=0.707E_{max}$
平均值与最大值的关系	$U_A=\frac{2}{\pi}U_{max}=0.637U_{max}$	$I_A=\frac{2}{\pi}I_{max}=0.637I_{max}$	$E_A=\frac{2}{\pi}E_{max}=0.637E_{max}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 交流电的瞬时值 u_s、i_s 与最大值的关系。

$$u_s = U_{max} \sin \omega t$$

$$i_s = I_{max} \sin (\omega t - \phi)$$

3. 交流电路中周期 T、角频率（角速度）ω、频率 f 与转速 n 的关系。

$$T = \frac{1}{f} (秒)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f (弧度/秒)$$

$$n = \frac{60f}{p} \quad (转/分)$$

式中 p——电动机磁极对数。

4. 功率和功率因数的计算

表 1-9 交流电路中功率和功率因数的计算

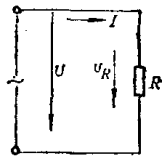
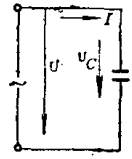
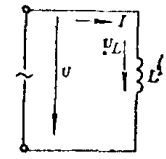
项目	公式	单位
有功功率	$P = UI\cos\varphi = S\cos\varphi$	瓦
视在功率	$S = UI$	伏安
无功功率	$Q = UI\sin\varphi = S\sin\varphi$	乏
功率因数	$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$	

1-1.14 交流电路中纯电阻、纯电容和纯电感的计算

www.789pdf.com 789书库网

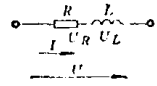
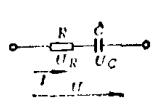
www.789pdf.com 789书库网

表 1-10　交流电路中纯电阻、纯电容和纯电感的计算

	纯电阻电路 (R)	纯电容电路 (C)	纯电感电路 (L)
电路图	 (a)	 (b)	 (c)
电流与电压的数量关系式	$U_R = IR$ $I = \frac{U_R}{R}$	$U_C = \frac{I}{\omega C}$ $I = \frac{U_C}{X_C}$ $X_C = \frac{I}{\omega C} = \frac{I}{2\pi fC}$ 为容抗(Ω)	$U_L = \omega LI$ $I = \frac{U_L}{X_L}$ $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 为感抗(Ω)
平均功率	$P = U_R I$	$P_C = 0$	$P_L \approx 0$
无功功率	$Q = 0$	$Q_C = U_C I = I^2 X_C$ $= \omega C U^2_C$ $= 2\pi fC U^2_C$	$Q_L = U_L I$ $= \omega L I^2$ $= 2\pi fL I^2$

1-1.15　交流电路中阻抗的计算

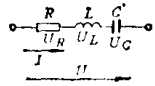
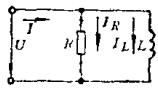
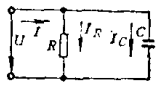
表 1-11　交流电路中电阻、电容和电感串、并联的阻抗计算

方式	电路图	计算公式
电阻电感串联	(a) 	$Z = \sqrt{R^2 + X^2_L}$ 式中 X_L——感抗 $X_L = 2\pi fL$(欧) L——电感(亨) f——频率(赫)
电阻电容串联	(b) 	$Z = \sqrt{R^2 + X^2_C}$ 式中 X_C——容抗 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$(欧) C——电容(法)

www.789pdf.com 789书库网

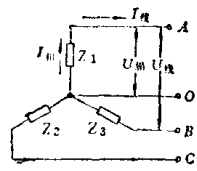
www.789pdf.com 789书库网

续表

方式	电路图	计算公式
电阻 电感 电容 串联	(c) 	$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$ 式中 $X_L-X_C=X$(欧) X——电抗
电阻 电感 并联	(d) 	$Z=1\Big/\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{X_L}\right)^2}$ 式中 $\frac{1}{R}=g$(电导) $\frac{1}{X_L}=b_L$(感纳)
电阻 电容 并联	(e) 	$Z=1\Big/\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{X_C}\right)^2}$ 式中 $\frac{1}{X_C}=b_C$(容纳)
电阻 电感 电容 并联	(f)	$Z=1\Big/\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+\left(\frac{1}{X_L}-\frac{1}{X_C}\right)^2}$ 式中 $\frac{1}{X_L}-\frac{1}{X_C}=b$(电纳)

1-1.16 三相交流电路中负载的连接

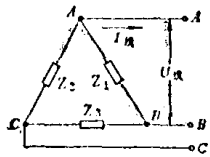
表 1-12 三相交流电路负载的连接

接法	图形	线电压与相电压关系式	线电流与相电流关系式
星形连接 (Y)	① 	$U_L=\sqrt{3}U_X$	$I_L=I_X$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

接法	图形	线电压与相电压关系式	线电流与相电流关系式
三角形连接(△)	② 	$U_L=U_X$	$I_L=\sqrt{3}I_X$

注：U_L、U_X、I_L和I_X分别为线电压、相电压、线电流和相电流。

1-1.17 三相交流电路中的功率计算

表 1-13 三相交流电路中的功率计算

形式	项目	公式	单位	说明
对称三相电路的功率	有功功率	$P=3U_XI_X\cos\varphi=\sqrt{3}U_LI_L\cos\varphi$	瓦	U_X——相电压 I_X——相电流 U_L——线电压 I_L——线电流 φ——相电压与相电流的相角
	无功功率	$Q=3U_XI_X\sin\varphi=\sqrt{3}U_LI_L\sin\varphi$	乏	
	视在功率	$S=3S_X=3U_XI_X=\sqrt{3}U_LI_L$	伏安	
	功率因数	$\cos\varphi=\frac{P}{S}$		
不电对路的称三功相率	有功功率	$P=P_A+P_B+P_C$	瓦	P_A，P_B，P_C——每相有功功率
	无功功率	$Q=Q_A+Q_B+Q_C$	乏	Q_A，Q_B，Q_C——每相无功功率

1-1.18 电磁感应定律

$$E=4.44fNB_mS\times10^{-8}=4.44fN\phi_m\times10^{-8}(\text{伏})$$

式中 E——外加电动势(伏)；

N——线圈匝数；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Φ_m——磁通(麦)；

f——频率(赫)；

B_m——铁心磁感应强度的最大值(高斯)；

S——铁心有效截面积(厘米^2)。

1-2 基础资料

1-2.1 电工常用基本符号

表 1-14 电工常用基本符号

名称	符号	名称	符号	名称	符号
安培表	A	电感器	L	接触器	C
毫安表	mA	直流电动机	ZLD	起动器	Q
微安表	μA	交流电动机	JLD	整流器	ZL
伏特表	V	鼠笼电动机	LD	避雷器	BL
毫伏表	mV	异步电动机	YD	滤波器	LB
瓦特表(有功功率表)	W	电焊机	DH	调节器	T
		隔离开关	GLK	分压器	FY
乏表(无功功率表)	var	开关	K	分流器	FL
		刀开关	DK	控制器	KZ
频率表	Hz	转换开关	HK	选择器	Z
功率因数表	cosφ	控制开关	KK	选组器	XZ
瓦时表	Wh	自动开关	ZK	预选器	YX
安时表	Ah	按钮	AN	终接器	ZO
乏时表(无功电度表)	varh	电键	DJ	稳压器	WY
		电池	DC	稳流器	WL
欧姆表	Ω	电铃	DL	调压器	TY
兆欧表	MΩ	电炉	DL	调相器	TX
相位表	φ	电容器	C	电热器	DR
温度表	T	电抗器	DK	电桥	DQ
转速表	n	变压器	B	信号	X
测量仪表	CB	互感器	H	起动	Q
电阻器	R	熔断器	RD	工作	G

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	符　号	名　称	符　号	名　称	符　号
停　止	T	中间继电器	ZJ	测速发电机	CSF
手　动	S	传 声 器	S	电　压	Y
联　锁	LS	扬 声 器	Y	电　流	L
磁　头	CK	检 波 器	JB	母　线	M
耳　机	CT	匹 配 器	PP	高	G
天　线	CD	示 波 器	SB	低	D
地　线	DX	自耦变压器	ZOB	升	S
插　孔	CK	控制变压器	KB	降	J
插　头	CT	电力变压器	LB	正	Z
插　座	CZ	整流变压器	ZLB	反	F
直　流	ZL	发 电 机	F	终	ZO
交　流	JL	电 动 机	D	红	H
继 电 器	J	励 磁 机	L	绿	L
电流继电器	LJ	放 大 机	FD	黄	U
电压继电器	YJ	电 报 机	DB	白	B
时间继电器	SJ	电 话 机	DH	蓝	A
热 继 电 器	RJ	变 流 机	BL		

1-2.2　电工常用计量单位及符号

表 1-15　电工常用计量单位及符号

物　理　量		计　量　单　位			
名　称	符　号	基　本　单　位		辅　助　单　位	
		名　称	符　号	名　称	符　号
电量、电荷	$Q(q)$	库　仑	C		
电流强度（电流）	I、i	安培(安)	A	千　安 毫　安 微　安	kA(1kA = 10^3A) mA(1mA = 10^{-3}A) μA(1μA = 10^{-6}A)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

物理量名称	物理量符号	计量单位 基本单位 名称	基本单位 符号	辅助单位 名称	辅助单位 符号
电流密度	J、j	安/毫米^2	A/mm^2		
电压 电压降 电位 电势 电动势	V、U、v、u E、e	伏特(伏)	V	千伏 毫伏 微伏	kV(1kV = 10^3V) mV(1mV = 10^{-3}V) μV(1μV = 10^{-6}V)
电阻	R、r	欧姆(欧)	Ω	兆欧	MΩ(1MΩ = 10^6Ω)
电阻率	ρ	欧·毫米^2/米	Ω·mm^2/m		
电阻温度系数	α				
电感(自感) 互感	L $L_m(M)$	亨利(亨)	H	毫亨 微亨	mH(1mH = 10^{-3}H) μH(1μH = 10^{-6}H)
电容	C	法拉(法)	F	微法 微微法	μF(1μF = 10^{-6}F) pF(1pF = 10^{-12}F)
感抗	X_L	欧姆(欧)	Ω		
容抗	X_C	欧姆(欧)	Ω		
阻抗	Z、z	欧姆(欧)	Ω		
频率	f	赫兹(赫) (周/秒)	Hz (C/s)	千赫 兆赫	kHz(1kHz = 10^3Hz) MHz(1MHz = 10^6Hz)
周期	T	秒	s		
波长	λ	米	m	厘米 埃	cm(1cm = 10^{-2}m) Å(1Å = 10^{-8}cm)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

物理量		计量单位			
名称	符号	基本单位		辅助单位	
		名称	符号	名称	符号
功率——有功功率（平均功率）	P	瓦特（瓦）	W	毫瓦 千瓦	mW（$1mW=10^{-3}W$） kW（$1kW=10^{3}W$）
无功功率	Q	乏	var	千乏	kvar（$1kvar=10^{3}var$）
视在功率（表观功率）	$P_S(S)$	伏安	VA	千伏安	kVA（$1kVA=10^{3}VA$）
功率因数	$\cos\varphi$				
磁感应强度（磁通密度）	B	特斯拉（韦伯/米^2）	T（Wb/m^2）	高斯	G_S（$1G_S=10^{-4}T$）
磁通量	Φ_m、Φ_m（ϕ）	韦伯	Wb	麦克斯韦	M_X（$1M_X=10^{-8}Wb$）

1-2.3 电工系统图图形符号

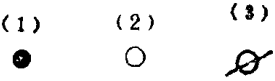
表 1-16 电工系统图图形符号（GB312-64）

名称	图形符号
直流电	——
交流电的一般符号	～
相数 m、频率 f 的交流电 例如：3 相 50Hz 的交流电	$m\sim f$ 3～50Hz

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

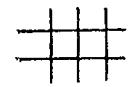
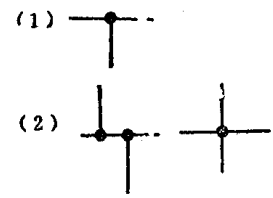
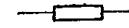
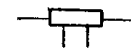
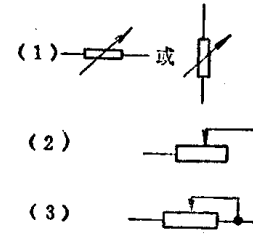
续表

名　　称	图　形　符　号
相数 m、频率 f 和电压 U 的交流电 例如：3相50Hz220V的交流电	$m\sim fU$ 3～50Hz220V
中性线	N
交流电的相序 A相(第一相) B相(第二相) C相(第三相)	
正　极	+
负　极	−
星形连接的三相绕组	Y
三角形连接的三相绕组	△
电气连接的一般符号 表示电气连接是可拆卸的(例如端子)应用符号(3)	(1)　(2)　(3) 
接机壳	
接　地	
导线、电缆及母线 (1) 一般符号 (2) 导线及电缆 (3) 母　线	(1) (2) (3)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

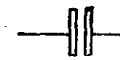
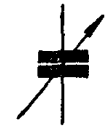
续表

名　　称	图　形　符　号
不连接的跨越导线	
互相连接的交叉导线	
导线的分支线 (1) 单分支 (2) 双分支	
电阻的一般符号	
有抽头的固定电阻	
变阻器(可调电阻) (1) 一般符号 (2) 可断开电路的 (3) 不断开电路的	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

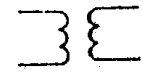
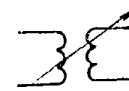
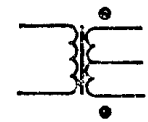
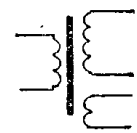
续表

名　　称	图　形　符　号
电位器的一般符号	
电容器的一般符号	
电解电容器 (1) 有极性的(容许不标注正负号) (2) 无极性的	(1) (2) 
可变电容器	
电感线圈	
带抽头的电感线圈	
有铁心的电感线圈	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

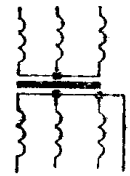
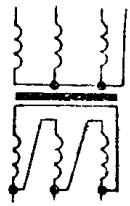
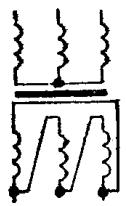
续表

名　　称	图　形　符　号
电抗器	
无铁心变压器 (1) 固定耦合 (2) 可变耦合	(1)  (2) 
有铁心的单相双绕组变压器	
有中点抽头并有铁心的单相双绕组变压器 (差动变压器)	
有抽头并有铁心的单相双绕组变压器	
有铁心的单相三绕组变压器	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

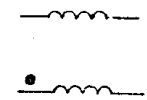
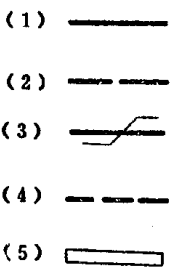
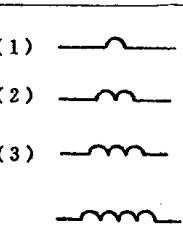
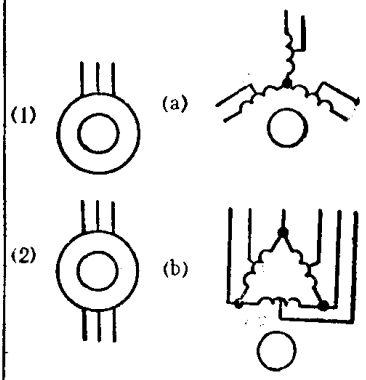
续表

名　　称	图　形　符　号
有铁心的三相双绕组变压器 绕组连接：星形-有中性点引出线的星形	
有铁心的三相双绕组变压器 绕组连接：有中性点引出线的星形-三角形	
有铁心的三相双绕组变压器 绕组连接：星形-三角形	
有铁心的单相自耦变压器	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

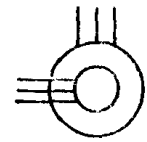
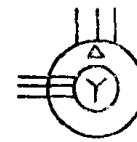
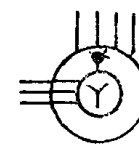
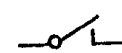
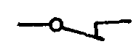
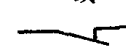
续表

名　　称	图　形　符　号
变压器绕组 注：① 在绕组符号中，半圆形数目不作规定； ② 可以用一点表示绕组的起端。	
电感线圈及变压器的铁心 (1) 铁　心 (2) 带空气隙的铁心 (3) 工作在饱和状态的铁心 (4) 铁氧体心(线段数不应少于三段) (5) 非磁性心	
旋转电机的绕组 (1) 换向绕组 (2) 补偿绕组 (3) 交流电机定子绕组(每相)或直流电机励磁绕组 如需将并励绕组和串励绕组区别，可以用四个半圆表示并励绕组	
三相鼠笼异步电动机 如需表示电机定子绕组连接方式，可用如下符号： (1) 定子绕组有六个出线端 (2) 定子绕组能换接成两种极数的双速电动机 (a) 从星形换成双星形 (b) 从三角形换成双星形	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

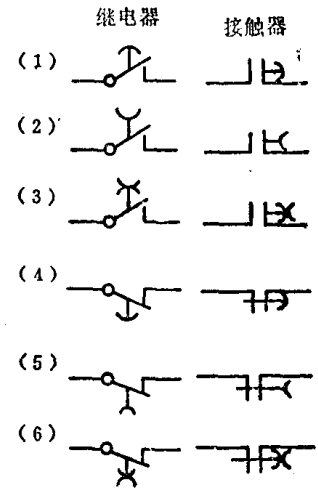
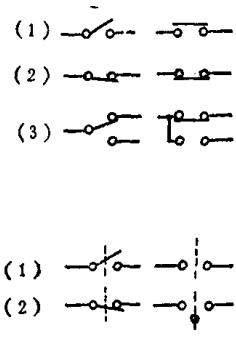
续表

名　　称	图　形　符　号
三相滑环异步电动机 如需表示电机的定子、转子绕组连接方式，可用如下符号： (1) 定子绕组三角形连接、转子绕组星形连接 (2) 定子绕组星形连接并有中性点引出线，转子绕组星形连接	 (1)  (2) 
继电器触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点	(1)  或 (2)  或 
接触器、起动器、动力控制器的触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

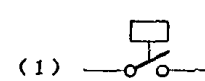
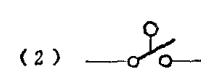
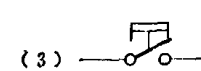
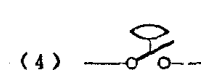
续表

名　　称	图　形　符　号
带时限的继电器和接触器的触点 (1) 延时闭合的动合(常开)触点 (2) 延时开启的动合(常开)触点 (3) 延时闭合与开启的动合(常开)触点 (4) 延时闭合的动断(常闭)触点 (5) 延时开启的动断(常闭)触点 (6) 延时闭合与开启的动断(常闭)触点	
开关和转换开关触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点 (3) 切换触点 注：在表示复杂系统图的开关和转换开关时，允许采用下列触点符号： (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点 当采用左边符号时，应在图上另作触点工作图表	
自动开关的动合(常开)触点	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

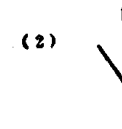
续表

名　　称	图　形　符　号
带灭弧装置的触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点	(1) (2)
带电磁吹弧线圈的触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点	(1) (2)
保持触点 (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点 注：表示锁键的三角允许涂黑	(1) (2)
非电继电器(反映非电物理量的变化)触点 (1) 一般符号 (2) 机械式 (3) 气压或液压式(例如压力继电器) (4) 液位式(例如浮子继电器)	(1)  (2)  (3)  (4) 

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

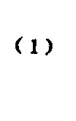
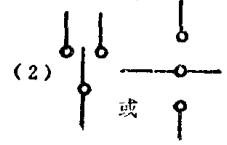
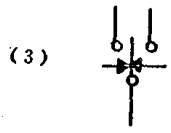
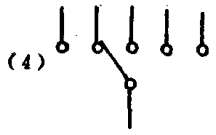
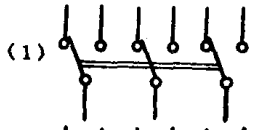
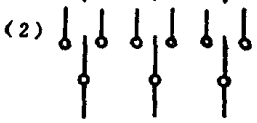
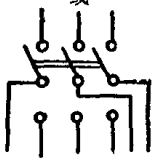
续表

名　　称	图　形　符　号
单极开关	(1) 或 (2) 
多极开关(例如三极)	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

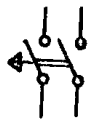
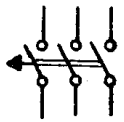
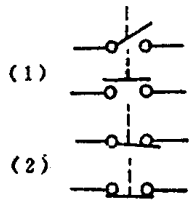
续表

名　　称	图　形　符　号
单极转换开关 (1) 两个位置	(1) 
(2) 三个位置	(2)  或
(3) 三个位置，在中间位置有固定机构	(3) 
(4) 多个位置	(4) 
多极转换开关(例如三极) (1) 两个位置	(1) 
(2) 三个位置	(2)  或 

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

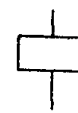
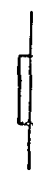
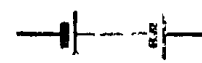
续表

名　　称	图　形　符　号
二极自动开关(二极自动空气断路器)	
三极自动开关(三极自动空气断路器)	
与工作机械联动的开关（如线路开关、极限开关、微动开关、连锁开关） (1) 动合(常开)触点 (2) 动断(常闭)触点	
插接器的一般符号	
带动合(常开)触点，能自动返回的按钮	
带动断(常闭)触点，能自动返回的按钮	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

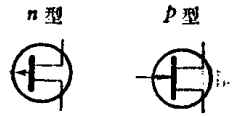
续表

名　　称	图　形　符　号
带动合(常开)和动断(常闭)触点，能自动返回的按钮	
带闭锁装置的按钮	
继电器、接触器和磁力起动器的线圈	
熔断器	
原电池或蓄电池 注：容许不注出极性符号	
原电池组或蓄电池组	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

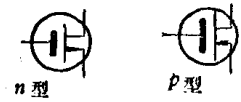
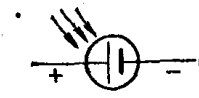
续表

名　　称	图　形　符　号
温差电偶(热电偶) 注：图形的细线为正极	
半导体二极管，或由一个及若干个整流元件串联、并联或混联的半导体整流器 注：三角形顶点指向导电率最大的方向	
点接触或面接触的 p-n-p 型半导体管	
点接触或面接触的 n-p-n型半导体管	
硅稳压管	
结型场效应管	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　　称	图　形　符　号
绝缘栅场效应管	
单结晶体管	
光电三极管	
光电池	
可控硅管	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二章 电 动 机

2-1 电动机的分类

电动机的种类很多，按电源的性质可分为直流电动机和交流电动机两大类型，其详细分类参见图 2-1。

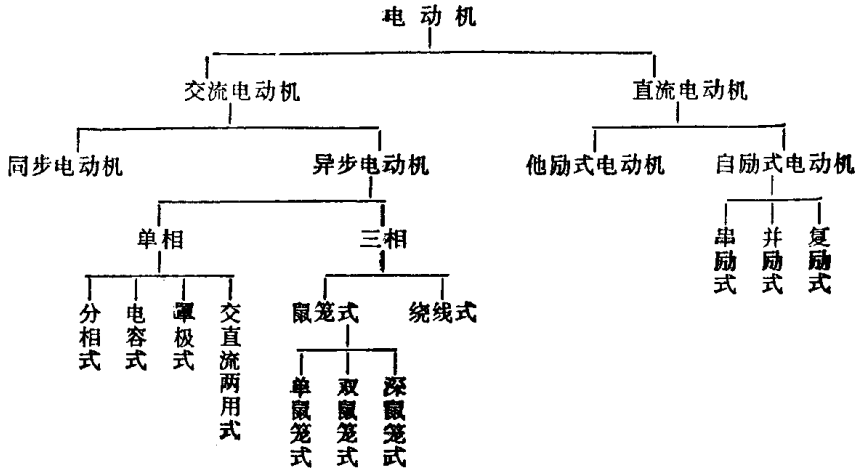


图 2-1 电动机的分类

由于交流异步电动机具有结构简单、坚固耐用、价格便宜、工作可靠、效率较高、维护容易等优点，是应用最广泛的电动机，故是本章研究的主要对象

2-2 三相异步电动机的运转原理

图 2-2a 为异步电动机的简单模型图。在一个可旋转的马

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

蹄形磁铁中，放置一个可自由转动的鼠笼状短路绕组。当转动马蹄形磁铁时，鼠笼就会跟着它朝相同方向旋转。这是因为磁铁转动后，它的磁力线切割鼠笼的导体，在导体中产生感应电动势，根据右手定则，可确定电动势的方向（鼠笼上半部导体的电动势的方向朝里，用符号⊗表示，下半部导体的电动势方向朝外，用符号⊙表示），如图 2-2b 所示。由于鼠笼导体是短路的，因此在电动势作用下，导体中就有电流流通，电流方向与电动势方向相同。带电导体中的电流在磁场中要受力 F 的作用，F 的方向可用左手定则来决定。在图 2-2b 中，鼠笼式电动机的上半部与下半部所受力的方向相反，大小相等，因此形成转矩。这个转矩将使鼠笼顺着磁场的转向转动起来，这就是异步电动机简单运转原理。

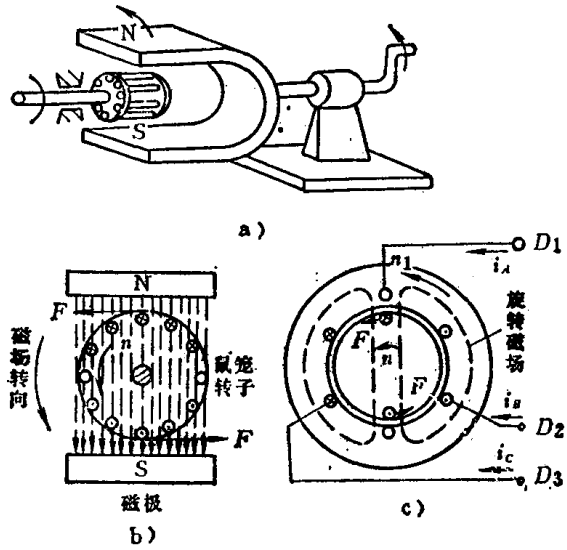


图 2-2　异步电动机原理示意图

a)手摇旋转磁场模型　b)电磁关系图　c)三相旋转磁场异步电动机

www.789pdf.com 789书库网

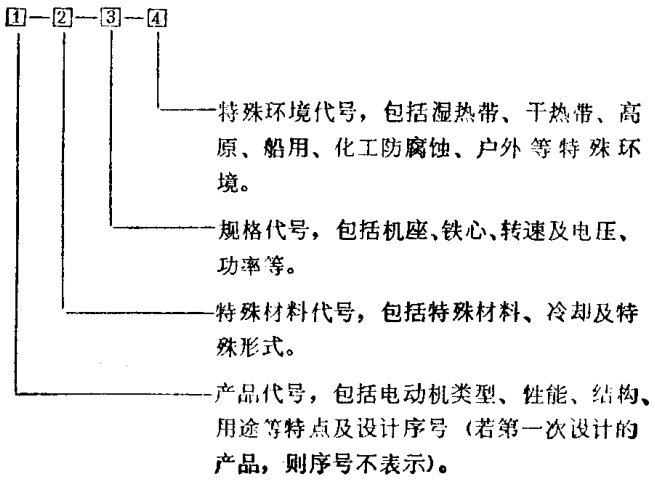
www.789pdf.com 789书库网

实际的异步电动机利用定子三相绕组通入三相平衡电流，在电动机空气隙中产生一个旋转磁场(图2-2c)，这个磁场的转速 n_1 称为同步转速，它由电源频率 f 以及定子绕组的极对数 p 来决定，即 $n_1=60f/p$。必须注意，鼠笼转子的转速 n 总是低于旋转磁场的同步转速 n_1，因为只有当转子与旋转磁场之间存在相对运动时，转子导体才能切割磁力线，产生电流，产生转矩。所以电动机转速与旋转磁场转速的差异是保证电动机运转的因素，这就是异步电动机"异步"二字的由来。

2-3 三相异步电动机的型号、性能和用途

2-3.1 三相异步电动机的型号和用途

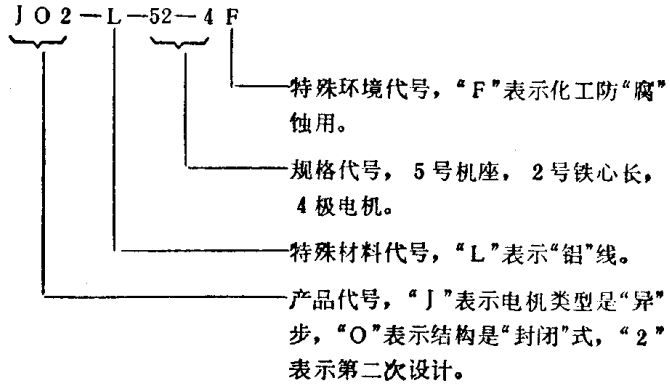
电动机型号都用大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字来表示。以中小型电动机为例，产品全型号的组成和排列顺序如下：



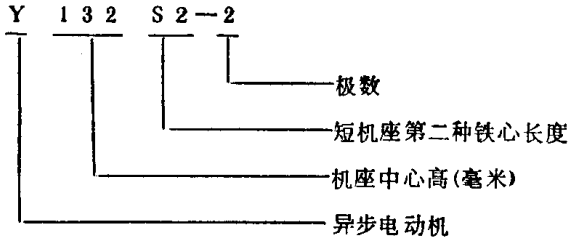
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

如化工防腐蚀用封闭式铝线异步电动机：



又如Y系列异步电动机：



中小型电机的类型代号、特殊材料代号、特殊环境代号分别如表2-1、2-2和2-3所示。

三相异步电动机的型号、结构和用途如表2-4所示。

表2-1 电机类型代号

电机类别	汉字代号	汉语拼音代号
交流异步电动机	异(交)	J
同步电机	同	T
直流电机	直	Z

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-2 特殊材料及电机特征代号

汉字代号	汉语拼音代号
“铝”线	L
“水”冷	S
“风”力	F

表 2-3 特殊环境代号

汉字代号	汉语拼音代号
按热带电工产品标准生产用	T
“湿热”带用	TH
“干热”带用	TA
“高”原用	G
“船”(海)用	H
化工防“腐”用	F
户“外”用	W

表 2-4 三相异步电动机的型号、结构和用途

名称	型号	型号的汉字意义	结构型式	用途
防护式异步电动机	J J2 J3	异	防护式，铸铁外壳，铸铝转子	用于一般机器与设备上。如拖动水泵、鼓风机、车床、铣床、钻床等机器与设备
封闭式异步电动机	JO JO2 JO3	异闭	封闭式，铸铁外壳上有散热筋，外风扇吹冷，铸铝转子	用途同上，一般用于灰尘较多，水土飞溅的场所，Y型还可用于起动静止负荷，或惯性负荷较大的机械，如压缩机、粉碎机等
	Y	异		
防护式铝线异步电动机	J-L J2-L	异-铝	结构同J、J2型，电磁线采用铝线	用途同J型

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	型　号	型号的汉字意义	结　构　型　式	用　　途
封闭式铝线异步电动机	JO-L JO2-L Y-L	异闭-铝 异-铝	结构同JO、JO2、Y型，电磁线采用铝线	用途同JO型
防护式高起动转矩异步电动机	JQ JQ2	异起	结构同J、J2型	用于起动静止负荷或惯性负荷较大的机械，如压缩机、粉碎机等
封闭式高起动转矩异步电动机	JQO JQO2	异起闭	结构同JO、JO2型	用途同上。一般用于灰尘较多，水土飞溅的场所
防护式高滑率异步电动机	JH	异滑	结构同J型	适用于传动较大飞轮惯量和不均匀冲击负载的金属加工机械，如锤击机、剪切机、冲压机、延压机等，还适用于小功率活塞压缩机、小型绞车等
封闭式高滑率异步电动机	JHO	异滑闭	结构同JO型	用途同JH型，一般用于灰尘较多，水土飞溅的场所
力矩异步电动机	JLJ	异力矩	强迫通风式，转子导线采用高电阻材料，铸铁外壳，鼠笼转子	用于纺织、印染、造纸、电线电缆、橡胶、冶金等具有恒转矩负载特性的设备上
防护式绕线转子异步电动机	JR	异绕	防护式，铸铁外壳，绕线型转子	用于电源容量不足以起动鼠笼型电动机及要求起动转矩高等场合

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	型　号	型号的汉字意义	结　构　型　式	用　　途
防护式多速异步电动机	JD	异多	结构同J型	同J型，它使用在要求2～4种速度的场合
封闭式多速异步电动机	JDO (JC) JDO2	异多闭	结构同JO、JO2	同JO型，它使用在要求2～4种速度的场合
齿轮减速异步电动机	JTC	异(齿)减	由封闭式异步电动机和减速两部分组成	用于要求低转速、大转矩的机械，例如运输、矿山、炼钢、造纸、制糖、化工搅拌机械及其他需要低转速的机械
电磁调速异步电动机	JZT	异磁调	由封闭式异步电动机和电磁转差离合器组成	用于纺织、印染、化工、造纸、船舶等要求变速的机械上
整流子异步变速电动机	JZS	异整速	防护式，铸铁外壳，有手动调速或遥控调速两种	用途同JZT型，它的负载效率和功率因数较高
锥形转子制动异步电动机	JZZ	异锥制	封闭式，转子呈圆锥形	它能在断电后0.5～1秒以内迅速制动，用于电芦葫、卷扬机、行车、电动阀门、机床等设备
化工防腐蚀异步电动机	JO-F JO2-F	异闭-腐	结构同JO、JO2型，为满足防腐性能，采取了密封及防腐措施	用途同JO、JO2型。一般在制造化肥、氯碱等化工厂的腐蚀环境中使用
户外用异步电动机	JO2-W	异闭-外	结构同JO2型	用于户外环境下不需加防护措施的传动机械上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	型　号	型号的汉字意义	结　构　型　式	用　　途
起重冶金用异步电动机	JZ JZB	异重，异重（B级绝缘）	封闭式，铸铁外壳上有散热筋，外风扇吹冷，鼠笼铜条转子	用于起重机及冶金辅助机械
起重冶金用绕线转子异步电动机	JZR JZRB	异重绕，异重绕（B级绝缘）	封闭式，铸铁外壳上有散热筋，外风扇吹冷，绕线转子	用途同上
起重冶金用绕线转子异步电动机（管道通风）	JZRG	异重绕管	管道通风冷却式，绕线转子	用于钢铁冶炼及轧制的辅助设备上
防爆异步电动机	JB	异爆	防爆式，钢板外壳，铸铝转子	用于有爆炸性气体的场合
防爆异步电动机（小机座）	JBS JBX	异爆小	防爆式，铸铁外壳上有散热筋	用途同上
浅水排灌潜水异步电泵	JQB	异潜泵	由水泵、电机及整体密封盒等三大部分组成	用于农业排灌及消防等场合

2-3.2　电动机的铭牌

铭牌是电动机的重要标记，样式见图 2-3。

电动机铭牌较详细地介绍了电动机的特性和一般技术要求，给使用、检查和修理提供了依据。如果电动机没有铭牌，或搞不清铭牌上的内容，就不要轻易使用，以免发生事故。为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

了正确识别铭牌，现将铭牌上的技术数据说明如下：

三相异步电动机		
型号 JO51-4	额定功率 4.5 千瓦	额定转速 1440转/分
额定电压 220/380 伏	额定电流 16.4/9.5安	接　法△/Y
频　率　50 赫	绝缘等级　A 级	温升60°C
定　额　连续	技术条件 GB742-66	重量 85 公斤
××电机厂	19××年×月	

图 2-3　三相异步电动机铭牌

1. 型　号

型号是用来区别产品性能、结构和用途的，具体内容参见2-3.1。

2. 额定功率(P)

额定功率也叫额定容量，它表示电动机在频率、电压和电流都为额定值时，转轴上所输出的机械能。它的符号为P，单位为瓦特(W)，简称瓦。

3. 额定电压(U)

电动机在额定情况下运行时，加在定子绕组线端的电压值叫额定电压。一般用符号U表示，单位为伏特(V)，简称伏。通常铭牌上标有两个电压值，例如220/380伏，这表示电动机的额定电压有380伏和220伏两种。如果电源电压为380伏，应将电动机的六个出线头接成星形(Y)；如果电源电压为220伏，应把电动机的六个出线头接成三角形(△)。

电动机定子绕组所接电源电压值一般不应超过额定电压的10%，不应低于额定电压的5%。电压过高，会使电流过大，以致绕组烧坏；电压过低，则电动机难以起动，即使能起动，因为出力不够，也容易将绕组烧坏。

4. 额定电流(I)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电动机在额定电压、额定频率下以额定功率运行时，定子绕组线端的电流值叫额定电流。一般用符号 I 表示，单位为安培(A)，简称安。铭牌上的电流有两个数值，如16.4/9.5安，表示电压 220 伏时是 16.4 安，380 伏时是 9.5 安。

额定电流是电动机的最大安全电流值，长时间地超过额定电流值，就会使绕组过热，以致烧坏。

5. 额定频率(f)

电动机在额定运行情况下，定子绕组所接电源的频率叫额定频率，一般用符号 f 表示，单位为赫芝(Hz)，简称赫。我国规定标准电源频率为 50 赫。

6. 额定转速(n)

电动机在电压、电流、频率、容量都是额定值下运行时，每分钟的转速叫额定转速，单位为转/秒。转速与电源频率和电动机磁极对数有关。在电源频率为 50 赫时，异步电动机同步转速和极数的关系见表 2-5。

表 2-5 异步电动机同步转速和极数的关系

极　　数	2	4	6	8	10	12
同步转速(转/分)	3000	1500	1000	750	600	500

7. 接　法

表示电动机在额定电压下定子绕组的接线方式（丫形或△形）。当电压不变时，若将丫形连接的绕组错接成△形，则线圈所承受的电压是原额定电压的$\sqrt{3}$(即1.73)倍，会使电动机电流过大而发热；若把△形连接误接为丫形，那么由于线圈所承受的电压是原额定电压的$\frac{1}{\sqrt{3}}$(即57.8%)，所以输出转矩将大大减小。因此，按铭牌规定连接电动机绕组是很重要的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8. 定额(工作方式)

指电动机正常使用时容许连续运转的时间，一般分连续、短时与断续三种。

9. 绝缘等级

根据定子绕组所采用的绝缘材料和容许承受的不同温升而分的等级，叫绝缘等级。中小型电动机的绝缘等级有A、E、B、F和H级，其工作温度见表7-24。

10. 温 升

电动机在运行时，绕组容许超出周围环境的最高温度，也就是绕组容许上升的最高温度与周围环境温度的差，叫作电动机的温升。

11. 转子电压

绕线式异步电动机的定子加额定电压，其转子不转动时两个滑环间的电压叫转子电压。

12. 转子电流

绕线式异步电动机使用到额定功率时的转子电流。绕线式异步电动机起动时要配一个起动变阻器，其型号要根据转子电压和电流来决定。

13. 技术条件

就是对电动机各种指标的技术要求。“GB”为国家标准代号。

2-3.3 电动机的性能与常用计算公式

一、电动机的性能

电动机的好坏，是由电动机本身的各种电磁性能技术指标来确定的。与电动机运转性能有关的技术指标主要有以下几项：

1. 效 率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电动机输出功率和输入功率之比，称为电动机的效率，通常用百分数来表示。例如一台40千瓦的电动机，如其输入是44.4千瓦，则其效率为40/44.4＝90.1%。从使用的观点来看，效率越高则电动机的损耗越小，越省电。

2. 功率因数

功率因数是异步电动机的第二个技术经济指标，用$\cos\varphi$表示，其值为有功功率与视在功率之比。所有感应式电器都有这样一个性质，就是它必须从电路中占用比它实际所用功率大一些的虚功率，其中多余部分的功率并没有真正消耗掉，而是虚占着的。这样就增加了发电站不必要的负担。功率因数高的电动机就意味着减轻发电站在这方面的负担，也就是提高了发电机、输配电设备的利用率。异步电动机在额定功率下运行时，功率因数一般在0.75～0.9之间；空载运行时，功率因数约为0.2左右。

3. 起动电流

电动机在起动瞬间的电流，它比正常运转时的额定电流要大5.5～7倍。如果起动电流过大，除引起电网电压急速下降外，还会影响电动机本身的寿命和正常使用。因此，对大容量的电动机应采取措施限制其起动电流。

4. 起动转矩

电动机在起动时所输出的力矩叫起动转矩，常用它与额定转矩的倍数来表示。异步电动机的起动转矩，一般是额定转矩的1～1.8倍。

起动转矩必须符合产品要求的规定，如果小了，电动机就不能起动。

5. 最大转矩

电动机所能拖动最大负载的能力叫电动机的最大转矩。最

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

大转矩也是用它与额定转矩的倍数来表示，它说明电动机的过载能力。异步电动机的最大转矩，一般是额定转矩的1.8～2.2倍。

二、常用计算公式

1. 三相电动机的额定电流 I_e

$$I_e=\frac{1000P_e}{1.73U_e\cos\varphi\eta} \qquad (2\text{-}1)$$

式中 P_e——额定功率，千瓦；

U_e——额定电压，伏；

$\cos\varphi$——功率因数；

η——电动机效率；

1000——把千瓦换算为瓦。

2. 三相电动机的同步转速 n_T

$$n_T=\frac{f}{p}\times 60 \qquad (2\text{-}2)$$

式中 f——频率，赫；

p——磁极对数，如两极，$p=1$；四极$p=2$。

3. 三相异步电动机的转差率 S

$$S=\frac{n_T-n_e}{n_T}\times 100\% \qquad (2\text{-}3)$$

式中 n_T——电动机同步转速，转/分；

n_e——电动机额定转速，转/分。

常用的三相异步电动机在额定负载时，其转差率为2～5%，如果转差率太大，电动机的运行将不稳定。

4. 三相电动机的转矩 M

$$M=\frac{975P_L}{n} \qquad (2\text{-}4)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

因为 $$M=F\frac{D}{2}$$

所以 $$F=\frac{1950P_L}{nD} \qquad (2\text{-}5)$$

式中 M——电动机的转矩，公斤·米；

P_L——工作机械的负荷，千瓦；

n ——转速，转/分；

F ——皮带拉力，公斤；

D ——皮带轮直径，毫米。

2-4 常用三相异步电动机的技术数据

2-4.1 J2系列电动机的技术数据

表2-6 J2系列电动机的技术数据

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		电流（安）	转速（转/分）	功率因数（cosφ）	效率（%）			
J2-61-2	17	32	2920	0.91	88.5	7	1.2	2.2
J2-62-2	22	41	2920	0.91	89.5	7	1.2	2.2
J2-71-2	30	55.8	2940	0.91	89.5	7	1.1	2.2
J2-72-2	40	73.5	2940	0.91	90.5	6.5	1.1	2.2
J2-81-2	55	99.6	2950	0.92	91	6.5	1.0	2.2
J2-82-2	75	135	2950	0.92	91.5	6.5	1.0	2.2
J2-91-2	100	179	2960	0.92	92	6.5	1.0	2.2
J2-92-2	125	222	2960	0.92	92.5	6.5	1.0	2.2
J2-61-4	13	25	1460	0.88	89	6.5	1.2	1.8
J2-62-4	17	32.5	1460	0.88	89	6.5	1.2	1.8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电机型号	额定功率(千瓦)	额定时 电流(安)	转速(转/分)	功率因数(cosφ)	效率(%)	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
J2-71-4	22	42.5	1460	0.88	89.5	7	1.1	2.0
J2-72-4	30	57	1460	0.88	90	7	1.1	2.0
J2-81-4	40	75	1460	0.89	91	6.5	1.1	2.0
J2-82-4	55	102	1460	0.89	91.5	6.5	1.1	2.0
J2-61-6	10	21.4	960	0.83	87	6.5	1.2	1.8
J2-62-6	13	27.4	960	0.84	87.5	6.5	1.2	1.8
J2-71-6	17	35	970	0.84	88	6.5	1.2	1.8
J2-72-6	22	44.4	970	0.85	88.5	6.5	1.2	1.8
J2-81-6	30	59.3	970	0.86	89.5	6.5	1.2	1.8
J2-82-6	40	77	970	0.87	90.5	6.5	1.2	1.8
J2-91-6	55	104	980	0.88	91.5	6.5	1.0	1.8
J2-92-6	75	137.3	980	0.90	92	6.5	1.0	1.8

注：全部为E级绝缘，电源为380伏。

2-4.2 JO2系列电动机的技术数据

表2-7 JO2系列电动机的技术数据

电机型号	额定功率(千瓦)	额定时 电流(安)	转速(转/分)	功率因数(cosφ)	效率(%)	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
JO2-11-2	0.8	1.84	2810	0.85	77.5	7	1.8	2.2
JO2-12-2	1.1	2.44	2810	0.86	79.5	7	1.8	2.2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		电流（安）	转速（转/分）	功率因数（cosφ）	效率（%）			
JO2-21-2	1.5	3.22	2860	0.87	81	7	1.8	2.2
JO2-22-2	2.2	4.66	2860	0.87	82.5	7	1.8	2.2
JO2-31-2	3	6.18	2860	0.88	84	7	1.8	2.2
JO2-32-2	4	8.06	2860	0.88	85.5	7	1.8	2.2
JO2-41-2	5.5	11	2920	0.88	86.5	7	1.6	2.2
JO2-42-2	7.5	14.6	2920	0.88	87.5	7	1.6	2.2
JO2-51-2	10	19.3	2930	0.88	87.5	7	1.4	2.2
JO2-52-2	13	25.4	2930	0.88	88	7	1.4	2.2
JO2-61-2	17	32	2940	0.9	89.5	7	1.3	2.2
JO2-71-2	22	42	2940	0.9	88.5	7	1.2	2.2
JO2-72-2	30	56	2940	0.91	89.5	7	1.2	2.2
JO2-82-2	40	74.3	2950	0.91	90	6.5	1.2	2.2
JO2-11-4	0.6	1.62	1380	0.76	74	7	1.8	2
JO2-12-4	0.8	2.06	1380	0.77	76.5	7	1.8	2
JO2-21-4	1.1	2.67	1410	0.79	79	7	1.8	2
JO2-22-4	1.5	3.49	1410	0.81	80.5	7	1.8	2
JO2-31-4	2.2	4.88	1430	0.83	82	7	1.8	2
JO2-32-4	3	6.49	1430	0.84	83.5	7	1.8	2
JO2-41-4	4	8.39	1440	0.85	85	7	1.8	2
JO2-42-4	5.5	11.3	1440	0.86	86	7	1.8	2
JO2-51-4	7.5	15.2	1450	0.87	87	7	1.4	2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流／额定电流	起动转矩／额定转矩	最大转矩／额定转矩
		电流（安）	转速（转/分）	功率因数（cosφ）	效率（%）			
JO2-52-4	10	20	1450	0.87	87.5	7	1.4	2
JO2-61-4	13	25.4	1460	0.88	88	7	1.3	2
JO2-62-4	17	33	1460	0.88	89	7	1.3	2
JO2-71-4	22	42.3	1470	0.88	89.5	7	1.2	2
JO2-72-4	30	57.6	1470	0.88	90	7	1.2	2
JO2-82-4	40	75	1470	0.89	91	6.5	1.2	2
JO2-21-6	0.8	2.31	930	0.7	75	6.5	1.8	1.8
JO2-22-6	1.1	3.05	930	0.72	77	6.5	1.8	1.8
JO2-31-6	1.5	3.89	940	0.74	78.5	6.5	1.8	1.8
JO2-32-6	2.2	5.35	940	0.76	80.5	6.5	1.8	1.8
JO2-41-6	3	7.07	950	0.78	82.5	6.5	1.8	1.8
JO2-42-6	4	9.2	950	0.79	84	6.5	1.8	1.8
JO2-51-6	5.5	12.2	960	0.8	85	6.5	1.4	1.8
JO2-52-6	7.5	16.2	960	0.81	86	6.5	1.4	1.8
JO2-61-6	10	21	970	0.82	87	6.5	1.4	1.8
JO2-62-6	13	26.2	970	0.83	87.5	6.5	1.4	1.8
JO2-71-6	17	33.3	970	0.84	88.5	6.5	1.4	1.8
JO2-72-6	22	43.1	970	0.85	89	6.5	1.4	1.8
JO2-81-6	30	59	975	0.86	89.5	6.5	1.4	1.8
JO2-82-6	40	74	975	0.87	90.5	6.5	1.4	1.8

注：全部为E级绝缘，电压为380伏。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2-4.3 JO3系列电动机的技术数据

表2-8 JO3系列电动机的技术数据

型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	电压（伏）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩
JO3-801-2	1.1	2800	220/380	2.52	78	0.85	6.5	2.4
JO3-802-2	1.5	2800	220/380	3.38	78.5	0.85	6.5	2.4
JO3-90S-2	2.2	2850	220/380	4.75	81	0.86	6.5	2.4
JO3-100S-2	3	2880	220/380	6.34	82.5	0.87	6.5	2.4
JO3-100L-2	4	2880	380	8.16	84.5	0.88	6.5	2.4
JO3-112S-2	5.5	2880	380	11.18	85	0.88	6.5	2.4
JO3-132S-2	7.5	—	380	—	86	0.88	7.0	2.0
JO3-132M-2	11	—	380	—	86.5	0.88	7.0	2.0
JO3-160S-2	15	2930	380	30	86.5	0.88	7.0	2.0
JO3-160M-2	18.5	2940	380	36.5	87.5	0.88	7.0	2.0
JO3-180M-2	22	—	380	43.2	88	0.88	7.0	2.0
JO3-180L-2	30	—	380	56	88.5	0.88	7.0	2.0
JO3-200M-2	37	—	380	—	89.5	0.88	7.0	1.8
JO3-225S-2	45	—	380	—	89.5	0.88	7.0	1.8
JO3-225M-2	55	—	380	—	90	0.88	7.0	1.8
JO3-801-4	0.75	1400	220/380	1.95	75	0.76	5.5	2.4
JO3-802-4	1.1	1400	220/380	2.78	76	0.77	5.5	2.4
JO3-90S-4	1.5	1420	220/380	3.63	77.5	0.80	5.5	2.4
JO3-100S-4	2.2	1420	220/380	5.09	82	0.81	6.0	2.4
JO3-100L-4	3	1440	220/380	6.73	82.5	0.82	6.5	2.4
JO3-112S-4	4	1440	380	8.61	83.5	0.85	7.0	2.4
JO3-112M-4	5.5	1440	380	11.48	84.5	0.86	7.0	2.4
JO3-132S-4	7.5	—	380	—	86	0.86	7.0	2.0
JO3-132 M-4	11	—	380	—	86.5	0.86	7.0	2.0
JO3-160S-4	15	1460	380	30.4	87.5	0.86	7.0	2.0
JO3-160M-4	18.5	1460	380	37.3	88	0.86	7.0	2.0
JO3-180M-4	22	—	380	43.7	89	0.86	7.0	2.0
JO3-180L-4	30	—	380	57.2	89.5	0.86	7.0	2.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	电压（伏）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩
JO3-200M-4	37	—	380	—	91	0.88	6.5	1.8
JO3-225S-4	45	—	380	—	91	0.88	6.5	1.8
JO3-225M-4	55	—	380	—	91.5	0.88	6.5	1.8
JO3-801-6	0.55	900	220/380	1.635	70	0.68	4.5	2.2
JO3-802-6	0.75	900	220/380	2.41	71.5	0.69	4.5	2.2
JO3-90S-6	1.1	930	220/380	3.12	76	0.72	5.0	2.2
JO3-100S-6	1.5	930	220/380	3.77	77.5	0.74	5.0	2.2
JO3-100M-6	2.2	930	220/380	5.40	79	0.75	5.5	2.2
JO3-112S-6	3	950	220/380	7.15	82	0.77	5.5	2.2
JO3-112M-6	4	950	380	9.24	83	0.77	6.0	2.0
JO3-132S-6	5.5	—	380	—	84	0.79	6.5	2.0
JO3-132M-6	7.5	—	380	—	85	0.79	6.5	2.0
JO3-160S-6	11	960	380	24	85.5	0.81	6.5	2.0
JO3-160M-6	15	960	380	32	87	0.82	6.5	2.0
JO3-180M-6	18.5	—	380	38.2	87.5	0.84	6.5	2.0
JO3-180L-6	22	—	380	44.7	88	0.85	6.5	2.0
JO3-200M-6	30	—	380	—	90	0.85	6.5	2.0
JO3-225S-6	37	—	380	—	90.5	0.86	6.5	1.7
JO3-225M-6	45	—	380	—	91.5	0.86	6.5	1.7

2-4.4 Y系列电动机的技术数据

Y系列电动机是全国统一设计的新系列产品，是国内目前最先进的异步电动机，它将取代JO2型电动机。Y系列电动机具有高效、节能、性能好、噪声低、振动小、可靠性高、功率等级和安装尺寸符合IEC标准和使用维护方便等优点。

Y系列电动机可用于对转速和其他性能无特殊要求的机械上，如金属切削机床、通用机械、矿山机械、农用机械等。由

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

于它的起动性能较好，也可以用于起动静止负载或惯性负载比较大的机械上，如压缩机、水泵、粉碎机、传送带等。其主要技术指标见表 2-9。

表 2-9　Y 系列电动机的技术数据

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	额定时 电流（安）	额定时 效率（%）	额定时 功率因数（cosφ）	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
Y801-2	0.75	2825	1.9	73	0.84	7.0	2.2	2.2
Y802-2	1.1	2825	2.6	76	0.86	7.0	2.2	2.2
Y90S-2	1.5	2840	3.4	79	0.85	7.0	2.2	2.2
Y90L-2	2.2	2840	4.7	82	0.86	7.0	2.2	2.2
Y100L-2	3.0	2880	6.4	82	0.87	7.0	2.2	2.2
Y112M-2	4.0	2890	8.2	85.5	0.87	7.0	2.2	2.2
Y132S1-2	5.5	2900	11.1	85.2	0.88	7.0	2.0	2.2
Y132S2-2	7.5	2900	15.0	86.2	0.88	7.0	2.0	2.2
Y160M1-2	11	2930	21.8	87.2	0.88	7.0	2.0	2.2
Y160M2-2	15	2930	29.4	88.2	0.88	7.0	2.0	2.2
Y160L-2	18.5	2930	35.5	89	0.89	7.0	2.0	2.2
Y180M-2	22	2940	42.2	89	0.89	7.0	2.0	2.2
Y200L1-2	30	2950	56.9	90	0.89	7.0	2.0	2.2
Y200L2-2	37	2950	69.8	90.5	0.89	7.0	2.0	2.2
Y225M-2	45	2970	83.9	91.5	0.89	7.0	2.0	2.2
Y250M-2	55	2970	102.7	91.4	0.89	7.0	2.0	2.2
Y280S-2	75	2970	140.1	91.4	0.89	7.0	2.0	2.2
Y280M-2	90	2970	167	92	0.89	7.0	2.0	2.2
Y801-4	0.55	1390	1.6	70.5	0.76	6.5	2.2	2.2
Y802-4	0.75	1390	2.1	72.5	0.76	6.5	2.2	2.2
Y90S-4	1.1	1400	2.7	79	0.78	6.5	2.2	2.2
Y90L-4	1.5	1400	3.7	79	0.79	6.5	2.2	2.2
Y100L1-4	2.2	1420	5.0	81	0.82	7.0	2.2	2.2
Y100L2-4	3.0	1420	6.8	82.5	0.81	7.0	2.2	2.2
Y112M-4	4.0	1440	8.8	84.5	0.82	7.0	2.2	2.2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
Y132S-4	5.5	1440	11.6	85.5	0.84	7.0	2.2	2.2
Y132M-4	7.5	1440	15.4	87	0.85	7.0	2.2	2.2
Y160M-4	11	1460	22.6	88	0.84	7.0	2.2	2.2
Y160L-4	15	1460	30.3	88.5	0.85	7.0	2.2	2.2
Y180M-4	18.5	1470	35.9	91	0.86	7.0	2.0	2.2
Y180L-4	22	1470	42.5	91.5	0.86	7.0	2.0	2.2
Y200L-4	30	1470	56.8	92.2	0.87	7.0	2.0	2.2
Y225S-4	37	1480	69.8	91.8	0.87	7.0	1.9	2.2
Y225M-4	45	1480	84.2	92.3	0.88	7.0	1.9	2.2
Y250M-4	55	1480	102.5	92.6	0.88	7.0	2.0	2.2
Y280S-4	75	1480	139.7	92.7	0.88	7.0	1.9	2.2
Y280M-4	90	1480	164.3	93.5	0.89	7.0	1.9	2.2
Y90S-6	0.75	910	2.3	72.5	0.70	6.0	2.0	2.0
Y90L-6	1.1	910	3.2	73.5	0.72	6.0	2.0	2.0
Y100L-6	1.5	940	4.0	77.5	0.74	6.0	2.0	2.0
Y112M-6	2.2	940	5.6	80.5	0.74	6.0	2.0	2.0
Y132S-6	3.0	960	7.2	83	0.76	6.5	2.0	2.0
Y132M1-6	4.0	960	9.4	84	0.77	6.5	2.0	2.0
Y132M2-6	5.5	960	12.6	85.3	0.78	6.5	2.0	2.0
Y160M-6	7.5	970	17.0	86	0.78	6.5	2.0	2.0
Y160L-6	11	970	24.6	87	0.78	6.5	2.0	2.0
Y180L-6	15	970	31.6	89.5	0.81	6.5	1.8	2.0
Y200L1-6	18.5	970	37.7	89.8	0.83	6.5	1.8	2.0
Y200L2-6	22	970	44.6	90.2	0.83	6.5	1.8	2.0
Y225M-6	30	980	59.5	90.2	0.85	6.5	1.7	2.0
Y250M-6	37	980	72	90.8	0.86	6.5	1.8	2.0
Y280S-6	45	980	85.4	92	0.87	6.5	1.8	2.0
Y280M-6	55	980	104.9	91.6	0.87	6.5	1.8	2.0
Y132S-8	2.2	710	5.8	81	0.71	5.5	2.0	2.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	堵转电流/额定电流	堵转转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
Y132M-8	3.0	710	7.7	82	0.72	5.5	2.0	2.0
Y160M1-8	4.0	720	9.9	84	0.73	6.0	2.0	2.0
Y160M2-8	5.5	720	13.3	85	0.74	6.0	2.0	2.0
Y160L-8	7.5	720	17.7	86	0.75	5.5	2.0	2.0
Y180L-8	11	730	25.1	86.5	0.77	6.0	1.7	2.0
Y200L-8	15	730	34.1	88	0.76	6.0	1.8	2.0
Y225S-8	18.5	730	41.3	89.5	0.76	6.0	1.7	2.0
Y225M-8	22	730	47.6	90	0.78	6.0	1.8	2.0
Y250M-8	30	730	63	90.5	0.80	6.0	1.8	2.0
Y280S-8	37	740	78.7	91	0.79	6.0	1.8	2.0
Y280M-8	45	740	93.2	91.7	0.80	6.0	1.8	2.0

注：全部为B级绝缘；电压为380伏；3千瓦及以下为Y形接法，4千瓦及以上为△形接法。

2-4.5 JQ2系列电动机的技术数据

表2-10 JQ2系列电动机的技术数据

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时 电流（安）	转速（转/分）	功率因数（cosφ）	效率（%）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
JQ2-61-4	13	26.1	1460	0.86	87.5	7.0	2.0	2.0
JQ2-62-4	17	33.3	1460	0.87	88.0	7.0	2.0	2.0
JQ2-71-4	22	43.4	1460	—	—	7.5	2.0	2.0
JQ2-72-4	30	59.5	1460	—	—	7.5	2.0	2.0
JQ2-61-6	10	22.4	970	0.82	86	6.5	2.0	2.0
JQ2-62-6	13	28.5	970	0.83	86.5	6.5	2.0	2.0
JQ2-71-6	17	36.4	970	—	—	7.0	2.0	2.0
JQ2-72-6	22	46	970	—	—	7.0	2.0	2.0

注：额定电压都为380伏。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2-4.6 JQO2 系列电动机的技术数据

表 2-11 JQO2 系列电动机的技术数据

电机型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流／额定电流	起动转矩／额定转矩	最大转矩／额定转矩
		电流（安）	转速（转/分）	功率因数（cosφ）	效率（%）			
JQO2-51-4	7.5	15.6	1450	0.84	86	7.0	2.0	2.0
JQO2-52-4	10	20.6	1450	0.85	86.5	7.0	2.0	2.0
JQO2-61-4	13	26.1	1460	0.86	87.5	7.5	2.0	2.0
JQO2-62-4	17	33.6	1460	0.87	88	7.5	2.0	2.0
JQO2-71-4	22	43.4	1470	—	—	7.5	2.0	2.0
JQO2-72-4	30	58.9	1470	—	—	7.0	2.0	2.0
JQO2-82-4	40	75.7	1470	—	—	7.0	2.0	2.2
JQO2-51-6	5.5	21.5/12.4	960	—	—	6.2	2.0	2.0
JQO2-52-6	7.5	16.5	960	0.81	85	6.5	2.0	2.0
JQO2-61-6	10	21.5	970	0.82	86	6.5	2.0	2.0
JQO2-62-6	13	27.4	970	0.83	86.5	6.5	2.0	2.0
JQO2-71-6	17	36	975	—	—	7.0	2.0	2.0
JQO2-72-6	22	45.6	975	—	—	7.0	2.0	2.0
JQO2-81-6	30	59.8	980	—	—	6.5	2.0	2.2
JQO2-82-6	40	79.9	980	—	—	6.5	2.0	2.2

注：除 JQO2-51-6 电压为 220/380 伏外，其余都为 380 伏。

www.789pdf.com 789书库网

2-4.7 JZ 系列电动机的技术数据

表 2-12 JZ 系列电动机技术数据

型号	额定功率（千瓦）	转速（转/分）	220 伏时的额定电流（安）	380 伏时的额定电流（安）	效率（%）	功率因数 cosφ	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
JZ11-6	2.2	883	11.1	6.4	68.5	0.76	3.3	2.6	2.6
JZ12-6	3.5	875	16.6	9.6	70.5	0.78	3.6	2.6	2.6
JZ21-6	5.0	910	23.1	13.4	75.0	0.75	4.3	2.9	3.1
JZ22-6	7.5	905	33.3	19.3	77.5	0.76	4.4	3.0	3.1
JZ31-6	11	920	45.6	26.4	81.0	0.78	5.1	3.2	3.4
JZ31-8	7.5	682	33.0	19.1	78.0	0.76	4.5	2.9	3.0
JZ41-8	11	685	49.7	28.8	79.0	0.73	4.5	3.0	3.2
JZ42-8	16	685	68.3	39.6	80.5	0.76	4.8	3.1	3.3
JZ51-8	22	692	90.8	52.6	82.5	0.77	5.0	2.8	3.1
JZ52-8	28	695	112	64.6	83.5	0.79	5.2	2.8	3.2

注：表中所列数据，均是在暂载率为 25% 时的数据。

www.789pdf.com 789书库网

2-4.8 JZR 系列电动机的技术数据

表 2-13 JZR 系列电动机技术数据

型号	额定功率（千瓦）	转速（转/分）	220 伏时的额定电流（安）	380 伏时的额定电流（安）	效率（%）	功率因数 cosφ	转子电压（伏）	转子电流（安）	最大转矩 / 额定转矩
JZR11-6	2.2	885	12.4	7.2	64.0	0.72	135	12.8	2.3
JZR12-6	3.5	910	17.8	10.3	70.5	0.73	204	12.2	2.5
JZR21-6	5.0	940	25.7	14.9	74.5	0.68	164	20.6	2.9
JZR22-6	7.5	945	36.1	20.9	78.5	0.69	227	21.6	2.8
JZR31-6	11	953	49.0	28.4	82.5	0.71	200	45.6	3.1
JZR31-8	7.5	702	36.7	21.2	77.5	0.69	185	28.0	2.6
JZR41-8	11	715	53.2	30.8	81.0	0.67	155	46.7	2.9
JZR42-8	16	718	73.4	42.5	82.5	0.69	222	46.3	3.0
JZR51-8	22	723	97.6	58.5	84.5	0.70	197	70.5	3.0
JZR52-8	30	725	124	71.6	86.0	0.74	257	74.3	3.0
JZR61-10	30	574	129	80.0	84.5	0.67	146	133	3.3
JZR62-10	45	577	190	110	87.5	0.71	206	138	3.2
JZR63-10	60	577	230	133	88.5	0.77	253	160	2.9
JZR71-10	80	582	329	190	89.5	0.71	294	167	3.3
JZR72-10	100	584	413	239	89.5	0.71	368	170	3.3
JZR73-10	125	585	445	286	90.0	0.73	442	175	3.4

注：表中所列数据，均是在暂载率为 25% 时的数据。

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

2-4.9 JDO2系列电动机的技术数据

表2-14 JDO2系列电动机的技术数据

型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）			
JDO2-12-4/2	0.6/0.8	1420/2800	1.71/2.10	70/68	0.76/0.85	7.0	1.6	1.8
JDO2-21-4/2	1.1/1.3	1450/2890	2.86/3.19	75/72	0.78/0.86	7.0	1.6	1.8
JDO2-22-4/2	1.5/1.8	1420/2830	3.90/4.42	75/72	0.78/0.86	7.0	1.6	1.8
JDO2-31-4/2	2.2/2.5	1440/2890	5.36/5.90	78/74	0.80/0.87	7.0	1.4	1.8
JDO2-32-4/2	2.8/3.5	1430/2880	6.82/8.26	78/74	0.80/0.87	7.0	1.4	1.8
JDO2-41-4/2	3.5/4.5	1450/2900	8.11/10.22	80/76	0.82/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-42-4/2	4.5/5.5	1440/2890	10.42/12.49	80/76	0.82/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-51-4/2	6.0/7.5	1460/2880	13.39/16.60	82/78	0.83/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-52-4/2	8.0/10	1450/2880	17.86/22.14	82/78	0.83/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-61-4/2	10/11	1460/2930	21.53/23.21	84/80	0.84/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-62-4/2	13/15	1460/2920	27.99/31.65	84/80	0.84/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-71-4/2	17/19	1450/2900	35.76/39.12	86/82	0.84/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-72-4/2	22/25	1460/2900	46.27/51.47	86/82	0.84/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-81-4/2	25/35	1450/2900	51.36/69.57	87/84	0.85/0.91	7.0	1.0	1.8
JDO2-82-4/2	35/40	1450/2900	71.91/79.50	87/84	0.85/0.91	7.0	1.0	1.8
JDO2-91-4/2	40/50	1450/2900	80.30/96.01	88/86	0.86/0.92	7.0	1.0	1.8
JDO2-92-4/2	50/60	1450/2900	100.38/115.22	88/86	0.86/0.92	7.0	1.0	1.8

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	额定时 电流（安）	额定时 效率（%）	额定时 功率因数（cosφ）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
JDO2-21-6/4	0.6/0.8	930/1440	2.03/2.42	68/68	0.66/0.74	7.0	1.6	1.8
JDO2-22-6/4	0.8/1.3	930/1430	2.63/3.81	70/70	0.66/0.74	7.0	1.6	1.8
JDO2-31-6/4	1.3/1.5	930/1430	4.03/4.23	70/70	0.70/0.77	7.0	1.4	1.8
JDO2-32-6/4	1.8/2.2	930/1450	5.28/6.03	74/72	0.70/0.77	7.0	1.4	1.8
JDO2-41-6/4	2.5/3.0	940/1430	6.67/7.59	78/76	0.73/0.79	7.0	1.4	1.8
JDO2-42-6/4	3.5/4.0	940/1440	9.34/10.12	78/76	0.73/0.79	7.0	1.4	1.8
JDO2-51-6/4	5.0/6.0	960/1470	12.35/14.07	82/80	0.75/0.81	7.0	1.4	1.8
JDO2-52-6/4	6.5/8.0	960/1460	16.06/18.76	82/80	0.75/0.81	7.0	1.4	1.8
JDO2-61-6/4	8.0/10	960/1460	18.57/22.06	85/83	0.77/0.83	7.0	1.2	1.8
JDO2-62-6/4	10/13	960/1460	23.21/28.67	85/83	0.77/0.83	7.0	1.2	1.8
JDO2-71-6/4	13/17	970/1470	28.41/35.75	88/85	0.79/0.85	7.0	1.2	1.8
JDO2-72-6/4	17/22	970/1470	37.15/46.27	88/85	0.79/0.85	7.0	1.2	1.8
JDO2-81-6/4	22/28	970/1470	46.36/56.86	89/86	0.81/0.87	7.0	1.0	1.8
JDO2-82-6/4	28/35	970/1470	59.01/71.07	89/86	0.81/0.87	7.0	1.0	1.8
JDO2-91-6/4	35/45	970/1470	72.05/87.32	90/87	0.82/0.90	7.0	1.0	1.8
JDO2-92-6/4	45/55	970/1470	92.64/106.72	90/87	0.82/0.90	7.0	1.0	1.8

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

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）			
JDO2-22-8/4	0.6/1.1	690/1400	2.30/2.83	65/72	0.61/0.82	7.0	1.6	1.8
JDO2-31-8/4	0.8/1.5	700/1380	2.93/3.67	68/74	0.61/0.84	7.0	1.4	1.8
JDO2-32-8/4	1.3/2.2	700/1380	4.76/5.38	68/74	0.61/0.84	7.0	1.4	1.8
JDO2-41-8/4	1.8/3.0	710/1410	5.96/6.80	74/78	0.62/0.86	7.0	1.4	1.8
JDO2-42-8/4	2.5/4.0	720/1430	8.28/9.06	74/78	0.62/0.86	7.0	1.4	1.8
JDO2-51-8/4	3.5/5.5	720/1430	10.82/11.58	78/82	0.63/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-52-8/4	4.5/7.5	720/1430	13.91/15.79	78/82	0.63/0.88	7.0	1.4	1.8
JDO2-61-8/4	6.5/10	730/1460	18.53/20.08	82/85	0.65/0.89	7.0	1.2	1.8
JDO2-62-8/4	8.5/13	730/1460	24.23/26.11	82/85	0.65/0.89	7.0	1.2	1.8
JDO2-71-8/4	11/17	730/1460	29.70/33.37	84/86	0.67/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-72-8/4	15/12	730/1460	40.50/43.19	84/86	0.67/0.90	7.0	1.2	1.8
JDO2-81-8/4	19/28	730/1460	47.95/53.73	86/87	0.70/0.91	7.0	1.1	1.8
JDO2-82-8/4	25/35	730/1460	63.09/67.17	86/87	0.70/0.91	7.0	1.1	1.8
JDO2-91-8/4	35/45	730/1460	83.93/84.45	88/88	0.72/0.92	7.0	1.1	1.8
JDO2-92-8/4	45/55	730/1460	107.91/103.21	88/88	0.72/0.92	7.0	1.1	1.8

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

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）			
JDO2-22-8/6	0.6/0.8	700/930	2.34/2.55	65/68	0.60/0.70	7.0	1.4	1.8
JDO2-31-8/6	0.8/1.3	710/940	2.98/4.03	68/70	0.60/0.70	7.0	1.4	1.8
JDO2-32-8/6	1.3/1.8	710/940	4.84/5.28	68/74	0.60/0.70	7.0	1.4	1.8
JDO2-41-8/6	1.8/2.5	710/950	5.96/6.67	74/78	0.62/0.73	7.0	1.4	1.8
JDO2-42-8/6	2.5/3.5	710/950	8.28/9.34	74/78	0.62/0.73	7.0	1.4	1.8
JDO2-51-8/6	3.5/5.0	720/960	11.00/12.35	78/82	0.62/0.75	7.0	1.4	1.8
JDO2-52-8/6	4.5/6.5	720/960	14.14/16.06	78/82	0.62/0.75	7.0	1.4	1.8
JDO2-61-8/6	6.0/8.5	730/970	17.93/19.73	82/85	0.62/0.77	7.0	1.2	1.8
JDO2-62-8/6	8.0/11	730/970	23.91/25.54	82/85	0.62/0.77	7.0	1.2	1.8
JDO2-71-8/6	10/15	720/970	29.17/32.78	84/88	0.62/0.79	7.0	1.2	1.8
JDO2-72-8/2	13/19	730/970	37.93/41.53	84/88	0.62/0.79	7.0	1.2	1.8
JDO2-81-8/6	19/25	730/970	51.64/52.69	86/89	0.65/0.81	7.0	1.1	1.8
JDO2-82-8/6	25/30	730/970	67.95/63.22	86/89	0.65/0.81	7.0	1.1	1.8
JDO2-91-8/6	30/40	730/970	79.68/82.35	88/90	0.65/0.82	7.0	1.1	1.8
JDO2-92-8/6	40/50	730/970	106.25/102.93	88/90	0.65/0.82	7.0	1.1	1.8

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

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时				起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
		转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）			
JDO2-41-12/6	0.8/1.8	480/960	2.93/4.49	69/78	0.60/0.78	7.0	1.1	1.8
JDO2-42-12/6	1.5/2.5	480/960	5.50/6.24	69/78	0.60/0.78	7.0	1.1	1.8
JDO2-51-12/6	2.2/3.5	480/960	7.74/8.31	72/80	0.60/0.80	7.0	1.1	1.8
JDO2-52-12/6	3.0/5.0	480/960	10.55/11.87	72/80	0.60/0.80	7.0	1.1	1.8
JDO2-61-12/6	4.0/7.5	480/960	13.51/16.74	75/83	0.60/0.82	7.0	1.0	1.8
JDO2-62-12/6	5.5/10	480/960	18.57/22.32	75/83	0.60/0.82	7.0	1.0	1.8
JDO2-71-12/6	7.5/13	480/970	24.04/28	79/85	0.60/0.83	7.0	1.0	1.8
JDO2-72-12/6	10/17	480/970	32.05/36.61	79/85	0.60/0.83	7.0	1.0	1.8
JDO2-81-12/6	13/22	480/970	38.85/45.20	82/87	0.62/0.85	7.0	1.0	1.8
JDO2-82-12/6	17/28	480/970	50.80/57.52	82/87	0.62/0.85	7.0	1.0	1.8
JDO2-91-12/6	22/35	480/970	64.18/70.26	84/88	0.62/0.86	7.0	1.0	1.8
JDO2-92-12/6	30/45	480/970	87.52/90.34	84/88	0.62/0.86	7.0	1.0	1.8

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

续表

型号	额定功率（千瓦）	额定时 转速（转/分）	额定时 电流（安）	额定时 效率（%）	额定时 功率因数（cosφ）	起动电流／额定电流	起动转矩／额定转矩	最大转矩／额定转矩
JDO2-31-8/4/2	0.6/1.8/1.8	720/1440/2910	2.76/4.38/5.31	60/78/66	0.55/0.80/0.78	7.0	1.0	1.6
JDO2-32-8/4/2	0.8/2.5/2.5	700/1420/2850	3.68/6.09/7.38	60/78/66	0.55/0.80/0.78	7.0	1.0	1.6
JDO2-41-8/4/2	1.1/3.5/3.5	720/1400/2960	4.68/8.11/9.62	65/81/70	0.55/0.81/0.79	7.0	1.0	1.6
JDO2-42-8/4/2	1.3/4.0/4.0	710/1420/2910	5.33/9.26/10.99	65/81/70	0.55/0.78/0.79	7.0	1.0	1.6
JDO2-51-8/4/2	1.8/5.5/5.5	710/1420/2900	7.10/12.13/14.12	70/84/74	0.55/0.82/0.80	7.0	1.0	1.6
JDO2-52-8/4/2	2.8/6.5/6.5	730/1450/2920	11.05/14.34/16.68	70/84/74	0.55/0.82/0.80	7.0	1.0	1.6
JDO2-61-8/4/2	3.5/8.0/8.0	730/1450/2900	12.14/17.23/19.49	73/85/77	0.60/0.83/0.81	7.0	1.0	1.6
JDO2-62-8/4/2	4.5/10/10	730/1450/2900	15.61/21.54/24.36	73/85/77	0.60/0.83/0.81	7.0	1.0	1.6
JDO2-71-8/4/2	6.0/13/13	730/1450/2900	19.60/26.70/29.76	75/86/79	0.62/0.86/0.84	7.0	1.0	1.6
JDO2-72-8/4/2	8.0/17/17	730/1450/2900	26.13/34.92/38.92	75/86/79	0.62/0.86/0.84	7.0	1.0	1.6
JDO2-81-8/4/2	10/22/22	730/1450/2900	31.82/44.16/49.15	77/87/80	0.62/0.87/0.85	7.0	1.0	1.6
JDO2-82-8/4/2	13/28/28	730/1450/2900	41.37/56.20/62.56	77/87/80	0.62/0.87/0.85	7.0	1.0	1.6
JDO2-91-8/4/2	17/30/30	730/1450/2900	53.41/58.86/65.43	78/88/81	0.62/0.88/0.86	7.0	1.0	1.6
JDO2-92-8/4/2	22/40/40	730/1450/2900	69.12/78.48/87.24	78/88/81	0.62/0.88/0.86	7.0	1.0	1.6

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

www.789pdf.com 789书库网

2-5 单相异步电动机

单相串励电动机(电钻电机)和罩极电动机(鼓风机电机)是工矿企业广泛使用的两种单相交流电动机，下面介绍它们的原理：

2-5.1 交流串励电动机

交流串励电动机的工作原理是建立在直流串励电动机基础之上的，因此，从直流串励电动机的工作原理进行分析。

直流串励电动机的工作原理如图 2-4a 所示。励磁绕组与电枢绕组串联在一起，接在直流电源上。根据主磁通和电枢电流的方向，利用电动机左手定则可以决定转子旋转的方向，在图 2-4a 中是逆时针方向旋转的。图 2-4b 与 2-4a 是同一台电机，唯一不同点是图 2-4b 的电源极性已经反过来。由于是串

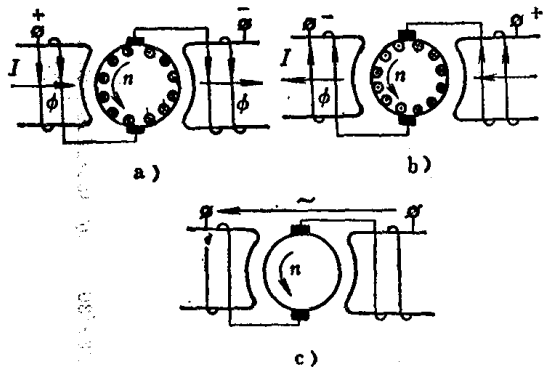


图 2-4 交流串励电动机的工作原理图

励电动机，主磁通 ϕ 及电枢电流 I 同时改变方向。根据电动机左手定则可知，在磁通及电枢电流同时改变方向的情况下，转子转向不变，仍为逆时针方向旋转。因此可以推论，一台直流串励电动机改接交流电压后，虽然电源极性在反复变化，但转

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

子始终维持一恒定转向，因此也可以作为交流电动机运行，这就是单相交流串励电动机的原理。

2-5.2 罩极电动机

罩极电动机的工作原理是建立在两相电机基础之上的，因此，在未研究罩极电动机工作原理之前，首先要研究两相电机内部磁场的性质。

在空间相隔90°的两个绕组，称为两相绕组，见图2-5。时间上相位差为90°的两个电流，称为两相电流。

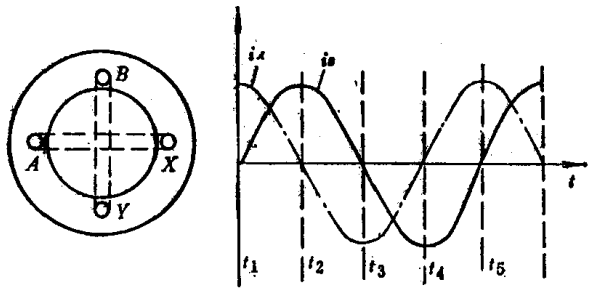


图2-5 两相绕组及其电流波形图

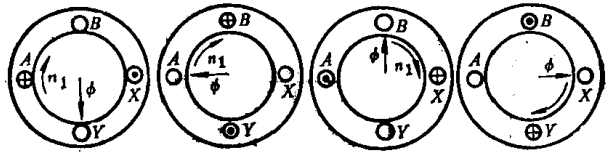


图2-6 对应于t_1～t_4四个瞬间电机内部的磁场

在图2-5中，t_1、t_2、t_3、t_4分别对应于A相及B相电流到达正或负最大值的瞬间。图2-6的四个图形分别对应于这四个瞬间电机内部的磁场。从图中可知，在t_1瞬间，A相电流为正的最大值时，B相电流却为零。因此，A相绕组所产生的磁场就是电机内部的总磁场，磁场方向向下。在t_2瞬间，B相电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

流为正的最大值，A 相电流为零。B 相绕组所产生的磁场就是电机内部的总磁场，此时磁场方向是从右向左。根据同样方法可以分析 t_3 和 t_4 时的磁场。因此，两相绕组通以两相电流后也产生一个旋转磁场，也能使转子旋转，组成一台异步电动机。

图 2-7a 是两相电机定子绕组示意图，两相绕组在空间互相垂直，因此所产生的磁通不能互相匝链。图 2-7b 是罩极电机定子绕组示意图，绕组 P 接在单相电源上，称为工作绕组；绕组 Q 自行短路，称为罩极绕组。由于工作绕组与罩极绕组在空间不互相垂直，因此工作绕组所产生的磁通可以分成两个分量 ϕ_1 及 ϕ_2，其中 ϕ_1 与绕组 Q 相匝链，在绕组 Q 中感应电势，而绕组 Q 是自成闭路的，因此便有电流流过，所以图 2-7b 所表示的罩极电机也是一个两相绕组，其中也流过两相电流，能够产生旋转磁场，使转子转动，组成一台罩极电动机。

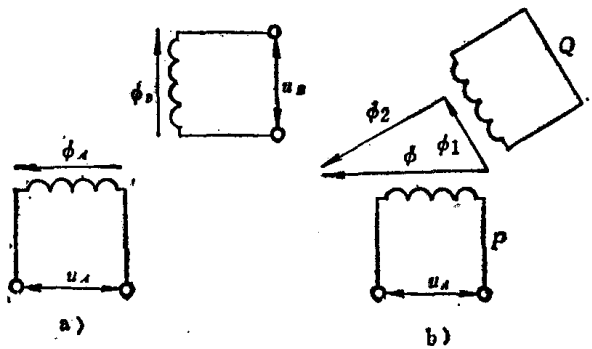


图 2-7　定子绕组示意图

2-6　驱动微电机

驱动微电机一般是指电机轴中心高（转轴中心至安装底脚平面的尺寸）在 80 毫米以下、功率在 750 瓦以下（中频微电机

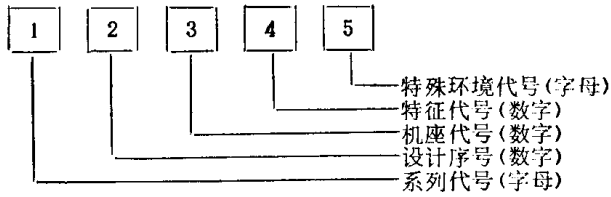
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

不受此限)、用来驱动机械负载的普通电机，其类型包括异步电动机、换向器电动机、同步电动机和中频电动机。微型异步电动机由于结构简单，运行安全可靠，维修方便，因而广泛用在各种小型车床、医疗器械、光学仪器以及纺织、化工、家用电器等方面。本节主要介绍这类产品的最新系列。

2-6.1 驱动微电机的型号表示法

驱动微电机的产品型号是由系列代号、设计序号、机座代号、特征代号及特殊环境代号等组成，其编排如下：



例如：某一电机型号为 AO7114T

AO——系列代号，O 表示封闭式结构，A 表示微型三相异步电动机系列。系列代号右下方无系列设计序号，表示该产品为第一次系列设计；

71——机座代号，表示电机轴中心高度为 71 毫米；

14——特征代号，表示 1 号铁心长度，4 极；

T——特殊环境代号，表示热带用。

2-6.2 新系列驱动微电机的技术数据

AO、BO、CO、DO、G 系列驱动微电机是根据机械工业部部颁标准生产的统一新系列产品，同老系列产品相比较，新系列产品不仅体积小，重量轻，系列化、通用化、标准化程度高，而且具有结构简单、运行安全可靠、维修方便等优点，较大地提高了技术经济指标，是提倡采用的产品。

1. AO 系列微型三相异步电动机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

AO系列产品将取代JW、JLO、JLOF、YLF等老系列产品以及JW新系列、A、A_1、A_2、1AO、2A、2AO、2JLO等过渡产品。它广泛用于机械传动设备，如小型机床和冶金、纺织、化工、医疗器械及家用电器等部门。其主要技术数据见表2-15。

表2-15 AO系列微电机主要技术数据

型号	额定功率（瓦）	额定转速（转/分）	额定电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
AO7112	750	2800	1.82	76	0.82	6	2.2	2.4
AO6332	550	2800	1.38	74.5	0.81	6	2.2	2.4
AO6322	370	2800	0.965	72.5	0.80	6	2.2	2.4
AO6312	250	2800	0.684	71	0.78	6	2.2	2.4
AO5622	180	2800	0.520	69	0.76	6	2.2	2.4
AO5612	120	2800	0.372	66	0.74	6	2.2	2.4
AO5022	90	2800	0.324	61	0.69	6	2.2	2.4
AO5012	60	2800	0.238	58	0.66	6	2.2	2.4
AO4522	40	2800	0.175	55	0.63	6	2.2	2.4
AO4512	25	2800	0.121	52	0.60	6	2.2	2.4
AO7124	750	1400	2.02	75	0.75	6	2.2	2.4
AO7114	550	1400	1.56	73	0.73	6	2.2	2.4
AO6334	370	1400	1.12	70.5	0.71	6	2.2	2.4
AO6324	250	1400	0.806	68	0.69	6	2.2	2.4
AO6314	180	1400	0.625	65	0.67	6	2.2	2.4
AO5624	120	1400	0.465	62	0.63	6	2.2	2.4
AO5614	90	1400	0.392	57	0.61	6	2.2	2.4
AO5024	60	1400	0.324	50	0.56	6	2.2	2.4
AO5014	40	1400	0.26	44	0.53	6	2.2	2.4
AO4524	25	1400	0.2	38	0.50	6	2.2	2.4
AO4514	15	1400	0.161	30	0.47	6	2.2	2.4

注：额定电压：380伏；频率：50赫；工作定额：连续；转向：可逆。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. BO系列微型单相分相起动异步电动机

BO系列产品具有起动转矩较低和起动电流较大等特点，它将取代JZ、JLOZ、YLFZ等老系列产品以及JZ新系列、B、BB、1BO、2B、2BO等过渡产品。BO系列产品适用于不需较高的起动转矩，而起动电流容许较大的一般机械传动设备，如小型机床、鼓风机、医疗器械、工业缝纫机、排风扇等。其主要技术数据见表2-16。

表2-16 BO系列微电机主要技术数据

型号	额定功率(瓦)	额定转速(转/分)	额定电流(安)	效率(%)	功率因数(cosφ)	起动电流(安)	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
BO7112	370	2800	3.5	65	0.74	29	1.25	1.8
BO6332	250	2800	2.5	63	0.72	20	1.3	1.8
BO6322	180	2800	1.95	60	0.70	15.5	1.5	1.8
BO6312	120	2800	1.43	56	0.68	12.5	1.6	1.8
BO5622	90	2800	1.19	52	0.66	10.5	1.7	1.8
BO5612	60	2800	1.01	42	0.64	8	1.8	1.8
BO7124	370	1400	4.17	63	0.64	29	1.3	1.8
BO7114	250	1400	3.05	60	0.62	20	1.4	1.8
BO6334	180	1400	2.44	56	0.60	15.5	1.6	1.8
BO6324	120	1400	1.85	50	0.59	12.5	1.7	1.8
BO6314	90	1400	1.6	44	0.58	10.5	1.8	1.8
BO5624	60	1400	1.28	38	0.56	8	2.0	1.8
BO5614	40	1400	1.05	32	0.54	7	2.2	1.8

注：额定电压：220伏；频率：50赫；工作定额：连续；转向：可逆。

3. CO系列微型单相电容起动异步电动机

CO系列产品具有起动转矩高、起动电流小等特点，它将

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

取代 JY 等老系列产品以及 JY 新系列、C、CB、1CO、2C、2CO 等过渡产品。CO 系列产品适用于需要满载起动而电流不宜过大的机械传动设备，如空气压缩机、泵、冰箱、医疗器械等。其主要技术数据见表 2-17。

表 2-17 CO 系列微电机的主要技术数据

型号	额定功率（瓦）	额定转速（转/分）	额定电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流（安）	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
CO8012	750	2800	6.24	70	0.78	37	2.5	1.8
CO7122	550	2800	4.83	68	0.76	29	2.5	1.8
CO7112	370	2800	3.5	65	0.74	21	2.5	1.8
CO6332	250	2800	2.5	63	0.72	15	3.0	1.8
CO6322	180	2800	1.95	60	0.70	12	3.0	1.8
CO8024	750	1400	7.05	69	0.70	37	2.5	1.8
CO8014	550	1400	5.65	66	0.67	29	2.5	1.8
CO7124	370	1400	4.17	63	0.64	21	2.5	1.8
CO7114	250	1400	3.05	60	0.62	15	3.0	1.8
CO6334	180	1400	2.44	56	0.60	12	3.0	1.8
CO6324	120	1400	1.85	50	0.59	9	3.0	1.8

注：额定电压：220 伏；频率：50 赫；工作定额：连续；转向：可逆。

4. DO 系列微型单相电容运转异步电动机

DO 系列产品具有起动转矩低、起动电流小等特点，它将取代 JX、JLOY 等老系列产品以及 JX 新系列、D、DB、1DO、2D、2DO 等过渡产品。DO 系列产品适用于要求运转平稳及起动转矩小的机械传动设备上，如录音机、风扇、记录仪表以及各种空载起动的机械。其主要技术数据见表 2-18。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-18　DO 系列微电机主要技术数据

型　号	额定功率（瓦）	额定转速（转/分）	额定电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流（安）	起动转矩/额定转矩	最大转矩/额定转矩
DO3312	180	2800	1.01	65	0.88	7	0.35	1.8
DO5622	120	2800	0.705	62	0.88	5	0.35	1.8
DO5612	90	2800	0.579	58	0.86	3.2	0.35	1.8
DO5022	60	2800	0.422	53	0.86	2.5	0.35	1.8
DO5012	40	2800	0.318	48	0.84	2	0.7	1.8
DO4522	25	2800	0.228	42	0.84	1.5	0.7	1.8
DO4512	15	2800	0.163	36	0.82	1	0.7	1.8
DO6324	180	1400	1.18	57	0.86	7	0.35	1.8
DO6314	120	1400	0.845	53	0.86	5	0.35	1.8
DO5624	90	1400	0.701	49	0.84	3.2	0.35	1.8
DO5614	60	1400	0.51	45	0.84	2.5	0.35	1.8
DO5024	40	1400	0.392	40	0.82	2	0.7	1.8
DO5014	25	1400	0.28	35	0.82	1.5	0.7	1.8
DO4524	15	1400	0.20	30	0.80	1	0.7	1.8
DO4514	8	1400	0.14	23	0.80	0.8	0.7	1.8

注：额定电压：220伏；频率：50赫；工作定额：连续；转向：可逆。

5．G系列微型单相交流串励电动机

G系列产品将取代U型串励整流子电动机老产品。G系列电动机在起动时能产生较大的最初起动转矩。它的转速随负载的变动或电源电压的变动而变化：负载增加转速减慢，负载减小转速增加；电压降低转速减慢，电压增高转速增加。因而可用调电压或与励磁绕组串接一可变电阻器的办法来调节电动机的转速。如果使用简单的单个可控线路进行调速，可以得到近似恒转矩的调速。

G系列电动机广泛应用于调速范围广的场合，如医疗器械、小型机床、风扇、实验室搅拌器、离心沉淀器、排字机、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

涂磁机、上光机、家用电器、电动工具等。其主要技术指标见表2-19。

表2-19 G系列微电机主要技术数据

型号	额定功率(瓦)	额定转速(转/分)	额定电流(安)	效率(%)	功率因数(cosφ)	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩
G3614	8	4000	0.14	32	0.83	2.5	1.5
G3624	15	4000	0.22	38	0.83	2.5	1.5
G3634	25	4000	0.32	44	0.81	2.5	1.5
G3616	15	6000	0.20	40	0.86	3.5	1.8
G3626	25	6000	0.29	45	0.86	3.5	1.8
G3636	40	6000	0.42	51	0.86	3.5	1.8
G3618	25	8000	0.28	46	0.88	4.5	3.0
G3628	40	8000	0.40	52	0.88	4.5	3.0
G3638	60	8000	0.57	55	0.88	4.5	3.0
G36112	40	12000	0.37	53	0.92	6.0	4.5
G36212	60	12000	0.53	56	0.92	6.0	4.5
G36312	90	12000	0.77	58	0.92	6.0	4.5
G4514	40	4000	0.45	50	0.81	2.5	1.7
G4524	60	4000	0.64	53	0.80	2.5	1.7
G4534	90	4000	0.91	56	0.80	2.5	1.7
G4516	60	6000	0.59	54	0.86	3.5	2.5
G4526	90	6000	0.85	56	0.86	3.5	2.5
G4536	120	6000	1.08	60	0.84	3.5	2.5
G4518	90	8000	0.82	57	0.88	4.5	4.0
G4528	120	8000	1.03	60	0.88	4.5	4.0
G4538	180	8000	1.50	62	0.88	4.5	4.0
G45112	120	1200	0.99	60	0.92	6.0	6.0
G45212	180	1200	1.43	62	0.92	6.0	6.0
G45312	250	1200	1.93	64	0.92	6.0	6.0
G5614	120	4000	1.15	59	0.80	2.5	2.0
G5624	180	4000	1.70	61	0.79	2.5	2.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	额定功率（瓦）	额定转速（转/分）	额定电流（安）	效率（%）	功率因数（cosφ）	起动电流/额定电流	起动转矩/额定转矩
G5634	250	4000	2.32	63	0.78	2.5	2.0
G5616	180	6000	1.60	61	0.84	3.5	3.0
G5626	250	6000	2.15	63	0.84	3.5	3.0
G5636	370	6000	3.08	65	0.84	3.5	3.0
G5618	250	8000	2.08	64	0.88	4.5	5.0
G5628	370	8000	2.90	66	0.88	4.5	5.0
G5638	550	8000	4.18	68	0.88	4.5	5.0
G7114	370	4000	3.32	65	0.78	2.5	2.0
G7124	550	4000	4.92	66	0.77	2.5	2.0
G7134	750	4000	6.70	67	0.76	2.5	2.0
G7116	550	6000	4.45	67	0.84	3.5	3.5
G7126	750	6000	6.0	68	0.84	3.5	3.5

2-7 旋转式直流弧焊机

直流弧焊机与交流弧焊机相比，具有容易引燃、电弧稳定、质量可靠等优点，而且对于三相电网来说，负载均匀，可以改善功率因数。

旋转式直流弧焊机与整流器式直流弧焊机相比，虽然有机组体积大、价格昂贵、维修不便等缺点，但由于它工作较可靠，仍在许多场合中应用。

直流弧焊发电机的基本原理是利用电枢反应的作用，使电流增大时减少气隙的有效磁通，降低端电压，使外特性急速下降，并维持一定的短路电流供焊接使用。

2-7.1 直流弧焊发电机的技术数据

常用的几种直流弧焊发电机的技术数据见表 2-20。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-20 直流弧焊发电机的技术数据

项目 \ 型号		AX-320 (AT-320)	AX1-500 (AB-500)	AX-165 (AB-165)
技术规格	工作电压(伏)	最大 30	最大 40	25～35
	空载电压(伏)	50～80	60～90	最大 80
	电流调节范围(安)	45～320	120～600	45～375
	转速(转/分)	1450	1450	2900
	暂载率(%)	100 75 50	100 65	100 60 35
	焊接电流(安)	250 280 320	400 500	230 300 375
	功率(千瓦)	7.5 8.4 9.6	16 20	3.9 5

项目 \ 型号		AR-300	AX3-300-2 (AG300-1)	ZHJ-300
技术规格	工作电压(伏)	25～35	25～30	30
	空载电压(伏)	最大 85	最大 68	62～75
	电流调节范围(安)	45～375	35～375	45～300
	转速(转/分)	2900	2900	1450
	暂载率(%)	100 60 35	100 65 35	65 50
	焊接电流(安)	230 300 375	230 300 375	280 300
	功率(千瓦)			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2-7.2 直流弧焊机用电动机的技术数据

常用的直流弧焊机用电动机的技术数据见表 2-21。

表 2-21 直流弧焊机机用电动机的技术数据

项目 \ 型号		AX-320 (AT-320)		AX1-500 (AB-500)		AX-165 (AB-165)		AR -300	AX3-300-2 (AG-300-1)		ZHJ-300
技术规格	功率(千瓦)	14	14	26	26	6	6	10	10	10	13
	电压(伏)	220/380	380/660	220/380	380/660	220/380	380/660	380	220/380	380/660	380
	相数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	转速(转/分)	1450	1450	1450	1450	2900	2900	2900	2900	2900	1450
	电流(安)	47.8/27.6	27.6/15.95	88.2/50.9	50.9/29.4	21.4/12.4	12.4/7.16	20.8	36/20.8	20.8/12	28
	频率(赫)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三章　电动机的使用与维修

3-1　电动机的选择

3-1.1　电动机容量的选择

要为某一台生产机械选配电动机，首先需要考虑电动机的容量。如果电动机的容量选大了，虽然能保证设备正常运行，但是不仅增加了投资，并且由于电动机经常不是在满负荷下运行，它的效率和功率因数也都不高，会造成电力的浪费；如果电动机的容量选小了，就不能保证电动机和生产机械正常运行，不能充分发挥生产机械的效能，并会使电动机过早地损坏。

电动机的容量是根据它的发热情况来选择的。在容许温度以内，电动机绝缘材料的寿命约为15～25年。如果超过了容许温度，电动机的使用年限就要缩短。一般说来，多超过8℃，使用年限就要缩短一半。电动机的发热情况，又与负载的大小及运行时间的长短(运行方式)有关。所以应按不同的运行方式来考虑电动机容量的选择问题。

电动机的运行方式通常可分为长期运行、短时运行和重复短时运行三种。下面分别进行讨论。

一、长期运行电动机容量的选择

1．在恒定负载下长期运行的电动机容量等于生产机械所需的功率/效率。

2．在变动负载下长期运行的电动机，选择其容量时，常采用等效负载法，就是假设一个恒定负载来代替实际的变动负载，但是两者的发热情况应相同，然后按1所述原则选择电动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机容量，所选容量应等于或略大于等效负载。

二、短时运行电动机容量的选择

所谓短时运行方式，是指电动机的温升在工作期间未达到稳定值，而停止运转时，电动机能完全冷却到周围环境的温度。

电动机在短时运行时，可以容许过载，工作时间越短，则过载可以越大，但过载量不能无限增大，必须小于电动机的最大转矩。选择电动机容量可根据过载系数 λ(最大转矩/额定转矩)来考虑。电动机的预定功率≥生产机械所要求的功率/λ。

三、重复短时运行电动机容量的选择

专门用于重复短时运行的交流异步电动机为 JZR 和 JZ 系列。标准负载持续率分 15%、25%、40%和 60%四种，重复运行周期不大于 10 分钟。电动机的功率也可应用等效负载法来选择(参阅本节一)。

3-1.2 电动机种类的选择

选择电动机的种类是从交流或直流、机械特性、调速与起动性能、维护及价格等方面来考虑的。

1. 要求机械特性较硬而无特殊调速要求的一般生产机械，如功率不大的水泵、通风机和小型机床等，应尽可能选用鼠笼式电动机。

2. 某些要求起动性能较好，在不大范围内平滑调速的设备，如起重机、卷扬机等，可采用绕线式电动机。

3. 为了提高电网的功率因数，并且功率较大而又不需要调速的生产机械，如大功率水泵和空气压缩机等，可采用同步电动机。

4. 在设备有特殊调速、大起动转矩等方面的要求而交流电动机不能满足时，才考虑使用直流电动机。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-1.3 电动机电压的选择

交流电动机额定电压一般选用380伏或380伏和220伏两用，只有大容量的交流电动机才采用3000伏或6000伏。

3-1.4 电动机转速的选择

电动机的额定转速是根据生产机械的要求而选定的。但是，当功率一定时，电动机的转速越低，其尺寸越大，价格越贵，而且效率越低。因此，如无安装尺寸等特殊要求时，就不如购买一台高速电动机，再另配减速器更便宜些。通常电动机都采用四极的(同步转速n_0=1500转/分)。

3-1.5 电动机结构型式的选择

为保证电动机在不同环境中安全可靠地运行，电动机结构型式的选择可参照下列原则：

1. 灰尘少、无腐蚀性气体的场合选用防护式；
2. 灰尘多、潮湿或含有腐蚀性气体的场合选用封闭式；
3. 有爆炸性气体的场合选用防爆式。

3-2 电线及电缆的选用原则

3-2.1 导线的容许温升及最大容许持续电流

为防止导线的绝缘材料因过热而损坏，防止裸导线连接点氧化或熔化，规定导线的最高容许温度如下：

橡皮绝缘导线及电缆	55℃
低绝缘电缆	80℃
裸导线	70℃

根据上述最高容许温度，规定了各种导线的最大容许持续电流I'，具体数值见7-1.5节中表7-15～7-20。

3-2.2 根据线路工作电流选择导线截面

如果线路上只有一台电动机，则线路工作电流I_g即为电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

动机的工作电流I_D，即

$$I_g=I_D=\frac{\beta P_e\times 10^3}{\sqrt{3}\,U_e\eta\cos\varphi}$$

式中 P_e ——电动机的额定功率(千瓦)；

U_e ——电动机的额定电压(伏)；

η ——电动机在额定负载时的效率；

$\cos\varphi$——电动机在额定负载时的功率因数；

β ——负载系数，即电动机的实际输出功率与额定功率的比值，一般可取 0.9～1。

如果线路上有几台电动机，则

$$I_g=K_0(I_{D1}+I_{D2}+I_{D3}+\cdots+I_{Dn})$$

式中 I_{D1}、I_{D2}、I_{D3}、……I_{Dn}——分别为每台电动机的工作电流；

K_0——电动机同时利用系数。由于各台电动机不一定同时运行，若电动机为5～8台时，可取 $K_0=0.95$；若电动机为20～30台时，可取 $K_0=0.8$。

导线的最大容许持续电流应选得略大于线路的工作电流，即 $I'\geqslant I_g$，然后查 7-1.5 节中的表 7-15～表 7-20，即可根据所用导线的种类选用相应的截面。

3-2.3 *根据容许电压损失选择导线截面*

为了不影响电动机的正常工作，线路的电压损失一般不得超过5%。所以根据线路工作电流计算好导线截面后，还要进行电压损失的计算，如果损失过大，应适当增加导线的截面。

三相线路的电压损失 Δu 可用下式计算：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\Delta u=\frac{PL\times 10^{6}}{\gamma SU_{e}^{2}}\times 100\%$$

式中 P ——负载的输入功率(千瓦)；

L ——线路的总长度(米)；

γ ——导线的电导率(米/欧·毫米^2)；

S ——导线截面(毫米^2)；

U_e——负载的额定电压(伏)。

各种裸导线、绝缘电线及电缆的应用范围、规格均可参考7-1节。

3-3 起动保护设备的选择

生产工艺过程对生产机械的要求是不同的，但一般要求机械能够准确地起动和停止，速度可以进行快慢的变化，运动方向能够按工艺要求改变等等。生产机械的这些特点，一般是通过电动机的动作(即电力施动)来完成的。要达到上述目的，必须有一整套的装置和器材，才能对电动机的起动、调速、反向、制动和停止等进行保护和控制。因而，正确地选择电力拖动中的控制设备，是保证安全生产的首要条件。为方便读者选用，本节仅将最常用的电动机、电焊机、吊车等的起动保护设备和导线选择表列出，供参考。其他型号的电动机也可参照此表的原则选用起动保护设备。当然，在实际生产中，由于使用条件和物资条件不同，也可选用其他型号的熔断器、开关和导线，但一般代用的原则是应留有一定的余地，以确保人身设备的安全。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-3.1 J2系列电动机起动保护设备及导线选择表

表3-1 J2系列电动机起动

电动机				选用熔断器				铁壳开关
型号	功率	额定电流	起动电流	RC1A	RL1	RM7	RTO	HH3或HH4型
J2	(千瓦)	(安)	(安)	额定电流(安)				额定电流(安)
1	3	4	5	6	7	8	9	10
61-6	10	21.4	189	60/50	60/60	60/60	100/50	60/50
61-4	13	25.5	179	60/60	100/80	100/80	100/60	60/60
62-6		27.4	178					
61-2	17	32.5	228	100/80	100/80	100/80	100/80	—
62-4		33	231					
71-6		35	228					
62-2	22	41.7	291	100/100	100/100	100/100	100/100	—
71-4		42.5	298					
72-6		44.4	288					
71-2	30	56	392	—	—	200/160	200/120	—
72-4		57.6	403					
81-6		59.3	386					
72-2	40	73.9	480	—	—	200/160	200/150	—
81-4		75	488					
82-6		77.4	502					
81-2	55	99.8	650	—	—	350/225	200/200	—
82-4		103	670					
91-6		104	676					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

保护设备及导线选择表

QC8	QC10	QC12	自动开关		BLV导线截面(毫米²)
磁力起动器等级			DZ4-$\frac{25}{50}$	DZ5-20	钢管直径(毫米)
热元件额定电流(安)			热脱扣器额定电流(安)		(30°C)
11	12	13	14	15	16
$\frac{3/6}{24安}$	$\frac{3/6}{24安}$	$\frac{3/H}{22安}$	25	—	$\frac{4}{G15}$
$\frac{4/6}{33安}$	$\frac{4/6}{35安}$	$\frac{4/H}{32安}$	40	—	$\frac{6}{G15}$
$\frac{4/6}{45安}$	$\frac{4/6}{45安}$	$\frac{4/H}{45安}$	40	—	$\frac{10}{G25}$
$\frac{5/6}{57安}$	$\frac{5/6}{50安}$	$\frac{5/H}{63安}$	50	—	$\frac{16}{G25}$
$\frac{5/6}{86安}$	$\frac{5/6}{72安}$	$\frac{5/H}{63安}$	60	—	$\frac{25}{G32}$
$\frac{6/6}{86安}$	$\frac{6/6}{100安}$	$\frac{6/H}{85安}$	80	—	$\frac{35}{G40}$
$\frac{6/6}{125安}$	$\frac{6/6}{100安}$	$\frac{6/H}{120安}$	120	—	$\frac{50}{G50}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-3.2 JO2系列电动机起动保护设备及导线选择表

表3-2 JO2系列电动机起动保

电动机				选用熔断器				铁壳开关
型号	功率	额定电流	起动电流	RC1A	RL1	RM7	RTO	HH3或HH4型
JO2	(千瓦)	(安)	(安)	额定电流(安)				额定电流(安)
1	3	4	5	6	7	8	9	10
11-2		1.85	13					
12-4	0.8	2.06	14	10/6	15/6	15/6	—	15/6
21-6		2.31	15					
12-2		2.44	17					
21-4	1.1	2.68	19	10/10	15/10	15/10	—	15/10
22-6		3.01	20					
21-2		3.21	23					
22-4	1.5	3.49	24	15/10	15/10	15/10	—	15/10
31-6		3.92	25					
22-2		4.65	33					
31-4	2.2	4.9	34	15/15	15/15	15/15	—	15/15
32-6		5.46	35					
31-2		6.17	43					
32-4	3.0	6.5	46	15/15	60/20	60/20	—	15/15
41-6		7.07	46					
32-2		8.06	56					
41-4	4.0	8.4	59	30/20	60/25	60/25	—	30/20
42-6		9.15	59					
41-2		11	77					
42-4	5.5	11.3	79	30/30	60/35	60/35	100/40	30/30
51-6		12.3	80					
42-2		14.8	104					
51-4	7.5	15.1	106	60/40	60/50	60/45	100/50	60/40
52-6		16.3	106					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

护设备及导线选择表

QC3	QC10	QC12	自动开关		RLV导线截面(毫米²)
磁力起动器等级			DZ4-$\frac{25}{50}$	DZ5-20	钢管直径(毫米)
热元件额定电流(安)			热脱扣器额定电流(安)		(30°C)
11	12	13	14	15	16
$\frac{2/6}{2.4安}$	$\frac{2/6}{2.4安}$	$\frac{2/H}{2.4安}$	2.5	3	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{2/6}{3.5安}$	$\frac{2/6}{3.5安}$	$\frac{2/H}{3.5安}$	4	3	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{2/6}{5安}$	$\frac{2/6}{5安}$	$\frac{2/H}{5安}$	4	4.5	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{2/6}{7.2安}$	$\frac{2/6}{7.2安}$	$\frac{2/H}{7.2安}$	6.4	6.5	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{2/6}{11安}$	$\frac{2/6}{11安}$	$\frac{2/H}{11安}$	10	10	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{2/6}{11安}$	$\frac{2/6}{11安}$	$\frac{2/H}{11安}$	10	10	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{3/6}{16安}$	$\frac{3/6}{16安}$	$\frac{3/H}{16安}$	16	15	$\frac{2.5}{G15}$
$\frac{3/6}{24安}$	$\frac{3/6}{24安}$	$\frac{3/H}{22安}$	16	20	$\frac{2.5}{G15}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电动机				选用熔断器				铁壳开关
型号	功率	额定电流	起动电流	RC1A	RL1	RM10	RTO	HH3或HH4型
JO2	(千瓦)	(安)	(安)	额定电流(安)				额定电流(安)
1	3	4	5	6	7	8	9	10
51-2	10	19.7	138	60/50	60/60	60/60	100/50	60/50
52-4		20	140					
61-6		21.3	138					
52-2	13	25.5	178	60/60	100/80	100/80	100/60	60/60
61-4		25.6	179					
62-6		27.2	177					
61-2	17	324	227	100/80	100/80	100/80	100/80	—
62-4		32.9	230					
71-6		34.8	226					
71-2	22	42	294	—	100/100	100/100	100/100	—
71-4		42.5	298					
72-6		44.3	288					
72-2	30	56	392	—	—	200/160	200/120	—
72-4		57.6	404					
81-6		59.3	386					
82-8		61.6	340			200/125	100/100	
81-2	40	74.3	483	—	—	200/160	200/150	—
81-4		75	487					
82-6		77.4	502					
91-8		80.3	442				200/120	
82-2	55	101	656	—	—	350/225	200/200	—
82-4		102.6	667					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

QC8	QC10	QC12	自动开关		RLV导线截面(毫米²)
磁力起动器等级			DZ4-$\frac{25}{50}$	DZ5-20	钢管直径(毫米)
热元件额定电流(安)			热脱扣器额定电流(安)		(30°C)
11	12	13	14	15	16
3/6 24安	3/6 24安	3/H 22安	25	20 —	4 G15
4/6 33安	4/6 35安	4/H 32安	40	—	6 G15
4/6 45安	4/6 45安	4/H 45安	40	—	10 G25
5/6 57安	5/6 50安	5/H 63安	50	—	16 G25
5/6 86安	5/6 72安	5/H 63安	60	—	25 G32
6/6 86安	6/6 100安	6/H 85安	80	—	35 G40
6/6 125安	6/6 100安	6/H 120安	120	—	50 G50

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-3.3 电焊机的起动保护设备及导线选择表

表 3-3 变压器型电焊设备的

焊接变压器型号	容量（千伏安）	电压（伏）	相数	功率因数 cosφ	暂载率 ε%	输入电流/计算电流（安）
BX-500	32	380	1	0.52	65	82/76
BX-500	32	220	1	0.52	65	142/131
BX1-135	8.7	380	1	0.58	65	23.5/23.5
BX1-135	8.7	220	1	0.58	65	41/41
BX1-330	21	380	1	0.5	65	56/51
BX1-330	21	220	1	0.5	65	96/88
BX2-500	42	380	1	0.62	60	110/97
BX2-500	42	220	1	0.62	60	190/169
BX2-700	56	380	1	0.62	60	147/132
BX2-700	56	220	1	0.62	60	254/225

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

保护设备及导线选择表

HH3 HH4 型 铁壳开关的规格	熔体电流 (安)	导线截面(毫米²)及钢管直径G(毫米)	
		30°C	
		BLV YHC	G
三相 100 安	80	2×25 2×16+1×6	25
单相 200 安	150	2×70 2×35+1×16	50
三相 30 安	25	2×4 2×2.5+1×1.5	15
单相 60 安	40	2×10 2×6+1×4	20
三相 60 安	60	2×16 2×6+1×4	20
单相 100 安	100	2×35 2×16+1×6	32
三相 200 安 三相 15 安	120 15	(2×50)+(3×2.5) (2×25+1×10)+(3×2.5)	32+15
单相 200 安 三相 15 安	200 15	(2×95)+(3×2.5) (2×50+1×16)+(3×2.5)	50+15
三相 200 安 三相 15 安	150 15	(2×70)+(3×2.5) (2×35+1×10)+(3×2.5)	50+15
XL-12-400R 三相 15 安	250 15	(2×150)+(3×2.5) (2×25+1×10)+(3×2.5)	70+15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

焊接变压器型号	容量 (千伏安)	电压 (伏)	相数	功率因数 cosφ	暂载率 ε%	输入电流 / 计算电流 (安)
BX2-1000	76	380	1	0.62	60	194 / 171
BX2-1000	76	220	1	0.62	60	336 / 297
BX2-2000	170	380	1	0.69	50	450 / 364
BX3-120	8.2	380	1	0.45	60	21.5 / 21.5
BX3-120	8.2	220	1	0.45	60	37.2 / 37.2
BX3-3000	20.5	380	1	0.53	60	54 / 48
BX3-300	20.5	220	1	0.53	60	93.5 / 83
BX3-500	33.2	380	1	0.52	60	87.4 / 77
BX3-500	33.2	220	1	0.52	60	151 / 134
BP-3×500	122	380	3	—	65	185 / 170

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

HH3 HH4 型 铁壳开关的规格	熔体电流 (安)	导线截面(毫米²)及钢管直径G(毫米)	
		30℃	
		BLV YHC	G
三相200安 三相15安	200 15	(2×95)+(3×2.5) (2×70)+(1×25)+(3×2.5)	50+15
XL-12-400R 三相15安	350 15	2(2×70)+(3×2.5) 2(2×50)+(1×16)+(3×2.5)	2×50+15
XL-12-400R 三相15(安)	400 15	2(2×120)+(3×2.5) 2(2×70)+(1×25)+(3×2.5)	2×70+15
三相30安	20	2×4 2×2.5+1×1.5	15
单相60安	40	2×10 2×4+1×2.5	20
三相60安	60	2×10 2×6+1×4	20
单相100安	100	2×35 2×16+1×6	32
单相100安	80	2×25 2×16+1×6	25
单相200安	150	2×70 2×35+1×10	50
三相200安	200	3×120 3×70+1×25	70

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-4　发电机型电焊设备的

焊接发电机型号		容量	额定电流	功率因数	熔断器(管)电流(安)/熔体电流(安)			
新型号	旧型号	(千瓦)	(安)	cosφ	RC1A	RL1	RM10	RTO
AX-320	AT-320	12 14	24 27.6	0.87	60/50	60/60	60/60	100/50
AX-165	AB-165	6	12.3	0.87	30/25	60/40	60/35	100/30
AX1-500	AB-500	26	50.9	0.88	100/100	100/100	100/100	100/80
AX2-100	BE-100	4	7.8	0.78	15/15	60/25	60/25	—
AX3-300 AX3-300-1	AG-300-1 AG-300-2	10	20.8	0.86	60/40	60/40	60/45	100/50
AX3-500	AG-500	26	51.5	—	100/100	100/100	100/100	100/100
AP1-350	AF-350	14	27.3	—	60/50	60/60	60/60	100/50
AP-1000	AM-1000	75	143	—	—	—	350/225	200/200

注：电焊机容量为传动焊接发电机的电动机的功率，其暂载率为 100%，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

保护设备及导线选择表

磁力起动器等级 热元件额定电流(安)			导线截面(毫米²)及钢管直径G(毫米) 30℃	
QC8	QC10	QC12	BLV YHC	G
4/6 33A	4/6 35A	4/H 32A	3×6 3×4+1×2.5	15
3/6 16A	3/6 16A	3/H 16A	3×2.5 3×2.5+1×1.5	15
5/6 57A	5/6 72A	5/H 63A	3×16 3×10+1×6	25
2/6 11A	2/6 11A	2/H 11A	3×2.5 3×2.5+1×1.5	15
3/6 24A	3/6 24A	3/H 22A	3×4 3×2.5+1×1.5	15
5/6 57A	5/6 72A	5/H 63A	3×16 3×10+1×6	25
4/6 33A	4/6 35A	4/H 32A	3×6 3×4+1×2.5	15
7/6 176A	7/6 150A	7/H 160A	3×95	70

电源为三相380伏。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-3.4 吊车供电开关及导线选择表

表3-5 一台吊车(ε=25%)

吊车类型	起重量(吨)	额定总功率(千瓦)	电动机功		
			主钩	副钩	大车
			(千瓦/安)	(千瓦/安)	(千瓦/安)
电动葫芦	0.5	1.1	0.8/3	—	—
	1	2.8	2.2/6.4	—	—
	2	4.1	3.5/9.2	—	—
	3	6	5/13	—	—
	5	8.5	7.5/19.7	—	—
梁*式吊车	0.5	3.3	0.8/3	—	2.2/5
	1	5	2.2/6.4	—	2.2/5
	2	6.3	3.5/9.2	—	2.2/5
	3	8.9	5/13	—	2.2/5
	5	11.4	7.5/19.7	—	2.2/5
桥式吊车	5	23.2	11/28	—	2×5/15
	10	29.5	16/43	—	2×5/15
	15/3	35.5	22/57	11/31	2×5/15
	20/5	48.5	30/72	16/43	2×7.5/21
	30/5	80	60/133	16/43	2×7.2/21
	50/10	89.5	60/133	30/80	2×11/28

注：1. 额定总功率中不包括副钩电机容量。

2. 电动机功率栏内分子为额定功率，分母为额定电流。

3. 导线环境温度按30°C选择。

* 悬挂梁式吊车采用扁钢滑触线（扁），支柱梁式吊车可采用角钢滑触

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

供电开关及导线选择表

率 小　车 (千瓦/安)	熔片电流 I_{rd} (安)	导线截面(毫米²) 及管径G(毫米) BLV	G	铁壳开关 (安)	滑触线 规格(毫米)	每10米电压损失%
0.3/0.9	10	3×2.5	15	10	角 30×30×4	0.19
0.6/1.9	15	3×2.5	15	15	角 30×30×4	0.3
0.6/1.9	20	3×2.5	15	30	角 30×30×4	0.4
1/2.9	40	3×2.5	15	60	角 30×30×4	0.67
1/2.9	60	3×4	15	60	角 40×40×4	0.87
0.3/0.9	10	3×2.5	15	10	扁 30×4	0.34
					角 40×40×4	0.2
0.6/1.9	20	3×2.5	15	30	扁 30×4	0.52
					角 40×40×4	0.31
0.6/1.9	25	3×2.5	15	30	扁 30×4	0.69
					角 40×40×4	0.48
1.7/3.7	40	3×2.5	15	60	扁 30×4	1.12
					角 40×40×4	0.67
1.7/3.7	60	3×4	15	60	角 40×40×4	0.87
2.2/7.2	40	3×6	15	60	角 40×40×4	0.70
3.5/10	60	3×10	25	60	角 40×40×4	0.95
3.5/10	80	3×16	25	100	角 50×50×5	0.92
3.5/10	100	3×25	32	100	角 75×75×8	0.80
5/15	160	3×50	50	200	角 75×75×8	1.20
7.5/21	160	3×50	50	200	角 75×75×8	1.25

线(角)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-4 电动机传动方式的选择

电动机的传动方式很多，有直接传动、皮带传动、齿轮传动、链条传动等，可根据具体情况选择使用。由于齿轮传动和链条传动比较复杂，本节仅介绍直接传动和皮带传动。

3-4.1 直接传动

使用联轴器把电动机和设备的轴直接连接起来的传动，叫做直接传动。这种传动的优点是：传动效率高、设备简单、成本低、运行可靠、安全性好。因此，当电动机的转速和所带动的设备，如风机、砂轮机、水泵等的转速相同时，应尽可能采用这种传动装置。

3-4.2 皮带传动

当电动机和所带动的设备转速不一致时，就需要采用变速的传动装置，最简单的方式就是皮带传动。这种传动的优点是：结构简单、成本低廉、拆装方便，并可以缓和由负载引起的冲击和振动。

1. 平皮带传动

平皮带传动的最大优点是简单易做，工作可靠，如果安装得恰当，其传动效率可达95%。但这种皮带的传动比不宜大于5，一般采用3，所以在传动比不大的情况下，可以选用这种传动方式。平皮带的规格和容许传递功率见7-5.5节。

2. 三角皮带传动

三角皮带传动可以得到比较大的传动比，最高可达10，并且两皮带轮的中心距可以比较近。此外，以这种方式运转时振动小，效果高，故可用于许多场合。其缺点是，寿命较短，成本较高。三角皮带的剖面尺寸和选用型号见7-5.5节。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-5 电动机的安装

3-5.1 电动机的基础

对于安装位置固定的电动机，在使用过程中，如果不是与其他机械配套安装在一起，均应采用混凝土或砖砌成的基础。混凝土基础要在电机安装前15天做好；砖砌基础要在安装前7天做好。基础面应平整，基础尺寸应符合设计要求，并留有装底脚螺丝的孔眼，其位置应正确，孔眼要比螺丝大一些，以便于灌浆。底脚螺丝的下端要做成钩形，以免拧紧螺丝时，螺丝跟着转动。浇灌底脚螺丝可用1:1的水泥砂浆，灌浆前应先用水将孔眼灌湿冲净，然后再灌浆捣实。

至于经常流动使用的电动机，可因地制宜，采用合适的安装结构。但必须注意，不管在什么情况下，要保证有足够的强度，避免造成不必要的人身设备事故。

选择安装电动机的地点时一般应注意以下几点：

1. 尽量安装在干燥、灰尘较少的地方；
2. 尽量安装在通风较好的地方；
3. 尽量安装在较宽畅的地方，以便于进行日常操作和维修。

3-5.2 电动机的安装与校正

一、电动机的水平校正

电动机在基础上安放好后，首先应检查它的水平情况，可用普通水平仪来校正电动机的纵向和横向的水平情况。如果不平，可用0.5～5毫米厚的钢片垫在机座下进行找平。不能用木片和竹片垫在机座下，以免在拧紧螺母或在以后电动机运行中木、竹片变形或碎裂。

校正好电动机水平后，再校正传动装置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、皮带传动的校正

用皮带传动时，必须使电动机皮带轮的轴和被传动机器皮带轮的轴保持平行位置，同时还要将两皮带轮宽度的中心线调整到同一直线上来。皮带类型的选择和传递功率的范围见7-5.5节。

三、联轴器传动的校正

1. 以机器或泵为基准调整两联轴器，使之轴向平行，若不平行时，应加垫或减垫。

2. 找正两联轴器平面，如两联轴器上面间隙大时，减前面垫铁；如下面间隙大时，减后边垫铁。两联轴器容许平面间隙应合乎表3-6的规定。

表3-6 两联轴器容许平面间隙

联轴器直径（毫米）	两联轴器容许平面间隙(毫米)
90～140	2.5
140～260	2.5～4
200～500	4～6

3-6 三相异步电动机的起动

在生产过程中，电动机经常要开停，其起动性能的好坏，对生产有很大的影响。所以对电动机的设计和使用，都一定要考虑它的起动性能和起动方法。

异步电动机的起动特性，包括起动电流、起动转矩、起动时间、起动的可靠性、起动时绕组的耗能和绕组的发热情况等，其中起动电流和起动转矩的大小是主要问题。

电动机的起动电流太大，会使绕组发热，起动时间越长，发热越严重，并将加速绝缘老化，缩短电动机寿命；同时，起

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

动电流太大，也会引起电网电压的波动，因而影响电网上其他电气设备的正常运行。

异步电动机的起动转矩约为其额定转矩的 0.95～2 倍。起动转矩太小，会使电动机起动很慢，有时甚至不能起动；起动时间太长，会消耗大量的电能，并对电机不利。所以，异步电动机的起动，一般应满足以下几点要求：

1. 减少起动电流，并使起动转矩满足负载的要求；

2. 起动的方法应该可靠、正确，起动设备应该简单、经济；

3. 起动过程中，转速应该平滑上升；

4. 起动过程中的功率损耗应尽可能小。

3-6.1 电动机起动前的准备与检查

1. 新的或长期不用的电动机，使用前都应该检查一下电动机绕组间和绕组对地的绝缘电阻。对绕线式电动机，除检查定子绝缘外，同时还应检查转子绕组及滑环对地及滑环之间的绝缘电阻。绝缘电阻每千伏工作电压不得小于 1 兆欧；一般三相 380 伏电动机的绝缘电阻应大于 0.5 兆欧方可使用，否则应该进行干燥处理(烘干办法参考 3-14.6 节)。

2. 检查铭牌所示电压、频率与实际线路是否相符，接法是否正确。

3. 用压缩空气或“皮老虎”吹净电动机内部灰尘及污垢杂物。

4. 检查电动机的转轴能否自由转动，轴承是否有油。对于滑动轴承，转子的轴向移动量每边约 2～3 毫米。

5. 检查电动机接地装置是否可靠，各螺栓是否拧紧。

6. 对绕线式电动机还应检查滑环上的电刷表面是否全部贴紧滑环，导线是否相碰，电刷提升机构是否灵活，电刷压力

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是否正常(一般为 150～250 克/厘米^2)。

7. 对不可逆转的电动机，需检查运转方向是否与该电动机的运转指示箭头方向相符。

经过上述准备工作及检查后，方可起动电动机。电动机起动后应空转一段时间，在这段时间内，应检查轴承温升是否超过规定值，是否有不正常的声响、振动或局部过热的情况。

3-6.2 鼠笼式电动机的直接起动

直接起动就是将电动机通过刀开关(或交流接触器)直接接到电网上起动。这种方法是最简单的起动方法，当电源容量足够大时，应该尽量采用这种方法起动。缺点是起动电流很大，会使电网压降瞬时显著降低，而影响其他电气设备的正常运行。所以电动机能否直接起动要根据电网的容量、容许干扰的程度以及电动机的型式和起动次数来决定。一般规定：第一，起动时电源变压器的母线压降不应超过容许值(经常起动时，母线

表 3-7 6(10)/0.4 千伏变压器容许直接起鼠笼式电动机的最大功率

变压器供电的其他负载	起动时的容许压降(%)	供电变压器容量 S (千伏安)					
		100	180	320	560	750	1000
		起动鼠笼式电动机的最大功率(千瓦)					
$S_{负载}=0.5s$	10	22	40	75	115	155	215
$\cos\varphi=0.7$	15	30	55	100	185	240	280
$S_{负载}=0.6s$	10	17	30	75	100	130	185
$\cos\varphi=0.8$	15	30	55	100	185	240	280

注：(1) 表中所列数据系指电动机与变电所低压母线直接相连时的参考数据，当供电线路较长时，数值应比表中数据为低。

(2) $S_{负载}$ 及 $\cos\varphi$ 为变压器所供给的其他负载(千伏安)及所供负载的功率因数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

最大容许压降为10%，不经常起动时为15%)；第二，起动时，变压器的短时过载也不应超过最大容许值。根据经验，容许直接起动的鼠笼式电动机的最大功率应不大于电源变压器容量的20～30%。

在低压电网中，6(10)/0.4千伏变压器容许直接起动的鼠笼式电动机的最大功率可参考表3-7。

在特殊情况下，如果变压器为某一台电动机所专用(如水泵站的变压器)，这时容许起动的电动机容量，可以达到变压器容量的80%。

3-6.3 鼠笼式电动机的Y-△起动

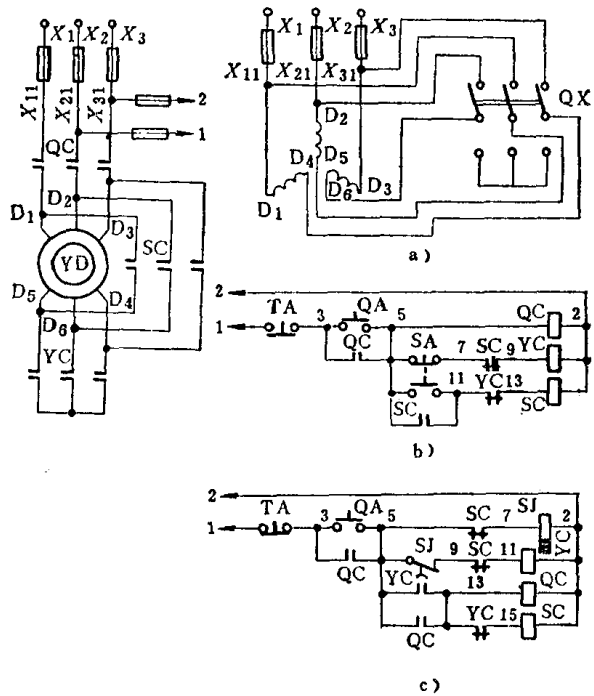


图3-1 Y-△起动控制电路

a)手柄操作 b)按钮操作 c)时间继电器操作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

Y-△起动是降压起动的方法之一。降压起动的目的是减少起动电流，但同时，它也使电动机的起动力矩减小了。

Y-△起动方法适用于在正常运行时，绕组是△接法的较大容量的电动机。电动机定子的6个线头都引出来，接到换接开关上。起动时，先将定子接成Y形，待转速增加到一定程度时，再改为△连接。这种起动方法可使每相定子绕组所受的电压在起动时降到电路电压的 $1/\sqrt{3}$(57.7%)；电流为直接起动的1/3(约为额定电流的2～2.35倍)；起动力矩也同时减到直接起动的1/3(约为满载转矩的0.27～0.5倍)。

Y-△起动控制电路见图3-1。

3-6.4 鼠笼式电动机的电阻降压及电抗降压起动

在电动机定子绕组上串联电阻或电抗器也可以达到降压起动的目的。串联电抗器起动通常应用于高压电动机。现仅以串联电阻起动的电路图3-2来说明其工作原理。当起动电动机时，利用电阻 R 上的电压降使电动机的起动电流减少，待电动机达

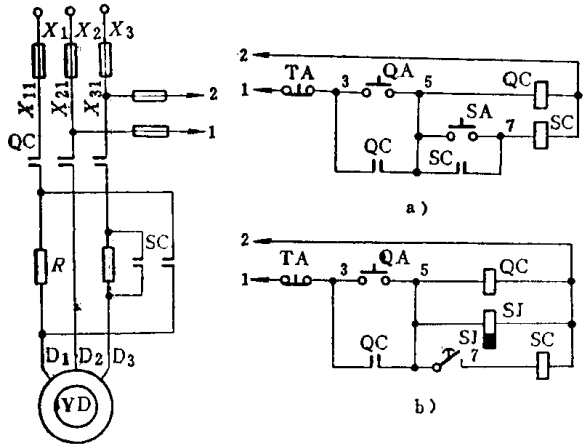


图3-2 串联电阻的起动控制电路

a)手动切除串联电阻 b)延时闭合继电器切除串联电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

到一定转速时，再将电阻 R 切除，于是电动机投入正常运转。

3-6.5 鼠笼式电动机的自耦变压器起动

自耦变压器(也称补偿起动器)起动也是降压起动的方法之一。安装时，将自耦变压器的原边接电网，副边接电动机，一般有几个分接头，可用来选择不同的电压比。例如使副边电压为原边的60%、65%或80%时，其起动特性见表3-8。其控制原理与串联电阻起动时基本相同，控制电路见图3-3。

表 3-8 自耦变压器起动特性表

起动方法	起动转矩 / 满载转矩	起动电流 / 满载电流
80%额定电压	0.96	4.5
65%额定电压	0.63	3
60%额定电压	0.37	1.75

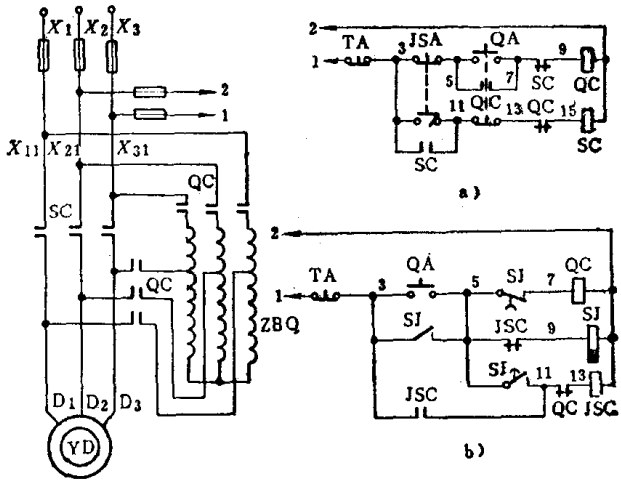


图 3-3 自耦变压器起动控制电路

a)按钮操作 b)时间继电器操作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-6.6 鼠笼式电动机的延边三角形起动

延边三角形起动一般可以采用XJI系列低压起动控制箱，如果无法得到该控制箱时，也可以采用交流接触器自行制造，图3-4就是它的起动控制电路。其起动特性见表3-9。

表3-9 延边三角形起动特性表

起动方法	起动电流 / 满压起动时起动电流	起动转矩 / 满压起动时起动转矩
1:1	48.7%	43.5%
3:5	40.1%	48%
1:2	59%	53%
1:3	67.2%	64.5%

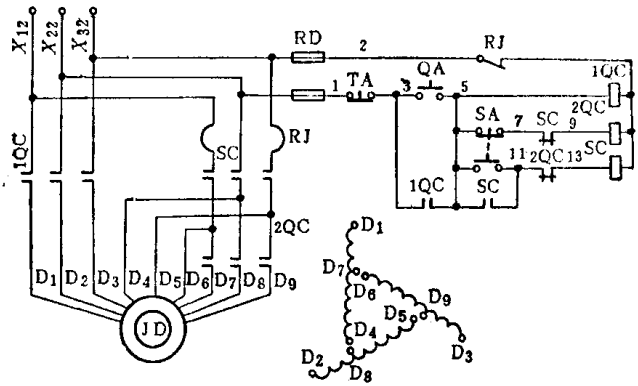


图3-4 延边三角形起动控制电路

3-6.7 鼠笼式电动机的频敏变阻器起动

频敏变阻器是一种无触点电磁元件，相当于一个等值阻抗。在电动机起动过程中，由于等值阻抗随转子电流频率减少而下降，可以自动变阻，所以能将电动机平稳地起动。这种变阻器有偶而起动与重复短时工作制的起动两种；连接方法有五

www.789pdf.com 789书库网

www:789pdf.com 789书库网

种，见图 3—5。

频敏变阻器在起动完毕后应短接切除，可采用刀开关，见图 3-5e，或将刀开关换成相应的交流接触器。

在使用时如发生下列情况，应进行调整。

1. 起动电流过大，起动太快，应增加匝数；

2. 起动电流过小，起动转矩不够，起动太慢，应减少匝数；

3. 在刚起动时，起动转矩过大，机械有冲击，但偶而在

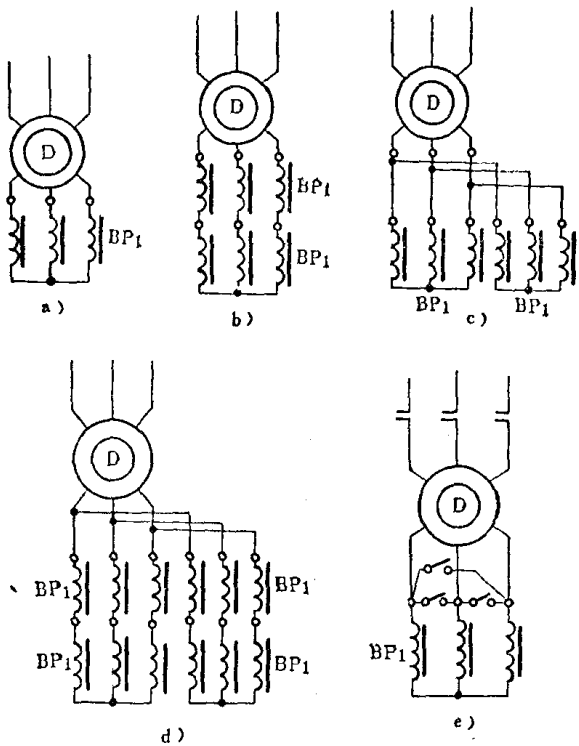


图 3-5 频敏变阻器起动电路

a)单组接法 b)两组串联接法 c)两组并联接法 d)二串二并接法
e)用刀开关短接法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

起动完毕短接时，冲击电流较大，可增加铁心气隙。

3-6.8 双速异步电动机起动与自动加速控制电路

双速异步电动机是采用改变极对数的方法使其转速改变的。在控制电路中，是采取改变绕组接法，从而改变极对数，以控制转速的。图 3-6 是双速单绕组恒转矩三相交流电动机的内部接线示意图及其控制电路。表 3-10 是双速异步电动机改变极对数的并头方法。

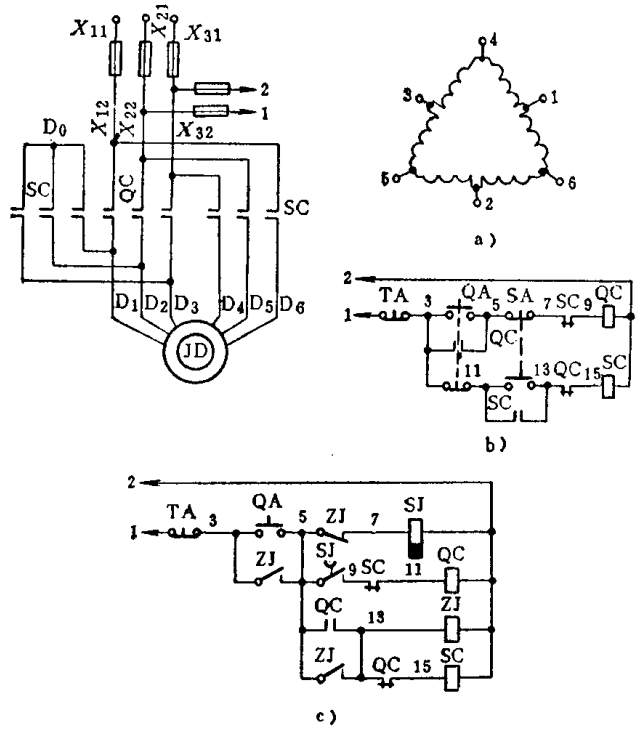


图 3-6 双速单绕组恒转矩三相交流电动机内部接线示意图及其控制电路

a)电动机内部接线示意图 b)用接触器控制的电路 c)从△起动到丫丫运转的控制电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

双速电动机起动时一般是用手柄操作的双速开关（不能带负荷起动），另一种是用交流接触器将出线端连接，以改变转速（见图 3-6b）。

还有一种场合需要△起动，然后自动地将速度加快投入丫丫运转，从起动到运转这段时间可以用延时继电器来调节，见图 3-6c。

表 3-10　双速异步电动机并头方法

接线方式	电源线	连接线端
△	$D_1D_2D_3$	— — —
丫丫	$D_6D_5D_4$	$D_1D_2D_3$

3-6.9　绕线式电动机的起动

绕线式电动机的特点是它的转子回路内可以接入附加的电阻。在转子回路中的电阻值改变时，电动机的力矩特性也将改变。适当地调节转子回路中的电阻，可以得到理想的起动状况。用绕线式电动机可以得到最大的起动力矩，同时，起动电流也减小了。所以在对起动、调速特性要求较高的机械（如卷扬机、桥式起重机等）中，常常使用绕线式电动机。它的缺点是比鼠笼式电动机复杂，所以造价高，耐用性差，效率也稍低。绕线式电动机的起动设备有频敏变阻器、起动变阻器和凸轮控制器等。

绕线式感应电动机的起动，常采用在转子上串接金属电阻器来减小起动时的电流，如图 3-7 所示。起动步骤如下：

(1) 在转子电路中串接起动变阻器的全部电阻；

(2) 将定子绕组和电源接通，电动机开始转动；

(3) 随着电动机转速的增加，将变阻器的电阻逐渐减小至零值；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 待转速稳定后，用短路转子的接触头使转子短路，并将电刷脱离滑环；

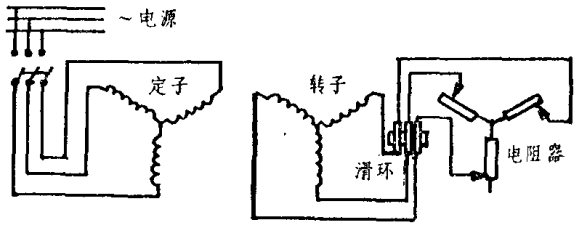


图 3-7　绕线式感应电动机起动电阻的接法

(5) 电动机停转后，应将滑环开路，并放下电刷使之与滑环接触，并将变阻器手柄移到最大电阻位置，以便第二次起动。

另一种接线方法是在转子内接入起动变阻器，用控制器把电阻器逐级短接，以减小电阻，起动终了时，电阻器全部切除，此时电动机的转子可通过短接装置短接，其接线法见图 3-8 。

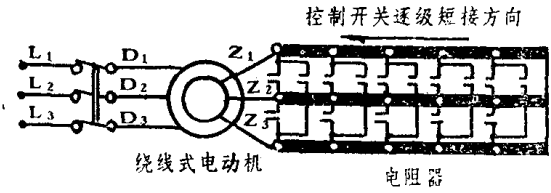


图 3-8　绕线式电动机用变阻器起动接线图

转子电路内接入变阻器有两种作用，一是由于转子电路的电阻增大，使转子阻抗增加，转子绕组的起动电流减小，因而定子的起动电流也相应地减小；另一方面是适当选择变阻器的阻值，可使起动转矩增大。这时虽然转子电流减小，但转子的功率因数 $\cos\varphi_2$ 显著增大，所以转矩也增大。由于这两个特点，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

所以这种起动方法允许在重载下起动，这对于起动次数频繁，要求起动时间短和重负载下起动的机械拖动和龙门吊车、卷扬机以及起重机械等都适用。

3-7 电动机的运行

为了不使电动机受到不应有的损失，必须按有关规定细心维护好运行中的电动机。

3-7.1 电动机的最高容许温度和最大容许温升

运行中的三相异步电动机最高容许温度和最大容许温升见表 3-11。

3-7.2 电动机的容许电压变动

当供电电压的变动数值在电动机额定电压的－5～＋10%的范围内时，电动机容许按额定功率连续运行。当电压变动时，由于电动机的转矩与输入电压的平方成正比，因此，电动机的转矩相对于额定电压来说是有影响的，见表 3-12。

此外，当三相电压不平衡时，电动机将发热，电动机按额定功率运行时，各相电压最大容许不平衡值为±5%。

3-7.3 电动机的容许振动和轴向窜动量

电动机的容许振动和轴向窜动量见表 3-13 和表 3-14。

3-7.4 电动机在运行中的维护

1. 应经常保持清洁，不允许有水滴、油滴或飞尘落入电动机内部；

2. 注意负载电流不能超过额定值；

3. 经常检查轴承发热、漏油情况，电动机各部分温升不能超过容许值；

4. 电动机在运转时不应有摩擦声、尖叫声或其他杂声，如发现有不正常声音应及时停车检查，消除故障后，才可继续

www.789pdf.com 789书库网

表 3-11　三相异步电动机的最高容许温度和最大容许温升(环境温度为40°C时)

电动机的部分		A级绝缘				E级绝缘				B级绝缘				F级绝缘				H级绝缘			
		最高容许温度(°C)		最大容许温升(°C)		最高容许温度(°C)		最大容许温升(°C)		最高容许温度(°C)		最大容许温升(°C)		最高容许温度(°C)		最大容许温升(°C)		最高容许温度(°C)		最大容许温升(°C)	
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	绕线式	95	100	55	60	105	115	65	75	110	120	70	80	125	140	85	100	145	165	105	125
	笼型式	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
定子铁心		100	—	60	—	115	—	75	—	120	—	80	—	140	—	100	—	165	—	125	—
滑环		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

www.789pdf.com 789书库网

表 3-12　电压变化对转矩和定子电流的影响(满载时)

电　　压	转　　矩	定　子　电　流
增高 10% 减小 10%	增大 21% 减小 19%	减小 10% 增加 10%

表 3-13　电动机的容许振动

同　步　转　速　(转/分)	振　动　值　(毫米)
3000	0.06
1500	0.10
1000	0.13
750	0.16

表 3-14　滑动轴承电动机的容许轴向窜动量

电　动　机　功　率	轴　向　窜　动　量　(毫米)	
(千瓦)	向　一　边	向　两　边
10 以下	0.50	1.00
10～30	0.70	1.50
30～70	1.00	2.00
70～125	1.50	3.00
125 以上	2.00	4.00
轴颈直径大于 200 毫米的电机	轴颈直径的 2 %	

运行；

5．对绕线式电动机应经常检查滑环间的接触情况与电刷磨损情况，如发现不正常火花，应及时检查纠正；

6．保持电动机通风良好。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-8 三相异步电动机的制动

电动机从切断电流到完全停止转动，由于惯性的关系总要经过一段时间，这就不能适应某些生产工艺上的要求，所以要采用一些制动的方法来使电动机的惯性旋转时间缩短。一般采用的方法有机械制动、能耗制动、反接制动等几种方式。

3-8.1 机械制动

机械制动是当电动机切断电流后，依靠外加制动闸作用于电动机轴上，使电动机迅速停转(一般采用抱闸式)。制动力的大小可通过调整机械结构来改变。

机械制动的一般线路有两种，见图 3-9。

从图 3-9a 中可以看出，它是在电源切断的情况下起制动作用。在电动机运转时，制动电磁铁同时被通电而吸合，把抱闸打开；断电时，制动电磁铁释放，依靠弹簧的力量使抱闸抱住，达到制动目的。这种制动方法普遍用于起重卷扬等设备，

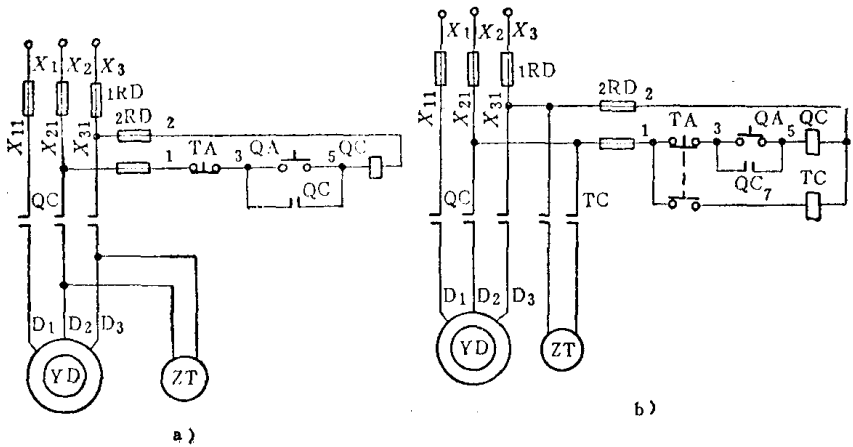


图 3-9 机械制动控制电路

a) 在电源切断情况下起制动作用 b) 在通电时起制动作用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

具有制动灵活、安全、可靠，不受中途断电或电气故障影响等优点。

有些设备当电动机经制动而停止以后，有时还需用人工将工件或传动轴作一些调整，这时可采用图 3-9b 的电路。从图中可以看出，按停止按钮 TA，1、3 两点断开，1、7 两点闭合，接触器 QC 释放，电动机断电，TC 吸合，使 ZT动作，抱闸抱紧，使电动机停转。松开TA，电磁铁释放，抱闸放松。

3-8.2 反接制动

异步电动机反接制动的原理，是改变电流的相序，使电动机定子的旋转磁场反向，则电动机所产生的转矩和原来的转矩相反，因而产生制动作用。当电动机转速降到一定数值时，利用速度继电器将电路断开，以免电动机反向运转。这种制动方法简单可靠，适用于容量在 2～3 千瓦的电动机，用于起动次数不太频繁的场合。但是反接制动时，振动和冲击力较大，影响机床的精度，所以使用受到一定的限制。10 千瓦以上的电动机一般不采用反接制动法。反接制动电路如图 3-10 所示。

3-8.3 能耗制动

能耗制动可以弥补反接制动的不足，在一些功率较大、制动次数频繁的生产机械上较多地采用这种方法。其控制电路见图 3-11。它的制动原理是：在定子绕组断电后，立即使其两相定子绕组接上一直流电源，于是在定子绕组中产生一个静止磁场，转子在这个磁场中旋转产生感应电动势，转子电流与固定磁场所产生的转矩阻碍转子继续转动，因而产生制动作用，使电动机迅速停转。

能耗制动直流电源的经验估算方法是：首先测量电动机三根进线中任意两根线之间的电阻 R 和电动机的进线电流 I_x（电动机仅带有传动装置时的电流，该电流值接近空载电流），然后

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

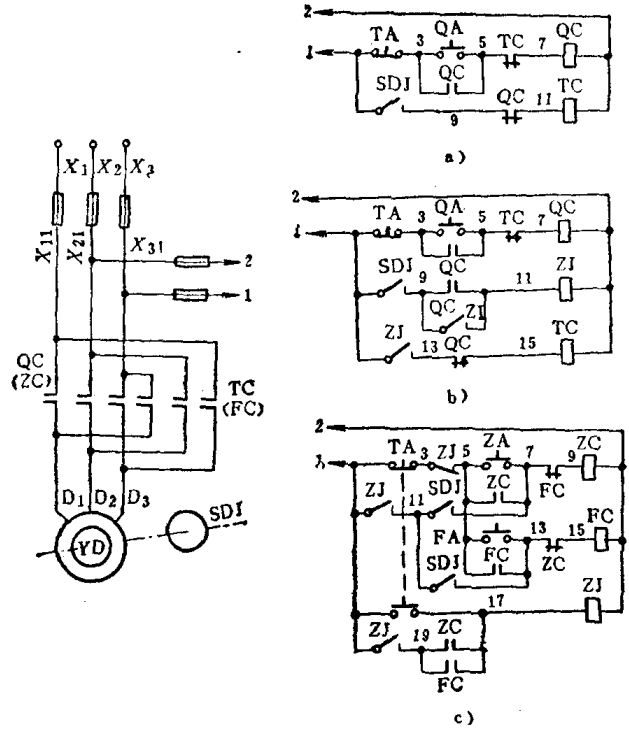


图 3-10　反接制动控制电路

a)没有中间继电器的制动控制电路　b)具有中间继电器的制动控制电路　c)可逆制动控制电路

根据测得的数据分别代入以下公式，便可求出直流电源的电流与电压。

$$I_z = KI_x$$

$$U_z = I_z R$$

式中　I_z——能耗制动所需直流电流；

U_z——能耗制动所需直流电压；

R ——电动机任意两根进线之间的电阻；

K ——系数，取 3.5～4。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

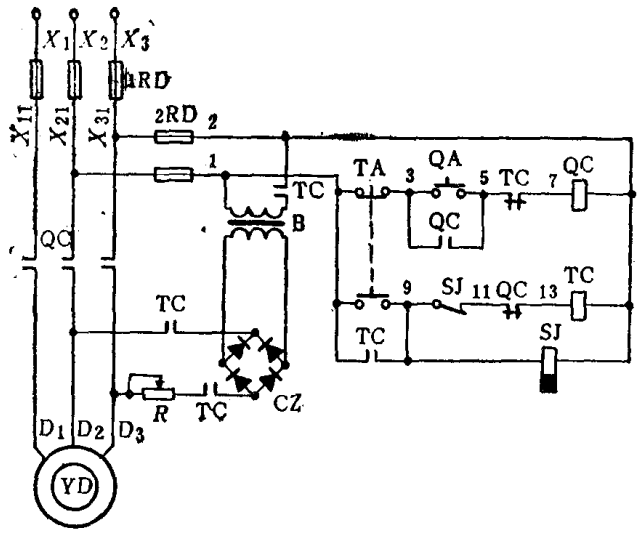


图3-11　能耗制动控制电路

按照以上估算，如果电动机的负载惯性不大时，制动时间一般不超过两秒钟。

能耗制动的优点是：准确、可靠，对电网无冲击电流的影响；缺点是需要直流电源。

3-9　几种常用控制电路

下面介绍几种最基本的控制电路，用户可以根据需要，把它们组合在一起构成较复杂的电路，如组成可逆点动、起动的混合控制电路，可逆起动以行程开关作自动停止的控制电路，带有点动的自动往返控制电路等。

3-9.1　点动控制电路

图 3-12 是单向点动（步进或步退)控制电路原理图。它的工作原理比较简单。这种电路常用于机床快速行程及地面操作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

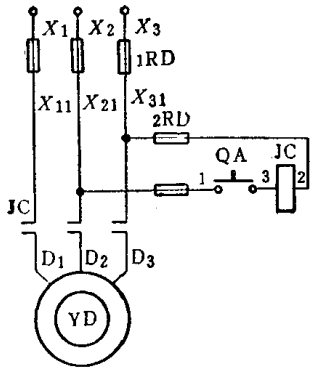


图 3-12　点动控制电路

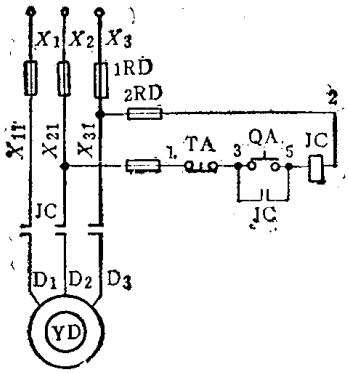


图 3-13　单向起动控制电路

的行车等场合。

3-9.2　单向起动控制电路

单向起动电路(图 3-13) 是最简单、最常用的一种控制电动机单方向运转的电路。它与点动线路基本相同，仅在按钮 QA 上并联了一对 JC 接触器的常开触点，并增加了一只按钮 TA。起动时，按下起动按钮 QA，接触器线圈 JC 通电吸合，使接触器主触点闭合，电动机运转，同时又使其与 QA 并联的 3 与 5 之间的常开触点 JC 闭合(自锁)。这样，当松开 QA 时，电流依然可以从 3 通过到 5，使线圈 JC 继续吸合。如果要使电动机 YD 停止运转，只需将停止按钮 TA 按下，1、3 之间的触点 TA 断开，线圈 JC 断电，使其常开主触点打开，电动机 YD 停止运转，同时与 QA 并联的常开触点 JC 也断开。所以放松按钮 TA 到原来的位置，虽则使 1、3 之间两触点又接通，但 JC 却不能动作，并为再次起动准备了条件。

3-9.3　可逆起动控制电路

图 3-14a 是用辅助触点作联锁保护的可逆起动控制电路，它相当于两个方向相反的单向起动电路，但是为了避免 ZC 和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

FC同时吸合，发生主电路相间短路的现象，所以增加了用ZC与FC两对常闭触点作联锁保护的部分。当ZC动作后，其常闭触点打开，将9与11之间的触点ZC断开，保证了这时如果按下FA，FC不能吸合；同理FC动作，ZC也不会吸合。

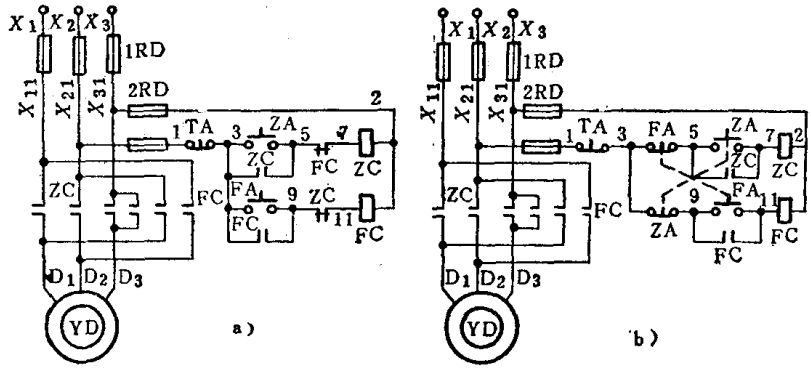


图3-14　可逆起动控制电路

a)辅助触点作联锁　b)按钮作联锁

图3-14b是利用按钮作联锁保护的。当ZC起动后，如再按FA，那么TA必须先将3与5之间的触点FA断开，使ZC释放，这时9与11之间的触点FA闭合，FC吸合，电动机即反向运转。若同时采用以上两种方法，则效果更好，工作更可靠。

3-9.4　自动往返控制电路

图3-15为自动往返控制电路，它适合于控制小容量电动机，但往返次数不能太频繁，否则电动机要发热。它的工作原理如下：假如按下ZA，接触器线圈ZC吸合，使电动机运转，带动撞块按照规定的方向行动。到达预定点时，FXK在撞块带动下断开，ZC释放，而3与11之间触点FXK被接通，FC立即吸合，并自锁，使电动机YD向相反方向运转，这时

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

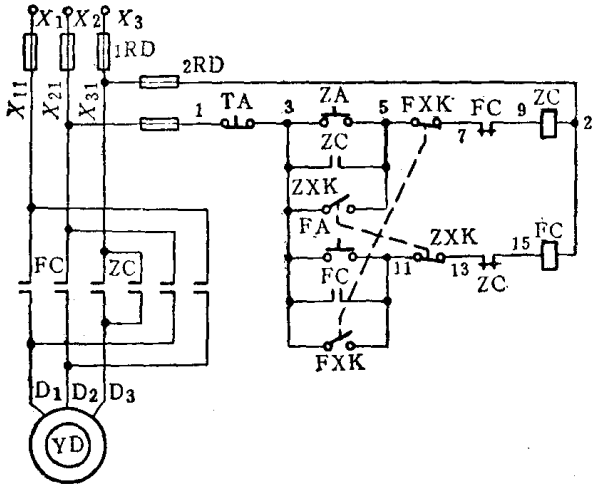


图 3-15　自动往返控制电路

撞块跟着机械传动部分往相反方向移动，使撞块离开限位开关 FXK，于是 5 与 7 之间触点 FXK 闭合接通，为下次 ZC 吸合作好准备。当另一撞块带动 ZXK 时，11 与 13 之间触点 ZXK 被断开，3 与 5 之间触点 ZXK 闭合，ZC 吸合，电动机又反向运转。这样就循环不止地自动往返运动。如果需要使电动机停止运转，只需按下 TA 即可。

3-10　电气保护措施

为了避免电动机发生故障，一般实行下列几种电气保护方法：(1)短路保护；(2)过载保护；(3)单相运行保护；(4)失压保护；(5)接地保护。这几种方法可以单独使用，也可以互相配合使用。

3-10.1　短路保护

对于 500 伏以下的低压电动机一般采用熔丝和自动开关的电磁瞬时脱扣进行保护。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

常用的熔丝有铅合金、铜丝和各种熔断器，常用低压熔丝规格参见表7-21。为了使熔丝真正起到短路保护的作用，一般按照下列方法选择熔丝：

1．单台直接起动的小型电动机，熔丝额定电流大于或等于电动机额定电流的2～3.5倍。

2．几台电动机运行，都是直接起动时，总熔丝额定电流大于或等于最大一台电动机额定电流的2～3倍再加上其余电动机额定电流的总和。

3．降压起动的鼠笼式电动机，熔丝额定电流大于或等于电动机额定电流的1.5～2倍。

4．绕线式转子电动机，熔丝额定电流大于或等于电动机额定电流的1.25倍。

对于用自动开关保护的电动机，短路保护电流整定应大于电动机的起动电流。

3-10.2 过载保护

三相异步电动机在下列几种情况下常常产生过负荷：

1．拖延时间很长的起动；

2．对具有变动负荷的机械，由于工艺原因而产生过负荷（如起重机、轧钢机、粉碎机、碾砂机等工作不正常时，均会产生过负荷）；

3．供电电压太低，或电动机接法有错误，如将△误接成丫，或将丫误接成△；

4．单相运行；

5．机械故障引起的负荷增加，如联轴器未校正，所带机械卡转，皮带太紧，轴承损坏等。

为防止电动机过载损坏，常采用热继电器进行过载保护。热继电器常和交流接触器、降压起动器或自动开关等组装，能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

很方便地起动和保护电动机，它的线路见图 3-16。

对于容量较大的电动机，如果没有合适的热继电器，可以用电流互感器变流，将热继电器接在二次侧进行保护，见图 3-17。

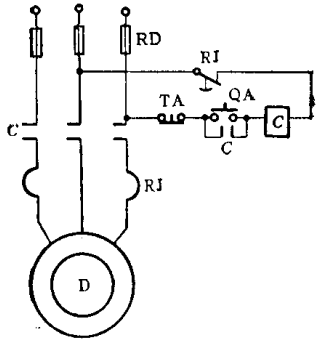


图 3-16 带有热继电器 RJ 的保护线路

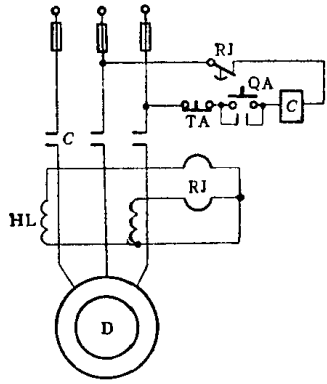


图 3-17 使用电流互感器 HL 的热继电器保护线路

热继电器动作电流一般整定为电动机的额定电流。它在室温 35℃、过载为 125%时，在 20 分钟内动作；过载为 600～1000%时，瞬时动作。

3-10.3 单相运行保护

单相运行保护应该属于过载保护的范围，但是现行的过载保护装置不能完全保护电动机免于单相运行，并且从目前修理电动机绕组的统计中可以看出，因单相运行烧坏的电动机占绕组修理量的 50%，所以单相运行保护有单独提出来研究的必要。

1. 造成单相运行的原因很多，主要有以下几种：

(1) 供电变压器初级或次级一相熔丝烧断；

(2) 电动机供电线路发生故障，如挂熔丝的螺钉未拧紧、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

接点氧化厉害有浮接现象、熔丝未用一个规格，个别提早熔断等；

(3) 电动机绕组一相断线或接线盒处接头接触不良等。

2. 保护方法有以下几种：

(1) 欠电流继电器保护

它的保护元件是三个欠电流继电器 (1T～3T)，其电路见图 3-18。如果一相中电流大幅度减少或消失，继电器就会动作，切断控制回路。这种保护比较可靠，但价格较贵。

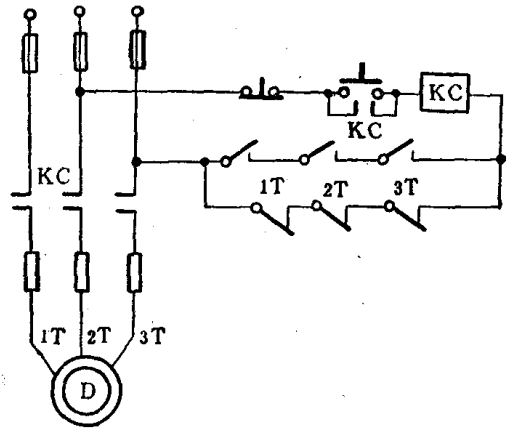


图 3-18 欠电流继电器保护线路

(2) 零序电压继电器保护

这种保护的原理是在中性点接地的三相平衡系统中，丫形接法的电动机中点对地电压在理论上为零，当一相断电时，由于零序电压的影响，电动机中点偏移，使电压升高到几十伏 (25～45 伏)，驱使继电器 J 动作，切断电流，见图 3-19。但是在实际线路中，由于三相电流不平衡，或电机绕组三相阻抗不平衡，电机中点对地电压大于零，多为几伏 (为相电压的 3.6%左右)，因此一般将继电器动作电压整定在 12～24 伏为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

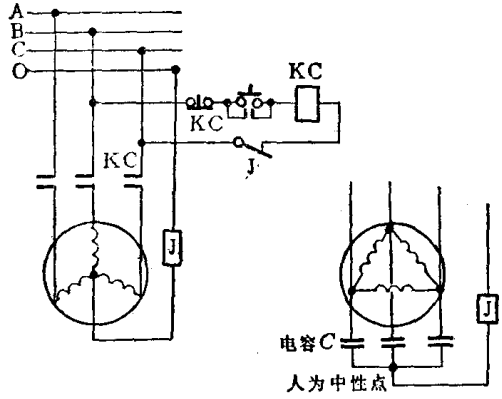


图 3-19　零序电压继电器保护线路

宜。

(3) 断丝电压保护

这种保护的原理是保险丝熔断后，在其两端必定会产生电位差。断丝电压的大小与电动机负载情况有关。利用断丝电压使继电器(J_1～J_3)动作，即可达到保护的目的，见图 3-20。断丝电压继电器一般整定在 60 伏左右动作。

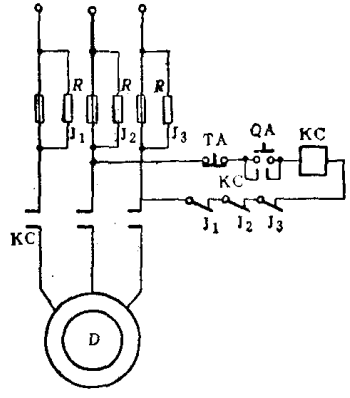


图 3-20　断丝电压保护线路

3-10.4　失、欠压保护

失、欠压保护是为了防止电动机在过低的电压下运行而烧坏的保护装置。它可以在电压长时间降低或失去时，断开电动机，同时又可以防止在电压恢复时电动机自动起动。

失、欠压保护常利用交流接触器的电磁机构、降压起动器或自动开关上的失压电磁机构进行保护。在正常条件下，电磁

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线圈可以吸持衔铁，使触点闭合。当电压下降到额定电压的35～70%时，线圈吸不住衔铁而释放，断开电动机。失压脱扣的整定可以调节衔铁的反力弹簧，使它在35～70%的电压范围内变化。

3-10.5 接零保护

电动机绕组由于修理时嵌线质量不高、绕组受潮气侵袭、受高温影响使绝缘老化等都会发生绕组接地故障。绕组接地时，电流通过定子铁心，使铁心烧坏，并使电动机外壳带电，威胁人身安全，因此必须进行保护。

在三相四线供电的380伏电网中，多采用接零保护，就是将电动机外壳与电源中线相接。当电动机一相碰壳时，该相火线与中线形成单相短路，有很大的短路电流流过，使熔丝熔断，或使自动开关跳闸。

3-11 三相异步电动机的修理和完好标准

据有关统计资料报导，平均每年要大修的电动机几乎占已安装电动机的20%，而修理费约为每年产量成本的80%。电动机损坏的主要原因是保护不善和维护不良所致。故障种类一是电气故障，二是机械故障。电气故障可以通过适当的保护来预防（见3-10节），而机械故障则可通过加强维护来避免(电动机在运行中的维护参见3-7.4节)。

3-11.1 电动机的拆装与注意事项

电动机因发生故障或维护保养等原因，经常需要拆装。如果拆装时操作不当，就会损坏机件。下面介绍几个主要部件的拆装方法。拆卸步骤见图3-21。

1. 拆卸皮带轮或联轴器。先在皮带轮或联轴器的轴伸端上作好尺寸标记，然后用图3-22所示的拉具将它慢慢地拉下。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

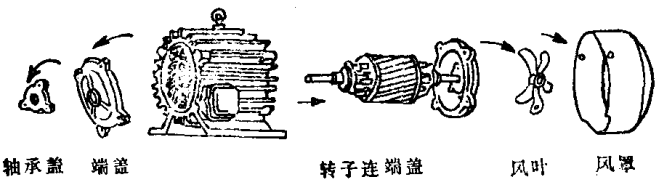


图 3-21　小型电动机拆卸步骤

如果拉不出，可在皮带轮内孔浇些煤油再拉，如仍拉不出，可用急火围绕皮带轮迅速加热，同时需用石棉包好轴并用冷水浇，以防止轴变形或热量传到电动机内。

2．拆卸端盖，抽出转子。先在机壳和端盖的接缝处作好记号，以便装配。然后先拆除滚动轴承外盖，再拆端盖。绕线式电动机应提起或拆除电刷、电刷架和引出线。一般中、小型电动机都只拆除传动侧的端盖和轴承盖，同时拆除另一侧的风罩、风叶和端盖螺钉，然后将转子和端盖一起抽出。如转子较重，可两人协作，或用起重设备取出。抽转子时，切忌碰伤转子。

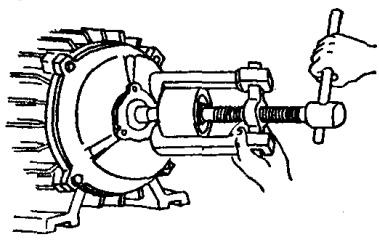


图 3-22　拉具拆卸皮带轮

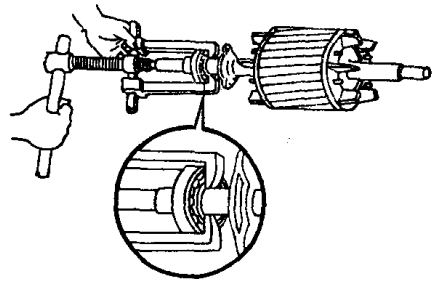


图 3-23　轴承的拆卸步骤

3．拆卸滚动轴承。拆卸滚动轴承的办法与拆卸皮带轮相同，但拆卸时应注意选用大小合适的拉具，拉具的脚应尽量扣住轴承的内圈，见图 3-23。

4．电动机的装配。电动机的装配步骤与拆卸步骤相反。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

装配前，各配合处应先把锈清除干净。装配时，应将各部件按标记复位。然后检查轴承与端盖的配合是否合适，转子转动是否灵活。

5. 注意事项。在拆装电动机皮带轮或联轴器时，若不用专用工具或硬敲，就容易造成轴的弯曲。轴弯曲后，要在压力机上校直，或适当加热，用锤敲正。

在拆装电动机端盖时，过重的敲打往往引起端盖裂缝，所以一般应使用铜锤或木榔头。

在装配电动机时，没有将端盖、轴承盖装在正确的位置上，或没有掌握好螺钉的松紧程度，都会使电动机转子偏心，在通电时，使转子受单边拉力，而不能正常运转。对这一点，务必充分注意。

3-11.2 小修与大修

除了加强电动机的日常维护外，每年还必须进行几次小修和一次大修。

1. 电动机小修的项目有：

(1) 清除电动机外壳上的灰尘污物以利于散热；

(2) 检查接线盒压线螺钉有无松动或烧伤；

(3) 拆下轴承盖检查润滑油，缺了补充，脏了更新；

(4) 清扫起动设备，检查触点和接线头，特别是铜铝接头处是否烧伤、电蚀，三相触点是否动作一致，接触良好。

2. 电动机大修的项目有：

(1) 将电动机拆开后，先用皮老虎将灰尘吹走，再用干布擦净油污，擦完后再吹一遍；

(2) 刮去轴承旧油，将轴承浸入柴油洗刷干净，再用干净布擦干。同时洗净轴承盖。检查过的轴承如可以继续使用，则应加新润滑油。对3000转/分的电动机，加油至2/3弱为宜，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

对1500转/分的电动机，加油至2/3为宜。对1500转/分以上的电动机，一般加钙钠基脂高速黄油，对1000转/分以下的低速电动机，通常加钙基脂黄油；

(3) 检查电动机绕组绝缘是否老化，老化后颜色变成棕色，发现老化要及时处理；

(4) 用摇表检查电动机相间及各相对铁心的绝缘，对低压电机，用500伏摇表检查，绝缘电阻小于0.5兆欧时，要烘干后再用。

3-11.3 电动机的完好标准

1. 运行正常

(1) 电流在容许范围以内，出力能达到铭牌要求；

(2) 定子、转子温升和轴承温度在容许范围以内(参见表3-11)；

(3) 滑环、整流子运行时的火花在正常范围内；

(4) 电动机的振动及轴向窜动不大于3-7.3节中的规定值。

2. 构造无损，质量符合要求

电动机内无明显积灰和油污；线圈、铁心、槽楔无老化、松动、变色等现象。

3. 主体完整清洁，零附件齐全好用

(1) 外壳上应有符合规定的铭牌；

(2) 起动、保护和测量装置齐全，选型适当，灵活好用；

(3) 电缆头不漏油，敷设合乎要求；

(4) 外观整洁，轴承不漏油，零附件和接地装置齐全。

4. 技术资料齐全准确，应具有：

(1) 设备履历卡片；

(2) 检修和试验记录。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-15　三相异步电动机常见故障及处理办法

故　障	产　生　原　因	处　理　办　法
电动机不能起动或带负载运行时转速低于额定值	1. 熔丝烧断；开关有一相在分开状态；或电源电压过低	1. 检查电源电压和开关、熔丝的工作情况，排除故障
	2. 定子绕组中或外部电路中有一相断线	2. 检查定子绕组中有无断线（参阅 3-13 处理），再检查电源电压
	3. 绕线式异步电动机转子绕组及其外部电路（滑环、电刷、线路及变阻器等）有断路、接触不良或焊接点脱焊等现象	3. 用兆欧表检查转子绕组及其外部电路中有无断路；检查各连接点是否接触紧密可靠，电刷的压力及与滑环的接触面是否良好
	4. 鼠笼式电动机转子断条或脱焊，电动机能空载起动，但不能加负载起动运转	4. 将电动机接到电压较低（约为额定电压的 15～30%）的三相交流电源上，同时测量定子的电流。如果转子绕组有断条或脱焊，随着转子位置不同，定子电流也会产生变化
	5. 将△接线接成Y接线，电动机能空载起动，但不能满载起动	5. 按正确接法改正接线
	6. 电动机的负载过大或传动机构被卡住	6. 选择较大容量的电动机或减少负载；如传动机构被卡住，应排除故障
	7. 过流继电器整定值调得太小	7. 适当提高整定值
电动机三相电流不平衡	1. 三相电源电压不平衡	1. 用电压表测量电源电压
	2. 定子绕组中有部分线圈短路	2. 用电流表测量三相电流或拆开电动机用手检查过热线圈
	3. 重换定子绕组后，部分线圈匝数有错误	3. 用双臂电桥测量各相绕组的直流电阻，如阻值相差过大，说明线圈有接线错误，应按正确方法改接
	4. 重换定子绕组后，部分线圈之间有接线错误	4. 按正确的接线法改正接线错误

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故　障	产　生　原　因	处　理　办　法
电动机温升过高或冒烟	1. 电动机过载	1. 降低负载或更换容量较大的电动机
	2. 电源电压过高或过低	2. 调整电源电压
	3. 定子铁心部分硅钢片之间绝缘不良或有毛刺	3. 拆开电动机检修定子铁心
	4. 转子运转时和定子相擦，致使定子局部过热	4. 检查转子铁心是否变形，轴是否弯曲，端盖的止口是否过松，轴承是否磨损
	5. 电动机的通风不好	5. 检查风扇是否脱落，旋转方向是否正确，通风孔道是否堵塞
	6. 环境温度过高	6. 换绝缘等级较高的B级、F级电动机或采取降温措施
	7. 定子绕组有短路或接地故障	7. 用电桥测量各相线圈或各元件的直流电阻，用兆欧表测量对机壳的绝缘电阻，局部或全部更换线圈
	8. 重换线圈的电动机，由于接线错误或绕制线圈时有匝数错误	8. 按正确图纸检查和改正
	9. 单相运转	9. 检查电源和绕组，排除故障
	10. 电动机受潮或浸漆后未烘干	10. 彻底烘干
	11. 接点接触不良或脱焊	11. 仔细检查各焊点，将脱焊点重焊
电刷冒火，滑环过热或烧坏	1. 电刷的牌号或尺寸不符	1. 按电机制造厂的规定更换电刷
	2. 电刷压力不足或过大	2. 调整电刷压力
	3. 电刷与滑环接触面不够	3. 仔细研磨电刷
	4. 滑环表面不平、不圆或不清洁	4. 修理滑环
	5. 电刷在刷握内轧住	5. 磨小电刷

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故　障	产　生　原　因	处　理　办　法
电机有不正常的振动和响声	1. 电动机的地基不平，电动机安装得不符合要求 2. 滑动轴承的电动机轴颈与轴承的间隙过小或过大 3. 滚动轴承在轴上装配不良或轴承损坏 4. 电动机转子或轴上所附有的皮带轮、飞轮、齿轮等不平衡 5. 转子铁心变形或轴弯曲 6. 电动机单相运转，有嗡嗡声 7. 转子风叶碰壳 8. 轴承严重缺油	1. 检查地基及电动机安装情况，并加以纠正 2. 检查滑动轴承的情况 3. 检查轴承的装配情况或更换轴承 4. 做静平衡或动平衡试验 5. 将转子在车床上用千分表找正 6. 检查熔丝及开关接触点，排除故障 7. 校正风叶，旋紧螺钉 8. 清洗轴承加新油，注意润滑脂的量不宜超过轴承室容积的70%
轴承过热	1. 轴承损坏 2. 轴承与轴配合过松或过紧 3. 轴承与端盖配合过松或过紧 4. 滑动轴承油环磨损或转动缓慢 5. 润滑油过多、过少或油太脏，混有铁屑沙尘 6. 皮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. 过松时在转轴上镶套；过紧时重新加工到标准尺寸 3. 过松时在端盖上镶套；过紧时重新加工到标准尺寸 4. 查明磨损处，修好或更换油环。油质太稠时，应换较稀的润滑油 5. 加油或换油，润滑脂的容量不宜超过轴承室容积的70%，润滑脂的选用参照表 7-68 6. 调整皮带张力，校正联轴器传动装置 7. 将端盖或轴承盖止口装平，旋紧螺钉

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-12 三相异步电动机常见故障及处理办法

当电动机发生故障时，应仔细观察所发生的现象，并迅速关断电源，然后根据故障情况分析原因，并找出处理办法，见表 3-15。

3-13 三相异步电动机定子绕组的检修

三相异步电动机定子的故障可分为断路、通地、短路和接反等故障，现分述如下：

3-13.1 绕组断路故障的检修

断路故障多发生于电动机绕组的端部、各绕组元件的接线头或电动机引出线端等地方，因此首先要检查这些地方。如果发现断头或接头松脱时，应把导线连接并焊牢，包上新的绝缘材料，才可使用。如果是由于绕组匝间短路、通地等故障而造成的断路，一般需要更换绕组。

对电动机断路可用兆欧表、万用表(放在低电阻档)或校验灯等来校验。对于△形接法的电动机，检查时，需每相分别测试，见图 3-24a。对于Y形接法的电动机，检查时必须先把三相绕组的接头拆开，再每相分别测试，见图 3-24b。

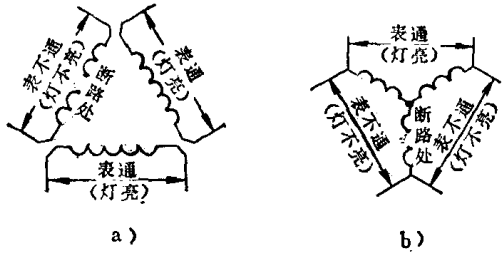


图 3-21 用兆欧表或校验灯检查绕组断路

a) △形接法电动机的校验 b)Y形接法电动机的校验

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

中等容量电动机绕组大多采用多根导线并绕和多支路并联，如果其中有一部分断路时，可采用三相电流平衡法或电阻法来检查。

三相电流平衡法：对于丫形接法的电动机，将三相绕组并联，通入低压大电流(电流≤额定值)，如果三相电流值相差大于5%时，电流小的一相为断路相，见图3-25a。对于△接法的电动机，需拆开接头，分别测量每相绕组的两端，其中电流小的一相为断路相，见图3-25b。

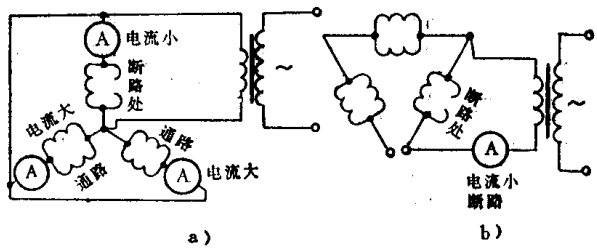


图3-25 用电流平衡法检查多支路绕组断路

a)丫形连接 b)△形连接

3-13.2 绕组通地故障的检修

线圈受潮、绝缘老化、线圈重绕后在嵌入定子铁心里的时候，如绝缘被擦伤或绝缘未垫好等，都会造成通地故障。

检查通地故障可用万用表(低阻档)或校验灯按图3-26逐相进行检查，如电阻为零或校验灯发亮的一相，即为通地相。然后检查通地相绕组绝缘，如果有破裂及焦痕的地方，即为通地点。一般电动机通地点都在绕组伸出铁心的槽口部分。如为擦伤，可

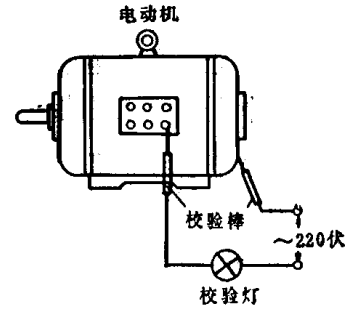


图3-26 用校验灯检查绕组通地

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用绝缘材料将绕组与铁心绝缘好，即可使用。如果通地发生在槽内，大多数需更换绕组。

3-13.3 绕组短路故障的检修

电机绕组受潮，线圈绝缘损伤、老化，较长时间在过电压、欠电压、过载的情况下运行或单相运行，都会使绕组短路。

短路的情况有几种：线圈匝间短路；相邻线圈间短路；一个极相组线圈的两个端子间短路；相间短路等。

常用的检查方法有：

1. 观察法。电动机发生短路故障后，在故障处由于电流大，产生高热，使导线外面的绝缘老化焦脆，所以观察电动机线圈是否有烧焦痕迹，即可找出短路处。

2. 利用兆欧表或万用表检查相间绝缘。如果二相间绝缘电阻很低，就说明该两相短路。

3. 电流平衡法。用图 3-25 所示的方法，分别测量三相绕组电流，电流大的相为短路相。

3-13.4 绕组接反时的检修

电动机绕组接反后起动时，电动机有噪声，产生振动，三相电流严重不平衡，电动机过热，转速降低，甚至会停转，烧断熔丝。

绕组接反只有两种情况：一种是电动机内部个别线圈或极相组接反；另一种是电动机外部接线接反。

1. 个别线圈或极相组接反时的检查方法

拆开电动机，将一个低压直流电源(6 伏左右)接入某相绕组内，用一只指南针搁到铁心槽上逐槽移动检查，如果指南针在每极相组的方向交替变化，表示接线正确；如果在相邻的极相组指南针指向相同，表示极相组接反；如在同一个极相组中，指南针的指向交替变化，说明有个别绕组嵌反。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2．三相绕组头尾接反的检查方法

(1) 绕组串联检查法：将任意两相绕组串联起来接上灯泡，再在第三相绕组上接220伏交流电压(对中、大型电机用36伏交流电压)，如果灯泡亮了，说明这两相绕组头尾连接是正确的(见图3-27a)；如果灯泡不亮，说明这两绕组头尾连接错误(见图3-27b)，可将其中一相的头尾对调再试。确定这两头尾后，即可按此法再找到第三相的头尾。

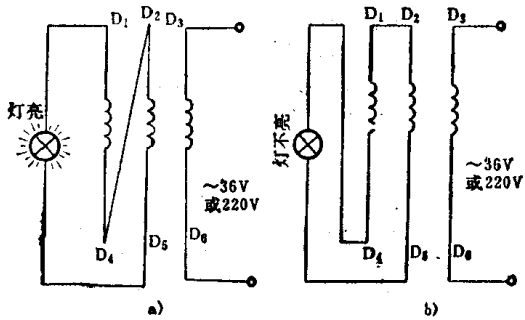


图3-27 用灯泡检验三相绕组接头的正反

a)头尾连接正确 b)头尾连接不正确

(2) 用万用表检查法：将电动机绕组按图3-28所示接好。当接通开关瞬间，如万用表(放毫安档)指针摆向大于零的一边，则电池正极所接线头与万用表正端所接线头同为头或尾；如指针反向摆动，则电池正极所接线头与万用表负端所接的线头同为头或尾。再将电池或万用表接至另一相的两个线头试验，就可以确定各相的头、尾端。

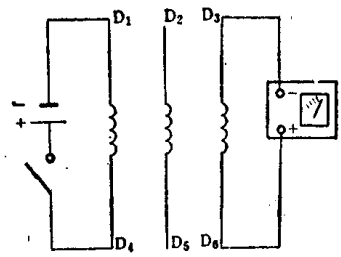


图3-28 用万用表检验三相绕组接头的正反

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3-14 三相异步电动机定子绕组的重绕

3-14.1 绕组的种类及特点

绕组的结构形式是多种多样的，常用的有单层绕组和双层绕组。

单层绕组没有层间绝缘，不会发生槽内相间击穿故障，绕组嵌线方便。这种绕组一般应用在小容量电动机中。单层绕组有同心式和链式绕组两大类。

双层绕组的优点是绕组制造方便，可任意选用合适的短距绕组，改善起动性能及力能指标。容量较大的电动机大多采用双层绕组。

3-14.2 绕组的拆除

1. 准备数据资料。拆除绕组时，必须详细记录以下各项数据：

(1) 电动机的型号、制造厂名和产品编号；

(2) 电动机的容量、电压、电流、相数、频率和转速；

(3) 铁心的内外径、长度、槽数、槽的形状和尺寸；

(4) 线圈导线截面积(或直径)、每槽中的导线数、并联根数、节距和匝数；

(5) 线圈的形状、尺寸和数量，在拆除过程中，应保留一只完整的绕组，以便制作绕线模时作参考；

(6) 线圈和槽内各部分的绝缘材料、尺寸、厚度和数量；

(7) 绕组的接线方式；

(8) 引出线的材料、截面积。

2. 拆除方法

(1) 在中小型电动机中，一般采用半闭口槽，拆除绕组比较困难，在大多数情况下，需将线圈的一端割断，从另一端用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

钳子夹住导线拉出来。

(2) 电流加热法。拆开绕组端部各连接线，在一个绕组中通入单相低压大电流加热，当绝缘软化绕组端部冒烟时，切断电源，乘热迅速拆除绕组。如用烘箱、煤炉等方法加热，一定要注意不能使温度过高(200℃以下)，以免烧坏铁心。

3-14.3 绕制线圈

重绕线圈时，必须准备好绕线模。绕线模的尺寸应作得比较准确，否则会影响电动机的质量。

制作绕线模的简单方法是，拆下一只完整的绕组，取其中最小的一匝，参考它的形状及周长作为绕线模尺寸。

绕线圈时应记好匝数，导线有露铜处必须缠好，线圈要整齐，不得乱绕。

3-14.4 嵌放线圈

嵌放线圈工艺的关键是保证绕组的位置和次序要正确，绝缘要良好。

1. 嵌放线圈前要仔细锉去铁心槽内毛刺，用汽油擦净污垢，用木锤或小手锤轻轻敲正弯曲的槽齿，并用风吹净脏物。

2. 更换的绝缘无论是在端部还是槽内部分，在尺寸、规格、层数以及折叠形状等方面，都要符合原来的绝缘等级要求。

3. 在嵌线过程中，导线要排列整齐，不可交叉重叠。线圈两端伸出部分长度要一致。对双层绕组，要放好层间绝缘材料，不同相的极相组的端部之间要放好相间绝缘材料。嵌线时注意不能直接用铁锤敲打绕组，切不要损伤导线漆膜和绝缘材料。线圈全部嵌入槽中后，再盖上槽楔下面的绝缘材料，最后打入槽楔。如果槽内很松，可将槽

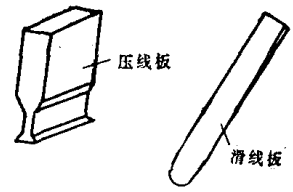


图 3-29 压线板与滑线板

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

楔下面的绝缘材料多垫一些；如果槽内很紧，可采用滑线板(绝缘层压制品或竹片制作，见图 3-29) 把绝缘导线在槽中划直，不使它们交叉，再用压线板(铜或铁制作)、小锤把导线压紧，然后把槽楔打入。

3-14.5 接 线

维修电动机应根据所拆电动机原来绕组的连接方法进行接线。绕组接线完成后，应仔细检查接线是否有错误(检查方法见 3-13.4节)；绝缘是否有损坏(尤其要仔细检查引出线和铁壳是否短路)。如果无问题，就可以浸漆、烘干了。

如果在拆除绕组时未做记录，或记录丢失，应根据以下几个要点进行接线。

1. 三相异步电动机定子中有三个独立绕组(即三相)、三相绕组的每相组数相同，相与相之间在槽内分布间隔为 120°电角度。

$$\text{电角度}=\text{极对数}\times\text{空间角度}$$

例如 36 槽、4 极电动机，第一相绕组从第一槽开始，第二相绕组应在第一相绕组后面 120°电角度，因为槽之间的角度为 $\frac{360^\circ}{36}=10^\circ$空间角度，4 极为两极对，所以只需相隔 6 个槽，

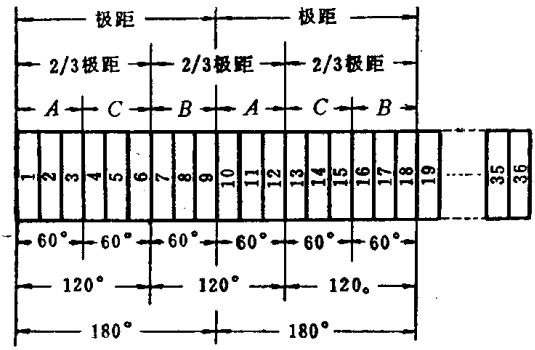


图 3-30 36 槽 4 极定子槽展开图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

就间隔120°电角度，亦即第二相绕组从第7槽开始，第三相绕组从第13槽开始，依次类推，定子槽展开图见图3-30和3-31。

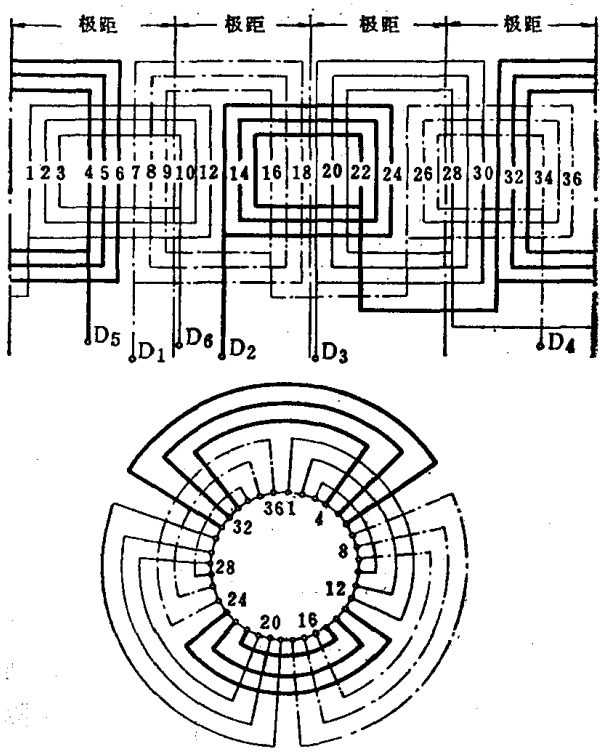


图3-31　36槽4极二平面同心式绕组展开图

$q=3$　$a=1$　跨距1～12，2～11

2．绕组的节距$\leqslant\frac{\text{槽数}}{\text{极数}}$，当绕组的节距等于极距时，称为整距绕组。例如36槽、4极电动机的极距$=\frac{36}{4}=9$(槽)。

但在电动机的设计中，为了消除谐波，改善起动性能和节约用铜，一般都采用短节距。例如在上例中，取节距为7，这时绕组两边放置在第一槽到1+7 =8槽中。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3．每一个极相组(俗称一联)的线圈数 $q=\frac{\text{槽数}}{\text{相数}\times\text{极数}}$ 大都是整数，也有是分数的，采用分数时，一定要在定子槽内均匀分布。以36槽、4极电动机为例，$q=\frac{36}{3\times4}=3$，即可以3只绕组串联成一个极相组(一联)，必须指出，在 q 不变的情况下，双层绕组每相的极相组数(联数)就等于极数，而单层绕组每相的极相组数(联数)等于极对数。

4．每一个极相组的线圈，两个线圈边应该在整个定子槽圆周中呈磁极数等分的分布状态。由于相隔空间角度$=\frac{360°}{\text{极数}}$，所以可以算出，两极的电动机，相隔的空间角度为$\frac{360°}{2}=180°$，例如24槽、两极电动机，一个极相组从第一槽开始，第二个极相组则从第13槽开始；而24槽、4极电动机，相隔空间角度$=\frac{360°}{4}=90°$，第一个极相组从第一槽开始，第二个极相组则从第7槽开始，第三个极相组则从第13槽开始。

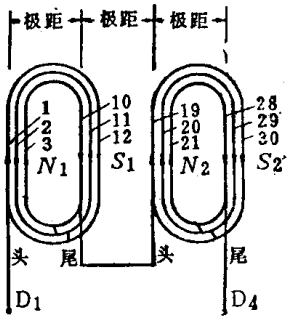


图3-32　单层同心式绕组一相连接图

$Z=36$　$2P=4$　$a=1$

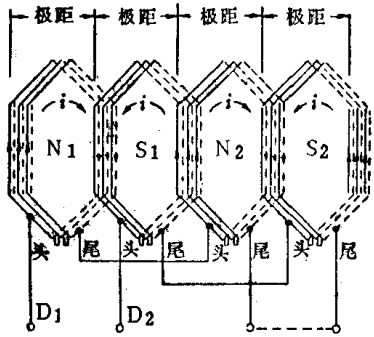


图3-33　双层叠绕组"正串"接法(以一相为例)

$Z=36$　$2P=4$　$a=1$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 一相极相组的接法，与极相组的分布情况、磁极数和并联路数有关。在并联路数确定的条件下，绕组端部的接线方法是由磁极极性来确定的。换句话说，绕组接线的行进方向，必须符合绕组内的电流方向，要使电流都是相加，而不能抵消。每一个极相组的两个线圈边所通过的电流方向(其方向即磁极方向)数应与磁极数相同。

下面举几种电动机的接线方法供参考，见图 3-32～3-35。

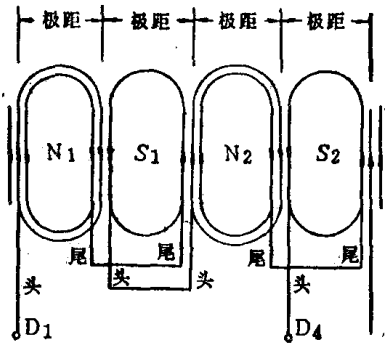


图 3-34 单层叉式链形绕组"反串"接线示意图(以一相为例)

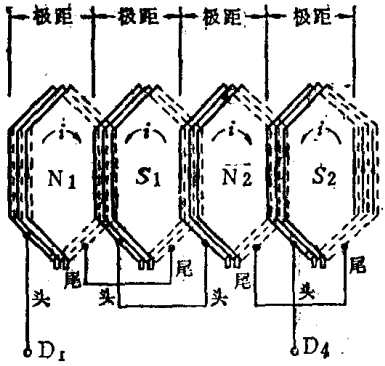


图 3-35 双层叠绕组"反串"接线示意图(以一相为例)

$Z=36 \quad 2P=4 \quad a=1$

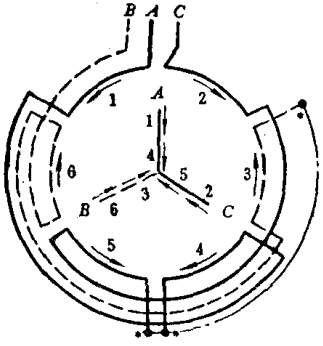


图 3-36 二极三相一路丫形

$Z=36 \quad 2P=4 \quad a=1$

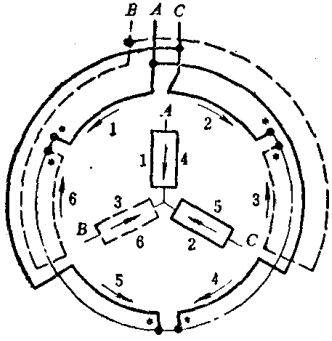


图 3-37 二极三相二路丫形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电动机接线实例见图 3-36～3-51。

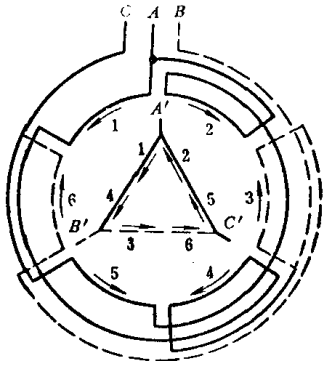


图 3-38　二极三相一路△形

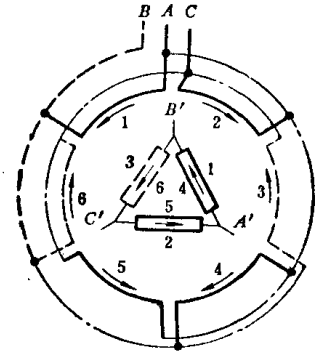


图 3-39　二极三相二路△形

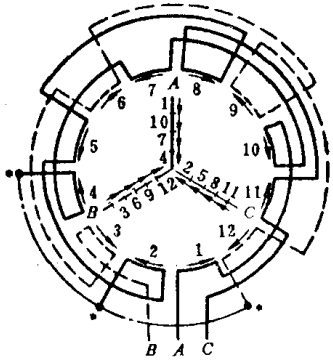


图 3-40　四极三相一路丫形

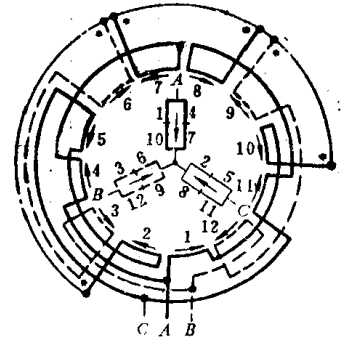


图 3-41　四极三相二路丫形

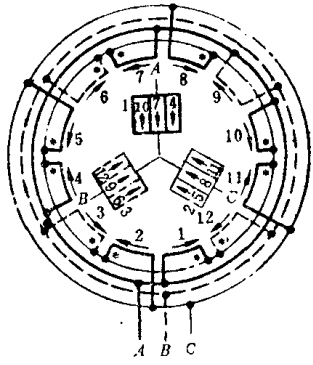


图 3-42　四极三相四路丫形

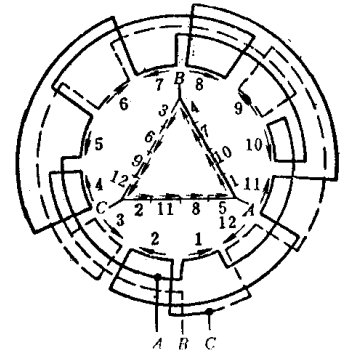


图 3-43　四极三相一路△形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

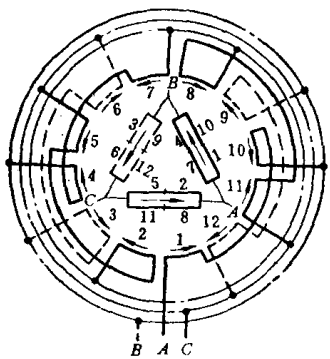


图 3-44　四极三相二路△ 形

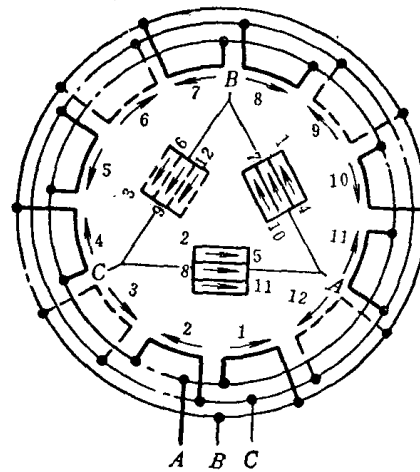


图 3-45　四极三相四路△ 形

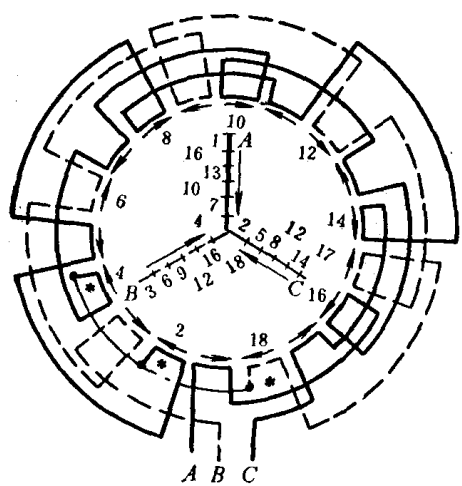


图 3-46　六极三相一路丫 形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

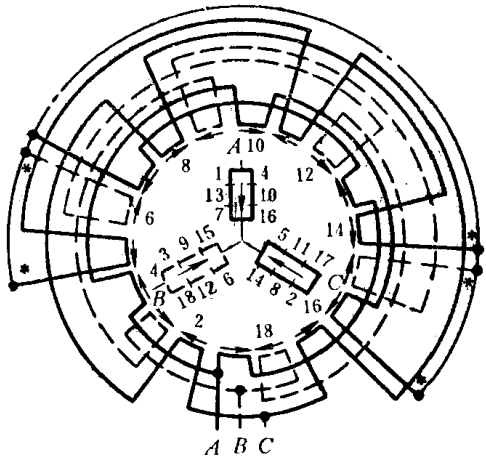


图 3-47　六极三相二路丫形

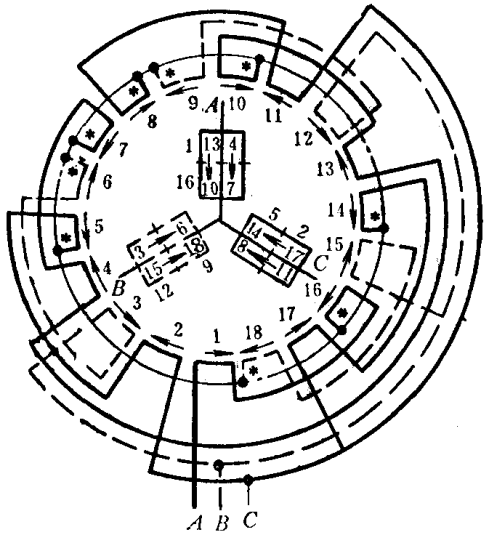


图 3-48　六极三相三路丫形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

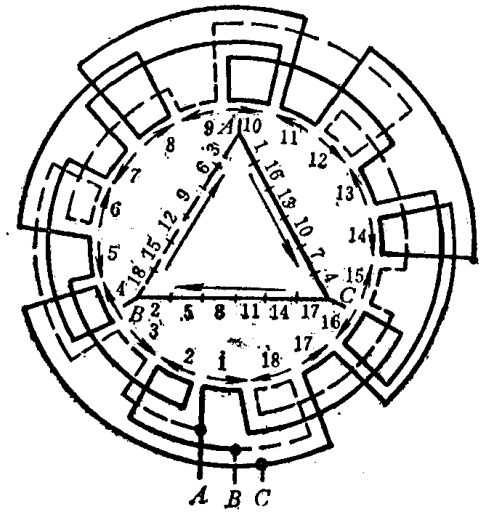


图 3-49　六极三相一路△形

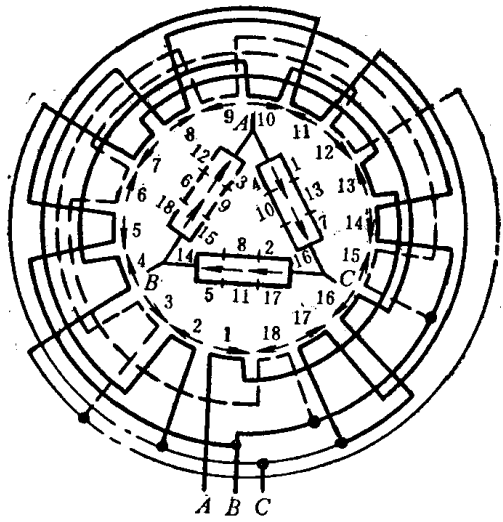


图 3-50　六极三相二路△形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

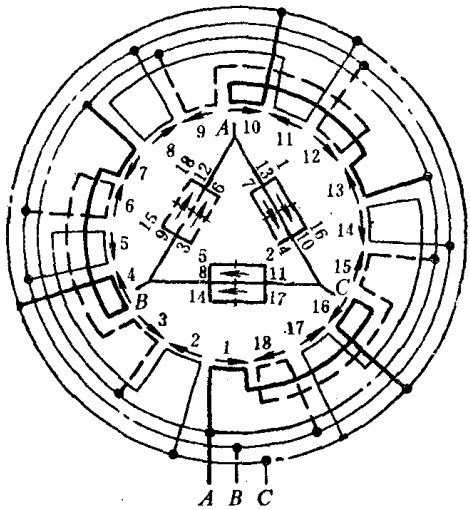


图 3-51　六极三相三路△形

3-14.6　浸漆与烘干

电动机绕组浸漆的目的是提高绕组的绝缘强度、耐热性、耐潮性及导热能力，同时也增加绕组的机械强度和耐腐蚀能力。

1．预烘　浸漆前要将电动机定子进行预烘，目的是排除水分潮气。预烘温度一般为 110℃ 左右，时间约 6～8 小时（小电动机用小值，中、大电动机用大值）。预烘时，每隔 1 小时测量绝缘电阻一次，其绝缘电阻必须在 3 小时内不变化，就可以结束预烘。如果电动机绕组一时不易烘干，可暂停一段时间，并加强通风，待绕组冷却后，再进行烘焙，直至其绝缘电阻达到稳定状态。

2．浸漆　绕组温度冷到 50～60℃左右才能浸漆。E级绝缘常用 1032 三聚氰胺醇酸漆。浸漆时间为浸 15 分钟以上，直到不冒气泡为止。如受设备限制，可用浇漆的办法，先浇绕组

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的一端，再浇另一端。漆要浇得均匀，全部都要浇到，最好重复浇几次。浸、浇完后，待余漆滴干，要用浸过甲苯或二甲苯的抹布或刷子将定子铁心表面、绕线式转子的轴承档以及机座端盖配合处揩干净。

3、烘干　烘干最好分为两个阶段，第一阶段是低温烘焙，温度控制在70～80℃，烘2～4小时。这样使溶剂挥发不太强烈，以免表面干燥太快而结成漆膜，使内部气体无法排出；第二阶段是高温阶段，温度控制在130℃左右，时间为8～16小时。转子尽可能竖烘，以便校平衡。

在烘干过程中，每隔一小时用兆欧表测一次绕组对地的绝缘电阻。开始绝缘电阻下降，后来逐步上升，最后3小时必须趋于稳定，如图3-52所示。电阻值一般在5兆欧以上，烘干才算结束。

常用的烘干设备和方法有：

(1) 自动控温的烘干箱或烘干室　这种设备能够比较精确地控制电炉内的温度。调节电炉温度用的仪表有XCT-101、XCT-111、XCT-121等动圈式温度指示仪，它们既可以指示温度，又可以调节温度，也可以做报警用。

(2) 电流干燥法　这种方法是利用电流通过绕组产生的热量来干燥线圈。中、大型电动机因为绕组线圈的阻抗小，大都把它的三相串联起来进行烘焙，如图3-53所示。小型电动机绕组的阻抗较大，可采用串并联干燥法，见图3-54；或用并联干燥法，见图3-55。电源可用220伏交流电(或低电压)，电流大小控制在额定电流的60%左右，可用变阻器或调压器来调节。

对于绕线式异步电动机，首先把转子滑环接上三相起动变阻器，把转子堵住，使它不能转动；在定子绕组里通三相低压交流电(约0.2倍电源电压)，或者将三相绕组串联通单相220

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

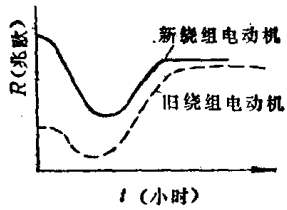


图 3-52　电动机烘干过程中绝缘电阻变化曲线

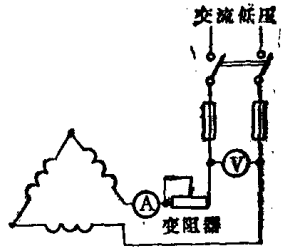


图 3-53　中、大型电动机串联干燥法

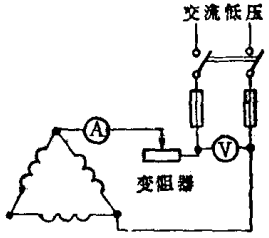


图 3-54　小型电动机串并联干燥法

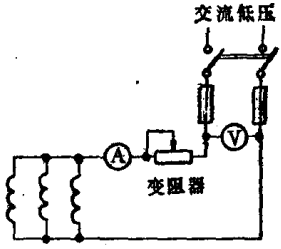


图 3-55　小型电动机并联干燥法

伏交流电，电流控制在额定电流的 60％左右。

还有一种不用任何设备，能方便、可靠地调整电流的方法：仍将被干燥的电动机绕组串联起来，在定子腔内加入铁块、铁板或铁条等，接至 220 伏交流电源，通电后用电流表检查电流，根据需要，增减这些铁件，就可以调节电流。铁件放得越多，电流就会越小。如果被干燥的电动机多，可以串联、并联或串并联。但要注意不可将转子放入被干燥的定子腔内，以免烧毁绕组线圈。采用这种方法，铁件可先多放一些，以防起始电流过大。

被水浸湿的电动机不可用电流加热法干燥。

(3) 灯泡干燥法　把红外线灯泡或白炽灯泡放在定子内，使灯光直接照射到电动机绕组上，改变灯泡瓦数和个数，就可以改变干燥温度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

干燥电动机时应特别注意安全工作，应准备好防火工具，如灭火器(要能绝缘的，如四氯化碳灭火器)、砂子、水等。干燥过程中应有值班人员，值班人员按时监视干燥情况，做好记录。在干燥过程中，不得在附近进行电焊和气焊。

3-14.7　绕组及电动机特性试验

1．电动机烘焙完毕，必须用兆欧表测量绕组对机壳及各相绕组相互间的绝缘电组。绝缘电阻每千伏工作电压不得小于1兆欧，一般低压(380伏)、容量在100千瓦以下的电动机不得小于0.5兆欧；滑环式电动机的转子绕组的绝缘电阻亦不得小于0.5兆欧。

2．三相电流平衡试验　将三相绕组并联通入单相交流电(电压24～36伏)，见图3-56。如果三相的电流平衡，表示没有故障；如果不平衡，说明绕组匝数或导线规格可能有错误，或者有匝间短路、接头接触不良等现象。

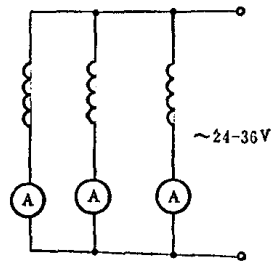


图3-56　三相电路平衡试验

3．直流电阻测量　将要测量的绕组串联一只直流电流表接到6～12伏的直流电源上，再将一只直流电压表并联到绕组上，测出通过绕组的电流和绕组上的电压降，再算出电阻。或者用电桥测量各绕组的直流电阻，测量三次取其平均值，即$R=\frac{R_1+R_2+R_3}{3}$。测得的三相之间的直流电阻误差不大于±2%，且直流电阻与出厂测量值误差不大于±2%，即为合格。但若测量时，温度不同于出厂测量温度，则可按下式换算(对铜导线)：

$$R_2=R_1\frac{235+t_2}{235+t_1}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 R_2——在温度 t_2 时的电阻；

R_1——在温度 t_1 时的电阻。

4. 耐压试验 耐压试验是做绕组对机壳及不同绕组间的绝缘强度试验。对额定电压 380 伏、额定功率为 1 千瓦以上的电动机，试验电压有效值为 1760 伏；对额定功率小于 1 千瓦的电动机，试验电压为 1260 伏。绕组在上述条件下，承受 1 分钟而不发生击穿者为合格。

5. 空载试验 电动机经上述试验后，应作半小时以上的空载试验。空载运转时，三相电流不平衡应在±10%以内。空载电流与额定电流的百分比见表 3-16。如果空载电流超出容许范围很多，表示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，或是应一路串联但错接成两路并联了；如果空载电流太低，表示定子绕组匝数太多，或应是△形连接但误接成丫形，两路并联错接成一路串联等。此外，还应检查轴承的温度是否过高，电动机和轴承是否有异常的声音等。滑环式异步电动机空转时，还应检查起动时电刷有无冒火花、过热等现象。

表 3-16 电动机空载电流与额定电流百分比

极数 \ 容量	0.125千瓦	0.5千瓦以下	2千瓦以下	10千瓦以下	50千瓦以下	100千瓦以下
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

3-15 三相异步电动机转子绕组的修理

3-15.1 铸铝转子的修理

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

铸铝转子若质量不好，或使用时经常正反转起动与过载，就会造成转子断条。断条后，电动机虽然能空载运转，但加上负载后，转速就会突然降低，甚至停下来。这时如测量定子三相绕组电流，就会发现电流表指针来回摆动。

如果检查时发现铸铝转子断条，可以到产品制造厂去买一个同样的新转子换上；或是将铝熔化后改装紫铜条。在熔铝前，应车去两面铝端环，再用夹具将铁心夹紧。然后开始熔铝。熔铝的方法主要有两种：

1. 烧碱溶铝　将转子垂直浸入浓度为30%的工业烧碱溶液中，然后将溶液加热到80～100℃左右，直到铝溶化完为止。然后用水冲洗，再投入到浓度为0.25%的冰醋酸溶液内煮沸，中和残余烧碱，再放到开水中煮沸1～2小时后，取出冲洗干净并烘干。

2. 煤炉熔铝　首先将转子轴从铁心中压出，然后在一只炉膛比转子直径大的煤炉的半腰上放一块铁板，将转子倾斜地安放在上面，罩上罩子加热。加热时，要用专用钳子时刻翻动转子，使转子受热均匀，烧到铁心呈粉红色时（约700℃左右），铝渐渐熔化，待铝熔化完后，将转子取出。在熔铝过程中，要防止烧坏铁心。

熔铝后，将槽内及转子两端的残铝及油清除后，用截面为槽面积55%左右的紫铜条插入槽内，再把铜条两端伸出槽外部分（每端约25毫米）依次敲弯，然后加铜环焊接，或是用堆焊的方法，使两端铜条连成整体即端环（端环的截面积为原铝端环截面的70%）。

3-15.2　绕线转子的修理

小容量的绕线式异步电动机的转子绕组的绕制与嵌线方法与前面所述的定子绕组相同。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

转子绕组经过修理后，必须在绕组两端用钢丝打箍。打箍工作可以在车床上进行。钢丝的弹性极限应不低于160公斤/毫米²。钢丝的拉力可按表3-17选择。钢丝的直径、匝数、宽度和排列布置方法应尽量和原来的一样。

表3-17 缠绕钢丝时预加的拉力值

钢丝直径(毫米)	拉力(公斤)	钢丝直径(毫米)	拉力(公斤)
0.5	12～15	1.0	50～60
0.6	17～20	1.2	65～80
0.7	25～30	1.5	100～120
0.8	30～35	1.8	140～160
0.9	35～45	2.0	180～200

在绑扎前，先在绑扎位置上包扎2～3层白纱带，使绑扎的位置平整，然后卷上青壳纸1～2层、云母一层，纸板宽度应比钢丝箍总宽度大10～30毫米。

为了使钢丝箍扎紧，每隔一定宽度在钢丝底下垫一块铜片，当该段钢丝绕好后，把铜片两头弯到钢丝上，用锡焊牢。钢丝的首端和尾端应放在铜片的位置上，以便卡紧焊牢。

扎好钢丝箍的部分，其直径必须比转子铁心部分小2～3毫米，否则要与定子铁心绕组相擦。修复后的转子一般要作静平衡试验，以免在运动中发生振动。

目前电机制造厂大量使用玻璃丝布带绑扎转子(电枢)代替钢丝绑扎。整个工艺过程如下：

首先将待绑扎的转子(电枢)吊到绑扎机上，用夹头和顶针旋紧固定，但要能够自由转动。再用木锤轻敲转子两端线圈，既不能让它们高出铁心，又要保证四周均布。接着把玻璃丝带从拉紧工具上拉至转子，先在端部绕一圈，然后拉紧，绑扎速

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度为 45 转/分，拉力不低于 30 公斤，如果玻璃丝带不粘，要在低温 80℃烘一小时再扎，或者将转子放进烘房，待两端线圈达到70～80℃时，再进行热扎。绑扎的层数根据转子(电枢)的外径和极数的要求而定，对于容量在 100 千瓦以下的电动机，绑扎厚度约在 1～1.5 毫米范围内。

3-16 三相铝线异步电动机的焊接

JL、JO-L、JO2-L 小型铝线电动机和 JS、JR 中型低压铝线电动机大多采用氧化膜铝线或聚酯漆包铝线。铝线电动机在制造与维修中最关键的问题是解决绕组之间铝-铝焊接及绕组和电缆引出线之间的铝-铜焊接的问题。焊接铝线的方法有氩弧焊、气焊、碳膜电阻熔焊、钎焊、闪光焊、摩擦焊、冷压焊、电容储能焊等十几种。下面介绍几种比较简单的方法。

3-16.1 气 焊

用氧-乙炔火焰进行铝-铝或铝-铜焊接具有设备简单、使用方便以及可方便地调节热量、适于焊接截面不等的导体等优点。

1. 选用的火焰 铝及其合金具有强烈的氧化性和吸湿性。气焊时，为使铝熔池置于还原性气氛的保护下不被氧化，应使用还原焰或乙炔稍微过剩的碳化焰(微碳化焰)，见图3-57。

2. 铝焊剂及焊丝 气焊铝时，必须使用铝焊剂。焊剂的作用是去除氧化铝膜，并在熔融的金属表面形成一层薄的熔渣液体，保护熔池金属不被氧化。铝焊剂的配方见表 3-18。

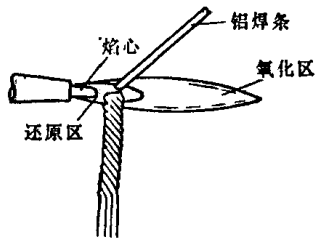


图 3-57 铝-铝气焊

铝焊剂的熔点通常在560℃左右，其统一牌号为“粉 401”。这些焊剂都呈粉状，使用时用蒸馏水调成膏状，焊时涂于焊接部位或金属

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-18 铝焊剂配方

比例(%) 成分 / 序号	NaCl	KCl	LiCl	$BaCl_2$	NaF	KF	CaF_2	Na_2SO_4
1	30	45	15	—	—	7	—	3
2	45	30	10	—	—	15	—	—
3	28	50	14	—	8	—	—	—
4	35	48	9	—	8	—	—	—
5	33	45	15	—	—	7	—	—
6	19	29	—	48	—	—	4	—
7	30	45	15	—	10	—	—	—
8	41	51	—	—	8	—	—	—

外表。焊剂都极易受潮，因此应保存在密封容器内。

气焊纯铝所用的焊丝，一般都使用导体本身线材，或者使用专用铝焊丝，其统一牌号为“丝 301”、“丝 302”。

3. 焊接工艺

(1) 首先要将接头的漆膜刮干净，最好用 10～15% 的 NaOH 热溶液(50～70℃)将接头和焊丝浸 10～20 秒钟，然后用清水洗净。

(2) 将接线(铝-铝或铝-铜)用平口钳绞紧，头部剪平，沾上适量的铝焊剂，进行焊接(并焊)；也可以沾上焊剂进行对焊，见图 3-58。

(3) 焊后趁热用热水清洗干净，以防焊头腐蚀。绞接头最好打开后清洗，清洗后进行干燥，然后涂上环氧钙黄底漆，干后包扎绝缘。

3-16.2 冷压焊

冷压焊的原理是，在室温下，利用压力使工件的焊接部位产生塑性变形，把工件接触面的氧化膜挤出焊缝以外，使工件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

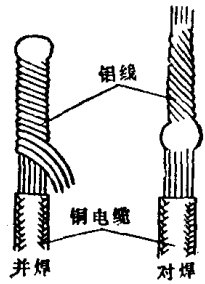


图 3-58　铝-铜气焊

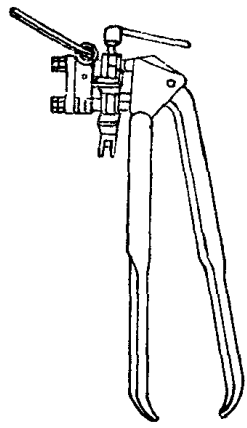


图 3-59　LTY 型手动冷压焊钳

间金属原子达到原子间引力的距离，伴随着原子的扩散，可产生原子间结合的牢固接头。目前，对接冷压焊能焊接 1～1000 毫米² 截面的铝-铝、铝-铜接头。

一般所用的 LTY 型手动冷压焊钳(见图 3-59)可以焊接铝-铝和铝-铜单股导线，其规格参数见表 3-19。

焊接时应注意：

1．将焊接端面的油、水等污物清除干净。

表 3-19　LTY 型冷压焊钳的规格参数

型　　号	可焊单股导线直径(毫米)		重　量(公　斤)
	铝	铜	
LTY-0A	1.3～4.0	1.3～3.1	1.6
LTY-0B	1.3～2.6	1.3～2.7	1.5
LTY-0C	1.0～2.0	1.0～1.7	0.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 尽可能减少工件本身的不直度和端面对轴线的不垂直度误差。

3. 第一次顶压，两线头伸出钳口的长度约为导线直径的1.0～1.2倍；第二次、第三次复压时，两线头伸出钳口的长度约为导线直径的0.8～1.0倍。一般铝-铝接头顶压2次；铝-铜接头顶压3～4次。

3-17 三相异步电动机简易计算和改制

在电动机的修理工作中，经常会遇到电动机铭牌丢失，或绕组数据无处考查的情况。有时还需要改变使用电压，变更电动机转速，改变导线规格来修复电动机的绕组。这时都必须经过一些计算，才能确定所需要的数据。

3-17.1 改变导线规格的计算

1. 当修复一台电动机时，如果没有原来规格的导线，可以选用其它规格的导线，但其截面要等于或接近于原来的导线截面，使修复后电动机的电流密度不超过表3-20所列的数值。

表3-20 中小型电动机铜线电流密度容许值(安/毫米^2)

型式 \ 极数	2	4	6	8
封闭式	4.0～4.5	4.5～5.5		4.0～5.0
开启式	5.0～6.0	5.5～6.5		5.0～6.0

注：1. 表中数据适用于系列产品，对早年及非系列产品应酌情减低10～15%。
2. 一般小容量的电动机取其较大值，较大容量的电动机取其较小值。

2. 改变线圈导线的并绕数

如果没有相同截面的导线，可以将线圈中较大截面的导线换为两根或数根较小截面的导线并绕，匝数不变。但此时需要

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

考虑导线在槽内是否能装得下，也就是要验算电动机的槽满率。

所谓槽满率 F_m，就是槽内带绝缘导体的总截面与槽的有效截面的比值。

$$F_m=\frac{NS}{S'_c}=\frac{N(nd^2)}{S'_c}\times\frac{\pi}{4}\approx\frac{Nnd^2}{S'_c}$$

式中 N——槽内导体数；

d——带绝缘导线的外径；

n——每个线圈并绕导线的根数，由不同外径的导线并绕时，式中的(nd^2)应换以不同的线径平方之和，即 $nd^2=d_1^2+d_2^2+d_3^2+\cdots$；

S'_c——定子铁心槽的面积减去槽绝缘和槽楔后的净面积(毫米²)。

一般 F_m值控制在 0.60～0.75 的范围内。

3. 改变绕组的并联支路数

原来为一个支路接线的绕组，如果没有相同规格的导线，可换用适当规格的导线，并改变其支路数。

在改变支路数的线圈中，每根导线的截面积 S 与支路数 a 成反比

$$S_{\text{II}}=\frac{S_{\text{I}}}{a_{\text{II}}}$$

每个线圈的匝数 W 与并联支路数 a 成正比：

$$W_{\text{II}}=a_{\text{II}}W_{\text{I}}$$

在公式中，字母下脚注有 I 者为原有数据；注有 II 者，为改变支路数后的各种数据。

3-17.2 电动机重绕线圈的计算

若鼠笼式异步电动机的铭牌和绕组数据已遗失，根据电动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机铁心，可按下述方法重算定子绕组（适用于50赫、100千瓦以下低压绕组）。

1. 先确定重绕后电动机的电源电压和每分钟转速（或极数）。

2. 测量定子铁心内径 D_1（厘米），铁心长度 L（不包括通风槽）（厘米），定子槽数 Z_1，定子槽截面积 S_c（毫米^2），定子齿的宽度 b_z（厘米）和定子轭的高度 h_a（厘米）。选 p 为极对数。

3. 极　距

$$\tau=\frac{\pi D_1}{2p}\text{（厘米）} \qquad (1)$$

4. 每极磁通

$$\phi=0.637\tau L B_g\times 0.92\text{（麦）} \qquad (2)$$

式中　B_g——气隙磁通密度（高斯），按表3-21选择；

L ——铁心长度（厘米）。

5. 验算轭磁通密度

$$B_a=\frac{\phi}{2h_a L\times 0.92}\text{（高斯）} \qquad (3)$$

计算所得的 B_a 值应按表3-21核对，如相差很大，就说明极数 $2p$ 选择得不正确，应重新选择极数；如相差不大，可重新选择 B_g，以适合表3-21中 B_a 的数值。

6. 验算齿磁通密度

$$B_z=\frac{1.57\phi}{\frac{Z_1}{2p}b_z L\times 0.92}\text{（高斯）} \qquad (4)$$

所得 B_z 值应符合表3-21的数值，如有相差可以重选 B_g 值（重复以上计算得出 B_z 值应符合表3-21的数值）。

7. 确定线圈节距和绕组系数 K

单层线圈采用全节距

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-21　小型异步电动机定子绕组电磁计算的参考数据

数值名称	符号	单位	定子铁心外径		
			150～250	200～350	350～750
气隙磁通密度	B_g	高斯	6000～7000	6500～7500	7000～8000
轭磁通密度	B_a	高斯	11000～15000	12000～15000	13000～15000
齿磁通密度	B_z	高斯	13000～16000	14000～17000	15000～18000
A级绝缘防护式电动机定子绕组的电流密度	j_1	安/毫米^2	5～6	5～5.6	5～5.6
A级绝缘封闭式电动机定子绕组的电流密度	j_1	安/毫米^2	4.8～5.5	4.2～5.2	3.7～4.2
线负载	AS	安/厘米	150～250	200～350	350～400

$$Y=\frac{Z_1}{2p} \qquad (5)$$

双层线圈采用短节距，短距系数 β 按下式计算

$$\beta=\frac{Y_1}{Y} \qquad (6)$$

式中　Y_1——短距线圈的节距。

一般取短距系数 β 约在 0.8 左右，根据短距系数及分布系数 γ（由每极每相的线圈元件数来决定）按表3-22 决定绕组系数 K。

8．　绕组每相匝数

单层绕组　　$$W_1=\frac{U_{xg}\times 10^6}{2.22\phi}\text{(匝/相)} \qquad (7)$$

双层绕组　　$$W_2=\frac{U_{xg}\times 10^6}{2.22K_\phi}\text{(匝/相)} \qquad (8)$$

9．　每槽有效导线数

$$n_0=\frac{6W_1}{Z_1}\text{(根/槽)} \qquad (9)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 3-22　双层短距绕组的绕组系数K

每极每相的线圈元件数	分布系数 (γ)	短距系数 (β)								
		0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55
1	1.0	0.997	0.988	0.972	0.951	0.924	0.891	0.853	0.809	0.760
2	0.966	0.963	0.954	0.939	0.919	0.893	0.861	0.824	0.784	0.734
3	0.960	0.957	0.948	0.933	0.913	0.887	0.855	0.819	0.777	0.730
4	0.985	0.955	0.947	0.931	0.911	0.885	0.854	0.817	0.775	0.728
5～7	0.957	0.954	0.946	0.930	0.910	0.884	0.853	0.816	0.774	0.727

10. 导线截面积

$$S_1=\frac{S_c K_T}{n_c}(\text{毫米}^2) \tag{10}$$

式中　S_c——槽的截面积(毫米²)；

K_T——槽内充填系数。当采用双纱包圆铜线时，$K_T=0.35\sim0.42$；采用单纱漆包线时，$K_T=0.43\sim0.45$；采用漆包线时 $K_T=0.46\sim0.48$。

当导线截面较大时，可采用多根导线并联绕制线圈，或按表 3-23 采用 2 路以上的并联支路数，这时每根导线截面积 S_x 按下式计算

表 3-23　三相绕组并联支路数 α

极数	2	4	6	8	10	12
并联支路数	1、2	1、2、4	1、2、3、6	1、2、4、8	1、2、5、10	1、2、3、4、6、12

$$S_x=\frac{S_1}{2an} \tag{11}$$

式中　n——每个线圈的并绕导线数；

2——系数，表示双层绕组。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11．确定每根导线的直径

$$d=\sqrt{\frac{S_x}{\pi/4}}\text{（毫米）} \tag{12}$$

12．每相绕组容许通过的电流

$$I_{nxg}=S_1 j_1=2anS_x j_1\text{(安)} \tag{13}$$

式中 J_1——电流密度，由表3-21查出。

13．验算线负荷

$$AS=\frac{I_n n_c Z_1}{\pi D_1}\text{(安/厘米)} \tag{14}$$

计算所得值应符合表3-21，否则应重选 j_1。

14．确定电动机额定功率

$$\begin{aligned}P_n&=3U_{xg}I_{nxg}\cos\varphi\eta\times10^{-3}\\&=\sqrt{3}U_nI_n\cos\varphi\eta\times10^{-3}\text{(千瓦)}\end{aligned} \tag{15}$$

（式中 $\cos\varphi$ 和效率 η 的近似值，可参阅表2-6～2-13。）

【例】 一台防护式鼠笼型异步电动机，其铭牌和绕组数据已遗失，定子铁心的数据测量如下：

定子铁心外径 $D=38.5$ 厘米

定子铁心内径 $D_1=25.4$ 厘米

定子铁心长度 $L=18$ 厘米

定子槽数 $Z_1=48$

定子槽截面积 $S_c=252$ 毫米^2

定子齿的宽度 $b_z=0.70$ 厘米

定子轭的高度 $h_a=3.7$ 厘米

求定子绕组数据和电动机功率。

【解】

（1）确定电源电压为3相、50赫、380伏，电动机转速为1440转/分(即磁极数为4极)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 定子铁心数据已测得。

(3) 极　距

$$\tau=\frac{\pi D_1}{2p}$$

$$=\frac{3.14\times25.4}{4}$$

$$=20(\text{厘米})$$

(4) 根据定子铁心外径 $D=38.5$ 厘米，查表 3-21，取 $B_g=7500$ 高斯，故每极磁通：

$$\phi=0.637\tau LB_g\times0.92$$

$$=0.637\times20\times18\times7500\times0.92$$

$$=1.58\times10^6(\text{麦})$$

(5) 验算轭磁通密度

$$B_a=\frac{\phi}{2h_aL\times0.92}$$

$$=\frac{1.58\times10^6}{2\times3.7\times18\times0.92}$$

$$\approx13000(\text{高斯})$$

计算所得 B_a 值基本符合表 3-21 中的范围。

(6) 验算齿磁通密度

$$B_z=\frac{1.57\phi}{\frac{Z_1}{2p}b_zL\times0.92}$$

$$=\frac{1.57\times1.58\times10^6}{\frac{48}{4}\times0.7\times18\times0.92}$$

$$=17800(\text{高斯})$$

B_z 值符合表 3-21 中的范围。

(7) 选用双层叠绕线圈，短节距。取短距系数 $\beta=0.8$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$Y_1=\beta\frac{Z_1}{2p}$$

$$=0.8\times\frac{48}{4}$$

$$\approx 10$$

故线圈槽距为 1～11。每极每相元件数为 3，查表 3-22，得绕组系数 $K=0.913$。

(8) 采用 △接法，$U_{xg}=380$ 伏。

绕组每相匝数

$$W_2=\frac{U_{xg}\times 10^6}{2.22\phi K}$$

$$=\frac{380\times 10^6}{2.22\times 1.58\times 10^6\times 0.913}$$

$$=118(\text{匝/相})$$

(9) 每槽有效导线数

$$n_c=\frac{6W_2}{Z_1}$$

$$=\frac{6\times 118}{48}$$

$$=14.8(\text{根/槽})$$

n_c 应为整数，且双层绕组应取偶数，故取 $n_c=14$(根/槽)

(10)导线采用高强度漆包线，其截面：

$$S_1=\frac{S_c K_T}{n_c}$$

$$=\frac{252\times 0.46}{14}$$

$$=8.28(\text{毫米}^2)$$

因单根导线截面较大，分为三根并绕；每根导线的截面为 $8.28\div 3=2.76$(毫米^2)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(11)查表 7-11，截面为 2.76 毫米^2 的漆包线，标称直径取 1.88 毫米。

(12)由表 3-21 取 $j_1=5.0$ 安/毫米^2，故相电流

$$I_{nxg}=S_1j_1$$
$$=8.28\times5$$
$$=41.4(安)$$

(13)验算线负荷

$$AS=\frac{I_n n_c Z_1}{\pi D_1}$$
$$=\frac{41.4\times14\times48}{3.14\times25.4}$$
$$=349(安/匝)$$

计算所得 AS 值符合表 3-21 的范围。

(14)根据极数和相电流参阅表 2-6，取 $\cos\varphi$ 为 0.88，η 为 0.895，故电动机的功率为：

$$P_n=\sqrt{3}U_nI_n\cos\varphi\eta\times10^{-3}$$
$$=1.73\times380\times41.4\times0.88\times0.895\times10^{-3}$$
$$=21.4(千瓦)$$

3-17.3 改极计算

在生产中，有时需改变电动机绕组的连接方式，或重新配制绕组来改变电动机的极数，以获得所需要的电动机转速。

1. 改极计算应注意以下事项：

(1) 由于电动机改变了极数，必须注意，定子槽数 Z_1 与转子槽数 Z_2 的配合不应有下列关系：

$$Z_1-Z_2=\pm2p$$
$$Z_1-Z_2=1\pm2p$$
$$Z_1-Z_2=\pm2\pm4p$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

否则电动机可能发生强烈的噪声，甚至不能运转。

(2) 改变电动机极数时，必须考虑到电动机容量将与转速近似成正比地变化。

(3) 改变电动机转速时，不宜使其前后相差过大，尤其是提高转速时应特别注意。

(4) 提高转速时，应事先考虑到轴承是否会过热或寿命过低，转子和转轴的机械强度是否可靠等，必要时进行验算。

(5) 绕线式电动机改变极数时，必须将定子绕组和转子绕组同时更换。所以一般只对鼠笼式电动机定子线圈加以改制。

2. 改变极数有两种情况，一种是不改变绕组线圈的数据，只改变其极相组及极间连线，其电动机容量保持不变。此时，应验算磁路各部分的磁通密度，只要没有达到饱和值或超过不多即可。

另一种情况是重新计算绕组数据。改制前，应确切记好电动机的铭牌、绕组和铁心的各项数据，并按 3-17.2 中所述方法计算改制前绕组的 W_1、ϕ、B_z、B_a、n_c 和 AS 等各项数据，以便和改制后相应的数据对比。

(1) 改制后提高电动机转速的方法和步骤

① 改制后极距 $\tau' = \frac{\pi D_1}{2p'}$(厘米)

② 改制后每极磁通 $\phi' = 1.84 h_a L B_a'$(麦)

式中 B_a'——改制后轭磁通密度可选为 18000 高斯。由于改制后电动机极数减少，因此 B_a' 增高，为了不使轭部温升过高，B_a' 不宜超过 18000 高斯。

(2) 改制后绕组每相串联匝数

单层绕组 $W_1 = \frac{U_{xg} 10^6}{2.22 \phi'}$(匝/相)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

双层绕组　　$W_1'=\frac{U_{xg}10^6}{2.22k'\phi'}$(匝/相)

其余各项数据的计算与旧定子铁心重绕线圈的计算相同。但由于转速提高后极距 τ' 增加，所以空气隙 B_g' 和齿的 B_z' 的数值比表 3-21 中的相应数值小。

(3) 改制后降低电机转速的计算方法

① 极距　　$\tau'=\frac{\pi D_1}{2p'}$(厘米)

② 每极磁通　　$\phi'=0.586\tau' LB_g'$(麦)

由于极数增加，极距 τ' 减小，定子轭磁通密度显著减小，因此可将 B_g' 的数值较改制前 B_g 数值提高 5～10%，B_z' 值也相应提高 5～10%。

其余各项数据计算与电动机空壳重绕线圈的计算相同。

必须指出：异步电动机改变极数重绕线圈后，不能保证铁心各部分磁通保持原来的数值，因而 η、$\cos\varphi$、I_o、起动电流等技术性能指标也有较大的变动。

3-17.4　改压计算

1. 要将原来运行于某一电压的电动机绕组改为另一种电压时，必须使线圈的电流密度和每匝所承受的电压尽可能保持原来的数值，这样可使电动机各部温升和机械特性保持不变。

改变电压时，首先考虑能否用改变接线的方法使该电动机适用于另一电压。

计算公式如下

$$K\%=\frac{U'_{xg}}{U_{xg}}\times 100\%$$

式中　$K\%$ ——改接前后的电压比；

U'_{xg}——改接后的绕组相电压；

U_{xg} ——改接前的绕组相电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

根据计算所得的电压比 $K\%$ 再查阅表 3-24，查得的“绕组改接后接线法”应符合表 3-23 的规定，同时由于改变接线时没有更换槽绝缘，必须注意原有绝缘能否承受改接后所用的电压。

2. 如果无法改变接线，只得重绕线圈。重绕后，绕组的匝数 W_1 和导线的截面积 S_1 可由下式求得。

$$W_1' = \frac{U'_{xg}}{U_{xg}} W_1$$

$$S_1' = \frac{U_{xg}}{U'_{xg}} S_1$$

表 3-24 三相绕组改变接线的电压比(K%)

绕组原来接线法 \ 绕组改后接线法	一路Y形	二路并联Y形	三路并联Y形	四路并联Y形	五路并联Y形	六路并联Y形	八路并联Y形	十路并联Y形	一路△形	二路并联△形	三路并联△形	四路并联△形	五路并联△形	六路并联△形	八路并联△形	十路并联△形
一路Y形	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	69	19	15	12	10	7	6
二路并联Y形	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
三路并联Y形	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
四路并联Y形	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
五路并联Y形	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
六路并联Y形	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35
八路并联Y形	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46
十路并联Y形	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
一路△形	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
二路并联△形	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
三路并联△形	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
四路并联△形	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
五路并联△形	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
六路并联△形	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
八路并联△形	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
十路并联△形	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 W_1——定子绕组重绕前的每相串联匝数；

S_1——定子绕组重绕前的导线截面积(毫米^2)。

如果导线截面积较大时，可采用并绕或增加并联支路数。

如果电动机由低压改为高压(500伏以上)时，因受槽形及绝缘的限制，电动机容量必须大大地减少，所以一般不宜改高压。当电动机由高压改为低压使用时，绕组绝缘可以减薄，可采用较大截面的导线，因此电动机的出力可稍增大。

【例】 有一台3000伏、8极、一路丫形接线的异步电动机要改变接线，使用于380伏的电源上，应如何改变接线？

【解】 首先计算改接前后的电压比 $K\%$

$$K\% = \frac{380}{3000} \times 100\% = 12.7\%$$

再查表3-24中"绕组原来接线法"栏第一行第七列"八路并联丫形"下的数字12.5为最相近，而这种接线又符合表3-23中的规定，所以该电机可以改接为八路并联丫形，运行于380伏的电源电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四章 变 压 器

4-1 变压器原理及构造

4-1.1 变压器原理

变压器是用来改变交流电压、电流的静止的电气设备。它既能改变线路电压和电流，又能输出各种不同用途的电压，在电气设备中是很重要的设备。它是根据电磁感应原理制成的。单相变压器的原理见图 4-1 所示。它由初级线圈（原绕组）、次级线圈（副绕组）和铁心组成。变压器中与初级线圈有关的各个量叫原边量，用 U_1、E_1、N_1 分别代表输入端的电源电压、感应电势和初级线圈的匝数。与次级线圈有关的各个量叫副边量，用 U_2、E_2、N_2 分别代表输出电压、感应电势和次级线圈的匝数。

当交流电压 U_1 加到初级线圈后，在初、次级线圈内分别感应出 E_1 和 E_2 交变电动势。根据电磁感应定律，其电动势分别以下式计算：

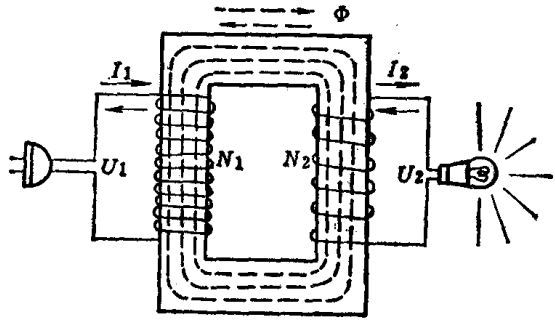


图 4-1 单相变压器原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$E_1=4.44fN_1\phi\times10^{-8}(伏)$$

$$E_2=4.44fN_2\phi\times10^{-8}(伏)$$

变压器的初级线圈与电源连接，次级线圈开路(不接负载)，这种情况叫变压器的空载运行。空载时通过初级线圈的电流只起励磁作用，这个电流称励磁电流，又称空载电流。在空载时，初级线圈中的电流很小，电压降也就小。如果忽略变压器铁心的损耗，则$U_1\approx E_1$。又由于变压器是空载的，所以次级线圈无电流流过，也无电压降，因此，$U_2\approx E_2$。E_1和E_2两式比较，得

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2}=K_u$$

式中，K_u为变压器的空载电压比，简称变比。它是变压器的一个重要参数，说明只有线圈匝数不同时，变压器才能起到使电压、电流变化的作用。若$K_u>1$，则为降压变压器；若$K_u<1$时，则为升压变压器。

当次级接上负载阻抗时，假设变压器本身损耗很小，可忽略不计，则其输入功率与输出功率可视为相等的，即$P_1=P_2$；$U_1I_1=U_2I_2$。

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{N_1}{N_2}=K_i$$

式中 K_i——变压器的变流比。

可以看出，变压器的两侧电压之比等于其匝数之比，而两侧电流之比等于其匝数的反比。

在实际传输过程中，初、次级线圈和铁心总要消耗一部分电功率，如变压器内部的铜损和铁损等。因此，变压器的效率应为

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}\times100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 P_1——变压器输入功率；

P_2——变压器输出功率。

变压器只能用在交流电路中。因直流电不能产生交变磁场，不产生感应电势。

4-1.2 变压器的构造

1. 变压器的分类

变压器的分类方法很多。可按冷却方式、电源输出相数、线圈结构、铁心结构和防潮方式等进行分类(见表 4-1)，也可按用途分类，如电力变压器、电源变压器、调压变压器、测量

表 4-1 变压器的分类

分类	类别	用途
冷却方式	干式(自冷)变压器 油浸(自冷)变压器 油浸(风或水冷)变压器 氟化物(蒸发冷却)变压器	多用在低电压、小容量设备 电压较高、容量较大场合
电源输出相数	单相变压器 三相变压器 多相变压器	用在小容量设备 用在较大容量设备 用在电源变压器
线圈结构	双线圈变压器 三线圈变压器 多线圈变压器	中小型电力变压器 大型电力变压器 电源变压器
铁心结构	心式变压器 壳式变压器 C型变压器 环型变压器	
防潮方式	开放式变压器 灌封式变压器 密封式变压器	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变压器、试验用高压变压器、控制变压器等等。由于分类方法不同，有时同一只变压器可以出现几种叫法。上述分类方法，都是为了说明问题方便而提出的，并没有严格区别。

2．变压器的构造

根据用途不同，变压器的构造也不尽相同。一般电力变压器的构造比较复杂，它由铁心、线圈、油箱、套管、分接开关以及其他附件所构成，外形见图 4-2 。干式变压器的构造较简单，它只有铁心、线圈、引线和外壳等，见图 4-3。

3．铁心的结构

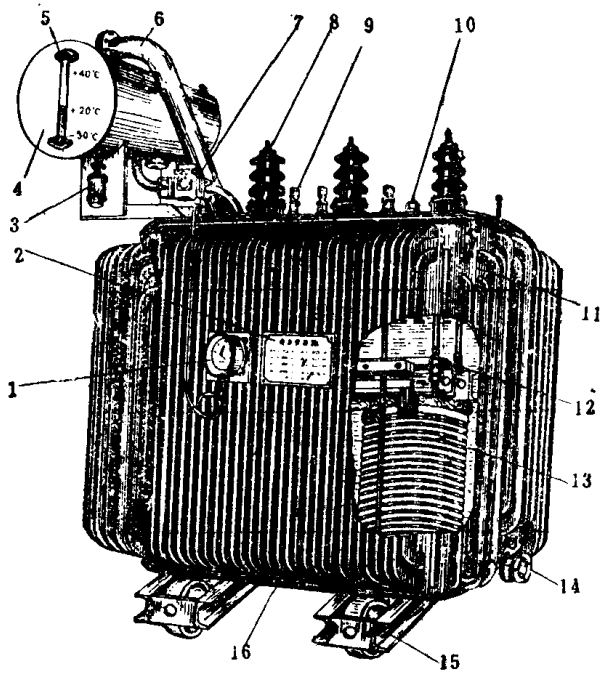


图 4-2　油浸式电力变压器

1-温度计　2-铭牌　3-吸湿器　4-储油柜　5-油表　6-安全气道
7-气体继电器　8-高压套管　9-低压套管　10-分接开关　11-油箱
12-铁心　13-线圈及绝缘　14-放油阀门　15-小车　16-引线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

变压器铁心一般有心式和壳式两类。常用的铁心见图 4-4。

4. 线圈结构

变压器线圈，根据容量的大小和电压的高低，具有不同的结构形式。一般有同心式和交叠式两种，见图 4-5。同心式线圈按其线圈的绕制方式不同，又可分成单层筒式、单螺旋式、分段式和连续式等四种，见图 4-6。

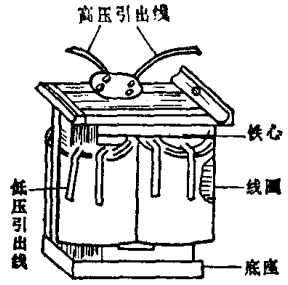


图 4-3 干式变压器构造

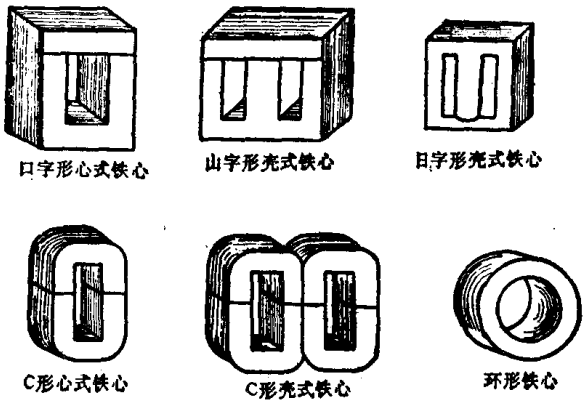


图 4-4 变压器铁心结构

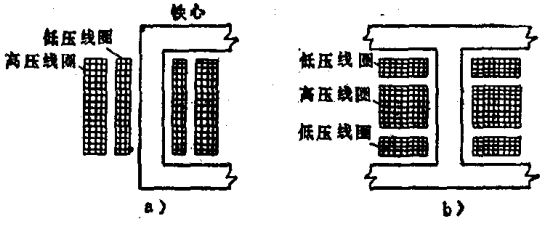


图 4-5 变压器线圈结构

a)同心式 b)交叠式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

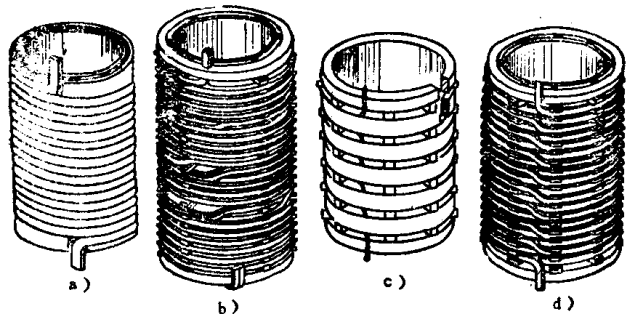


图 4-6　同心式线圈

a) 单层筒式　b) 单螺旋式　c) 分段式　d) 连续式

4-2　电源变压器的计算

4-2.1　小功率电源变压器的计算

在实际工作中，有时要自行设计、绕制一些小功率(50赫、1000伏安以下)的变压器；或者变压器烧坏时，需要重新绕制。要进行精确计算是比较复杂的，这里介绍几种常用的近似计算方法。

1．重绕法(又称对比法)

对坏变压器可不用计算，用简单对比方法进行重绕。如把烧坏的变压器线圈，在绕线机上退圈，记好圈数及层次，量出线径，裁好绝缘纸，再重新用同样线径绕同样圈数和层次，包好绝缘，装上铁心，检验合格后，即可进行绝缘处理。

2．计算法

小功率变压器的计算，主要是算出变压器的额定功率、初级线圈电流、铁心的截面积、各线圈的匝数、线圈所用漆包线的直径和核算铁心窗口面积等几方面。下面以图 4-7 为例，说明其计算步骤：

(1) 计算变压器的额定功率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由图 4-7 可知，输出功率为

$P_2=I_2U_2+I_3U_3+\cdots$(伏安)

输入功率为

$P_1=I_1U_1$(伏安)

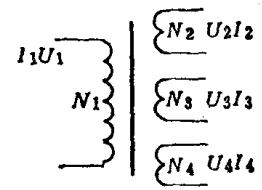


图 4-7　变压器计算原理图

式中　I_1——初级线圈电流(安)；

I_2、I_3、……——次级各线圈电流(安)；

U_1——初级线圈电压(伏)；

U_2、U_3……——次级各线圈电压(伏)。

因 I_1 为未知，那么 P_1 可按下式求得近似值：

$$P_1=\frac{P_2}{\eta}\text{(伏安)}$$

式中　η——变压器的效率。

变压器的效率与变压器功率有关，可参考表 4-2 中的经验数据。

表 4-2　变压器效率与功率的经验数据

功率(伏安)	<20	30～50	50～100	100～200	>200
效率(%)	70～80	80～85	85～90	90～95	>95

变压器的额定功率为

$$P=\frac{P_1+P_2}{2}\text{(伏安)}$$

(2) 计算初级电流(I_1)

$$I_1=K\frac{P_1}{U_1}\text{(安)}$$

式中　K——为由变压器空载电流大小决定的经验系数。容量越小，K 愈大，一般选用 1.1～1.2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 计算变压器铁心净截面积(S_c)及实际面积(S_c')。

计算变压器铁心截面积的目的是要确定采用什么规格的硅钢片，叠厚多少。铁心截面积 S_c 和变压器功率有关，一般可按下列经验公式计算铁心净截面积：

$$S_c = K_0\sqrt{P}\ (\text{厘米}^2)$$

式中 K_0——系数，根据硅钢片质量而定。质量越好，K_0值越小，一般选在 1.0～1.5 之间。

由于硅钢片之间的绝缘和空隙，实际铁心截面积略大于计算值，故

$$S_c' = \frac{K_0\sqrt{P}}{K_c} = \frac{S_c}{K_c}\ (\text{厘米}^2)$$

式中 K_c——硅钢片叠片系数。它与硅钢片厚度有关。一般0.35毫米厚热轧硅钢片的$K_c \approx 0.89$；冷轧硅钢带的$K_c \approx 0.92$。对于 0.5 毫米厚的热轧硅钢片，其 K_c 值取 0.94。

根据算出的 S_c'，从表 4-3 查出对应的硅钢片中间舌宽a。

铁心叠厚 b 的计算

$$b = \frac{S_c' \times 100}{a}\ (\text{毫米})$$

铁心厚度 b 与舌宽 a 之比，应在 1～2 之间，否则应重新选取铁心截面积。

(4) 计算各线圈的匝数

每伏匝数(N_0)由下式求得：

$$N_0 = \frac{N}{E} = \frac{10^8}{4.44 f B_m S_c}\ (\text{匝/伏})$$

式中 f ——电源频率；

B_m——铁心磁通密度，单位为高斯。一般冷轧、晶粒取向硅钢带，取 $1.2\sim1.4\times10^4$；热轧硅钢片，取 $1.0\sim1.2\times14^4$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-3　各种容量的壳式变压器的硅钢片规格

硅钢片型号	硅钢片中间舌宽 a（毫米）	叠片厚度 b（毫米）	输出定额（伏安）	铁心截面积 S_c^l（厘米²）	每伏匝数（匝/伏） N_0	
					10000高斯	6000高斯
GEI-10	10	12.5	1	1.25	36	45
GEI-10	10	16	1.5	1.5	30	37.5
GEI-10	10	17	1.8	1.75	25.7	32.2
GEI-12	12	15	2	1.8	25	31.2
GEI-12	12	18	3	2.16	20.8	26
GEI-12	12	21	4	2.52	17.8	22.3
GEI-14	14	20	5	2.8	16	20.1
GEIB-16	16	19	6	3.2	14	17.6
GEIB-16	16	23	8	3.68	12.2	15.3
GEIB-16	16	28	10	3.95	11.1	14
GEIB-19	19	23	12	4.38	10.3	12.8
GEIB-19	19	28	16	5.13	8.8	11
GEIB-19	19	31	20	5.9	7.6	9.5
GEIB-19	19	35	25	6.65	6.8	8.5
GEIB-19	19	38	33	7.2	6.2	7.8
GEIB-22	22	35	38	7.7	5.9	7.3
GEIB-22	22	39	45	8.6	5.2	6.5
GEIB-22	22	41	50	9	5	6.2
GEIB-26	26	36	55	9.36	4.8	6
GEIB-26	26	38	60	9.9	4.6	5.7
GEIB-26	26	42	76	10.9	4.1	5.2
GEIB-30	30	40	90	12	3.8	4.7
GEIB-30	30	42	100	12.6	3.6	4.5
GEIB-30	30	46	120	13.8	3.3	4.1
GEIB-35	35	43	140	15	3	3.8
GEIB-35	35	46	160	16.1	2.8	3.5
GEIB-35	35	49	185	17.2	2.6	3.3
GEIB-35	35	51	200	17.9	2.5	3.1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

硅钢片型号	硅钢片中间舌宽 a（毫米）	叠片厚度 b（毫米）	输出定额（伏安）	铁心截面积 S'_C（厘米²）	每伏匝数（匝/伏） N_0	
					10000高斯	6000高斯
GEIB-40	40	48	230	19.2	2.3	2.9
GEIB-40	40	50	250	19.8	2.3	2.8
GEIB-40	40	53	280	21	2.1	2.7
GEIB-40	40	56	320	22.4	2.2	2.7
GEIB-40	40	64	420	25.6	1.8	2.2
GEIB-45	45	60	450	27	1.7	2.1
GEIB-45	45	63	518	28.4	1.6	2
GEIB-45	45	67	575	30	1.5	1.9
GEIB-50	50	62	600	31	1.5	1.8
GEIB-50	50	66	700	33	1.4	1.7
GEIB-50	50	70	781	35	1.3	1.6
GEIB-50	50	80	1020	40	1.1	1.4

如 $f=50$ 赫时，上式可化为

$$N_0=\frac{4.5\times10^5}{B_mS_c}\quad(\text{匝/伏})$$

算出 N_0 后，根据每组线圈的工作电压，就可用下式求出每组线圈的匝数。

初级线圈匝数

$$N_1=U_1N_0$$

次级线圈匝数

$$N_2=(1.05\sim1.1)U_2N_0$$

$$N_3=(1.05\sim1.1)U_3N_0$$

……

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中，1.05～1.1 是因为次级线圈铜阻所产生的电压降而增加的匝数的系数。

(5) 计算各线圈导线直径

导线直径可用下列公式计算

$$I=\frac{\pi}{4}d^2j=Sj \text{（安）}$$

式中 S——导线截面积(毫米^2)；

d——导线直径(毫米)；

j——电流密度(安/毫米^2)。

则

$$d=\sqrt{\frac{4I}{\pi j}}=1.13\sqrt{\frac{I}{j}}\text{(毫米)}$$

如果安全系数需要大些时，j 可取 2.5(安/毫米^2)；需要经济一些，j 可取 3(安/毫米^2)。

$j=2.5$ 安/毫米^2 时

$$d=0.715\sqrt{I} \text{（毫米）}$$

$j=3$ 安/毫米^{2}时

$$d=0.652\sqrt{I} \text{（毫米）}$$

根据计算的直径 d 查表 7-11 可选出标称直径接近的标准漆包线。

初级线圈导线的直径为

$$d_1=1.13\sqrt{\frac{I_1}{j}}$$

次级线圈导线的直径为

$$d_2=1.13\sqrt{\frac{I_2}{j}}$$

$$d_3=1.13\sqrt{\frac{I_3}{j}}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

……

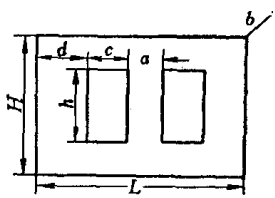
(6) 校核铁心窗口面积

变压器线圈绕在框架上，每层线圈之间一般均有绝缘层。线圈厚度、绝缘层厚和框架厚度的总和应小于选用的铁心窗口宽度，否则，应重新计算或重选铁心才行。

铁心选定后，窗口高度 h 可查表 4-4。其框架长度亦等于 h。线圈在框架两端共约有 10%不绕线。因此，框架的有效长度为

$$h'=0.9(h-2)\text{（毫米）}$$

表 4-4 变压器用硅钢片尺寸



硅钢片型号	铁心尺寸(毫米) L	H	h	c	a	d	窗口面积(厘米²)	硅钢片型号	铁心尺寸(毫米) L	H	h	c	a	d	窗口面积(厘米²)
GE-10 GI-10	36	31	18	6.5	10	6.5	1.17	GE-22 GI-22	78	67	39	14	22	14	5.46
GE-12 GI-12	44	38	12	8	12	8	1.76	GE-26 GI-26	94	81	47	17	26	17	7.99
GE-14 GI-14	50	43	25	9	14	9	2.25	GE-30 GI-30	106	91	53	19	30	19	10.07
GE-16 GI-16	56	48	28	10	16	10	2.8	GE-35 GI-35	123	105.5	61.5	22	35	22	13.53
GE-19 GI-19	67	57.5	33.5	12	19	12	4.02	GE-40 GI-40	144	124	72	26	40	26	18.72

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

计算各线圈每层可绕匝数 N_n

$$N_n=\frac{0.9\times(h-2)}{K_p d'_n}\ (匝)$$

式中 K_p ——排绕系数。按线径粗细，一般选在1.05～1.15之间；

d'_n ——导线连同绝缘层的有效直径。

每组线圈需绕的层数，可用下式求出：

$$D=\frac{N}{N_n}\ (层)$$

式中 N ——各线圈匝数；

N_n——各线圈所绕层数。

那么，初级线圈的总厚度应为

$$H_1=D(a+d'_1)+r_1$$

式中 a ——层间绝缘厚度。导线直径在0.2毫米以下的，采用一层厚度为0.02～0.04毫米的白玻璃纸；在0.2毫米以上的，采用0.05～0.08毫米厚的电缆纸或电话纸；再粗的导线，可采用0.12毫米厚的电缆纸；

r_1——线圈间绝缘厚度。是初、次级线圈之间的绝缘层。当电压在500伏以下时，可用2～3层电缆纸。若再加上二层聚酯薄膜，防潮效果更好一些。

同样计算出次级线圈的厚度 H_2、H_3、……

$$H_2=D_2d'_2+(D_2-1)a_2+r_2$$

$$H_3=D_3d'_3+(D_3-1)a_3+r_3$$

……

所有线圈的总厚度为

$$H=(H_0+H_1+H_2+\cdots)(1.1\sim1.2)\ (毫米)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 H_0——线圈框架的厚度(毫米)；

1.1～1.2——叠绕系数。

如$H<C$(窗宽)时，即可进行线圈的绕制。否则要再选铁心，重新计算。c(值)由表 4-4 中查得。

【例】 试计算一台低压照明用变压器，其输入电压$U_1=220$伏，输出电压$U_2=36$伏，功率为 250 伏安。求其各项数据。

【解】 已知$U_1=220$伏，$U_2=36$伏，$P_2=250$伏安。按上述方法进行计算

(1) 计算变压器额定功率P

查表 4-2，250 伏安的变压器其效率$\eta=0.95$

输入功率P_1为

$$P_1=\frac{P_2}{\eta}=\frac{250}{0.95}=263\ (\text{伏安})$$

次级电流 $I_2=\frac{P_2}{U_2}=\frac{250}{36}=6.94(\text{安})$

额定功率P为

$$P=\frac{P_2+P_1}{2}=\frac{250+263}{2}=256.5\ (\text{伏安})$$

(2) 计算初级电流I_1，取$K=1.1$，则

$$I_1=1.1\frac{P_1}{U_1}=1.1\frac{263}{220}=1.31\ (\text{安})$$

(3) 计算铁心净截面积S_c及实际面积S_c'

选用热轧硅钢片，K_c取 0.89，K_0取 1.25，

$$S_c=1.25\sqrt{P}=1.25\sqrt{256.5}=20\ (\text{厘米}^2)$$

$$S_c'=S_c/K_c=20/0.89=22.47\ (\text{厘米}^2)$$

由表 4-3 查出铁心舌宽，$a=40$毫米，铁心叠厚b为

$$b=\frac{S_c'\times 100}{a}=\frac{22.47\times 100}{40}=56(\text{毫米})$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\frac{b}{a}=\frac{56}{40}=1.4$$

此值在1～2之间，可用。

(4) 计算各线圈匝数

$f=50$ 赫，取 $B_m=11000$ 高斯，故每伏匝数

$$N_0=\frac{4.5\times10^5}{1.1\times10^4\times20}=2.045\approx2.05\ (匝)$$

初级匝数 $N_1=N_0\times U_1=2.05\times220=451$(匝)

次级匝数 $N_2=1.05\times N_0\times U_2=1.05\times2.05\times36$

$=77.5\approx78$(匝)

(5) 计算导线的直径

取电流密度 $j=2.5$ 安/毫米^2

$d_1=0.715\sqrt{I_1}=0.715\sqrt{1.31}=0.82$(毫米)

$d_2=0.715\sqrt{I_2}=0.715\sqrt{6.94}=1.88$(毫米)

查表7-11得其最大外径为

$d_1'=0.89$(毫米)　　$d_2'=1.97$(毫米)

(6) 校核铁心窗口面积

铁心窗口的有效高度 h 由表4-4查得，为72毫米，因此，

$h'=0.9(72-2)=63$(毫米)

初级线圈每层匝数，取 $K_p=1.05$

$$N_{1n}=\frac{0.9\times(72-2)}{1.05\times0.89}=67.4匝$$

取68匝。

初级线圈需绕层数：

$$D_1=\frac{451}{68}=6.6\approx7(层)$$

次级线圈每层匝数：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$N_{2n}=\frac{63}{1.05\times1.97}=30(匝)$$

次级线圈需绕层数：

$$D_2=\frac{78}{30}=2.6(层)\approx3(层)$$

骨架用1毫米厚纸板制作，外包两层0.05毫米厚的电话纸及两层0.05毫米厚的聚酯薄膜，即H_0为1.2毫米。线圈间绝缘取0.12毫米的电缆纸和0.05毫米厚的聚酯薄膜各二层。

初级线圈总厚度为

$$H_1=7\times(0.12+0.89)+0.34=7.41(毫米)$$

次级线圈总厚度为

$$H_2=3\times1.97+(3-1)\times0.12\times2+0.34=6.73(毫米)$$

线圈总厚度为

$$H=(1.2+7.41+6.73)\times1.15=17.6(毫米)$$

因此，H小于所选铁心窗口宽度，故计算结果可用。

4-2.2 单相C型电源变压器的计算

C型变压器与E型变压器不同，它的铁心是采用晶粒取向冷轧硅钢带卷绕而成的一种新型变压器。用于电子、仪表、广播以及其它电气设备中。C型变压器还具有材料利用率高、电磁性能良好、工装简单、体积小、重量轻和效率高等优点。C型变压器的结构有心式(XCD型)和壳式(XED型)两种。结构形式见图4-4。

C型铁心变压器计算方法如下：

1. 根据各组负载所需电压和电流计算总功率。

一般电源变压器的负载有纯阻性、半波整流、全波整流和桥式整流等四种形式，见图4-8。一只变压器不一定同时具有上述四种类型的负载，但接某一类型的负载的线圈可能有好几

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

个。

由图 4-8 得出变压器总输出功率为

$$P=P_1+P_2+P_3+P_4$$

式中 P_1——纯阻性负载各线圈的功率；

P_2——单相半波整流负载各线圈的功率；

P_3——单相全波整流负载各线圈的功率；

P_4——单相桥式整流负载各线圈的功率。

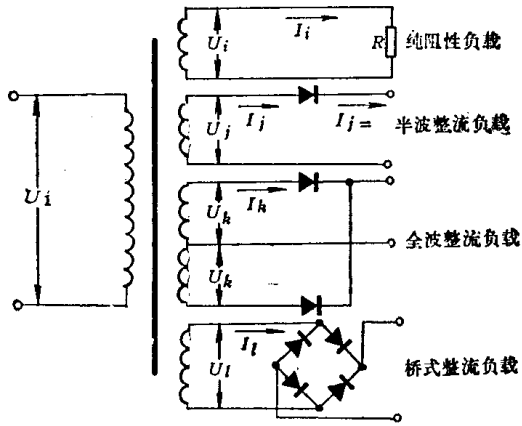


图 4-8 单相C型变压器原理图

上述四类功率可写为

$$P_1=\Sigma U_i I_i$$

$$P_2=\Sigma \frac{1}{2}(U_j I_j+U_j\sqrt{I_j^2-I_{j=}^2})$$

$$P_3=\Sigma 1.71 U_k I_k$$

$$P_4=\Sigma U_l I_l$$

其中：P_2 和 P_3 的初、次级伏安值不等，均取其平均值。

2. 根据计算的 P 值，查表 4-11 或表 4-12，选择铁心，并查出对应的铁心截面积 S_c、效率 η、空载磁通密度 B_1。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 计算初级功率 P_0

$$P_0=\frac{P}{\eta}(\text{伏安})$$

4. 计算初、次级匝数

初、次级线圈匝数计算公式，见表 4-5。

表 4-5 计算初、次级匝数参考表

采用表 4-11 和 4-12 中的 B_1、$\Delta u\%$ 时	自行选择 B_1、$\Delta u\%$ 时
$N_1=U_1N_0'$ $N_2=U_2N_0$ …… $N_n=U_nN_0$ N_0'、N_0 查表 4-11 和表 4-12 可得。当 $U_1=220$ 伏时，N_1 可直接查表 4-11 和表 4-12	$N_0'=\frac{10^8}{4.44B_1S_Cf}$ $N_0=(1+\Delta u\%)\times N_0'$ $N_1=U_1N_0'$ $N_2=U_2N_0$ …… $N_n=U_nN_0$

5. 计算空载电流和初级电流

(1) 空载电流计算，见表 4-6

表 4-6 计算空载电流和初级电流参考表

采用表 4-11 和表 4-12 中 B_1 值时	自行选择 B_1 值时
铁耗电流 $I_c=P_c/U_1$(安) 磁化电流 $I\varphi=VA\varphi/U_1$(安) 空载电流 $I_0=\sqrt{I^2_c+I^2\varphi}$(安) $VA\varphi$(磁化伏安)，P_c 查表 4-11 和表 4-12，当 $U_1=220$ 伏时，$I\varphi$、I_c I_0 可直接查表 4-11 和表 4-12	根据工作频率及 B_1 查铁耗曲线图得 H_1、P_{c0}，计算 铁耗 $P_c=P_{c0}G_c$(瓦) 铁耗电流 $I_c=P_c/U_1$(安) 磁化电流 $I\varphi=H_1I_c/N_1$(安) 空载电流 $I_0=\sqrt{I^2_c+I^2\varphi}$(安)

(2) 初级电流

按变压器次级各线圈所接负载特性计算由变压器次级反射到初级的电流 I_2'

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$I'_2 = I'_{2i} + I'_{2j} + I'_{2k} + I'_{2l}$$

式中 $I'_{2i} = \Sigma \frac{N_i}{N_1} I_i$

$$I'_{2j} = \Sigma \frac{N_j}{N_1} \sqrt{I_j^2 - I_{j=}^2}$$

$$I'_{2k} = \Sigma \frac{N_k}{N_1} \sqrt{2}\, I_k$$

$$I'_{2l} = \Sigma \frac{N_l}{N_1} I_l$$

初级电流为

$$I_1 = \sqrt{(I'_2 - I_c)^2 + I'^2_g} \text{ (安)}$$

6. 计算初、次级线圈导线截面积，选择线径

初级线圈导线截面积为

$$S_1 = \frac{I_1}{j}$$

次级线圈导线截面积为

$$S_2 = \frac{I_2}{j} \text{ (毫米}^2\text{)}$$

$$S_3 = \frac{I_3}{j} \text{ (毫米}^2\text{)}$$

……

$$S_n = \frac{I_n}{j} \text{ (毫米}^2\text{)}$$

电流密度 j_1 可由表 4-11 或表 4-12 中查得，其单位为(安/毫米^2)。算出截面 S_1、$S_2 \cdots S_n$，查表 7-11，找出截面积相近的导线直径 d 及带绝缘层的导线直径 d_m。

7. 计算变压器各线圈对铁心的试验电压

各线圈对铁心的试验电压由表 4-7 中选取。

8. 线圈结构计算及参数计算

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-7　线圈对铁心试验电压表

线圈工作电压	试验电压 U_s（50赫）
$U_p<24$（伏）	$U_s=250$（伏）
24（伏）$<U_p\leqslant100$（伏）	$U_s=500$（伏）
100（伏）$<U_p\leqslant500$（伏）	$U_s=2000$（伏）
$U_p>500$（伏）	$U_s=2U_p+1000$（伏）

(1) 确定端空距离 d

$$d=\delta_1+Z$$

式中　δ_1——端封或灌注层每端厚度；

Z——线圈线边至纸边的距离。

(2) 计算各线圈每层匝数和每线圈层数绕线宽度

$$L_0=h-2d$$

式中　h——底筒高度，可由表 4-11 或表 4-12 查得；

d——端空距离。

每层匝数为

$$N_n=\frac{L_0}{d_mK'}-1$$

式中　K'——排绕系数，见表 4-8。

线圈需绕层数

$$D=\frac{N}{N_n}$$

表 4-8　排绕、叠绕系数表

导线直径（毫米）	排绕系数 K'	叠绕系数 K''	导线直径（毫米）	排绕系数 K'	叠绕系数 K''
0.07～0.1	1.15	1.2	0.16～0.59	1.05	1.15
0.11～0.15	1.1	1.15	0.62以上	1.05	1.15

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 确定内层、层间、线圈间及外包绝缘

① 线圈层间绝缘：根据层间交流电压及导线直径按表4-9选取。层间交流电压超过200～300伏时，将线圈分段，以降低层间电压。

表4-9 层间交流电压与导线直径参数表

材料	电容器纸	电话纸	电缆纸		
	1×0.03	1×0.05	1×0.08	2×0.08	1×0.12
层间电压(伏)(均方根值)	60	100	150	300	200
最大线径(毫米)	0.27	0.41	0.69	0.8	1.2

② 线圈内层绝缘：玻璃丝布底筒能使用于工作电压500伏。从耐压角度出发，工作电压小于500伏时，可以不包内层绝缘。线圈工作电压若大于500伏时，可将工作电压减去500伏，所得的结果与表4-10相比较，然后决定底筒上需包绝缘层数。

表4-10 线圈工作电压与绝缘层数

工作电压(伏)	聚酯薄膜(0.05毫米)+电缆纸(0.12毫米)
≤300	2层+2层
450	2层+2层
700	2层+3层
1100	2层+5层

③ 线圈间绝缘：线圈间绝缘可根据线圈工作电压，相邻线圈间最大电位差及受潮后，线圈间热态最小绝缘电阻的要求来选择。对热态最小绝缘电阻要求不高的变压器可用纸和聚酯薄膜组合做线圈间绝缘，见表4-10。对热态最小绝缘电阻要求较高的变压器，由图4-9选取，以纸类为主。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④ 线圈外包绝缘：线圈灌注、裹覆时，外包 1～2 层电话纸或电缆纸作机械性保护。耐压、防潮由灌注、裹覆层承担。

线圈端封时，外包绝缘可以防潮，并起抗电作用。最外层为 1～2 层聚酯薄膜，线圈间无间隙时，外包绝缘总层数按线圈工作电压查图 4-9。XCD 型铁心双线圈结构的变压器，其线圈间无间隙时，外包绝缘按相邻线圈间最大电位差查图 4-9，据此决定总层数。每只线圈可以只包总层数的一半。

(4) 线圈厚度计算

① 线圈厚度 H

$$H=d_m N_n K''+Z_1+Z_2(\text{毫米})$$

式中 Z_1——线圈层间绝缘总厚；

Z_2——线圈外包绝缘厚度；

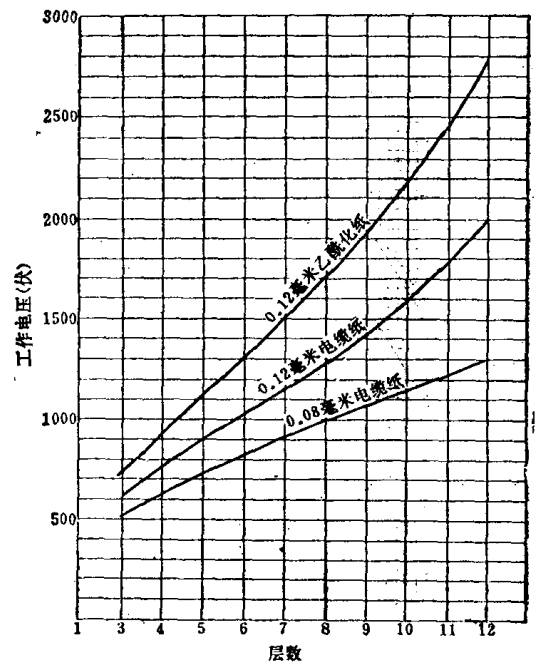


图 4-9 工作电压与线圈层数关系曲线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

K''——叠绕系数，见表 4-8。

② 线圈总厚度 H_m

$$H_m=\delta'+Z_3+Z_m+\delta''$$

式中 δ'——底筒厚度；

Z_3——内层绝缘厚度；

Z_m——各线圈厚度；

δ''——灌注或裹覆层外表面壁厚度。

线圈总厚度 H_m 对于 XED 型铁心应小于窗口宽度 C；对于 XCD 型铁心应小于窗口宽度的一半，即 $1/2C$。

(5) 各线圈平均匝长 L_{mn} $n=1$，2，3…(以下同)

各线圈平均匝长 L_{mn} 可按图 4-10 所示方法和曲线求得。

$$P_m=I_1^2r_1+I_2^2r_2+\cdots\cdots I_n^2r_n(瓦)$$

(6) 各线圈导线长度的计算

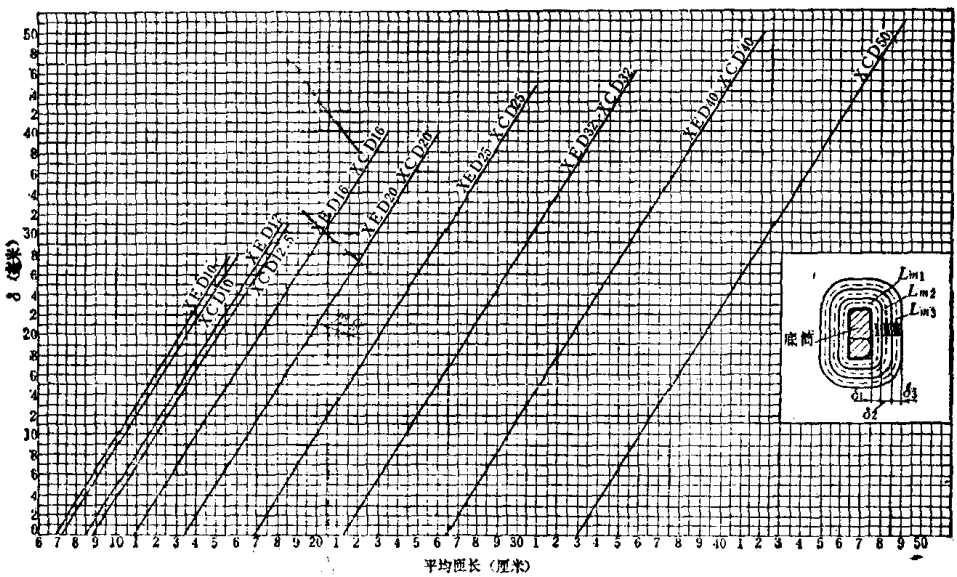


图 4-10 平均匝长与线圈层厚的关系曲线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$L_n = L_{mn} N_n \times 10^{-2} (米)$$

(7) 各线圈铜阻和铜耗计算

① 20℃时的铜阻

$$r_n = L_n \times 10^{-3} \times 导线每千米电阻(欧)$$

导线每千米电阻查表 7-11。

② 热态铜阻

$$r_n = K_T r_{n20^\circ C} (欧)$$

式中 K_T——线圈热态铜阻比冷态(20℃)铜阻增大的倍数。

对于变压器线圈工作温度，可按比较接近实际的线圈平均工作温度，查图 4-11 确定 K_T 值。

③ 热态铜耗

$$P_m = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 + \cdots I_n^2 r_n (瓦)$$

式中 I_1、$I_2 \cdots I_n$——各线圈电流；

r_1、$r_2 \cdots r_n$——各线圈的铜阻。

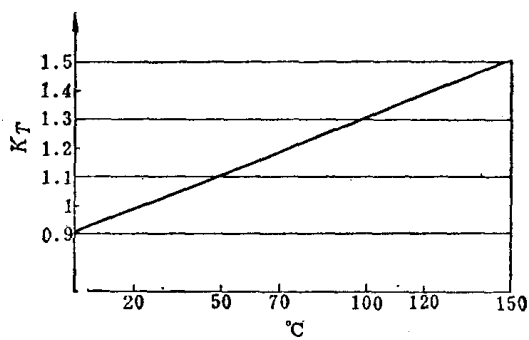


图 4-11 K_T 值与温度的关系曲线

9. 电压比核算

(1) 次级开路电压

$$U_{20} = \frac{N_2}{N_1} U_1 (伏)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$U_{30}=\frac{N_3}{N_1}U_1$$

……

$$U_{n0}=\frac{N_n}{N_1}U_1$$

(2) 初级感应电压

$$e_1=U_1-I_1r_1(\text{伏})$$

(3) 次级感应电压

$$e_2=\frac{N_2}{N_1}e_1 \quad (\text{伏})$$

$$e_3=\frac{N_3}{N_1}e_1$$

……

$$e_n=\frac{N_n}{N_1}e_1$$

(4) 次级负载电压

$$U_2=e_2-I_2r_2 \quad (\text{伏})$$

$$U_3=e_3-I_3r_3$$

……

$$U_n=e_n-I_nr_n$$

(5) 电压调整率$\Delta u\%$核算

$$\Delta u\%=\frac{U_{n0}-U_n}{U_{n0}}。n=2、3、4\cdots\cdots$$

(6) 计算空载损耗

$$P_0=I_0^2r_{1(20^\circ C)}+P_c \quad (\text{瓦})$$

式中 I_0——空载电流；

P_c——铁心损耗。

XCD 型和 XED 型铁心变压器技术数据，见表 4-11 和表 4-12。铁心尺寸见表 4-13 和表 4-14。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-11 XCD 型铁心 50 赫

铁心型号	技术指标						空	
	VA_1	P_2	η	B_1	j	Δu	VA_0	P_C
	(伏安)	(瓦)	P_2/P_1	(千高斯)	(安/毫米²)	%	(伏安)	(瓦)
XCD10×20×20	2.88	1.79	0.767	16.0	1.74	10	2.16	0.343
25	3.75	2.58	0.794				2.39	0.380
32	5.14	3.82	0.817				2.71	0.430
40	6.56	5.05	0.828				3.08	0.488
XCD12.5×25×25	12.7	9.97	0.840	17.0	2.40	10	5.75	0.784
32	17.6	14.3	0.853				6.43	0.877
40	22.6	18.8	0.859				7.21	0.983
50	29.8	25.1	0.865				8.18	1.11
XCD16×32×32	29.8	24.1	0.850	17.0	3.28	10	11.4	1.56
40	41.4	34.5	0.861				12.7	1.73
50	55.6	47.3	0.865				14.3	1.95
64	74.5	64.1	0.873				16.5	2.25
XCD20×40×40	122	105	0.876	17.5	4.27	10	27.8	3.23
50	155	134	0.879				30.9	3.59
64	201	176	0.885	18.0	3.97	9.49	43.8	4.33
80	248	220	0.894		3.65	8.71	49.9	4.94
XCD25×50×50	295	263	0.906	18.0	3.81	7.30	67.7	6.70
64	358	322	0.913		3.51	6.73	76.1	7.53
80	438	398	0.920		3.21	6.16	85.7	8.48
100	529	484	0.925		3.02	5.79	97.7	9.66
XCD32×64×64	687	634	0.938	18.0	2.82	4.21	142	14.1
80	799	741	0.941		2.68	4.01	158	15.6
100	983	918	0.946		2.44	3.65	178	17.6
125	1200	1128	0.950		2.27	3.39	202	20.0
XCD40×80×80	1518	1437	0.955	17.5	2.28	2.78	223	26.0
100	1856	1767	0.960		2.06	2.52	248	28.8
125	2252	2154	0.963		1.91	2.33	279	32.4
160	2812	2700	0.965		1.76	2.15	322	37.5
XCD50×100×100	3320	3191	0.968	17.5	1.68	1.64	437	50.8
125	3979	3837	0.971		1.55	1.52	485	56.4
160	4884	4724	0.973		1.43	1.40	553	64.3
200	5861	5681	0.975		1.34	1.31	630	73.3

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电源变压器技术数据

载特性			线圈计算数据					
初级电压U_1=220伏			初级匝数	每伏匝数		底筒高度	窗宽	S_C
I_φ	I_C	I_0						
(安)	(安)	(安)	220伏	初级	次级	(毫米)	(毫米)	(厘米^2)
0.009	0.0015	0.010	3480	15.8	17.6	19	12.5	1.78
0.010	0.0017	0.011				24		
0.012	0.0019	0.012				31		
0.014	0.0022	0.014				39		
0.026	0.0036	0.026	2028	9.22	10.2	23.5	16	2.88
0.029	0.0040	0.029				30.5		
0.032	0.0045	0.033				38.5		
0.037	0.0050	0.037				48.5		
0.051	0.0070	0.052	1238	5.63	6.25	30.5	16	4.71
0.057	0.0078	0.058				38.5		
0.064	0.0088	0.065				48.5		
0.075	0.010	0.075				62.5		
0.126	0.014	0.127	769	3.50	3.89	38.5	20	7.36
0.140	0.016	0.141				48.5		
0.199	0.019	0.200	748	3.40	3.76	62.5		
0.227	0.022	0.228			3.72	78.5		
0.308	0.030	0.309	479	2.18	2.35	48	25	11.5
0.346	0.034	0.348			2.33	62		
0.390	0.038	0.391			2.32	78		
0.444	0.043	0.446			2.31	98		
0.647	0.064	0.650	292	1.33	1.39	62	32	18.8
0.719	0.071	0.722			1.38	78		
0.808	0.079	0.812			1.38	98		
0.920	0.090	0.924			1.37	123		
1.02	0.118	1.02	192	0.87	0.90	78	40	29.4
1.13	0.131	1.14			0.90	98		
1.27	0.147	1.28			0.90	123		
1.46	0.170	1.47			0.90	158		
1.99	0.231	2.00	123	0.56	0.57	98	50	46.0
2.21	0.257	2.22			0.57	123		
2.51	0.292	2.53			0.57	158		
2.86	0.333	2.88			0.57	198		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-12 XED型铁心电

铁心型号	技术指标						空	
	VA_1	P_2	η	B_1	j	Δu	VA_0	P_0
	(伏安)	(瓦)	P_2/P_1	(千高斯)	(安/毫米²)	%	(伏安)	(瓦)
XED10×20×16	1.45	0.631	0.681	16.0	1.66	10	1.42	0.225
20	1.84	0.989	0.731				1.60	0.254
25	2.38	1.45	0.763				1.83	0.290
32	3.21	2.16	0.788				2.15	0.341
XED12×25×20	5.88	3.92	0.804	17.5	2.30	10	4.46	0.519
25	7.91	5.75	0.824				5.04	0.586
32	10.6	8.14	0.837				5.85	0.680
40	14.5	11.5	0.848				6.77	0.788
XED16×32×25	25.7	20.9	0.856	18.0	3.13	10	12.1	1.19
32	35.3	29.4	0.864				13 8	1.36
40	45.5	38.4	0.868				15.8	1.56
50	57.7	49.1	0.871				18.2	1.80
XED20×40×32	74.2	63.1	0.870	18.0	3.90	10	23.9	2.37
40	96.6	83.0	0.875		3.90	10	27.0	2.67
50	136	118	0.879		3.90	10	30.9	3.05
64	167	146	0.884		3.60	9.68	36.2	3.58
XED25×50×40	195	172	0.897	18.0	3.72	8.03	47.0	4.64
50	236	211	0.907		3.35	7.22	53.0	5.24
64	293	264	0.915		3.01	6.50	61.4	6.07
80	346	314	0.919		2.86	6.16	70.9	7.02
XED32×64×50	443	405	0.930	18.0	2.94	4.89	97.1	9.60
64	547	505	0.937		2.61	4.34	111	11.0
80	652	605	0.941		2.41	4.01	127	12.5
100	787	714	0.944		2.29	3.81	146	14.5
XED40×80×64	927	870	0.949	17.5	2.32	3.20	155	18.1
80	1117	1054	0.953		2.10	2.89	175	20.4
100	1435	1366	0.959		1.79	2.47	200	23.3
125	1743	1664	0.962		1.64	2.26	231	26.8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

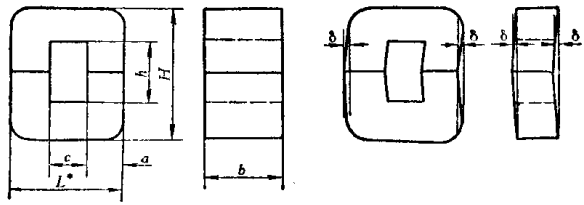
源变压器技术数据

载特性			线圈计算数据					
初级电压 U_1 = 220 伏			初级匝数	每伏匝数		底筒高度	窗宽	S_C
I_φ	I_C	I_0						
(安)	(安)	(安)	220伏	初级	次级	(毫米)	(毫米)	(厘米²)
0.006	0.001	0.006	3480	15.8	17.6	15	8	1.78
0.007	0.001	0.007				19		
0.008	0.001	0.008				24		
0.009	0.001	0.009				31		
0.020	0.002	0.020	2052	9.33	10.4	19	10	2.76
0.022	0.002	0.023				24		
0.026	0.003	0.026				31		
0.030	0.003	0.031				39		
0.054	0.005	0.055	1169	5.31	5.90	23.5	12.5	4.71
0.062	0.006	0.063				30.5		
0.071	0.007	0.072				38.5		
0.082	0.008	0.083				48.5		
0.109	0.010	0.109	748	3.40	3.78	30.5	16	7.36
0.123	0.012	0.123			3.78	38.5		
0.140	0.013	0.141			3.78	48.5		
0.165	0.016	0.165			3.76	62.5		
0.213	0.021	0.215	479	2.18	2.37	38.5	20	11.5
0.241	0.023	0.242			2.35	48.5		
0.279	0.027	0.280			2.33	62.5		
0.322	0.031	0.324			2.32	78.5		
0.441	0.043	0.443	292	1.33	1.40	48.5	25	18.8
0.504	0.049	0.506			1.39	62.5		
0.575	0.056	0.578			1.38	78.5		
0.664	0.065	0.668			1.38	98.5		
0.707	0.082	0.711	192	0.874	0.903	62.5	32	29.4
0.796	0.092	0.802			0.900	78.5		
0.908	0.106	0.915			0.896	98.5		
1.05	0.122	1.06			0.895	123.5		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-13 XCD型铁心尺寸



注：标有*号为参考尺寸。

铁心型号	尺寸 (毫米)						
	a	b	c	h 不小于	δ 不大于	H	L
XCD10×20×20	10	20	12.5	20	0.28	40	32.5
25				25		45	
32				32	0.34	52	
40				40		60	
XCD12.5×25×25	125	25	16	25	0.28	50	41
32				32		57	
40				40	0.34	65	
50				50		75	
XCD16×32×32	16	32	16	32	0.34	64	48
40				40		72	
50				50		82	
64				64	0.40	96	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

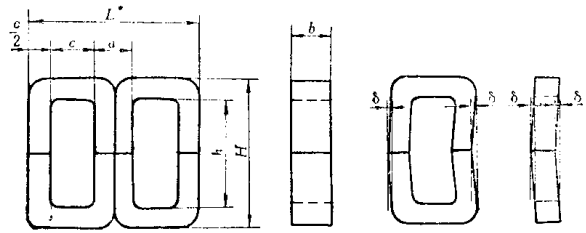
续表

铁心型号	尺寸（毫米）						
	a	b	c	h 不小于	δ 不大于	H	L
XCD20×40×40	20	40	20	40	0.34	80	60
50				50		90	
64				64	0.40	104	
80				80		120	
XCD25×50×50	25	50	25	50	0.34	100	75
64				64	0.40	114	
80				80		130	
100				100	0.46	150	
XCD32×64×64	32	64	32	64	0.40	128	96
80				80		144	
100				100	0.46	164	
125				125	0.53	189	
XCD40×80×80	40	80	40	80	0.40	160	120
100				100	0.46	180	
125				125		205	
160				160	0.53	240	
XCD50×100×100	50	100	50	100	0.46	200	150
125				125	0.53	225	
160				160		260	
200				200	0.60	300	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-14 XED 型铁心尺寸



注：标有 * 号为参考尺寸。

铁心型号	尺寸（毫米）							
	a	$\frac{a}{2}$	b	c	h 不小于	δ 不大于	H	L
XED10×20×16	10	5	20	8	16	0.28	26	36
20					20		30	
25					25		35	
32					32	0.34	42	
XED12×25×20	12	6	25	10	20	0.28	32	44
25					25		37	
32					32	0.34	44	
40					40		52	
XED16×32×25	16	8	32	12.5	25	0.28	41	57
32					32	0.34	48	
40					40		56	
50					50		66	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

铁心型号	尺寸（毫米）							
	a	$\frac{a}{2}$	b	c	h 不小于	δ 不大于	H	L
XED20×40×32	20	10	40	16	32	0.34	52	72
40					40		60	
50					50		70	
64					64	0.40	84	
XED25×50×40	25	12.5	50	20	40	0.34	65	90
56					50		75	
64					64	0.40	89	
80					80		105	
XED32×64×50	32	16	64	25	50	0.34	82	114
64					64		96	
80					80	0.40	112	
100					100	0.46	132	
XED40×80×64	40	20	80	32	64	0.40	104	144
80					80		120	
100					100	0.46	140	
125					125	0.53	165	

【例】 试计算一台灯丝变压器，其技术数据是：$U_1=220$伏±10%，$U_2=6.5$伏，$I_2=1.6$安，$f=50$赫。对最小热态绝缘电阻没有要求。电压调整率$\Delta u\% \leq 10\%$，环境温度55℃。

【解】

1. 计算变压器功率

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$P_2=I_2U_2=1.6\times6.5=10.4(瓦)$$

2. 根据计算的 P_2 值选择铁心尺寸。

由表 4-12 中对应的铁心截面选用 XED12×25×40 铁心，$P_2=11.5$ 瓦。估计温升不高，采用 E 级绝缘。由表 4-12 中查出，$\eta=0.848$，$B_1=17500$ 高斯。

3. 计算初级功率

$$P_1=\frac{P_2}{\eta}=\frac{11.5}{0.848}=13.56(瓦)$$

4. 计算初、次级匝数

因 $U_1=220$ 伏，其匝数可由表 4-12 中直接查得：

$$N_0=10.4(匝)$$

$$N_1=2052(匝)$$

$$N_2=6.5\times10.4\approx68$$

5. 计算空载电流和初级电流

(1) 空载电流 I_0 因 $U_1=220$ 伏，故由表 4-12 中查出

$$I_c=3.0\quad(毫安)$$

$$I_\varphi=30.0\quad(毫安)$$

$$I_0=31.0\quad(毫安)$$

(2) 初级电流 I_1

$$I_2'=\frac{N_2}{N_1}I_2=\frac{68}{2052}\times1.6\times10^3=53(毫安)$$

$$I_1=I_2'+I_c=53+3.0=56.0(毫安)$$

$$I_1=\sqrt{I_1^2+I_\varphi^2}=\sqrt{(56)^2+(30)^2}=63.5(毫安)$$

6. 计算初、次级线圈导线截面积，选择线径

初级导线截面积，因温升较低，由表 4-12 中查得 $j=2.30$ (安/毫米^2)

$$S_1=\frac{I_1}{j}=\frac{63.5}{2.30}\times10^{-3}=0.028(毫米^2)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$S_2=\frac{1.6}{2.3}=0.695\text{（毫米}^2\text{）}$$

见第七章表 7-11中对应 S_1 和 S_2 查出导线直径和带绝缘层的直径：

$d_1=0.19$（毫米）　　$d_{1m}=0.22$（毫米）

$d_2=0.96$（毫米）　　$d_{2m}=1.02$（毫米）

7. 计算变压器各线圈对铁心的试验电压

线圈对铁心的试验电压，由表 4-7 选得

初级　$U_{s1}=2000$ 伏

次级　$U_{s2}=250$ 伏

8. 线圈结构及参数计算

(1) 确定端空距离

初级　$d_1=2.5$（毫米）

次级　$d_2=4$（毫米）

初级留边距离＝ 2（毫米），次级留边距离＝ 3.5（毫米），每端留裹覆层厚度为 0.5 毫米。

(2) 计算各线圈每层匝数和线圈层数

由表 4-12 查得筒底高度 $h=39$。由表 4-8 查得 $K'=1.05$

$$\text{初级每层匝数}=\frac{39-2\times2.5}{0.22\times1.05}-1=146\text{（匝）}$$

$$\text{次级每层匝数}=\frac{39-2\times4}{1.02\times1.05}-1=27.9\approx28\text{（匝）}$$

$$\text{初级层数}=\frac{2052}{146}=14\text{（层）}$$

$$\text{次级层数}=\frac{68}{27}=2.5\text{（层）}\approx3\text{（层）}$$

(3) 确定线圈层间、线圈内层、线圈间及外包等的绝缘。

① 线圈层间绝缘：次级选用 1×0.12 电缆纸；初级选用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1×0.03 电容器纸。

② 内层绝缘：选用 2×0.05 电话纸。

③ 线圈间绝缘：选用 3×0.12 电缆纸。

④ 外包绝缘：选用 2×0.12 电缆纸。

(4) 线圈厚度计算。由表 4-8 查 $K''=1.15$

初级线圈厚度＝0.22×14×1.15＋0.03×13＋3×0.12

＝4.29(毫米)

次级线圈厚度＝1.02×3×1.15＋2×0.12＋2×0.12

＝3.99(毫米)

线圈总厚度＝1＋2×0.05＋4.29＋3.99＝9.38(毫米)

D_m＝9.38(毫米)，小于窗口宽度(10 毫米)。

(5) 各线圈平均匝长计算。由图 4-10 查得

L_{m1}＝9.8(厘米)

L_{m2}＝12.4(厘米)

(6) 各线圈导线长度

$L_1=9.8\times2052\times10^{-2}=201$(米)

$L_2=12.4\times68\times10^{-2}=8.43$(米)

(7) 各线圈铜阻和铜耗(20℃)

$r_1=201\times10^{-3}\times618=124.2$(欧)

$r_2=8.43\times10^{-3}\times24.2=0.204$(欧)

估计变压器线圈平均温度Δt_m约 15.6℃，故线圈平均工作温度约 20.6℃，查图 4-11 得 $K_T=1.20$。

$r_1=1.20\times124.2=149$(欧)

$r_2=1.20\times0.204=0.244$(欧)

热态铜耗 $P_m=63.5^2\times149\times10^{-6}+1.6^2\times0.24$

＝1.21 瓦

9. 电压比核算

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$U_{2_1}=\frac{68}{2052}\times 220=7.29(伏)$$

$$e_1=220-56.0\times 10^{-3}\times 149=211.6\ 伏$$

$$e_2=\frac{68}{2052}\times 211.6=7.01(伏)$$

$$U_2=7.01-1.6\times 0.24=6.62(伏)$$

$$\Delta u\%=\frac{7.29-6.62}{7.29}=9.2\%$$

$\Delta u\%$小于预定值 10%，可用。

4-2.3 三相E型变压器计算

计算三相E型变压器时其功率为单相功率的3倍，电流采用相电流，其他均与单相C型变压器的计算类同。三相E型变压器采用SD型铁心，其技术数据见表4-15，铁心尺寸见表4-16。

下面利用表4-15来计算三相变压器的功率、线圈匝数、空载电流、初级相电流及初、次级导线截面。

【例】 试计算三相E型变压器，其技术条件和电路见图4-12。

初级 $U_1=$ 380 伏±10%

频率 f = 50 赫

次级 $U_2=$ 270 伏　　电流 $I_2=$ 1 (安)

【解】

1. 计算变压器功率，选择铁心

$$P_2=3U_2I_2=3\times 270\times 1=810(瓦)$$

采用E级绝缘，根据P_2对照表4-15选用SD32×50×80的1级品铁心，

2. 计算每相初、次级匝数

查表4-15，初级每伏匝数为1.75 (匝)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

次级每伏匝数为 1.84（匝）

初级每相匝数为

$$N_1=380\times1.75=665(匝)$$

次级每相匝数为

$$N_2=270\times1.84=496(匝)$$

3. 计算空载电流、初级相电流

查表 4-15 得 P_c（铁心总损耗）$=21.7$（瓦）

VA_φ（总磁化伏安）$=183$（伏安）

计算每相铁耗电流 I_c、磁化电流 I_φ、空载电流 I_0 和三相总空载电流 I_{0z}

$$I_c=P_c/3\times380=21.7/3\times380=0.019(安)$$

$$I_\varphi=VA_\varphi/3\times380=183/3\times380=0.161(安)$$

$$I_0=\sqrt{I_c^2+I_\varphi^2}=\sqrt{0.019^2+0.161^2}=0.162(安)$$

$$I_{0z}=3I_0=3\times0.162=0.486(安)$$

4. 初级相电流 I_1

I_2'（每相由次级各线圈反射到初级的电流）

$$I_2'=N_2/N_1\cdot I_2=496/665\times1=0.745(安)$$

I_1（每相初级电流有功分量）

$$I_1=I_2'+I_c=0.745+0.019=0.764(安)$$

所以 $I_1=\sqrt{I_1^2+I_\varphi^2}=\sqrt{0.764^2+0.161^2}=0.78(安)$

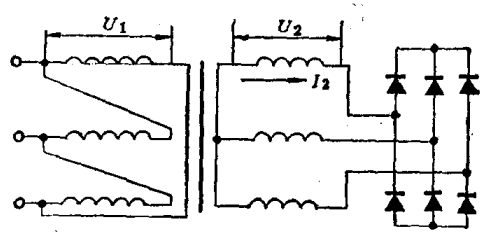


图 4-12 三相E型变压器原理图

www.789pdf.com 789书库网

表 4-15　SD 型铁心 50 赫三相电源变压器技术数据

铁心型号	技术指标								线圈计算数据		
	P_2	B_0	j	VA_1	$\cos\varphi$	η	$VA\varphi$	P_c	每伏匝数		底筒高
	(瓦)	(千高斯)	(安/毫米²)	(伏安)	P_1/VA_1	P_2/P_1	(伏安)	(瓦)	初级	次级	(毫米)
SD10×20×20	2.53	16.0	1.8	4.24	0.81	0.73	3.75	0.644	15.3	17.0	19
25	3.69		1.8	5.50	0.87	0.76	4.11	0.705			24
32	5.53		1.8	7.56	0.91	0.79	4.61	0.791			31
40	7.36		1.8	9.68	0.93	0.81	5.19	0.890			39
SD12.5×25×25	13.9	17.0	2.4	18.6	0.90	0.82	10.5	1.43	9.22	10.2	23.5
32	20.1		2.4	25.4	0.94	0.84	11.6	1.58			30.5
40	26.4		2.4	32.6	0.95	0.84	12.9	1.75			38.5
50	35.4		2.4	42.7	0.96	0.85	14.5	1.97			48.5
SD16×32×32	47.2	17.5	3.2	58.8	0.94	0.84	26.6	3.16	5.46	6.07	30.5
40	67.7		3.2	81.5	0.96	0.86	29.2	3.46			38.5
50	93.4		3.2	110	0.97	0.86	32.4	3.84			48.5
64	127		3.2	147	0.98	0.87	36.8	4.37			62.5
SD20×32×40	143	17.5	3.6	167	0.98	0.87	41.7	4.95	4.37	4.86	38.5
50	184		3.6	213	0.98	0.87	45.7	5.42			48.5
64	225		3.2	257	0.98	0.88	51.3	6.08		4.83	62.5
80	281		2.9	317	0.99	0.89	57.7	6.84		4.78	78.5

www.789pdf.com 789书库网

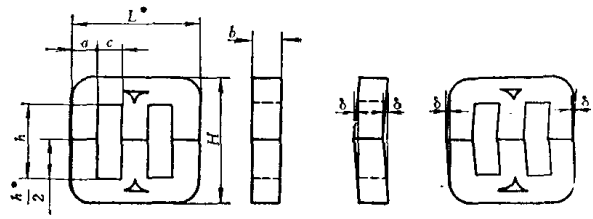
续表

铁心型号	技术指标								线圈计算数据		
	P_2	B_0	j	VA_1	$\cos\varphi$	η	$VA\varphi$	P_c	每伏匝数		底筒高
	(瓦)	(千高斯)	(安/毫米²)	(伏安)	P_1/VA_1	P_2/P_1	(伏安)	(瓦)	初级	次级	(毫米)
SD25×40×50	302	17.5	3.8	346	0.98	0.88	82.1	9.73	2.80	3.06	45
64	370		3.5	418	0.98	0.89	90.8	10.8		3.04	62
80	457		3.2	510	0.98	0.90	101	11.9		3.01	78
100	556		3.0	617	0.98	0.91	113	13.4		3.00	98
SD32×50×64	720	17.5	2.8	790	0.98	0.92	167	19.8	1.75	1.84	62
80	839		2.6	915	0.98	0.93	183	21.7		1.84	78
100	1038		2.4	1120	0.98	0.93	203	24.1		1.83	98
125	1275		2.2	1370	0.98	0.94	228	27.0		1.82	123
SD40×64×80	1660	17.0	2.1	1707	0.98	0.94	275	37.5	1.13	1.16	78
100	1963		1.9	2080	0.99	0.95	301	41.1		1.16	98
125	2396		1.8	2524	0.99	0.95	334	45.5		1.16	123
160	3006		1.6	3151	0.99	0.96	380	51.8		1.15	158
SD50×80×100	3550	17.0	1.6	3726	0.99	0.96	543	73.9	0.72	0.73	98
125	4283		1.4	4473	0.99	0.96	594	80.9		0.73	123
160	5296		1.3	5507	0.99	0.96	665	90.6		0.73	158
200	6366		1.2	6601	0.99	0.97	747	102		0.73	198

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

www.789pdf.com 789书库网

表 4-16　SD 型三相 E 型铁心尺寸表(50 赫)



铁心型号	尺寸(毫米) a	b	c	h 不小于	δ 不大于	K 不大于	R 不大于	H	L
SD10×20×20	10	20	12.5	20	0.28	0.05	1	40	55
25				25	0.28			45	
32				32	0.34			52	
40				40	0.34			60	
SD12.5×25×25	12.5	25	16	25	0.28	0.05	1.5	50	69.5
32				32	0.34			57	
40				40	0.34			65	
50				50	0.34			75	
SD16×32×32	16	32	20	32	0.34	0.05	1.5	64	88
40				40	0.34			72	
50				50	0.34			82	
64				64	0.40			96	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

铁心型号	尺寸（毫米）								
	a	b	c	h 不小于	δ 不大于	K 不大于	R 不大于	H	L
SD20×32×40	20	32	25	40	0.34	0.05	1.5	80	110
50				50	0.34			90	
64				64	0.40			104	
80				80	0.40			120	
SD25×40×50	25	40	32	50	0.34	0.075	2	100	139
64				64	0.40			114	
80				80	0.40			130	
100				100	0.46			150	
SD32×50×64	32	50	40	64	0.40	0.075	2	128	176
80				80	0.40			144	
100				100	0.46			164	
125				125	0.53			189	
SD40×64×80	40	64	50	80	0.40	0.075	2	160	220
100				100	0.46			180	
125				125	0.53			205	
160				160	0.53			240	
SD50×80×100	50	80	64	100	0.46	0.075	2	200	278
125				125	0.53			225	
160				160	0.53			260	
200				200	0.60			309	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 计算每相初、次级导线截面积

查表 4-15 得 j(电流密度)=2.6(安/毫米^2)

初级导线截面 $S_1=I_1/j=0.78/2.6=0.30$(毫米^2)

次级导线截面 $S_2=I_2/j=1/2.6=0.388$(毫米^2)

其余计算可参考单相C型变压器。

4-3 小功率电源变压器的绕制及检验

4-3.1 绕制工艺

变压器绕制工艺的好坏会影响变压器的质量。对于一般工厂来说，其修理或绕制变压器的条件不如专业生产变压器的单位。因此，下面仅就一般工厂的具体条件介绍变压器的绕制及工艺处理。

1. 绕制前的准备工作

(1) 绕制变压器常用的工具和材料。绕制工具见表 4-17，所用材料见第七章。

(2) 线圈底筒。线圈底筒是支持线圈的基础。它所用的材

表 4-17 绕制变压器主要工具表

工具名称	用途与说明
绕线机	用来绕制线圈，一般有人工排线和自动排线两种
裁纸刀	用来裁底筒和垫纸，一般可用小裁刀裁纸
橡皮锤	用于线圈整形，也可用木锤代替，但要整洁，并在外面打蜡，使其光滑
烘箱	用于烘干变压器，用空气强制对流式恒温箱最好，也可用空气自然对流式恒温箱或用电炉
浸渍器	用于烘干变压器，要求浸渍器不能渗漆，容许放入一个或几个变压器，并要有加温、保温以及防止漆干等措施

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

料有酚醛纸板、酚醛布板、绝缘纸板等。底筒的大小要求恰好能使全部铁心片插紧，见图 4-13 a。线圈底筒可做成有框底筒和无框底筒两种，见图 4-13 b 和 c。具体做法是：先根据铁心窗口高度 h 裁成长条，再根据铁心中心条宽度 a 和铁心叠厚 b 在长条上划线，见图 4-13 d 和 e，然后用小裁刀沿划线切成相当于底筒纸板厚度二分之一深度的缝，最后折起来用粘胶粘好（绕制时再粘亦可）。图 4-14 表示线圈底筒为活络框架的制作。

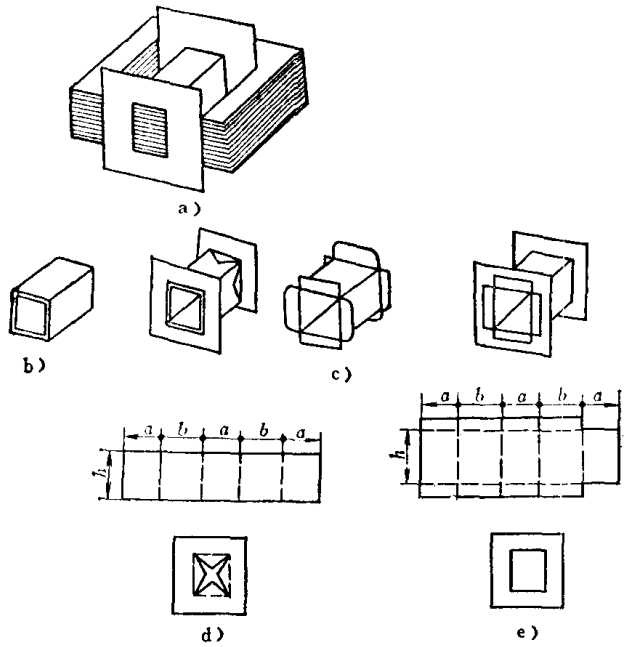


图 4-13　底筒的制作

(3) 木心的制作。木心的作用是把线圈框支撑起来，待线圈绕好后，再从底筒内抽出。木心的大小，由铁心柱截面来决定，其形状见图 4-15。制作木心的截面积要比铁心截面积稍大一点，以便容易插入硅钢片。木心中心要打一个比绕线机轴稍大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

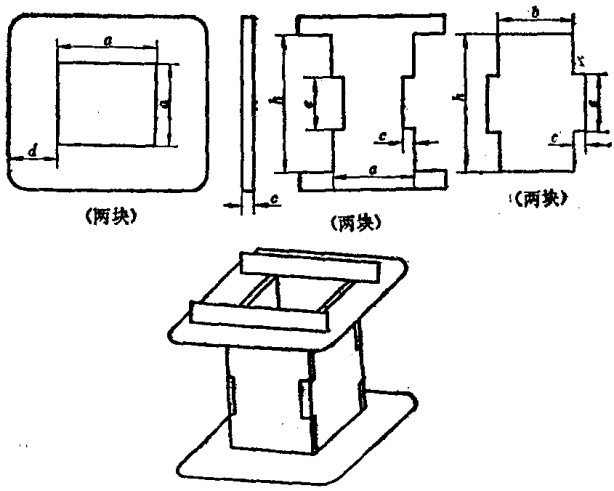


图 4-14　活络框架的结构

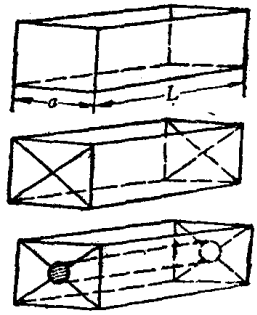


图 4-15　木心结构

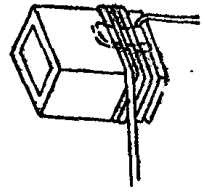


图 4-16　线圈起头

一点的孔(一般为 10 毫米)。孔一定要打正，免得绕线时晃动。

(4) 裁纸。线圈绕制之前，应将层间和线圈间以及外包的绝缘材料裁成一定宽度的长条。绝缘层的宽度一般应小于铁心窗口的高度 0.5～1 毫米。

2. 线圈的绕制

将木心连同线圈底筒一起装在绕线机的轴上，两端用螺母

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

夹紧，然后在底筒外面按内层绝缘包覆绝缘层，同时进行粘结，即可进行绕线。

(1) 起头。起头前应根据对变压器的要求和铁心型式，统一考虑各线圈排列和抽头形式。

起头时先焊上引线或焊片（较粗的漆包线可直接套上套管作为引出线）用绝缘材料包好接头，将引线或焊片与导线弯成90°角，若使用焊片作引出线时，可以直接绕线(不要弯90°角)。如果使用无框底筒，并用绝缘线作引出线头时，还需剪一块黄漆布条或聚酯薄膜，压在导线下面，待导线绕制到 10 圈左右时，再把布条或聚酯薄膜折回来，然后再一圈紧靠一圈地绕线，见图 4-16。

(2) 绕线和中间抽头。绕线时导线应向绕成线圈的方向偏转3°～5°；绕线宽度应根据铁心型号和耐压要求而定。在无框底筒绕制时，两边必须留出一定的宽度，一般留出 2～3 毫米即可。留得太宽，每层匝数减少，线圈厚度增加；留得太窄，绕上面一层搭线时容易将下面线挤出。有的变压器要求每绕一层就要垫上一层绝缘材料。绕线时遇到断线或接头时，需将导线漆皮刮去，绕在一起并焊好，将接头处用绝缘层包好。遇见中间抽头时，可将导线曲成双折，上下垫上绝缘材料，如图 4-17 所示。

(3) 结尾和屏蔽。若使用软绝缘线作引出线的话，在每组

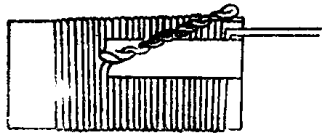


图 4-17 线圈中间抽头

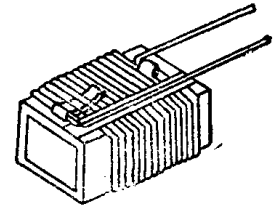


图 4-18 线圈的结尾

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线圈绕到最后20圈左右时，在绕线圈的前进方向放一块对折的绝缘衬料条，见图4-18，再继续绕下去，最后切断导线，将线头从绝缘材料的折缝中穿出，拉紧绝缘条。如使用焊片作引出线头，则须在每组线圈的最后一层预先把焊片放上，最后切断导线，将导线的尾端焊到焊片上。绕制电源变压器时，需要在初、次级线圈间放置静电屏蔽，见图4-19。要注意，屏蔽层不能自行短路，并要接地。待导线全部绕完，将外包绝缘材料包好即成。

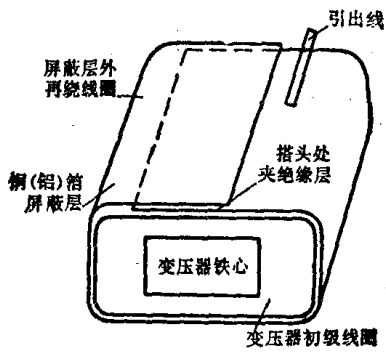


图4-19　屏蔽层结构

3．线圈的检查

线圈绕制后，需要先做直流电阻、各线圈匝数以及线圈间的绝缘电阻的检查。当各项参数正常时，才能进行变压器组装。

(1) 直流电阻的检查，一般可以判断线圈圈数是否正确，线圈是否有短路或断路现象。测试时，要用精度较高的仪表(万用表的电阻档亦可，电桥更好) 测出各线圈的直流电阻，然后与前面计算出的各线圈直流电阻相比较，正常时误差不应大于15%。

(2) 检查各线圈匝数，在有线圈圈数测量仪的条件下，可用它测量匝数，即对未装上铁心的线圈进行各线圈的匝数检查。如果没有圈数测试仪，可参照上述检查直流电阻的办法，大体进行比较。

(3) 检查各线圈间的绝缘电阻，一般用500伏或1000伏兆欧表即可测得。测量必须在各线圈之间进行。测得的数据一般

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

不应小于100兆欧(最好在500兆欧左右)，小于100兆欧时，说明内部受潮；小于10兆欧时，可能有漏电；绝缘电阻近似为零时，可视为短路。

4. 变压器的组装

(1) 装铁心。E型铁心的装法有交插法和对插法两种。交插法适用于无直流磁化的变压器，如电源变压器、收音机输出或输入变压器和输送变压器等；对插法适用于有直流磁化的变压器，如滤波阻流圈、单端输入或输出变压器等。

(2) 紧固与组装。铁心插完后，要将变压器放在较平的工作台上，用方型木锤将铁心四面整平，使铁心各片上的孔对正，然后可将夹板上好，旋紧螺钉。这样对于用焊片作引出线的变压器，就算完成了整个组装过程。如果用软线作引出线，则有时还需要将引出线焊在接线板上。C型变压器组装时，只要将绕好的铁心切开，插入线圈，用钢带扎紧即可。

(3) 初步测试。在变压器组装完后和进行绝缘处理之前，还需要做几项测试：①线圈绝缘电阻测试；②直流电阻测试(这两种电阻的测试方法同前，测试结果应与线圈测试时的数据相符合)；③空载测试(低压)。通过对变压器进行空载测试，可以看出各线圈间的圈数比，验算各线圈是否正确。有抽头(中心)时可近似看出线圈两边是否平衡。测试方法是：将毫伏表或比较精确的万用表接入被测的变压器次级线圈，在初级输入一个相当于该线圈额定电压值二分之一的固定电压，根据电压比等于线圈圈数比的原理，验算各线圈圈数是否正确。

5. 小功率变压器的绝缘处理

变压器进行绝缘处理的目的是为了提高绝缘物的绝缘强度、机械强度、耐热性和抗潮性等。下面介绍绝缘处理方法：

(1) 加热浸渍法。浸渍是对变压器进行绝缘处理的主要方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-18 变压器浸渍工序

工 序	操 作	温度 (°C)	时间 (时)	技 术 要 求
变压器除潮	打开烘箱上的通风孔，放入已经过初步测试的变压器	110	6	
调漆和加漆温	将浸渍器中漆的浓度调匀，并加热到20°C			
浸 渍	把浸渍器盖打开，放入待浸的变压器，并盖好盖		1	漆温保持20°C，浓度均匀，无气泡
滴 漆	把变压器提到漆面以上		10分	让变压器表面上的漆滴干
晾	把变压器放到铁板上，悬挂在室内		8	在室温下晾到变压器不滴漆为止
干 燥	把变压器放入烘箱	50 70 90 110	8 8 8 24	取出后冷却4小时，测其绝缘程度

法，见表 4-18。

(2) 灌注。灌注就是把灌注材料灌在壳内，灌注材料见第七章。

(3) 涂刷。涂刷是在绕制线圈过程中，绕一层线圈，刷一层绝缘清漆。绕好后通电烘干，即可使用。

4-3.2 检 验

在一般情况下只检验绝缘强度、空载电压和电流、空载损耗和温升等。

(1) 绝缘强度的检验。此项与前述线圈绝缘强度的检查相同。

(2) 次级线圈空载电压的检验。变压器经绝缘处理后接入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电源，用交流电压表测试次级线圈电压，应在允许误差范围之内。一般应满足高压±3%、灯丝电压±5%、其他线圈电压均为±5%。

(3) 空载电流的检验。检验接线见图 4-20 所示。将待测变压器接入电源后，空载情况下线圈中的电流就是空载电流。在图 4-20 中，断开开关K_1，线路中的交流电流表A所指示的数字即为该变压器的空载电流。一般变压器的空载电流为满载电流的 10～15%。

(4) 温升试验。当次级加上正常负载，让其工作几小时(一

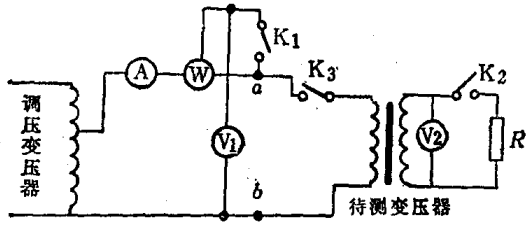


图 4-20　变压器空载电流检验接线图

般 6～8 小时)后测变压器的温度。一般在 40～50℃。若通电后不久就很烫或冒烟、有焦味等，则应停止通电，说明线圈有短路现象。

(5) 空载损耗检验。该项检验主要是测量铁损耗及线圈有无短路。测法见图 4-20。在被测变压器未接入之前，将K_1合上，调整调压变压器，使其达到额定电压 220 伏或 110 伏，此时在功率表W上的读数为电压表和功率表电压线圈的损耗功率 P_1，然后再将被测变压器接在 a、b 两端，重新调整调压变压器，使其电压表V 达到额定输入电压，这时功率表指出的功率为 P_2，则

$$空载损耗功率 = P_2 - P_1$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

正常时，空载损耗功率为额定功率的5%左右(此项若无功率表可不作)。

(6) 效率的测试。效率是变压器的主要质量指标之一，效率越高，变压器质量越好，其测量方法见图4-21。在被测变压器次级接一额定负载R，然后在初级线圈送入1个400赫或1000赫的等幅信号，电压由低逐渐升高，直到次级达到额定电压为止，这时记下初级电压U_1和电流I_1，变压器效率可由下式计算：

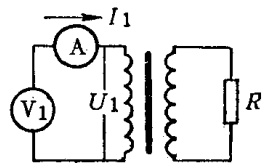


图4-21 变压器效率测量接线图

$$\eta=\frac{P}{U_1 I_1}\times 100\ \%$$

式中 P——变压器额定功率。

4-4 电力变压器的选择

4-4.1 电力变压器的容量选择

配电变压器容量的选择是个重要问题。如果容量选小了，会使变压器经常过载运行，甚至会烧坏变压器，如果选大了，变压器得不到充分利用，效率和功率因数也低，线损将会增大。选择变压器时，在技术上应考虑以下几点：

1. 详细研究确定负荷(用电量)情况：用电设备总共有多大功率；照明以及其他用电负荷有多少；最大一台直接起动的电动机的容量多大等等。

升压变压器容量可根据下式计算：

$$S=\frac{P}{\cos\varphi}\quad(千伏安)$$

式中 S——升压变压器容量(千伏安)；

P——经变压器输送的功率(千瓦)；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$\cos\varphi$——功率因数。

降压变压器的容量可根据下式计算：

$$S=\frac{P_1}{\eta_1\cos\varphi_1}+\frac{P_2}{\eta_2\cos\varphi_2}+\cdots\cdots+S_M$$

式中 S——降压变压器容量(千伏安)；

P_1、P_2……——每台电动机的功率(千瓦)；

η_1、η_2……——每台电动机的效率，可查电动机的技术数据；

$\cos\varphi_1$、$\cos\varphi_2$……——每台电动机的功率因数，可查电动机的技术数据；

S_M——附近低压用户总容量。

【例】 某工厂准备安装4台10千瓦电动机，电动机的功率因数均为0.8，效率分别为0.9、0.87、0.88和0.89。照明及其他用电负荷共3千瓦，问应选择多大容量的变压器？

【解】

$$S=\frac{10}{0.8\times0.9}+\frac{10}{0.8\times0.87}+\frac{10}{0.8\times0.88}$$

$$+\frac{10}{0.8\times0.89}+3=59.5\text{千伏安}$$

可选用60千伏安容量的变压器。

4-4.2 电力变压器的技术数据

1. SJL系列电力变压器

SJL系列电力变压器采用铝导线绕组和0.35毫米D43热轧硅钢片，高压侧带无励磁调压开关，调压±5%，温升标准：绕组65℃，油顶层55℃。具体数据见表4-19。

2. SJL1系列电力变压器

SJL1系列电力变压器采用0.35毫米D330冷轧硅钢片。其他条件同SJL系列。具体数据见表4-20。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-19 SJL 系列电力变压器的技术数据

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
20	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	174.4	597	1.833	255	76	133
	6.3				159.2	586	1.75			
	6.0					600				
30	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	228.5	832	2.221	315	85	170
	6.3				204	828	2.1			
	6.0					850				
50	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	335	1311	2.75	433	108	237
	6.3				305	1190	2.625			
	6.0					1214				
100	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	546	2272	3.787	692	157	371
	6.3				527	2220	3.725			
	6.0					2270				
	35	0.4	Y/Y$_0$-12	6.5						
180	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	830	3586	5.0217	1068	234	572
	6.3					3486				
	6.0					3577				
	35			6.5						
320	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	1212	5702	6.4166	1590	318	826
	6.3					5476				
	6.0					5595				
	35			6.5						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
560	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	1878	9000	8.555	2330	453	1198
	6.3					8615				
	6.0					8840				
	35			6.5						
750	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	3260	11500	11	3620	870	1750
	6.3					10810				
	6.0					11030				
	35					11470		4810	1660	1980
		10.5	Y/Δ-11	6.5	3660	11390	11.111	4750	1620	1960
		6.3				11420				
		3.15				11440				
1000	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	4100	13890	12.833	4300	1030	2120
	6.3					13450				
	6.0					13260				
	10	6.3	Y/Δ-11	5.5	3840	13620	12.753	4180	980	2040
		3.15				13600				
	6.0	3.15				13540				
	35	0.4	Y/Y_0-12	6.5	4520	13500	12.833	5630	1790	2380
		10.5	Y/Δ-11		4400	14190	12.758	5570	1790	2320
		6.3				13310	12.753			
		3.15				13720				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-20 SJL1 系列电力变压器的技术数据

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
20	10	0.4	Y/Y_0-12	4	119	596	1.777	200	55	100
	6.3					576				
	6.0					588				
30	10	0.4	Y/Y_0-12	4	156	832	2.221	255	65	130
	6.3					805				
	6.0					828				
40	10	0.4	Y/Y_0-12	4	182	972	2.457	300	75	160
	6.3					952				
	6.0					976				
50	10	0.4	Y/Y_0-12	4	222	1128	2.75	340	80	185
	6.3					1098				
	6.0					1120				
63	10	0.4	Y/Y_0-12	4	255	1390	3.21	425	100	230
	6.3					1342				
	6.0					1380				
80	10	0.4	Y/Y_0-12	4	305	1730	3.554	475	110	255
	6.3					1670				
	6.0					1715				
100	10	0.4	Y/Y_0-12	4	349	2060	3.85	565	135	310
	6.3					1985				
	6.0					2040				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
125	10	0.4	Y/Y_0-12	4	419	2430	4.442	680	155	380
	6.3					2325				
	6.0					2370				
160	10	0.4	Y/Y_0-12	4	494	2855	4.812	810	175	445
	6.3					2860				
	6.0					2925				
	35									
	35	10.5								
		6.3								
		3.15								
200	10	0.4	Y/Y_0-12	4	577	3660	5.5	940	200	515
	6.3					3530				
	6.0					3610				
250	10	0.4	Y/Y_0-12	4	676	4075	5.924	1080	220	615
	6.3					4060				
	6.0					4150				
315	10	0.4	Y/Y_0-12	4	785	5050	6.6	1300	255	730
	6.3					4840				
	6.0					4950				
400	10	0.4	Y/Y_0-12	4	930	5960	7.452	1515	230	860
	6.3					5770				
	6.0					5910				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
500	10	0.4	Y/Y_0-12	4	1085	7119	8.25	1815	320	1025
	6.3					6880				
	6.0					7050				
630	10	0.4	Y/Y_0-12	4	1320	8420	9.24	2020	350	1125
	6.3					8180				
	6.0					8400				
800	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	1670	11750	10.5	2920	645	1490
	6.3					11370				
	6.0					11680				
	10	6.3	Y/Δ-11	5.5	1650	11450	10.6	2730	615	1455
		3.15				11470				
	6					11480				
	35	10.5		6.5	1930	11690	10.606	3700	1045	1685
		6.3				11710				
		3.15				11720				
1000	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	2030	13280	12.158	3440	750	1770
	6.3					13410				
	6.0					23260				
	10	6.3	Y/Δ-11	5.5	1880	13730	11.98	3330	715	1730
		3.15				13760				
	6.0					13600				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
1000	35	10.5	Y/Δ-11	6.5	2260	13950	12.167	4170	1125	1950
		6.3				13980	12.162			
		3.15				13980				
		0.4								

3. SJ1、SJ6系列电力变压器

SJ1、SJ6系列电力变压器采用铜导线绕组、D42热轧硅钢片和Z11冷轧硅钢片，其他条件同SJL系列。具体数据见表4-21。

表 4-21 SJ1、SJ6 系列电力变压器的技术数据

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ1 10	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	133	357	1.444	223	74	94
	6.3				103	348	1.375			
	6.0					347				
	3.15					343				
	3.0					350				
SJ1 20	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	212	636	2.0625	285	70	140
	6.3				192	639	1.9576			
	6.0					625				
	3.15					623				
	3.0					639				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ1 30	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	282	845	2.511	372	103	185
	6.3				260	865	2.406			
	6.0					854				
	3.15					885				
	3.0					865				
SJ1 50	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	419	1330	3.3	497	124	255
	6.3				365	1290	3.04			
	6.0					1330				
	3.15					1320				
	3.0					1300				
SJ1 75	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	554	1790	3.983	669	156	360
	6.3					1810				
	6.0					1790				
	3.15					1750				
	3.0					1810				
SJ1 100	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	728	2360	4.8125	745	180	406
	6.3				616	2445	4.2	687	157	370
	6.0					2400				
	3.15					2395				
	3.0					2350				
180	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	1053	3720	6.243	1075	235	580

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ1 180	6.3	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	983	3605	6.08	1058	228	570
	6.0					3800				
	3.15					3600				
	3.0					3675				
SJ1 240	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	1263	4800	7	1362	262	700
	6.3					4680				
	6.0					4610				
	3.15					4680				
	3.0					4620				
SJ1 320	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	1567	5800	8.25	1535	325	850
	6.3				1524	5550				
	6.0					5470				
	3.15					5340				
	3.0					5430				
SJ1 560	10.5	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	2195		10.5	2215	414	1400
	10					8960				
	6.3									
	6.0									
	3.15									
	3.3									
	3.0									

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ1 560	10.5	0.4	Y/Y$_0$-12	8	2040	9740	9.24	2535	585	1300
	10					8970				
	6.3					9400				
	6					9320				
	3.15					9400				
	13.8					9900				
SJ1 750	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	3720	10945	12.838	3360	800	1900
	6.3									
	6.0									
	3.3									
	3.15									
	3.0									
	10			10	4000	13425		4130	1040	1840
	6.3					13460				
SJ1 1000	10	6.6	Y/Δ-11	5.5	4260		14.19	4180	1000	2250
	10	6.3				13980				
	10	3.15								
	6.3	3.15								
	6.0	3.15								
	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	4470	13600	14.44	4230	1000	2300
	6.3									

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ1 1000	6.0	0.4	Y/Y$_0$-12	4.5	4470		14.44	4230	1000	2300
	3.15									
	3.0									
	13.8	0.4	Y/Y$_0$-12	10	4440	14930	14.44	4850	1120	2340
	10.5					14635				
	10					14970				
	6.3					14790				
	35	10.5	Y/Δ-11	6.5	4950	13800	14.17	5200	1480	2600
	35	6.3								
	35	3.15								
	35	0.4	Y/Y$_0$-12							
SJ6 180	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4	575	3530	6.2432	870	170	440
	6.3					3475				
	6.0					3420				
	3.15					3475				
SJ6 320	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4	835	5150	7.96	1200	250	670
	6.0					5170				
	6.0					5080				
	3.15					5180				
SJ6 500	10	0.4	Y/Y$_0$-12	4	1255	7570	10.5	1830	320	1000
	6.3					7570				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容量（千伏安）	额定电压（千伏）		连接组	阻抗电压（%）	损耗（瓦）		每匝电压（伏/匝）	重量（公斤）		
	高压	低压			空载	短路		总重	油重	器身重
SJ6 500	6.0	0.4	Y/Y_0-12	4	1255	7470	10.5	1830	320	1000
	3.15					7570				
	6.3	3.15	Y/Δ-11	5.5	1250	7700	10.454	2030	415	1050
SJ6 750	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	1805	10520	12.158	2860	650	1450
	6.3					10440				
	6.0					10330				
	3.15					10470				
	35			6.5	2000	10520				
	35	10.5	Y/Δ-11	6.5		10930		3480	960	1600
	35	6.3				10820				
	35	3.15				10850				
SJ6 1000	10	0.4	Y/Y_0-12	4.5	1950	12580	13.588	3700	790	1850
	6.3					12760				
	6.0					12640				
	3.15					12760				
	10	6.3	Y/Δ-11	5.5	2140	13100	14.19	3550	770	1750
	10	3.15				13450				
	35	10.5		6.5	2400	13125	14.189	4370	1220	1950
	35	6.3				13530				
	35	3.15				13530				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4-5 电力变压器连接组别及检验

4-5.1 变压器连接组别

变压器连接组别是表示变压器各相线圈的连接法和矢量关系的符号。目前，国家标准GB1094-71规定三相双线圈电力变压器连接组标号有五种，即Y/Y_0-12，Y/Δ-11，Y_0/Δ-11，Y_0/Y-12和Y/Y-12；单相电力变压器有三种，即1/1-12，1/1-12-12和0-1/1-12-12，见表4-22。

连接组别一般采用时钟表示法，就是把变压器一次侧的线电压矢量*AB*作为时针的长针，它固定不动指向钟面上12的位置，把二次侧相应的线电压矢量*ab*作为时钟的短针。如果短针正指向6，则表示矢量*AB*和*ab*相反，即记作6。

例如Y/Y-12表示一、二次侧线圈均是星形连接，见图4-22，其矢量图和时钟表示见图4-23。这样接法，一次侧与二次侧电压矢量间的相位差为0°。

又如把一次侧线圈接成星形，二次侧线圈接成三角形，记作Y/Δ-11，见图4-24，矢量图及时钟表示见图4-25，这样接法，一次侧与二次侧电压矢量间的相位差为30°。

如果单相变压器的一次侧电压矢量与二次侧电压矢量相同，则记为*I*/*I*-12；反相时，记为*I*/*I*-6。

4-5.2 变压器的检验

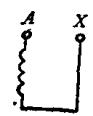
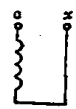
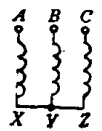
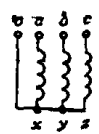
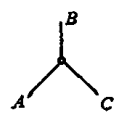
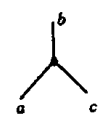
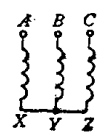
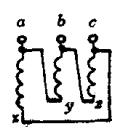
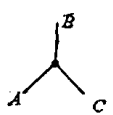
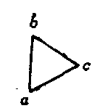
无论是绕制的新变压器，还是修理的旧变压器，都需要进行检验，以鉴定变压器的质量是否达到设计指标和安全运行的要求。本节着重介绍一般工厂、农村用的电力变压器检修完成后所需进行的检验项目和要求。

1. 检验项目 见表4-23。

2. 变压比试验 在变压器的高压侧加上其额定电压的

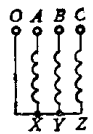
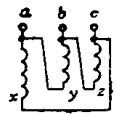
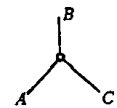
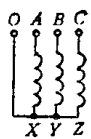
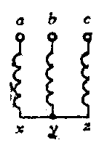
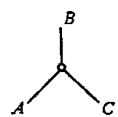
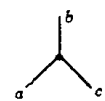
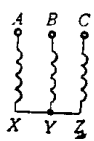
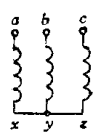
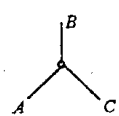
www.789pdf.com 789书库网

表 4-22　双线圈变压器线圈连接图、向量图及连接组标号(GB1094-71)

分类	线圈连接图		向量图		连接组标号
	高压	低压	高压	低压	
单相					I/I-12
三相					Y/Y_0-12
					Y/Δ-11

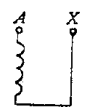
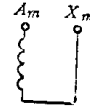
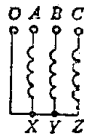
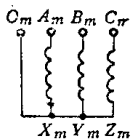
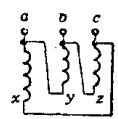
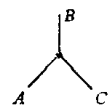
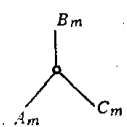
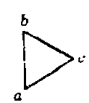
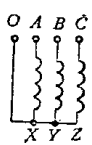
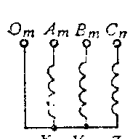
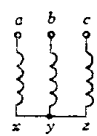
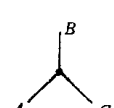
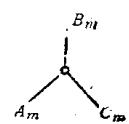
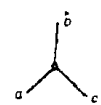
www.789pdf.com 789书库网

续表

分类	线圈连接图 高压	线圈连接图 低压	向量图 高压	向量图 低压	连接组标号
三相					$Y_0/\Delta-11$
					$Y_0/Y-12$
单相					Y/Y-12

www.789pdf.com 789书库网

三线圈变压器线圈连接图、向量图及连接组标号　　续表

分类	线圈连接图			向量图			连接组标号
	高压	中压	低压	高压	中压	低压	
单相							I/I/I-12-12
三相							$Y_0/Y_0/\Delta$-12-11
三相							$Y_0/Y_0/Y$-12-12

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

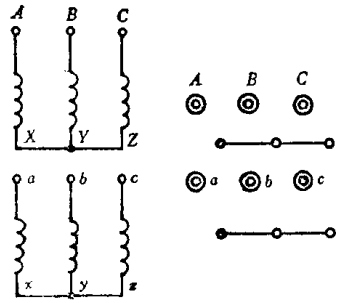


图 4-22　Y/Y-12 接线图

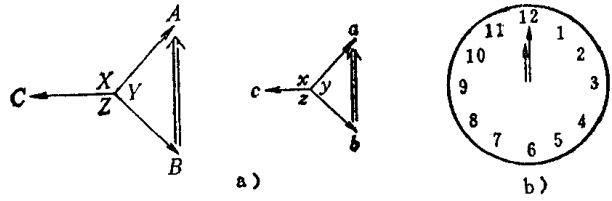


图 4-23　Y/Y-12 矢量图及时钟表示

a)矢量图　b)时钟表示

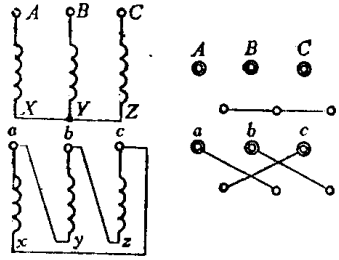


图 4-24　Y/△-11 接线图

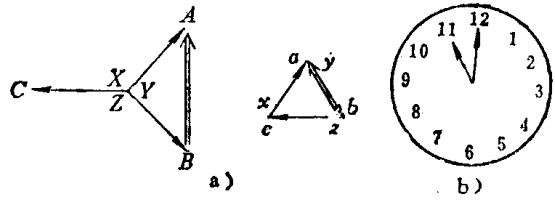


图 4-25　Y/△-11 矢量图及时钟表示

a)矢量图　b)时钟表示

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1～25%(根据变压比与仪表的量程来定)。油浸变压器试验电压标准，见表 4-24。

变压比计算如下：

对于单相变压器，Y/Y和 △/△ 连接的变压器，

$$K=\frac{U_1}{U_2}$$

对于 Δ/Y_0连接的三相变压器，

$$K=\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{U_1}{U_2}=\frac{\sqrt{3}}{3}\cdot\frac{U_1}{U_2}$$

对于Y/△连接的三相变压器，

$$K=\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\frac{U_1}{U_2}$$

对Δ/Y_0和Y/△ 连接的变 压器，可 按表 4-25 和图 4-26 来测量。

表 4-23　变压器检验

检　验　项　目	要　求
1. 测量穿心螺杆对铁心和夹件的绝缘电阻及耐压检验	绝缘电阻不得低于 2 兆欧，试验电压为交流1000伏或直流2500伏，试验电压持续时间一分钟
2. 测量变压器绕组的直流电阻(在所有各分接头上测量)	三相变压器的三个线圈电阻的偏差，应不超过三相平均 值的2%。相电阻的平均值应不超过三相平均值的4%
3. 测量各分接头上的变压比	各相在相同分接头上所测得的变压比进行比较，与铭牌值进行比较，相 差 不 应 超过 1%
4. 测量绕组对地与绕组间的绝缘电阻	20～30千伏的变压器不低于300兆欧，3～6千伏的变压器不低于200 兆欧，0.4 千伏以下的变压器不低于90兆欧
5. 测定三相变压器的连接组	必须与变压器铭牌的标志相符合

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

检　验　项　目	要　求
6. 测定额定电压下的空载电流(一次侧或二次侧)	空载电流一般要求在额定电流的5%左右
7. 耐压试验	试验电压值按表4-24的交接和预防性试验电压规定。试验电压持续时间为一分钟
8. 油箱的密封试验-油柱静压试验	利用箱盖上的滤油阀门，加装一根高超过二米的油管，在油管顶端焊装一储油桶，以备变压器油热胀冷缩和线圈内气泡溢出而造成缺油、压力不足时作补充用，这样经24小时后观察，应无渗油现象
9. 油箱中绝缘油的化学分析和试验	见表 7-42

表 4-24　油浸变压器试验电压标准

交接和预防性试验电压(千伏)	2	15	21	30
电压级次(千伏)	0.4	3	6	10
出厂试验电压(千伏)	5	18	25	35

表 4-25　电压比试验测量端

连　接	励　磁	短　路	测　量	图　例
Δ/Y_0-7	CA		ao	见图4-26 (a)
	AB		bo	
	BC		co	
Δ/Y_0-11	AB		ao	见图4-26 (b)
	BC		bo	
	CA		co	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

连接	励磁	短路	测量	图例
Y/Δ	AB	bc	ab	见图4-26(c)
	BC	ac	bc	
	CA	ab	ca	

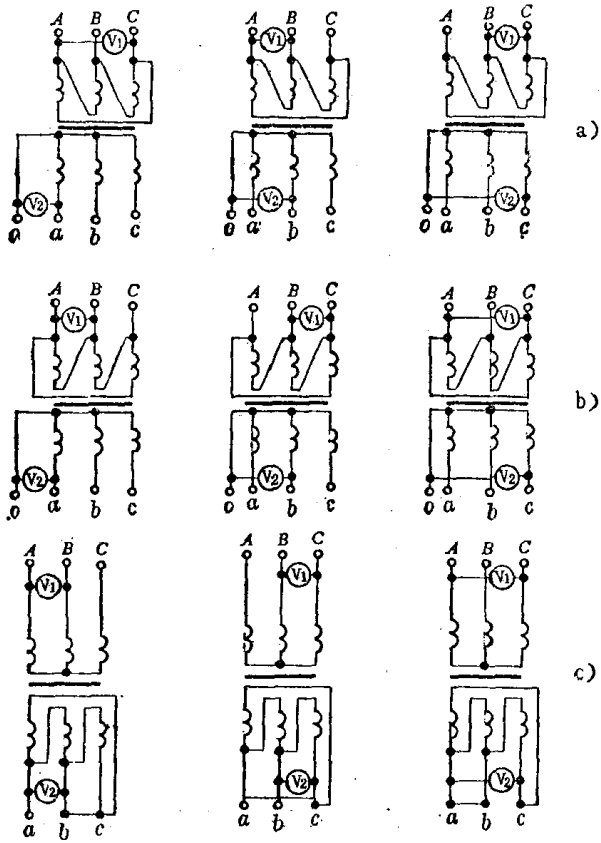


图 4-26 电压比试验接线图

a)△/Y_0-7 连接 b)△/Y_0-11 连接 c)Y/△ 连接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4-6 电力变压器并列运行

4-6.1 并列运行的条件

用电单位在用电量不断增加时，如原有的一台变压器的容量已感到不足，若换用较大容量的变压器，不但经费太高，而且不易购置，这时可将两台较小容量的变压器并列使用，使用并列运行的变压器，必须具备以下几个条件：

1) 变压比相同。

并列运行的两台变压器，其高压侧和低压侧的额定电压都要相同，而且分接开关也应放在同一位置上。例如一台10/0.4千伏的变压器，分接开关放在"Ⅱ"的位置上，那么与它并列运行的变压器，也必须是10/0.4千伏，而且分接开关也必须放在"Ⅱ"的位置上，否则不允许并列。

2) 变压器接线组别相同。

并列运行的两台变压器的接线组别必须相同。例如一台变压器的接线组别是 Y/Y_0-12，那么要求与它并列运行的那台变压器的接线组别也应是 Y/Y_0-12。如果接线组别不同，并列时将在变压器线圈内产生很大的环流，致使变压器烧坏。

3) 阻抗百分数(短路电压百分数)大体相同。

并列运行的两台变压器，要求它们的阻抗百分数大体相同。例如一台变压器的阻抗百分数为5.5%，另一台变压器的阻抗百分数为5.6%，则可以并列。如果并列运行的两台变压器，阻抗百分数相差过大，那么阻抗百分数小的变压器将过载，而阻抗百分数大的变压器将负荷不足，造成"窝工"。这是极不合理的运行情况，在实际运行中是绝对不允许的。

4) 容量不能相差太大。

两台变压器容量对比不能超过3比1。例如，一台100千

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

伏安的变压器和一台 10 千伏安的变压器是不能并列运行的。如果一台 30 千伏安，而另一台是 20 千伏安，则可以并列。容量相差太大的话，也会造成上述的不合理运行状况：容量大的变压器“窝工”，而容量小的变压器超载。要使并列运行的变压器负荷分配合理，它们的额定容量最好相等。

4-6.2 并列运行的步骤

1） 检查待并列运行变压器的变压比、接线组别是否相同，阻抗百分数、容量是否大致相等。

2） 将两台变压器的一次侧接入电源，二次侧先将一同名相接通，如先将 c 与 c′ 接通；

3） 测量两台变压器二次侧其余二同名相 a 与 a′、b 与 b′ 之间的电压 $U_{aa'}$、$U_{bb'}$。如果 $U_{aa'}=0$、$U_{bb'}=0$，即表示极性相同。

具备以上条件后，即可投入并列运行。

4-7 电力变压器维护与修理

4-7.1 运行前的检查

1） 测量变压器的绝缘电阻，其数值不得低于下列经验数据：

高压线圈对低压线圈的绝缘电阻为 1000 兆欧（用 2500 伏摇表）。

高压线圈对地的绝缘电阻值为 1000 兆欧（用 2500 伏摇表）。

低压线圈对地的绝缘电阻值为 500 兆欧（用 1000 伏摇表）。

穿心螺杆对地的绝缘电阻值为 500 兆欧。

2） 检查油位。如油位过低（低于下油面线时）不得投入运行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3) 检查变压器油的质量。颜色应清洁透明，油内无水分或其他杂质。

4) 检查避雷器、跌落开关等附属设备安装是否正确。

5) 检查套管有无裂痕和放电痕迹，并清除积污。

6) 检查进出线装置是否合格。

7) 检查接地装置是否合格。

4-7.2 变压器的操作

当变压器停电时，应先拉低压开关，后拉高压跌落开关。当变压器接上电源时，应先合高压跌落开关，然后再合低压开关。

在合高压跌落开关时，操作人员必须严守下列操作顺序：

有风操作时：1.合闸：先合上风相，次合中间相，后合下风相。2.拉闸：先拉下风相，次拉中间相，后拉上风相。

无风操作时：1.合闸：先合两边相，后合中间相。2.拉闸：先拉中间相，后拉两边相。

这样操作可以防止相间电弧短路。

4-7.3 运行时应注意的事项

1) 变压器应根据铭牌规定运行。

2) 在正常情况下，变压器上层油的温度，不应超过80℃。

3) 变压器"嗡嗡"声是否正常，有无增大，有无新的音调发生。

4) 油色有无变化，油面是否过低，有无漏油、渗油现象。

5) 套管是否清洁，有无放电痕迹及裂痕。

6) 接地线及其他附属设备的状况是否正常。

7) 测量负荷电流，在正常情况下，负荷电流不得超过变压器额定电流，三相负荷力求平衡，如有偏差不得超过10%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8） 测量电压。变压器电压的变动范围，应在额定值的±5%以内。

4-7.4 停止运行

在遇到下列任何一种情况时，应停止运行：

1） 音响增大，声音不均匀或有爆裂声。

2） 在正常冷却条件下，油温不断上升。

3） 严重漏油、喷油，油面降低到规定限度以下。

4） 油色显著变化，油内发现杂质及水分。

5） 套管有破损裂痕和放电现象。

6） 高、低压接线的连接发生松动而引起跳火现象。

4-7.5 维护检修

变压器应有专人维护，要做好经常的维护工作，使变压器保持良好状态，发现问题要及时处理。

一般每月应对变压器的外部进行一次检查，每年进行一次绝缘电阻的测定和油的化验，以及接地电阻值的测量。在雷雨季节来到之前，还应对避雷器进行一次预防性试验（一般由供电部门做）。其试验项目有：绝缘电阻测定、工频击穿电压测量及泄漏电流的试验等。

变压器每隔10年应进行一次大修。大修项目有：

1） 拆开变压器顶盖，取出芯子。

2） 检修铁心、线圈、引出线。

3） 检修顶盖、油枕、防爆管、散热器、加油阀、套管。

4） 清扫外壳，必要时进行油漆。

5） 滤油或换油。

6） 测量线圈绝缘电阻，必要时（当绝缘电阻值低于“运行前检查”第一个要求时）进行干燥处理。

7） 装配变压器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8) 按照国家规定的"电气设备交接和预防性试验规程"的规定，对变压器进行测量和试验。

4-8 控制用变压器技术数据

控制变压器是一种小型的干式电力降压变压器，可作为安全照明、电气设备中控制电路的电源和作为信号灯、指示灯的电源。BK系列单相控制变压器的技术数据以及铁心尺寸见表4-26和图4-27。

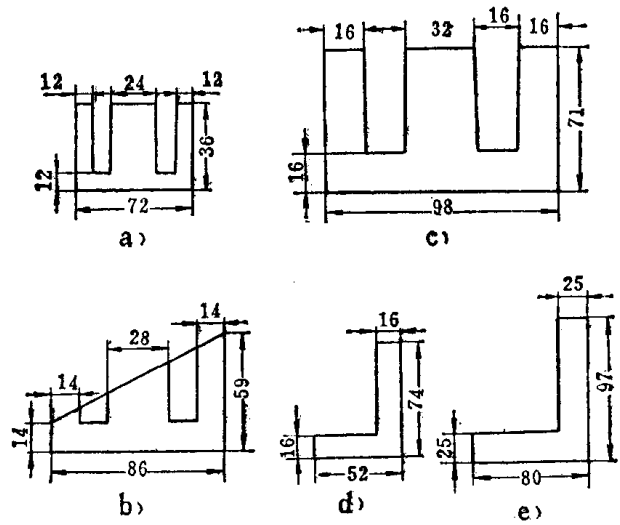


图4-27 BK系列单相控制变压器的铁心尺寸

a) BK-25：铁心24×26 b) BK-50：铁心28×36 c) BK-100：铁心32×48 d) BK-150：铁心32×61 e) BK-300：铁心50×52 BK-400：铁心50×62 BK-500：铁心50×82

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-26 BK 系列单相控制变压器的技术数据

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
25	380/220～127-110-36-24-12-6.3	380	2265	0.18
		220	1368	0.21
		127	789	0.27
		110	688	0.29
		36	224	0.51
		24	150	0.62
		12	75	0.90
		6.3	39	1.20
	220/220-127-110-36-24-12-6.3	220	1315	0.21
		220	1368	0.21
		127	789	0.27
		110	688	0.29
		36	244	0.51
		24	150	0.62
		12	75	0.90
		6.3	39	1.20
50	380/36-6.3	380	1410	0.29
		36～6.3	147	0.90
	380/24	380	1410	0.29
		24	98	1.20
	380/12	380	1410	0.29
		12	49	1.00×2
	220/36	220	818	0.35
		36	147	0.90
	220/12-6.3	220	818	0.35
		12～6.3	49	1.00×2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
100	380/36-6.3	380 36～6.3	1010 103	0.40 1.20
	380/220-36	380 220 36	1010 615 103	0.41 0.35 0.90
	380/24	380 24	1010 69	0.41 1.62
	220/127	220 127	584 344	0.51 0.62
	380/36-12	380 36～12	1010 103	0.41 1.20
	220/36	220 36	584 103	0.51 1.20
	380/12	380 12	1010 35	0.41 1.62×2
	220/12	220 12	584 35	0.51 1.62×2
	380/36-36	380 36 36	1010 100 103	0.41 0.80 0.80
	220/36-36	220 36 36	584 100 103	0.51 0.80 0.80
	220/6.3	220 6.3	584 18	0.51 2.02×2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
100	380/36-12	380 36 12	1010 103 35	0.41 0.90 1.40
	380/12-6.3	380 12～6.3	1010 35	0.41 1.62×2
	220/36-6.3	220 36～6.3	584 103	0.51 1.20
	220/36-12	220 36 12	584 103 35	0.51 0.90 1.40
	380/127-6.3-36	380 127～5.3 36	1010 344 103	0.41 0.47 0.90
150	380/36	380 36	802 80	0.51 1.2×2
	380/220-110	380 220～110	802 240	0.51 0.62
	380/127-6.3	380 127～6.3	802 274	0.51 0.80
	380/127-12-6	380 127～12～6	802 274	0.51 0.80
	220/36	220 36	465 280	0.72 1.20×2
	380/127-6.3-36	380 127～6.3 36	802 274 80	0.51 0.62 0.90

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
150	220/12	220 12	465 27	0.72 1.81×2
	380/220-36	380 220 36	802 480 80	0.51 0.51 0.90
	380/12	380 12	802 27	0.51 1.81×2
	220/6.3	220 6.3	465 16	0.72 2×0.5
	380-220/36-6.3	380～220 36～6.3	802 80	0.72 1.20×2
	380/36-12	380 36～12	802 79	0.51 1.20×2
	380/127-6.3-12	380 127～6.3 12	802 274 27	0.51 0.62 1.40
300	380/127-36	380 127 36	760 258 78	0.72 1.00 0.90
	380/36-6.3	380 36～6.3	760 78	0.72 1.62×2
	380/12	380 12	760 26	0.72 1.81×4
	380/24	380 24	760 50	0.72 1.81×2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
300	220/12	220	440	0.90
		12	26	1.81×4
	220/36	220	440	0.90
		36	78	1.62×2
	220/24	220	440	0.90
		24	50	1.81×2
	380/220	380	760	0.72
		220	454	0.90
	220/110	220	440	0.90
		110	232	1.20
	220/150	220	440	0.90
		150	314	1.00
	220/127-36	220	440	0.90
		127	260	1.00
		36	78	0.90
	220/127-24	220	440	0.90
		127	260	1.00
		24	53	1.00
400	380/127-6.3-36	380	524	0.80
		127～6.3	177	1.20
		36	54	0.90
	220/36	220	304	1.20
		36	54	1.81×2
	380/127	380	524	0.80
		127	177	1.40

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称 / 总容量(伏安)	规格	电压(伏)	总匝数	导线直径(毫米)
400	380/36-6.3	380 36～6.3	524 54	0.80 1.81×2
	380/12	380 12	524 17	0.80 2×3.15扁线
	380/220-6.3-36	380 220～6.3 36	524 313 54	0.80 1.00 0.90
500	380/36-6.3	380 36～6.3	432 43	0.90 1.40×4
	380/127-36	380 127 36	432 146 43	0.90 1.40 0.90
	220/127-6.3	220 127～6.3	252 146	1.20 1.62
	380/110	380 110	432 130	0.90 1.62
	380/127-6.3-36	380 127～6.3 36	432 146 43	0.90 1.40 0.90
	220/12	220 12	252 15	1.20 1.0×2
	220/127-36	220 127 36	252 146 43	1.20 1.40 0.90
	380-220/36	380～220 36	432 43	1.20 2.02×2
	380/12	380 12	432 15	0.90 1.0×2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4-9 常用电焊机性能及变压器绕组数据

4-9.1 BX系列交流电焊机性能及变压器绕组数据

表4-27 BX1系列交流电焊机性能数据

项目			单位	技术规格					
				BX1-330			BX1-135		
输出	额定工作电压		(伏)	30			30		
	额定暂载率		(%)	65			65		
	额定焊接电流		(安)	330			135		
	接法			I		II	I		II
	空载电压		(伏)	70		60	75		60
	焊接电流调节范围		(安)	50～180		160～450	25～85		50～150
	不同暂载率下参数变动	暂载率	(%)	100	65	35	100	65	50
		焊接电流	(安)	265	330	450	110	135	150
输入		输入容量	(千伏安)	17	21	28	7.2	8.7	10.3
		输入电流 220伏	(安)	78	96	128	33	41	47
		输入电流 380伏	(安)	45	56	74	19	23.5	27
		输入电流 440伏	(安)	40	50	66	16.2	19.8	23.4
	电源电压		(伏)	220、380或440			380或220		
	相数			1			1		
	频率		(赫)	50			50		
效率			(%)	80			78		
功率因数				0.5			0.58		
重量			(公斤)	185			100		
外形尺寸(长×宽×高)			(毫米)	870×530×790			680×480×580		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-28 BX1 系列交流电焊机变压器绕组数据

型号	绕组	电压(伏)	绕组型式	数量	导线规格(毫米)	并联线数	总匝数	抽头 匝数	抽头 绕组编号	抽头 线径(毫米)
BX1-330	一次侧	440	筒形	1	2.26×5.1 双玻璃丝包铜线	2	152	0 152	1 2	原线
		380	筒形	1	2.26×5.5 双玻璃丝包铜线	2	138	0 138	1 2	原线
		220	筒形	1	4.1×10 双玻璃丝包铜线	1	80	0 80	1 2	原线
	二次侧		筒形	1	5.1×13.5 裸铜线	1	10	0 3 0 7	3 4 5 6	原线
	电抗器		筒形	1	5.1×13.5 裸铜排	1	23	0 11 23	7 8 9	原线
BX1-135	一次侧	380	筒形	1	2.83×3.53 双玻璃丝包铜线	1	232	0 232	1 2	原线
		220	筒形	1	2.83×6.4 双玻璃丝包铜线	1	132	0 132	1 2	原线
	二次侧	220	筒形	1	3.8×8 裸铜线	1	7	0 7	3 4	1.56×22 铜排
		380	筒形	1	3.8×8 裸铜线	1	6	0 6	5 6	1.56×22 铜排
	电抗器		筒形	1	3.8×8 裸铜线	1	40	0 16 40	7 8 9	1.56×22 铜排

www.789pdf.com 789书库网

表 4-29 BX2 系列交流电焊机性能数据

项目			单位	技术规格											
				BX2-500			BX2-700			BX2-1000			BX2-2000		
输出	额定工作电压		(伏)	45.5			43			42			50		
	额定暂载率		(%)	60			60			60			50		
	额定焊接电流		(安)	500			700			1000			2000		
	空载电压	接法Ⅰ	(伏)	80			72			69			72		
		接法Ⅱ	(伏)				80			78			84		
	工作电压范围		(伏)	32～50			31.75～43			30～46			30～52.5		
	焊接电流调节范围		(安)	200～600			250～900			400～1200			800～2200		
	不同暂载率	暂载率	(%)	100	60	42	100	60	35	100	60	42	100	50	40
		焊接电流	(安)	390	500	600	542	700	900	775	1000	1200	1400	2000	2200

www.789pdf.com 789书库网

续表

项目			单位	技术规格											
				BX2-500			BX2-700			BX2-1000			BX2-2000		
输入	下参数变动	输入电流 220伏	(安)	155	190	228	200	254	325	260	336	400			
		输入电流 380伏		88.5	110	132	116	147	188	150	194	232	330	450	490
		输入容量	(千伏安)		42			56			76			170	
	电源电压		(伏)	220或380			220或380			220或380			380		
	相数			1			1			1			1		
	频率		(赫)	50			50			50			50		
效率			(%)	87			87			90			89		
功率因数				0.62			0.62			0.62			0.69		
重量			(公斤)	445			500			560			690		
外型尺寸(长×宽×高)			(毫米)	950×818×1215			950×818×1215			950×818×1215			1020×814×1260		

www.789pdf.com 789书库网

表 4-30 BX2 系列交流电焊机变压器绕组数据

型号	绕组	电压(伏)	绕组型式	数量	导线规格(毫米)	并联线数	总匝数	抽头 匝数	抽头 绕组编号	抽头 线规(毫米)
BX2-500	一次侧	380	筒形	2	3.53×6.4 双玻璃丝包铜线	2	43		0 78	原线及 2.63×19.5 裸铜排
		220	筒形	2	3.53×10.8 双纱包线	2	25		0 76	
	二次侧	380	筒形	2	4.1×12.5 裸铜排	2	9		0 45	原线
		220	筒形	2	4.1×12.5 裸铜排	2	9		0 46	原线
	电抗器		筒形	1	2.63×19.5 裸铜线	2	18	0 19 (引线加一匝)		原，线
BX2-700	一次侧	380	筒形	1	3.8×7.4 双玻璃丝包铜线	2	40	0 36 40	78 79 80	原线
				1	3.8×7.4 双玻璃丝包铜线	2	39	0 35 39	76 82 81	原线
		220	筒形	1	3.8×12.5 双玻璃丝包铜线	2	23	0 21 23	78 79 80	原线
				1	3.8×12.5 双玻璃丝包铜线	2	23	0 21 23	76 82 81	

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	绕组	电压(伏)	绕组型式	数量	导线规格(毫米)	并联线数	总匝数	抽头		
								匝数	绕组编号	线规(毫米)
BX2-700	二次侧	380或220	筒形	1	5.1×14.5 裸铜扁线	2	8	0 8	0 45	原线
				1	5.1×14.5 裸铜扁线	2	7	0 7	0 46	原线
	电抗器	380	筒形	1	3.28×22 裸铜线	2	15	0 16 (引线加一匝)		原线
BX2-1000	一次侧	380	筒形	1	4.4×8.6 双玻璃丝包铜线	2	33	0 29 33	78 79 80	原线
				1	4.4×8.6 双玻璃丝包铜线	2	33	0 29 33	76 82 81	
		220	筒形	1	4.4×14.5 双玻璃丝包铜线	2	19	0 17 19	78 79 80	原线
				1		2	19	0 17 19	76 82 81	
	二次侧	380或220	筒形	1	4.4×22 裸铜线	2	6	0 6	0 45	原线
				1		2	6	0 6	0 46	
	电抗器		筒形	1	4.4×22 裸铜排	2	10	0 11 (引线加一匝)		3.53×22 铜排银焊

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

表 4-31 BX3 系列交流电焊机性能数据

型号			单位	技术规格								
				BX3-120			BX3-300			BX3-500		
输出	额定工作电压		(伏)	25			30			30		
	额定暂载率		(%)	60			60			60		
	额定焊接电流		(安)	120			300			500		
	接法			I	II		I	II		I	II	
	空载电压		(伏)	75	65		75	60		70	60	
	焊接电流调节范围		(安)	20～55	50～160		40～125	115～400		60～190	170～670	
	不同暂载率下参数变动	暂载率	(%)	100	60	35	100	60	35	100	60	35
		焊接电流	(安)	93	120	160	232	300	400	388	500	670
输入		输入容量	(千伏安)	6.5	8.2	11	15.9	20.5	27.4	25.8	33.2	44.5
		输入电流 220伏	(安)	29.5	37.2	50	72.5	93.5	125	117	151	202
		输入电流 380伏		17	21.5	29	41.8	54	72	68	87.4	117
	电源电压		(伏)	220或380			220或380			220或380		
	频率		(赫)	50			50			50		
效率			(%)	81			83			87		
功率因数				0.45			0.53			0.52		
重量			(公斤)	100			190			280		
外形尺寸(长×宽×高)			(毫米)	485×470×680			580×600×880			670×610×970		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-32　BX3 系列交流电焊机变压器绕组数据

型号	绕组	绕组编号	绕组型式	数量	导线规格（毫米）	并联线数	总匝数	抽头 匝数	抽头 编号	抽头 线规
BX3-120	一次侧	Ⅰ	筒形	1	φ2.26 双玻璃丝漆包线	1	348	0 272 348	1 2 3	原线
		Ⅱ		1		1	348	0 272 348	4 5 6	
	二次侧	Ⅲ	筒形	1	3.53×6.4 裸铜线	1	60	0 55 60	7 8 9	橡皮电缆，截面16毫米²
		Ⅳ		1		1	60	0 55 60	10 11 12	
BX3-300	一次侧	Ⅰ	筒形	1	2.44×4.1 双玻璃丝漆包线	1	180	0 144 180	1 2 3	原线
		Ⅱ		1		1	180	0 144 180	4 5 6	
	二次侧	Ⅲ	筒形	1	2.26×18 裸铜线	1	30	0 30	7 8	橡皮软接线，25毫米²
		Ⅳ		1		1	30	0 30	9 10	
BX3-500	一次侧	Ⅰ	筒形	1	3.53×5.5 双玻璃丝漆包线	1	140	0 124 140	1 2 3	原线
		Ⅱ		1		1	140	0 124 140	4 5 6	
	二次侧	Ⅲ	筒形	1	3.53×22 裸铜线	1	23	0 23	7 8	橡皮软接线，50毫米²
		Ⅳ		1		1	23	0 23	9 10	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4-9.2 ZXG系列整流器式直流电焊机性能及变压器绕组数据

表4-33 ZXG系列直流电焊机性能数据

项目			技术规格		
			ZXG-200	ZXG-300	ZXG-500
输出	空载电压(伏)		70	70	70
	工作电压(伏)		25～30	25～30	25～40
	额定焊接电流(安)		200	300	500
	焊接电流调节范围(安)		10～200	15～300	25～500
	额定暂载率(%)		60	60	60
	各暂载率下之焊接电流(安)	100%	155	230	387
		60%	200	300	500
输入	电源电压(伏)		380	380	380
	相数		3	3	3
	频率(赫)		50	50	50
	额定输入电流(安)		23.6	32	58
	额定输入容量(千伏安)		15.55	21	38
重量(公斤)			170	220	325
外形尺寸(长×宽×高)(毫米)			560×410×820	600×440×940	650×500×1020

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-34　ZXG 系列直流电焊机绕组数据

型号	绕组		电压(伏)	绕组型式	数量	导线规格(毫米)	并联绕组	匝数	抽头	线规
ZXG-300	变压器	一次侧	220	筒形	3	2.1×4.1 双玻璃丝包线	1	127	0～127	原线
		二次侧	52	筒形	3	4.1×9.3 双玻璃丝包线	1	30	0～30	原线
	自饱和电抗器	工作绕组	52	筒形	6	3.28×8.6 双玻璃丝包线	1	33	0～33	原线
		控制绕组	25	筒形	1	Φ1.12 高强度漆包线	1	300	0～300	原线
	输出电抗器			筒形	2	2.1×11.6 双玻璃丝包线	2	20	0～10	原线
ZXG-500	变压器	一次侧	220	筒形	3	2.44×6.4 双玻璃丝包线	1	96	0～96	原线
		二次侧	50	筒形	3	4.4×14.5 双玻璃丝包线	1	22	0～22	原线
	自饱和电抗器	工作绕组	50	筒形	6	3.05×9.3 玻璃丝包线	2	26	0～26	原线
		控制绕组	25	筒形	1	Φ1.2 高强度漆包线	1	300	0～300	原线
		电抗线圈		筒形	2	2.1×11.6 双玻璃丝包线	4	20	0～10	原线
		控制绕组		筒形	2	Φ0.12 高强度漆包线	1	320	0～106	原线
ZXG-300 或 ZXG-500	稳压器	Ⅰ	380		1	Φ0.47 高强度漆包线	1	1600	0～1600	
		Ⅱ			1	Φ1.3 高强度漆包线	1	70	0～5～60～70	
		Ⅲ			1	Φ0.64 高强度漆包线	1	1250	0～1250	
		Ⅳ			1	Φ1.3 高强度漆包线	1	172	0～10～152～172	

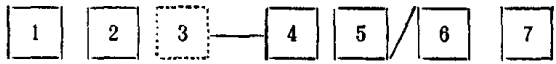
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第五章 低压电器

5-1 低压电器型号表示法及其意义

低压电器型号的含义如下：



其中 1——类组代号(用汉语拼音字母，最多三位。类组代号见表5-1)；

2——设计代号(用数字，位数不限，其中二位及二位以上的首位字为“9”者表示船用、“8”表示防爆用、“7”表示纺织用、“6”表示农用、“5”表示化工用)；

3——特殊派生代号(用汉语拼音字母，最好一位)；

4——基本规格代号(用数字，位数不限)；

5——派生代号(用汉语拼音字母)；

6——辅助规格代号(最好用数字)；

7——热带产品代号。

类组代号与设计代号的组合，表示产品的系列，如DW10表示框架式自动开关第10个系列。表5-1中竖着排列下来的H、R、D…A表示低压电器的十三大类产品。横排的A、B、C…Z表示低压电器产品组别，如“DW10”中“D”代表自动开关类别，“W”代表万能式组别。

www.789pdf.com 789书库网

表5-1 低压电器产品型号类组代号表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
H	刀开关和转换开关				刀开关		封闭式负荷开关		开启式负荷开关					熔断器式刀开关	刀形转换开关					其他	组合开关
R	熔断器			插入式			汇流排式			螺旋式	密闭管式				快速	有填料管式			限流	其他	
D	自动开关									照明	灭磁				快速			框架式	限流	其他	塑料外壳式
K	控制器					鼓形						平面				凸轮				其他	
C	接触器					高压		交流				中频			时间					其他	直流
Q	起动器	按钮式		磁力				减压							手动		油浸		星三角	其他	综合

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

续表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	W	X	Y	Z
J	控制继电器									电流				热	时间	通用		温度		其他	中间
L	主令电器	按钮						接近开关	主令控制器						主令开关	足踏开关	旋钮	万能转换开关	行程开关	其他	
Z	电阻器		板形元件	冲片元件		管形元件									烧结元件	铸铁元件			电阻器	其他	
B	变阻器			旋臂式						励磁		频敏	起动			起动调速	油浸起动	液体起动	滑线式	其他	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重			制动
A	其他			插销			接线盒														

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-2 熔 断 器

5-2.1 有填料封闭管式熔断器

有填料熔断器广泛用于具有高短路电流的电力网络或配电装置中，作为电缆、导线和电气设备的短路保护及电缆导线的过载保护。常用于断流能力要求较高的场合。其主要技术数据见表 5-2。

表 5-2 RTO系列有填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	容断器额定电流（安）	熔体额定电流等级（安）	极限分断能力（千安）	
				直流	交流
RTO-50	交流380 直流440	50	5、10、15、20、30、40、50	25 $T\leqslant 15$ 毫秒	50 $\cos\varphi\leqslant 0.2$
RTO-100		100	30、40、50、60、80、100		
RTO-200		200	80、100、120、150、200		
RTO-400		400	150、200、250、350、400		
RTO-600		600	350、400、450、500、550、600		

5-2.2 无填料封闭管式熔断器

表 5-3 RM7系列无填料封闭管式熔断器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	熔断器额定电流（安）	熔体额定电流等级（安）	极限分断能力（千安）	用途	备注
RM7-15	交流220	15	2、2.5、3、4、5、6、10、15	1.5 $\cos\varphi=0.8$	用于低压配电和动力网络中作为导线、电缆及电气设备的短路和过载保护	可取代RM1 RM2 RM3 RM10等老产品
RM7-15	交流380 直流440	15	6、10、15	2 $\cos\varphi=0.7$		
RM7-60		60	15、20、25、30、40、50、60	5 $\cos\varphi=0.5$		
RM7-100		100	60、80、100	20 $\cos\varphi\geqslant 0.35$		
RM7-200		200	100、120、150、200			
RM7-400		400	200、250、300、350、400			
RM7-600		600	400、450、500、550、600			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-2.3 有填料封闭管式快速熔断器

表 5-4 有填料封闭管式快速熔断器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	熔断器额定电流（安）	熔体额定电流等级（安）	极限分断能力（千安）	用途
RS0-500	交流 500	50	30、50	50 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	作为半导体整流元件或由该元件组成的成套装置的短路保护及某些不容许过电流的保护
		100	50、80、100		
		200	150、200		
		350	320		
		500	400、480		
RS0-750	交流 750	350	320、350		
RS3-500	交流 500	50	10、15、20、30、40、50	50 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	作为可控硅整流元件及其成套装置的短路保护及某些不容许过电流的过载保护
		100	80、100		
		250	150、200		
		320	250、300、320		
RS3-750	交流 750	200	150、200		
		300	200、300		
		350	320、350		

5-2.4 螺旋式熔断器

表 5-5 螺旋式熔断器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	熔断器额定电流（安）	熔体额定电流等级（安）	极限分断能力（千安）	用途
RLS-10	交流 500，直流 500	10	3、5、10	40 $\cos\varphi \leqslant 0.3$	作为半导体元件及其装置的短路或过载快速保护
RLS-50		50	15、20、25、30、40、50		
RL1-15	交流 500	15	2、4、6、10、15	2 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	作为过载及短路保护元件。主要用于控制箱、配电箱及振动较大场合
RL1-60		60	20、25、30、35、40、50、60	3.5 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	
RL1-100		100	60、80、100	20 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	
RL1-200		200	100、125、150、200	50 $\cos\varphi \geqslant 0.3$	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-3 手动开关

5-3.1 常用组合开关

表 5-6 常用组合开关主要技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	控制功率(千瓦)	用途	备注
HZ5-10	交流 380	10	1.7	在电气设备中作电源引入，接通或分断电路、换接电源或负载(电动机等)	可取代HZ1～3等老产品
HZ5-20		20	4		
HZ5-40		40	7.5		
HZ5-60		60	10		
HZ10-10	直流 220	10		在电气线路中作接通和分断电路；换接电源或负载；测量三相电压；控制小型异步电动机正反转	可取代HZ1、HZ2等老产品
HZ10-25		25			
HZ10-60		60			
HZ10-100		100			

注：HZ10-10为单极时，其额定电流为6安，HZ10系列具有二极和三极。

5-3.2 负荷开关(铁壳开关)

HH4系列负荷开关由刀开关、熔断器和钢板外壳组成。其用途及技术数据见表5-7。

表 5-7 HH4系列负荷开关主要技术数据

型号	负荷开关额定电流(安)	熔体额定电流(安)	熔体材料	熔体直径 d(毫米)	接通分断能力			极限分断能力			用途
					通断能力(安)	$\cos\varphi$	通断次数	分断能力(安)	$\cos\varphi$	分断次数	
HH4-15	15	6	软铅丝	1.08	60	0.5	10	500	0.8	2	作为手动不频繁地接通和分断有负载的电路，起动与分断电动机以及线路末端短路保护之用
		10		1.25							
		15		1.98							
HH4-30	30	20	紫铜丝	0.61	120	0.5		1500	0.7		
		25		0.71							
		30		0.8							
HH4-60	60	40	紫铜丝	0.92	240	0.4		3000	0.6		
		50		1.07							
		60		1.2							

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-3.3 开启式负荷开关(胶盖瓷底刀开关)

开启式负荷开关由瓷底板、熔体(采用铅锡合金丝)、胶盖及触头、触刀等组成。其用途及技术数据见表5-8。

表5-8 HK2系列开启式负荷开关主要技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	极数	控制感应电动机功率(千瓦)	熔体(含铜量不少于99.9%)		用途
					线径不大于(毫米)	最大分断电流(安)	
HK2-10/2	250	10	2	1.1	0.25	500	作为工业企业、农村电气照明和支线配电之用，适当降容后也可控制小型异步电动机
HK2-15/2		15		1.5	0.41	500	
HK2-30/2		30		3	0.56	1000	
HK2-15/3	380	15	3	2.2	0.45	500	
HK2-30/3		30		4	0.71	1000	
HK2-60/3		60		5.5	1.12	1500	

5-3.4 熔断器式刀开关

熔断器式刀开关由具有高分断能力的RT0有填料熔断器和刀开关等组成。主要技术数据见表5-9。

表5-9 HR3系列熔断器式刀开关主要技术数据

型号	刀开关分断能力(安)		熔断器极限分断能力，有效值(千安)			用途
	交流380伏 $\cos\varphi \geqslant 0.6$	直流440伏 $T=4.5$ 毫秒	熔体额定电流(安)	交流380伏 $\cos\varphi=0.3$	直流440伏 $T=15\sim20$ 毫秒	
HR3-100	100	100	30、40、50、60、80、100	50	25	在工业企业配电网络中，作为电气设备的过载或短路保护，以及在正常情况下不频繁地接通和分断电路
HR3-200	200	200	80、100、120、150、200			
HR3-400	400	400	150、200、250、300、350、400			
HR3-600	600	600	350、400、450、500、550、600			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-4 自动开关

5-4.1 常用框架式自动开关

常用框架式自动开关在配电网络中作为过载、短路及失压保护，在正常工作条件下用来不频繁地转接电路，常用于要求高分断能力和选择性保护的场合，作为总电源开关和负载近端支路开关，其主要技术数据见表5-10。

表5-10 常用框架式自动开关主要技术数据

型号	额定电流(安)	过电流脱扣器范围(安)	通断能力					
			交流			直流		
			电压(伏)	电流有效值(千安)	cosφ	电压(伏)	电流(千安)	T(毫秒)
DW10-200	200	100～200		10			10	
DW10-400	400	100～400		15			15	
DW10-600	600	400～600		15			15	
DW5-400	400	100、150、200、250、300		20			—	
DW5-600	600	400、500、600	380	—	0.4	440	—	10
框架式新系列自动开关	200	100～200	380	20	0.35			
			660	10	0.3			
	400	200～400	380	25	0.35			
	600	300～600	380	30	0.35			

1. DW10可取代DW0、DW1和DW2等老产品中不带延时机构的品种；
2. DW5可取代DW0、DW1、DW2、DW10等产品；
3. 框架式新系列自动开关可取代DW5和DW10等产品。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-4.2 常用塑料外壳式自动开关

表 5-11 常用塑料外壳式自动开关主要技术数据

型号	额定电流(安)	过电流脱扣器范围(安)	通断能力 交流 电压(伏)	交流 电流有效值(千安)	交流 cosφ	直流 电压(伏)	直流 电流(千安)	直流 T(毫秒)	用途	备注
DZ10-100	100	15～20	380	7（峰值）	0.4	220	7		主要用于交直流电路中，作为开关板控制线路、照明线路的过载及短路保护，以及在正常操作条件下作为线路的不频繁接通和分断之用	可取代DZ3、DZ4系列等老产品
		25～50		9			9			
		60～100		12			12			
DZ10-250	250	100～250		30			20			
DZ10-600	600	200～600		50			25			
DZ5-10	10	0.5～10	220	1	0.7	220	1.2	10		可取代DZ1等老产品
DZ5-25	25	0.5～25	220	2						
DZ5-20	20	0.15～20	380	1.2						
DZ5-50	50	10～50	380	1.2						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-4.3 限流式自动开关

表5-12 限流式自动开关主要技术数据

结构型式	额定电流（安）	通断能力			用途
		电压（伏）	电流有效值（千安）	cosφ	
框架式	200	380	50	0.25	主要用作支路配电自动开关和电动机保护自动开关
	400		50	0.25	
	600		70	0.2	
塑料外壳式	100		30	0.35	
	200		40	0.3	
	400		50	0.25	
	600		60	0.25	

5-4.4 漏电开关

表5-13 漏电开关主要技术数据

额定电流（安）	过电流脱扣器范围（安）	通断能力			额定漏电动作电流（安）	额定漏电不动作电流（安）	漏电动作时间（秒）	说明
		电压（伏）	电流有效值（千安）	cosφ				
20	1～20	380	1.5	0.8	30,50	15,25	<0.1	实际为装有检漏保护元件的塑料外壳式自动开关
40	10～40		2		30,50	15,25		
60	10～60		2.5		50,100	25,50		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-5 交流接触器

表 5-14 交流接触器的主要技术数据

项目 / 型号	主触头			控制三相电动机的最大功率（千瓦）		吸引线圈			
	额定工作电压（伏）	额定工作电流（安）	极数	220（伏）	380（伏）	额定电压（伏）		交流吸引线圈消耗功率	
						交流	直流	起动（伏安）	吸持（瓦）
CJ10-5	380	5	3极	1.2	2.2	50赫：36、110、220、380	48、110、220	35	2
CJ10-10		10		2.2	4			65	5
CJ10-20		20		5.5	10			140	9
CJ10-40		40		11	20			230	12
CJ10-60		60		17	30	60赫：36、220、380、440		485	26
CJ10-100		100		30	50			760	27
CJ10-150		150		43	75			950	28
CJ^{12}_{12B}-100	380	100	2～5极		50	50赫：36、127、220、380		2～3极 920	22
								4～5极 1200	34
CJ^{12}_{12B}-150		150			75			2～3极 1450	30
								4～5极 1860	39
CJ^{12}_{12B}-250		250			125			2～3极 2100	45
								4～5极 2530	50
CJ^{12}_{12B}-400		400			200			2～3极 4180	85
								4～5极 5800	128
CJ^{12}_{12B}-600		600			300			2～3极 5600	70
								4～5极 9900	128

注：1. CJ10 可取代 CJ0、CJ8 等老产品；

2. CJ^{12}_{12B} 可取代 CJ1、CJ2、CJ3 等老产品。

5-6 起动器

5-6.1 电磁起动器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电磁起动器是供远距离直接控制三相鼠笼型异步电动机的起动、停止及可逆运转，具有失压和过载保护作用。电磁起动器的技术数据见表5-15。

表 5-15　QC10系列电磁起动器主要技术数据

型　号	额定电流（安）	所配交流接触器型号	所配热继电器（JR16系列）		可控鼠笼型电动机最大功率（千瓦）	
			热元件额定电流（安）	整定电流调节范围（安）	220（伏）	380（伏）
QC10-1	5	CJ10-5	0.35	0.25～0.3～0.35	1.2	2.2
			0.5	0.32～0.4～0.5		
			0.72	0.45～0.6～0.72		
			1.1	0.68～0.9～1.1		
			1.6	1～1.3～1.6		
			2.4	1.5～2～2.4		
			3.5	2.2～2.8～3.5		
			5	3.2～4～5		
QC10-2	10	CJ10-10	0.35	0.25～0.3～0.35	2.2	4
			0.5	0.32～0.4～0.5		
			0.72	0.45～0.6～0.72		
			1.1	0.68～0.9～1.1		
			1.6	1～1.3～1.6		
			2.4	1.5～2～2.4		
			3.5	2.2～2.8～3.5		
			5	3.2～4～5		
			7.2	4.5～6～7.2		
			11	6.8～9～11		
QC10-3	20	CJ10-20	11	6.8～9～11	5.5	10
			16	10～13～16		
			32	14～18～22		
QC10-4	40	CJ10-40	22	14～18～22	11	20
			32	20～26～32		
			45	28～36～45		
QC10-5	60	CJ10-60	45	28～36～45	17	30
			63	40～50～63		
QC10-6	100	CJ10-100	85	53～70～85	29	50
			120	75～100～120		
QC10-7	150	CJ10-150	120	75～100～120	47	75
			160	100～130～160		

注：QC10系列可取代 QC0、QC2、QC8、QC12、QC13等老产品。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-6.2 常用星三角起动器

表 5-16 常用星三角起动器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	额定电流（安）	可控制电动机最大功率（千瓦） 220（伏）	可控制电动机最大功率（千瓦） 380（伏）	热元件额定电流（安）	热元件整定电流调节范围（安）	时间继电器整定近似值（秒）	用途
QX2-13	500	12		13				主要作为感应电动机星三角换接起动及停止之用，自动式具有过载及失压保护
QX2-30		36		30				
QX3-13	500	12.5	7.5	13	11	6.8～11		
					16	10～16		
					22	14～22		
QX3-30		28	17	30	32	20～32		
					45	28～45		
QX4-17	380	26		13		15※	11	
		33		17		19※	13	
QX4-30		42.5		22		25※	15	
		58		30		34※	17	
QX4-55		77		40		45※	20	
		105		55		61※	24	
QX4-75		142		75		85※	30	
QX4-125		260		125		100～160※	14～60	

注：1. QX_2-13、QX_2-30 为手动式。

2. ※为近似值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-6.3 常用自耦减压起动器

表 5-17 常用自耦减压起动器主要技术数据

型号	额定电压（伏）	额定电流（安）	控制电动机功率（千瓦）	热继电器整定电流（安）	最大起动时间（秒）	用途
QJ3-10	380	22	10		30	用于三相异步电动机作为不频繁降压起动、停止用，有过载及失压保护
	220	22	4.5			
QJ3-14	380	30	14			
	220	30	7			
QJ3-20	380	43	20		40	
	220	43	10			
QJ3-28	380	59	28			
	220	59	14			
QJ3-40	380	86	40		60	
	220	86	20			
QJ3-55	380	120	55			
	220	120	28			
QJ3-75	380	145	75			
	220	145	40			
QJ01-14	380	28	14	28	120	
QJ01-20		40	20	40		
QJ01-28		56	28	56		
QJ01-40		80	40	80		
QJ01-55		110	55	110		
QJ01-75		142	75	142		
QJ01-100		200	100	3.2		
QJ01-115		230	115	3.8		
QJ01-135		270	135	2.2		
QJ01-190		370	190	3.1		
QJ01-225		410	225	2.5		
QJ01-260		475	260	3		
QJ01-300		535	300	3.5		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-7 控制继电器

5-7.1 交直流电流继电器

表5-18 JL14系列交直流电流继电器主要技术数据

型号	吸引线圈调节范围	释放电流调节范围	电压线圈(伏)	电流线圈(安)	触头数	用途	备注
JL14-□□Z JL14-□□ZS	70～300%I_e		交流380 直流440	1、1.5、2.5、5 10、15、25、40 60、100、150、300 600、1200、1500	二对，常开常闭可任意组合	在控制电路中作过电流或欠电流保护用	可取代JT3-L、JT4-L、JT4-S、JL3、JL3-J、JL3-S等老产品
JL14-□□ZQ	30～65%I_e	10%～20%I_e					
JL14-□□J JL14-□□JS	110～400%I_e			1、1.5、2.5、5、10、15 25、40、60、100、150 300、600、1200			
JL14-□□JG	110～400%I_e			1、1.5、2.5、5、10 15、25、40、60、100 150、300、600	一对，常开或常闭		

5-7.2 三相交流电磁继电器

三相交流电磁继电器主要用于带有较大飞轮惯量负荷的三相绕线型异步电动机的转矩调节。

表5-19 JT7三相交流电磁继电器主要技术数据

触头断开距离(毫米)	额定电流(安)	断开电流(安) 交流220伏及以下	触头数	返回系数	吸引线圈调整范围 在定子回路中	吸引线圈调整范围 在转子回路中
1 2 3 6.5	20	20	一常开 一常闭	在0.3～0.85范围内调整	0.9～1.2I_e	0.5～1.4I_e

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-7.3 电流继电器

电流继电器主要用于一次回路中作为电力传动系统过电流保护。

表 5-20 JL15系列电流继电器主要技术数据

型号	触头通断能力(安)交流380伏		触头数	动作电流调节范围	吸引线圈参数
	接通	分断			
JL15-□□/5	12	1.2	2常开 2常闭	80～300%I_e	交流电压线圈：380、440(伏)
JL15-□□/2	12	1.2	1常开 1常闭	120～400%I_e	

注：JL15可取代JL3、JL4、JL5、JL4-L等老产品。

5-7.4 常用中间继电器

常用中间继电器主要用于增大被控制线路的数量及容许的断开容量。

表 5-21 常用中间继电器主要技术数据

型号	触头参数						操作频率(次/小时)	线圈消耗功率(伏安)	动作时间(秒)	线圈电压(伏)
	常开	常闭	电压(伏)	电流(安)	分断电流(安)	闭合电流(安)				交流
JZ7-44	4	4	380	5	2.5	13	1200	12		12,24,36,48,110,127,220,380,420,440,500
JZ7-62	6	2	220	5	3.5	18				
JZ7-80	8	0	127	5	4	20				
JZ8-□□$\frac{J}{Z}$/□	6开2闭		交流500	5	1	10	2000	10	0.05	110,127,220,380
JZ8-□□$\frac{J}{Z}$S/□	4开4闭		交流380		1.2	12				

注：JZ7、JZ8可取代JZ1等老产品。

5-7.5 常用时间继电器

常用时间继电器主要用于交流电力拖动自动控制系统中，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

作为异步电动机和同步电动机起动的延时及其他直流控制设备中。

表 5-22　常用时间继电器主要技术数据

产品型号	触头参数				吸引线圈		动作值或整定值
	数量	组合方式	额定电流(安)	通断能力(交流380伏)	电压(交流)(伏)	消耗功率(瓦)	
JS11电动式时间继电器	5	接通延时3分2合	5	接通3安 分断0.3安	110、127、220、380	4	(1)延时范围：0~8秒，0~40秒，0~4分，0~20分，0~2小时 0~12小时，0~72小时 (2)整定误差及重复误差不大于±1% (3)延回时间小于0.2秒
	5	断电延时3分2合					
	2	不延时1分1合					
JS20晶体管式时间继电器	1或2	通电延时1或2 断电延时2		带瞬动触头 7.5安（电阻负载） 3安(电感负载) 不带瞬动触头 2安(电阻负载) 1安(电感负载)	工作电压36、110、220、380	1.5(继电器)	(1)延时范围：0.1~180秒，0.1~300秒，0.1~3600秒 (2)重复延时(动作延时)误差<±3% (3)延时稳定性误差<±10%
JS7-A空气式时间继电器	2	1常分1常合	5	交流380伏： 接通3安 分断0.3安	电压线圈24、36、110、127、220、380、420	8	(1)延时范围：0.4~60秒，0.4~180秒 (2)重复误差≤15% (3)延时稳定性误差≤20%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-7.6 常用热继电器

表 5-23 常用热继电器主要技术数据

型号	额定电流(安)	热元件等级		用途	备注
		热元件额定电流(安)	电流调节范围(安)		
JR14-20/2 JR14-20/3 JR14-20/D JR16-20/3 JR16-20/3D	20	0.35	0.25～0.35	主要作为长期工作制或间断长期工作制的一般交流电动机的过载保护。常与交流接触器组合成磁力起动器	可取代JR0、JR15等产品
		0.5	0.32～0.5		
		0.72	0.45～0.72		
		1.1	0.68～1.1		
		1.6	1～1.6		
		2.4	1.5～2.4		
		3.5	2.2～3.5		
		5	3.2～5		
		7.2	4.5～7.2		
		11	6.8～11		
		16	10～16		
		22	14～22		
JR16-60/3 JR16-60/3D	60	22	14～22		
		32	20～32		
		45	28～45		
		63	40～63		
JR16-150/3 JR16-150/3D	150	63	40～63		
		85	53～85		
		120	75～120		
		160	100～160		
JR14-150/2 JR14-150/3 JR14-150/D	150	100	64～100		
		150	96～150		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-8 主令电器

5-8.1 常用微动开关

表 5-24 常用微动开关的主要技术数据

型号	型式	额定电压(伏)	额定电流(安)	工作压力(公斤)	工作行程(毫米)	触头数量 常开	触头数量 常闭	用途
JW-11	基型	交流380	3	0.15～0.35	0.8～1.2	1	1	主要用于操作频率不超过1200次/小时的场合，将机械信号转换为电气信号以便通断控制电路
JWL1-11	带轮			0.2 ～0.4	0.8～1.2	1	1	
JWL2-11	带轮			0.04～0.08	4.3～6.8	1	1	
JWL2-22	带轮，二个基型			0.08～0.16	4.3～6.8	2	2	
JLXW5-11	单断点	交流380	3	0.01～0.04	0.5～1.5	1	1	
JLXW5-11D1	单断点			0.02～0.06	3～9	1	1	
JLXW5-11D2	单断点			0.03～0.12	3.5～10	1	1	
JLXW5-22S	双断点			0.08～0.25	3～9	1	1	
JXW-11	半开启式	交流500	5	≥0.5	≥1.5	1	1	
JLXS3	双断点	交流500	5	0.25～0.5	1.5	1	1	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-8.2 常用控制按钮

表 5-25 常用控制按钮主要技术数据

型号	规格	按钮		接通电流(安)	分断电流(安)	cosφ	操作频率(次/小时)	用途	备注
		钮数	颜色						
LA18-22	500伏 5安	1	红、绿、黑、白	5	0.5	0.4	1200	主要用于远距离操作接触器、继电器电磁线圈的信号灯和电气联锁回路中	可取代LA1、LA2、LA4～6、LA10、LA12、等老产品
LA18-44			红、绿、黑、白						
LA18-66			红 绿、黑、白						
LA18-22J			红						
LA18-22Y			—						
LA18-66Y			—						
LA18-22X			黑						
LA18-44X			黑						
LA18-66X			黑						
LA18-44J			红						
LA18-66J			红						
LA19-11			红、黄、蓝、白、绿						
LA19-11J			红						
LA19-11D			红、黄、蓝、白、绿						
LA19-11JD			红						
LA19-11HD			—						
LA19-11H			—						
LA20-11D	380伏 5安	1	红、黄、蓝、白、绿						
LA20-11DJ		1	红						
JLA20-22D		2	红、黄、蓝、白、绿						
LA20-22DJ		2	红						
LA20-22K		2	黑红、绿红						
LA20-33K		3	黑、绿、红						
LA20-22H		2	黑红、绿红						
LA20-33H		3	黑、绿、红						

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-8.3 常用行程开关

表 5-26 常用行程开关主要技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	结构型式	触头数 常开	触头数 常闭	行程	动作力(公斤)	用途
X2	交流380	2			2	≤8毫米	≤1.5	主要将机械信号转换为电气信号，以通断控制电路或作为行程限位之用。其中LX22系列可取代LX4系列等老产品
X2-N						≤7毫米	≤1.5	
LX19K	交流380	5	元件	1	1	3毫米		
LX19-111			单轮			约30°		
LX19-121			单轮			约30°		
LX19-131			单轮			约30°		
LX19-212			双轮			约30°		
LX19-222			双轮			约30°		
LX19-232			双轮			约30°		
LX19-001			无滚轮			4毫米		
LX22-1	交流380 直流220	20	带有滚子的垂直操作臂					
LX22-2			带有滚子的叉形操作臂					
LX22-3			蜗杆蜗轮传动					
LX22-4			用三叉臂操作带有定位装置					
LX22-6			用带滚子的双臂操作					

5-8.4 常用万能转换开关

万能转换开关主要用于高压油断路器、空气断路器等操作机构的分合闸、线路的换接和换向测量及小电动机的起动调速。其技术数据见表5-27。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-27 常用万能转换开关主要技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	双断点触头技术数据												操作频率(次/小时)
			交流						直流						
			接通			分断			接通			分断			
			电压(伏)	电流(安)	cosφ	电压(伏)	电流(安)	cosφ	电压(伏)	电流(安)	T(毫秒)	电压(伏)	电流(安)	T(毫秒)	
LW5	交直流500	15	24		0.3～0.4	24		0.3～0.4	24	20	60～66	24	20	60～66	120
			48			48			48	15		48	15		
			110	30		110	30		110	2.5		110	2.5		
			220	20		220	20		220	1.25		220	1.25		
			380	15		380	15		380			380			
			440			440			440	0.5		440	0.5		
			500	10		500	10		500	0.35		500	0.35		
LW6	交流380直流220	5	380	5		380	0.5		220	0.2	50～100	220	0.2	50～100	

注：LW5可取代LW1、LW4、HZ3等老产品。

5-8.5 常用主令控制器

表 5-28 常用主令控制器主要技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	位置数	控制回路数	操作力(公斤)	操作频率(次/小时)	交流分断能力				用途
							电压(伏)	cosφ	接通电流(安)	分断电流(安)	
LK14	交流500	15	6	6～12	4～5	600	500	0.35	100	15	主要用于电气传动装置，以便联锁、转换控制线圈
LK15		10			3～4	700					
LK16		10			3.5	1200	380			10	

注：可取代LK1系列。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-9 常用电阻器

表 5-29 常用电阻器的主要技术数据

型号	额定电阻值（欧）	额定电流值（安）	工作制			额定功率（千瓦）	用途
			长期工作制	反复短时工作制	短时工作制		
ZX	0.1～7.4	215～24	适用				主要供电动机起动、制动与调节转速之用
ZX1	0.005～0.28	215～20		每周期通电时间：5、15、30、60、120秒 通电持续率：4.4%、6.25%、25%、35%	5、10、15、20、30秒	4.6	
ZX2	0.2～260	43～1.2		每周期通电时间：5、15、30秒 通电持续率：6.25%、12.5%、25%、35%	3、5、8、10、15秒	3.5	
ZX15	0.1～11	215～20		通电持续率：6.25%、12.5%、17.7%、25%、35%、50%	15、30、60、180秒	4.6	

5-10 电磁铁

5-10.1 牵引电磁铁

表 5-30 MQ2 系列牵引电磁铁技术数据

型号	额定吸力（公斤）	额定行程（毫米）	额定电压（伏）	操作频率（次/小时）	衔铁重量（公斤）	用途	备注
MQ2-0.7	0.7	10		600	0.15	主要用于自动控制设备中，作为开启或关闭水压、油压、气压等阀门以及牵引其他机械装置，达到遥控的目的	仅有拉动式
MQ2-1.5	1.5	20		600	0.2		有拉动式和推动式
MQ2-3	3	25	127	600	0.25		有拉动式和推动式
MQ2-5	5	25	220	400	0.35		有拉动式和推动式
MQ2-8	8	25	380	400	0.35		有拉动式和推动式
MQ2-15	15	50		200	1.6		仅有拉动式
MQ2-25	25	80		200	3		仅有拉动式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-10.2 单相制动电磁铁

表 5-31 MZD1 系列单相制动电磁铁技术数据

型号	额定电压（伏）	电磁铁的转矩（公斤·厘米） 通电持续率 40%	通电持续率 100%	衔铁重力矩（公斤·厘米）	回转角（度）	额定回转角度下制动杆的位移（毫米）	用途
MZD1-100	220	55	30	5	7.5	3	一般与瓦式制动架配合使用，在电气传动装置中，对电动机进行机械制动，以达到准确停车
MZD1-200	380	400	200	36	5.5	3.8	
MZD1-300	500	1000	400	92	5.5	4.4	

5-10.3 三相制动电磁铁

表5-32 MZS1系列三相制动电磁铁技术数据

型号	视在功率（伏安） 吸合瞬间	视在功率（伏安） 吸持时	吸持消耗功率（瓦）	电磁吸力（包括衔铁重量）（公斤）	衔铁重量（公斤）	衔铁额定行程（毫米）	用途
MZS1-6	2700	330	70	8	2	20	同表5-31
MZS1-7	7700	500	90	10	2.8	40	
MZS1-15	14000	750	150	20	4.5	50	
MZS1-25B	23000	750	200	35	11.2	50	
MZS1-45C	33000	2100	530	56.6	11.2	50	
MZS1-80	96000	3500	760	115	33	60	
MZS1-100	120000	5500	1000	140	42	80	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-10.4 常用起重电磁铁

表 5-33 常用起重电磁铁技术数据

型号	起重能力（公斤）				额定电压（伏）	热态电流（安）	使用发电机功率（千瓦）	通电持续率
	钢板或钢块	废钢或废铁	生铁锭	钢屑				
MW1-6	6000	180	200	80	直流 220	8.85	3.5	50%
MW1-16	16000	500	600	200		26.8	11	
MW1-45	45000	1800	1800	600		80（冷态）		
MW2-5	两台共有起重能力5000公斤（钢轨）					25	8.5	
MW2-7	＞7000公斤（钢轨）				直流 510	14.8（冷态）		
MW3-1600	＞600公斤				直流 190	26.8		

5-10.5 常用电磁离合器

表 5-34 常用电磁离合器技术数据

型号	线圈电压（伏）	额定动力矩（公斤·米）	线圈功率（瓦）	最大转速（转/分）	用途
MLM0-2.5	直流24	＞2.5	14	3000	主要用于直流额定电压为24伏的电路中，在不使旋转中断的条件下，用来连接运动链，广泛用于机床、纺织、化工等部门，以提高机械化和自动化水平
MLM0-6.3		＞6.3	20	3000	
MLM0-16		＞16	26	1500	
MLM0-40		＞40	52	1500	
DLM2-10		10	36		
DLM2-16		16	41		
DLM2-40		40	47		
DLM3-1.3		1.3	12.5		
DLM3-2.5		2.5	16		
DLM3-5		5	28		
DLM3-10		10	31		
DLM3-16		16	50		
DLM3-25		25	59		
DLM3-40		40	68		
DLM3-60		60	80		
JDYH-1.3		1.3	8	100	
JDYH-5		5	15	60	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-11 控 制 器

5-11.1 常用凸轮控制器

表 5-35 常用凸轮控制器技术数据

型号	位置数 向前	位置数 向后	额定电压(伏)	额定电流(安)	380伏时控制电动机功率(千瓦)	操作频率(次/小时)	操作力(公斤)	用途	备注
KT10-25	5	5	380	25	11	600	5	主要作起重机及其他类型的交流电动机起动、调速和换向用	可取代KTJ1、KTJ2、KGJ1等老产品
	1	1			5				
	5	5			2×5				
KT10-60	5	5		60	30		5		
	1	1			16				
	5	5			2×11				
KT12-25	5	5		25	16				
	1	1			11				
	5	5			2×7.5				

5-11.2 平面控制器

表 5-36 KP5 平面控制器技术数据

型号	额定电压(伏)	额定电流(安)	回路数	级数	横梁移动速度(毫米/秒)	用途
KP5A1	440	10	2	20, 40, 80, 240	6, 12, 24, 48	主要用于远距离或自动调整电力拖动控制线路
KP5B1			4			
			6			
KP5A2		25	1	40, 54, 70, 80, 90, 160	6, 12, 24, 48	
KP5B2			2			
			3			

注：型号"A"表示有控制设备；型号"B"表示不带控制设备。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5-12 信 号 灯

信号灯主要有XD系列和XDX系列(小型)，可取代ZSD系列及其他老产品。

表5-37 信号灯主要技术数据

信号灯型号	白炽灯			用途	灯罩颜色
	额定电压(伏)	功率(瓦)	灯头型号		
XD0-6.3, XD1-6.3	6.3	1	E10/13	交直流电压6.3或12伏的线路作指示信号用	红、黄、蓝、绿、乳白、无色
XD0-12 , XD1-12	12	1.2			
XD2-24	24	8	E14/25-2	交直流电压220伏及以下，低压配电屏上作指示信号用	
XD2-48	48	8			
XD2-110	110	8			
XD2-127	127	8			
XD2-220	220	15			
XD5-24 , XD6-24	12	1.2	E10/13	交直流电压220伏及以下回路中作各种指示信号用	
XD5-48 , XD6-48	12	1.2			
XD5-110, XD6-110	12	1.2			
XD5-220, XD6-220	12	1.2			
XD5-380, XD6-380	24	1.5			
XD7-24 , XD8-24	12	1.2	E10/13	交流电压380伏及以下的线路中作指示信号用	
XD7-36 , XD8-36					
XD7-48 , XD8-48					
XD7-110, XD8-110					
XD7-127, XD8-127					
XD7-220, XD8-220					
XD7-380, XD8-380					
XD9-24 , XD10-24	24	8	E14/25-2	交直流电压220伏及以下的线路中，作各种电气设备的指示信号用	
XD9-48 , XD10-48	48	8			
XD9-110, XD10-110	110	8			
XD9-220, XD10-220	220	15			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

信号灯型号	白炽灯			用途	灯罩颜色
	额定电压(伏)	功率(瓦)	灯头型号		
XD11-6.3，XD12-6.3	6.3	1	E10/13	交直流电压6.3或12伏线路中作指示信号用	红、绿、黄、白、蓝、无色
XD11-12，XD12-12	12	1.2			
XDK1 XDX2	WZ微型指示灯 XZ小型指示灯			交直流电压24伏，36伏线路中，作各种电气设备指示信号用	

5-13 低压电器常见故障及维修

5-13.1 自动开关常见故障及解决方法

表5-38 自动开关常见故障及解决方法

故障现象	可能原因	解决方法
手动操作自动开关，触头不能闭合	1.失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.机构不能复位再扣	1.加上电压或更换线圈 2.更换贮能弹簧 3.重新调整 4.调整脱扣器至规定值
电动操作自动开关，触头不能闭合	1.操作电源电压不符 2.电磁铁拉杆行程不够 3.电动机操作定位开关失灵 4.控制器中整流管或电容器损坏 5.电源容量不够	1.更换电源 2.重新调整或更换拉杆 3.重新调整 4.更换 5.更换操作电源
有一相触头不能闭合	1.一般自动开关的一相连杆断裂 2.限流开关斥开机构的可折连杆之间的角度变大	1.更换连杆 2.调整至170°

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	解决方法
分励脱扣器不能使自动开关分断	1.线圈短路 2.电源电压太低 3.脱扣器整定值太大 4.螺丝松动	1.更换线圈 2.更换电源电压，或升高 3.重新调整脱扣面 4.拧紧
失压脱扣器不能使自动开关分断	1.反力弹簧变小 2.若系储能释放，则储能弹簧变小 3.机构卡死	1.调整反力弹簧 2.调整储能弹簧 3.消除卡死原因
起动电动机时自动开关立即分断	过电流脱扣器瞬动整定电流太小	1.调整过电流脱扣器瞬动整定弹簧 2.若是空气式脱扣器，则可能阀门失灵或橡皮膜破裂
自动开关在工作一段时间后分断	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件变质	1.重新调整 2.更换
失压脱扣器噪音	1.反力弹簧力太大 2.铁心工作面有污 3.短路环断裂	1.重新调整 2.清除油污 3.更换衔铁或铁心
自动开关温升过高	1.触头压力过分降低 2.触头表面过分磨损或接触表面过分变坏 3.二个导电零件连接处螺丝松动	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自动开关 3.拧紧
辅助触头不通	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

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	解决方法
带半导体过电流脱扣器误动作使自动开关断开	在仔细寻找故障，确认半导体脱扣本身无故障后，在大多数情况可能是别的电器动作，产生巨大的电磁场脉冲，错误触发半导体脱扣器	在这种情况下则需仔细寻找出引起错误触发的原因，例如大型电磁铁的分断，接触器的分断，电焊设备等。找出错误触发源后，应予隔离，或更换线路

5-13.2 磁力起动器、接触器、电磁继电器等的常见故障及解决方法

表 5-39 磁力起动器、接触器、电磁继电器常见故障及解决方法

故障现象	可能原因	处理方法
吸不上或吸不足（即触头已闭合而铁心尚未完全吸合）	1.电源电压过低或波动过大 2.操作回路电源容量不足，或发生断线、配线错误及控制触头接触不良 3.线圈技术参数与使用条件不符 4.产品本身受损(如线圈断线或烧毁、机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜等) 5.触头弹簧压力、反力弹簧力和超程过大	1.调高电源电压 2.增加电源容量,更换线路，修理控制触头 3.更换线圈 4.更换线圈,排除卡住故障，修理受损零件 5.按要求调整触头参数及弹簧压力
断不开或释放缓慢	1.触头弹簧压力过小 2.触头熔焊 3.机械可动部分被卡住，转轴生锈或歪斜 4.反力弹簧损坏 5.铁心极面有油污或尘埃粘着	1.调整触头参数 2.排除熔焊故障，修理或更换触头 3.排除卡住现象，修理受损零件 4.更换反力弹簧 5.清理铁心极面

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	处理方法
	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。新产品也可能由于非磁性垫片太薄，或铁心本身的材料与加工问题而引起剩磁不释放	6.更换铁心或加厚垫片
线圈过热或烧损	1.电源电压过高或过低，或因短路故障引起系统电压降低，使铁心不能完全吸合	1.调整电源电压，并排除引起短路或电压过低的故障
	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
	4.线圈制造不良，或由于机械损伤，绝缘损坏等	4.更换线圈，排除引起线圈机械损伤的故障
	5.空气潮湿或含有腐蚀性气体	5.改用特种绝缘的线圈和产品，采取防潮、防蚀措施
电磁铁(交流)噪音大	1.电源电压过低	1.提高操作回路电压
	2.触头弹簧压力过大	2.调整触头弹簧压力
	3.磁系统歪斜，或机械上卡住，使铁心不能吸平	3.排除机械卡住故障
	4.极面生锈，或因异物(如油垢、尘埃)吸入铁心极面	4.清理铁心极面
	5.短路环(交流)断裂	5.调换铁心或焊接短路环
	6.铁心极面磨损过度而不平	6.更换铁心
触头熔焊	1.操作频率过高，或产品过负载使用	1.选用合适的接触器
	2.负载侧短路	2.排除短路故障，更换触头
	3.触头弹簧压力过小	3.调整触头弹簧压力
	4.触头表面有金属颗粒突起或异物	4.清理触头表面

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	处理方法
	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	5. 提高操作电源电压，排除机械卡住故障，使接触器动作顺利，吸合可靠
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，或电流过大，触头的断开容量不够 6.触头的超行程太小	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.选用容量大的接触器 6.调整触头超行程，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) 反接制动场合 (2) 有较多点动场合 (3) 操作频率过高场合 2.三相触头动作不同步 3.负载侧短路	1.接触器降容使用，或改用适宜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，使绝缘变坏 3.产品损坏(如灭弧罩碎裂)	1.加装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.更换损坏零件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	处理方法
触头不导通	1.触头开距太大，无超程 2.触点脱落 3.触头不清洁 4.运动部分卡住	1.调整触头参数 2.更换触头 3.清理触头 4.排除卡住现象

5-14 常用低压电器线圈数据及换算公式

表 5-40 常用低压电器线圈数据

名称	型号	线圈电压(伏)	线径(毫米)	匝数	电阻(欧)	备注
交流接触器	CJ0-10	交流 380	Φ0.09	8750	1860	
	CJ0-20	交流 380	Φ0.16	5510	520	
	CJ0-40	交流 380	Φ0.23	3762	275	
	CJ0-75	交流 380	Φ0.35	2090	65.5	
		直流 220	Φ0.29	1220	52	
	CJ1-75A	交流 380	Φ0.31	2440	94	与CJ2-75，CJ4-75 通用
		直流 220	Φ0.35	3000	98	与CJ2-75，CJ4-75 通用
	CJ1-150A/150B	交流 380	Φ0.44	1930	39	
		交流 380	Φ0.44	1470	28	属加强线圈
		直流 220	Φ0.35	3000	98	
	CJ1-300A/300B	交流 380	Φ0.96	1120	6.4	
		交流 380	Φ1	860	3.34	属加强线圈
		直流 220	Φ0.44	3700	94	
	CJ1-600A/600B	交流 380	Φ1.81(双纱)	400	1.035	
		交流 380	Φ1.81(双纱)	350	0.906	属加强线圈
		直流 220	Φ0.74	2100	31.1	
	CJ2-150	交流 380	Φ0.62	1313	15.9	
		交流 380	Φ0.62	1150	13.8	属加强线圈
		直流 220	Φ0.41	3700	110	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	型号	线圈电压（伏）	线径（毫米）	匝数	电阻（欧）	备注
交流接触器	CJ2-300	交流 380	Φ 1（双纱）	730	4.5	
		交流 380	Φ 1（双纱）	624	3.85	锅加强线圈
		直流 220	Φ0.59	2900	52.7	
	CJ3-300	直流 220	Φ0.29	2100	1080	
	CJ10-5	交流 380	Φ0.08	11000		
	CJ10-10	交流 380	Φ0.09	8750		
	CJ10-20	交流 380	Φ0.16	5660		
	CJ10-40	交流 380	Φ0.18	3600		
	CJ10-60	交流 380	Φ0.35	1960		
	CJ10-100	交流 380	Φ0.38	1570		
	CJ10-150	交流 380	Φ0.51	1230		
	CJ12-100	交流 380	Φ0.44	1980		二极或三极
		交流 380	Φ0.49	1755		四极或五极
	CJ12-150	交流 380	Φ0.49	1250		二极或三极
		交流 380	Φ0.57	1100		四极或五极
	CJ12-250	交流 380	Φ0.72	950		二极或三极
		交流 380	Φ0.8	805		四极或五极
	CJ12-400	交流 380	Φ1	675		二极或三极
		交流 380	Φ1.2	585		四极或五极
	CJ12-600	交流 380	Φ1.12	505		二极或三极
		交流 380	Φ1.45	415		四极或五极
直流接触器	CZ0-40/20	直流 220	Φ0.16	23000	2560	
	CZ0-40/02	直流 220	Φ0.18	21900	2050	
	CZ0-100/10	直流 220	Φ0.17	20400	1975	
	CZ0-100/20	直流 220	Φ0.2	20900	1610	
	CZ0-100/01	直流 220	Ⅰ Φ0.23	5900	274	
			Ⅱ Φ0.15	12060	1790	
	CZ0-150/10	直流 220	Φ0.2	20800	1610	
	CZ0-150/20	直流 220	Φ0.25	20450	1195	
	CZ0-150/01	直流 220	Ⅰ Φ0.31	5500	156	
			Ⅱ Φ0.18	17200	1826	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	型号	线圈电压(伏)	线径(毫米)	匝数	电阻(欧)	备注
	CZ0-250/10	直流 220	Ⅰ ϕ0.27	5000	220	
			Ⅱ ϕ0.18	10800	1306	
	CZ0-250/20	直流 220	Ⅰ ϕ0.35	5600	166	
			Ⅱ ϕ0.21	9700	1020	
	CZ0-400/10	直流 220	Ⅰ ϕ0.29	3500	141	
			Ⅱ ϕ0.21	16500	1615	
	CZ0-400/20	直流 220	Ⅰ ϕ0.38	4000	112	
			Ⅱ ϕ0.25	14000	1150	
	CZ0-600/10	直流 220	Ⅰ ϕ0.35	5000	166	
			Ⅱ ϕ0.23	12500	1200	
	CZ16-1000/10	直流 220	Ⅰ ϕ0.41	4000	97.7	
			Ⅱ ϕ0.25	14000	118	
	CZ16-1500/10	直流 220	Ⅰ ϕ0.38	5000	130	
			Ⅱ ϕ0.21	10000	1080	
继	JT3/1	直流 220	ϕ0.18	23000	2240	电磁继电器
	JT3/3	直流 220	ϕ0.12	12500	2650	电磁继电器
	JT3/5	直流 220	ϕ0.12	12500	2650	电磁继电器
	JT4-P	交流 380	ϕ0.29	3200	120	零电压继电器
电	JT4-A	交流 380	ϕ0.29	3200	120	过电压继电器
	交流电磁继电器	交流40安	ϕ3.8	15		电流线圈
	JS3	直流 220	ϕ0.18	11000	1505	时间继电器
器	522型电压继电器	直流 220	ϕ0.06	28000	13650	
		交流 380	ϕ0.06	21900	10000	
牵	MQ1-5101/6101	交流 380	ϕ0.23	2800		JC=100%
引	MQ1-5102/6102	交流 380	ϕ0.25	2240		JC=10%
电	MQ1-5111/6111	交流 380	ϕ0.31	2000		JC=100%
磁	MQ1-5112/6112	交流 380	ϕ0.38	1350		JC=10%
铁	MQ1-5121/6121	交流 380	ϕ0.44	1390		JC=100%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	型号	线圈电压(伏)	线径(毫米)	匝数	电阻(欧)	备注
	MQ1-$\frac{5122}{6122}$	交流 380	Φ0.5	1050		JC = 10 %
	MQ1-$\frac{5131}{6131}$	交流 380	Φ0.51	1020		JC = 100%
	MQ1-$\frac{5132}{6132}$	交流 380	Φ0.62	700		JC = 10 %
	MQ1-$\frac{5141}{6141}$	交流 380	Φ1	705		JC = 100%
制动电磁铁	MZD1-100	交流 380	Φ0.49	1165	28.1	JC = 40 %
		交流 380	Φ0.44	1500	45.1	JC = 100%
	MZD1-200	交流 380	Φ1.25	460	2.61	JC = 40 %
		交流 380	Φ1.12	604	4.38	JC = 100%
	MZD1-300	交流 380	Φ2.26	295	0.688	JC = 40 %
		交流 380	1.81×2.63	336	0.7	JC = 100%

表 5-41 线圈换算公式

线圈种类	变化参数	保持条件	参数变化比	匝数比 N/N_m	圆线直径比 d/d_m	扁线截面比 q/q_m	电阻比 R/R_m	电流比 I/I_m
直流电压线圈	U	$F=F_m$ $\theta=\theta_m$ $f=f_m$	$\frac{U}{U_m}=a$	a	$a^{-\frac{1}{2}}$	a^{-1}	a^2	a^{-1}
	JC	$U=U_m$ $\theta=\theta_m$ $f=f_m$	$\frac{JC}{JC_m}=a$	$a^{-\frac{1}{2}}$	$a^{\frac{1}{4}}$	$a^{\frac{1}{2}}$	a^{-1}	a
直流电流线圈	JC	$I=I_m$ $\theta=\theta_m$ $f=f_m$	$\frac{JC}{JC_m}=a$	$a^{-\frac{1}{2}}$	$a^{\frac{1}{4}}$	$a^{\frac{1}{2}}$	a^{-1}	a^0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

线圈种类	变化参数	保持条件	参数变化比	匝数比 N/N_m	圆线直径比 d/d_m	扁线截面比 q/q_m	电阻比 R/R_m	电流比 I/I_m
直流电流线圈	I	$F=F_m$ $f=f_m$	$\frac{I}{I_m}=a$	a^{-1}	$a^{\frac{1}{2}}$	a	a^{-2}	a
交流电流线圈	I	$F=F_m$ $f=f_m$	$\frac{I}{I_m}=a$	a^{-1}	$a^{\frac{1}{2}}$	a	a^{-2}	a
交流电压线圈	f	$U=U_m$ $\theta=\theta_m$ $f=f_m$	$\frac{f}{f_m}=a$	a^{-1}	$a^{\frac{1}{2}}$	a	a^{-2}	a
	U	$F=F_m$ $f=f_m$	$\frac{U}{U_m}=a$	a	$a^{-\frac{1}{2}}$	a^{-1}	a^{0}	a^{-1}

注：I ——线圈电流；　N——线圈匝数；
U ——线圈电压；　f ——电源频率；
F ——电磁吸力；　d ——导线直径；
R ——线圈电阻；　θ ——线圈温升；
JC——通电持续率。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第六章　配电线路及照明

6-1　高压配电系统示意图

中小型工矿企业典型供电系统的高压配电所及低压配电所主接线如图 6-1 所示。它表明了高压供电系统电力设备相互间的连接顺序。对于供电可靠性要求较高的厂矿，电源进线需要两路：一为架空进线；一为电缆进线，都是经过高压断路器及其前后高压隔离开关与高压母线相联。这两路进线一般来自不同的电源，因此可靠性大大提高。对于供电可靠性要求不高或小型工厂可以一路进线，经跌落式熔断器和负荷开关进线到变压器。这种配电所的母线是采用隔离开关(或断路器)分断的单母线制。为了保证变配电设备在雷雨季节运行安全，通常在高压侧装有阀型避雷器。为了供测量和继电保护用，还装有电压、电流互感器。

6-2　高压配电设备

6-2.1　高压配电设备的选择

高压配电设备的选择，通常称为电器的配套。配套工作要求在保证人身和电器安全可靠的前提下，力求节约，选得适当。主要根据工作电压、工作电流及断流容量来选择。即：

额定电压≥工作电压；

额定电流≥工作电流。

断路器和熔断器的选择，除了满足上述两条原则外，还应使额定断路容量大于或等于短路容量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

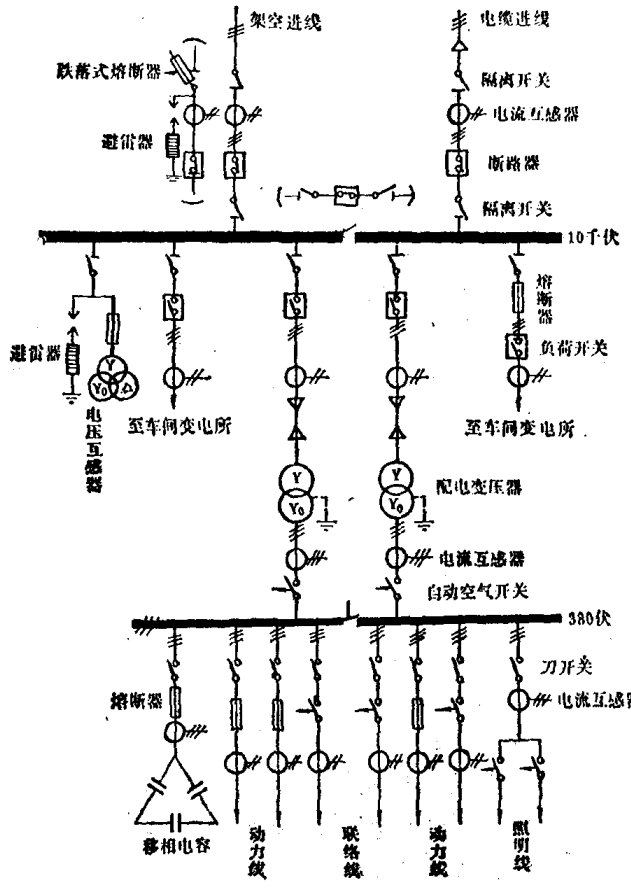


图 6-1　高压配电示意图(高压配电所及低压配电所一次线路图)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-2.2 高压配电系统的操作及注意事项

每个高压配电系统都有自己特定的操作程序和注意事项，这里只作一般性介绍。

(1) 高压电气设备的操作人员必须确切掌握变(配)电系统的接线情况、重要设备的性能及操作方法，事故照明的配置情况及使用操作方法。

(2) 送电前后均需按规定检查某些电气设备，测量绝缘电阻。

(3) 操作人员不准口头约定停电或送电，必须有“工作票”，并严格按“工作票”的程序进行操作。

(4) 高压电气设备的操作，必须由二人进行，其中一人负责监护。操作完毕后应有相应的指示信号或挂好指示牌。

(5) 操作人员应按电气设备电压等级穿戴好绝缘保护用品，按操作要领进行操作。

(6) 如无特殊装置的绝缘棒和绝缘夹及必要的防护措施，则不准雷雨天或潮湿天气在室外操作。

(7) 使用500伏以上验电器时，必须穿戴好绝缘防护用品。在强烈日光下验电时，验电器须装有特殊的管型灯罩。

(8) 高、低压设备不论带电与否，未经许可，任何人不准单独移开遮栏或越过遮栏及警戒线进行操作和巡视。

(9) 巡视和检查高压配电系统线路时，不能未弄清情况，就攀登电气设备或扳动操作机构。

(10)如设备发生异常情况，值班人员应迅速判明情况，按规程切除有关电源，切勿乱拉闸，以免事故扩大。

6-3 高压电器技术数据

6-3.1 高压熔断器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-1　10 千伏及以下的部分高压熔断器的技术数据

型　　号	额定电压（千伏）	额定电流（安）	最大切断电流（千安）（有效值）	最小切断电流（额定电流倍数）	最大切断容量（三相不小于）（兆伏安）
RN1-3	3	20 100 200	40	不规定 1.3	200
RN1-6	6	20 75 100 200	20	不规定 1.3	200
RN1-10	10	20 50 100 150 200	12	不规定 1.3	200
RN2-10	3 6 10	0.5	100 85 50	一分钟内的熔断电流为0.6～1.8（安）	500 1000 1000
RN3-6	6	2～20	20		600
RN3-10	10		12		
RN4-10	3 6 10	0.5	100 85 50	一分钟内的熔断电流0.6～1.8（安）	500 1000 1400

注：1. RN1型户内高压熔断器用于交流高压电力线路及设备的过载和短路保护，它可配熔断体的额定电流，等级分别为：2，3，5，7.5，10，15，20，30，40，50，75，100，150安。

2. RN2，RN4型熔断器供交流电压互感器短路保护用，在短路电流达到最大值之前，熔断器即将线路切断。RN4体积较小。

3. RN3型户内高压限流熔断器用于电力线路的过载及短路保护。这种熔断器具有较大的切断能力，可保护电力系统分出的支线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-3.2 高压隔离开关

表 6-2 高压隔离开关技术数据

型号	额定电压(千伏)	额定电流(安)	动稳定校验		热稳定校验				
			极限通过电流(千安)		容许通过短路稳态电流(千安)				
			峰值	有效值	0.5～1(秒)	2(秒)	3(秒)	3.5(秒)	5(秒)
GW1-6/200	6	200	15	9	9	9	9	8.5	7
GW1-6/400		400	25	15	15	15	15	15	14
GW1-6/600		600	35	21	21	21	21	21	20
GW1-10/200	10	200	15	9	9	9	9	8.5	7
GW1-10/400		400	25	15	15	15	15	15	14
GW1-10/600		600	35	21	21	21	21	21	20
GN2-6/400	6	400	45	27	27	22.4	18.2	16.9	
GN2-6/600		600	60	43	43	32.5	26.4	24.5	
GN2-10/400	10	400	45	27	27	22.4	18.2	16.9	
GN2-10/600		600	60	43	43	32.5	26.4	24.5	
GN2-10/1000		1000	80	50	50		50	48.1	
GN2-10/2000		2000	85	50	50		50	50	
GN2-10/3000		3000	100	60	60		60	60	
GN6-6/200	6	200	25	14.5	14.5	11.2	9.1	8.4	
GN6-6/400		400	50	29	29	22.4	18.3	16.9	
GN6-6/600		600	60	35	35	32.5	26.4	24.5	
GN6-10/200	10	200	25	14.5	14.5	11.2	9.1	8.4	
GN6-10/400		400	50	29	29	22.4	18.3	16.9	
GN6-10/600		600	60	35	35	32.5	26.4	24.5	
GN6-10/1000		1000	120	70	70	64	52	48	
GN10-10T/3000	10	3000	160	90					70
GN10-10T/4000		4000	160	90					85
GN10-10T/5000		5000	200	110					100
GN10-10T/6000		6000	200	110					105

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-3.3 断路器

表 6-3 断路器技术数据

型号	额定电压（千伏）	额定电流（安）	额定断流容量（兆伏安）		额定断流量（千安）		容许通过短路稳态电流量（千安）	
			6千伏	10千伏	6千伏	10千伏	2秒	4秒
SN1-10G	10	400	200	200	20	11.6	30	
		600						
SN2-10G	10	400	200	350	20	20	30	
		600						
		1000						
SN3-10	10	2000	300	500	29	29	43.5	
		3000						
		5000	940	1500	90	90		
		6000						
SN10-10	10	600		300		17.3		17.9
		1000		500		29		29
		2000		750				
		3000						
ZN2-10	10	600		200		11.6		11.6
ZN-10	10	1000		300		17.3		17.3
DN1-10/200	10	200	100	100	9.7	5.8	13.4	
DN1-10/400		400						
DN1-10/600		600						
DN3-10I	10	400	150	200	14.5	11.6		14.5
DW5-10	10	25～200		30		1.8		
DW5-10G	10	50～200		50		2.9		
DW7-10	10	30～400		26		1.5		
DW9-10	10	50～400		60		3.2		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-3.4 负荷开关

表 6-4 高压负荷开关技术数据

型号	额定电压（千伏）	额定电流（安）	最大开断电流（安）		额定开断容量（兆伏安）	极限通过电流峰值（千安）	5秒热稳定电流（千安）
			6（千伏）	10（千伏）			
FN1-10 FN1-10R	10	400	800	400		25	8.5
FN2-10 FN2-10R	10	400	2500	1200	25	25	8.5
FW2-10	10	100，200		1500		14	7.8
		400					12.7
FW5-10	10	200				10	6（4秒）
FN3-10	10	400	($\cos\varphi=0.15$) 850		15	25	8.5
FN3-6	6	400	850		9	25	8.5
FW4-10	10	200	800			15	5.8(4秒)
		400					

注：FN3型为户内高压开关，可用来开断负荷电流、变压器空载电流、远距离输电线、电缆线路及电容器组的电容电流。带有RN1型熔断器的负荷开关，可切断短路电流，作保护开关用。

FW4-10型为装置在户外柱上的负荷开关，适用于农村电网及一般中小型城市的电力系统，能在额定负荷下切断和接通电路。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-5　FN2-10R 及 FN3-10R 所配 RN1 型熔断器的数据

型　　号	额定电压（千伏）	熔管最大额定电流（安）	最大开断电流（有效值，千安）	最大开断容量（兆伏安）	当切断极限短路电流时电流的最大峰值（千安）
FN2-10R	6	20	20	200	5.2
		75			14
		200			25
	10	20	12	200	4.5
		50			8.6
		100			15.5
FN3-10R	3	25	40	200	7.4
		30～100			24.5
		150～200			30
	6	25	20	200	5.8
		75			14
		200～300			
	10	25	12	200	5
		50			8.6
		150～200			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-3.5 电压互感器

电压互感器是将交流电路中高电压转变为100伏的低电压，可作测量、指示和继电保护之用。在运行中二次侧线圈（低压部分）绝对不容许短路，否则将烧坏互感器；二次侧负载电流的总和不应超过二次侧电流的额定值。常用的电压互感器，见表6-6和表6-7。

6-3.6 电流互感器

在交流电路中，利用电流互感器可将大电流转换为较小的电流（一般为5安），作为测量和继电保护用。在使用电流互感器时，二次侧线圈不允许开路，否则会产生高电压，对人身及设备都是危险的；在带负载情况下装拆仪表时，必须先把二次侧绕组短路，才能将仪表的连接线拆断。为了安全，互感器的铁心和二次侧线圈的一端接地。常用电流互感器技术数据，见表6-8。

表6-6 500伏以下干式户内用电压互感器技术数据

型号	额定电压比（伏/伏）	二次侧额定容量（伏安）			最大容量（伏安）	名称
		0.5级	1级	3级		
JDG-0.5	220/100	25	40	100	200	单相双线圈电压互感器
	380/100					
	500/100					
JDG4-0.5	220/100	15	25	50	100	单相双线圈电压互感器
	380/100					
	500/100					
JSGW-0.5	380/10/3	50	80	200	400	三相三线圈电压互感器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-7 高压用电压互感器技术数据

型号	额定电压(伏) 一次	基本二次	辅助二次	额定容量(伏安)(cosφ=0.8) 0.5级	1级	3级	最大容量(伏安)	连接组	说明
JDZ-3	3000	100		30	50	120	240	1/1-12	本型互感器为单相双线圈户内用电压互感器，供50赫交流电路中作电压、电能测量，及供继电器及其他控制设备用。它代替产品JDJ型及JSJB型
				25	40	100	200		
JDZ-6				30	50	120	240		
	6000			50	80	200	300		
							400		
JDZ-10	10000			80	150	300	500		
				50	80	200	400		
				80	150	300	600		
JDZ_1-6	3000	100		25	40	100	200	1/1-12	
	6000			50	80	200	400		
JDZ_1-10	10000								
JDZJ-3	$3000/\sqrt{3}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	30	50	80	200	1/1/1-12-12	JDZJ型为单相三线圈，环氧树脂半浇注式，户内用电压互感器。供中性点不直接接地系统中作电压、电能测量及单相接地保护用
						120	240		
JDZJ-6	$6000/\sqrt{3}$			40	60	150	300		
				50	80	200	400		
				30	50	120	200		
							240		
JDZJ-10	$10000/\sqrt{3}$			50	80	200	400		
				40	60	150	300		

注：电压互感器能在1.1倍额定电压下长期运行，并能在8小时内无损伤地承受2倍额定电压。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-8 常用电流互感器技术数据

名称	型号	主要规格和技术数据			
		额定电压(千伏)	准确级别	额定容量(伏安)	一次侧电流/二次侧电流(安/安)
绕线式电流互感器	LQ-0.5	0.5	0.5	5	5～800/5
	LQG-0.5	0.5	0.5～1	10～15	5～800/5
	LQG2-0.5	0.5	1		10～800/5
母线式电流互感器	LYM-0.5	0.5	1	额定负荷	750～5000/5
	LYM1-0.5	0.5	1	0.8Ω	2000/5
穿心汇流排式电流互感器	LM-0.5	0.5	0.5～1	20	1000～5000/5
	LM-0.5	0.5	3	20	800～1000/5
	LMT1-0.5	0.5	D～1.2	额定负荷 1.6～1.2Ω	7500/5
贯穿式电流互感器	LDG-10	10	0.5～1～3		600～1500/5
	LDCQ-10	10	0.5～1～3		400～1000/5
	LDCD-10	10	D～0.5～1～3		600～1500/5
	LFC-10	10	0.5～1～3		5～400/5
	LFCD-10	10	D～0.5～1～3		75～400/5
环氧树脂浇注电流互感器	LMZ-0.5	0.5	1	0.2	75～600/5
	LMJ-10	10	0.5～1～3	10/15	600～1500/5
	LMJC-10	10	1/C	10/15	600～1500/5
	LMJ-10A	10	0.5/3	15/30	600～1500/5
	LQJ-10	10	0.5～1～3	10/15	5～400/5
	LQJ-10	10	3/3	10/10	1/5
	LQJC-10A	10	0.5/C,1/C	15/30	75～400/5
速饱和电流互感器	LQS-1	0.5			4～5/3.5
零序电流互感器	LJ-φ75	0.5			

注：一次侧额定电流一般分为：5,7.5,10,15,20,30,40,50,75,100,150,200,300,400,600,750,1000,2000,3000,4000,5000,7500,10000安等。二次侧额定电流绝大多数为 5 安。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-4 低压配电线路

低压线路一般指电压500伏以下的单相（220伏）和三相（380伏）电路。它是从配电变压器或小型发电站，将电能输送到用户的一段线路。低压线路又分为户外低压线路和户内低压线路。

6-4.1 低压架空线路施工一般要求

1. 钢筋混凝土电杆的规格及各部分的尺寸按常用规格给出，供加工各种铁件时参考，木电杆可按自然锥度计算。

2. 电杆根部与各种管道或沟边至少应保持1米的距离；距消火栓、储水池等应大于2米。

3. 电杆坑底要铲平、夯实，埋土应分层夯实，并把余土堆积在电杆根部。

4. 木电杆的砍、割、锯和埋入地下及地面上500毫米一段应刷两层沥青油。

5. 所有电杆铁件均应镀锌。

6. 同一层横担上的架空导线弛度应一致，截面不相同时，应以其中最大截面的导线为准。

7. 架空线不应有散股、背花及硬伤等现象。

8. 架空导线的连接应遵守下列规定：

不同金属、不同截面、不同绞向的导线，严禁在同一档距内连接；新建线距在一个档距内，一根导线不应超过一个接头；接头位置应距导线与绝缘子固定处0.5米以上。

9. 在线路连接处，改变导线截面或自线路向下T形连接时，应采用并沟线夹接续。

10. 裸铝导线绑瓷瓶处应缠绕铝带。铝导线的连接应采用钳压法。压接前，需清除管内及导线上的氧化层，并充填工业

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

凡士林油加50%锌粉拌合的填料。压接后铝管两端须涂樟丹油。

11．拉线与电杆的夹角一般为45°。如受地形限制时，可适当减少，但不应小于30°。

12．断连杆两侧导线截面积不同时，应在截面较小的一侧装设拉线。

13．钢筋混凝土电杆的拉线，一般不装设拉紧绝缘子。若拉线穿越导线时，需装设拉紧绝缘子，其安装位置应距地2.5米以上。

14．拉线位于交通要道或人易触及的地方，须套涂有红、白油漆标志的竹管保护。

15．用于垂直方向的穿钉，均应自下向上穿，开口销钉应从上向下穿，凡用于紧固的螺栓均应加装弹簧垫圈。

16．横担的加工尺寸均应按一担多用考虑。

17．用现浇混凝土代做卡盘时，浇注前应在杆身缠两层纸隔开，以使拆装方便。

18．当架空线为多层排列时，照明、路灯线应放在最低层。

19．当导线跨越建筑物、电信线路等障碍物时，应保持一

表6-9　导线跨越街道或其他设备的距离

导线跨越有关设施	容许最小距离（米）
交通要道(包括汽车与火车)	6
机动车很少通过的其他道路	3.5
人行道、屋顶、凉台	2.5
与窗口的水平距离	0.8
与通信及广播线路交叉	0.6
在窗口上部或两侧	0.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

定距离，见表 6-9。

6-4.2 低压架空线路的结构及安装

户外低压线路的主要结构由导线、电杆、绝缘子(瓷瓶)、横担、金具(抱箍、线夹、垫铁、穿心螺栓、直角挂板等)及拉线等组成，其结构见图 6-2。

1. 钢筋混凝土电杆的规格及埋设深度，见表 6-10。

表 6-10 钢筋混凝土电杆的规格及埋设深度

杆长(米)	7	8		9		10		11	12	13
梢径(毫米)	150	150	170	150	190	150	190	190	190	190
底径(毫米)	240	256	277	270	310	283	323	337	350	363
埋设深度(毫米)	1200	1400		1500		1700		1800	2000	2200

注：1. 表中埋设深度指一般情况；
2. 采用木杆时，梢径不得小于 160 毫米。

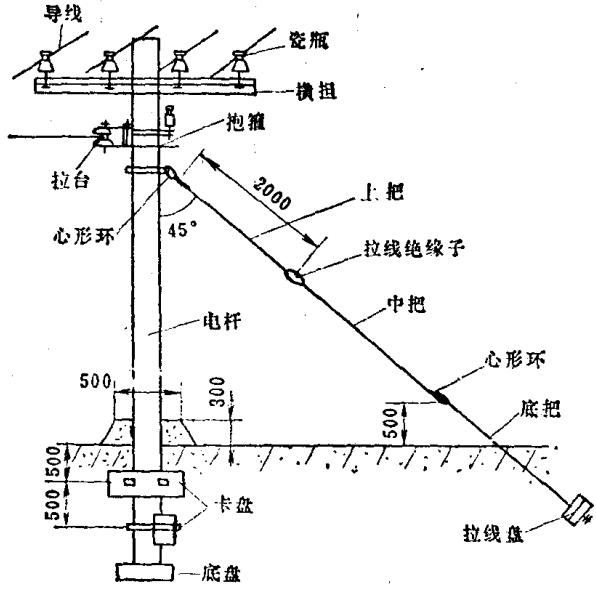


图6-2 低压架空线路结构

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 各种低压杆型杆顶安装设备材料见表6-11。

表6-11 各种低压杆型杆顶安装设备材料汇总表

名称	型号及规格	单位	数量						备注
			直线杆	耐张杆	终端杆	转角杆	丁字分支杆	十字分支杆	
钢筋混凝土电杆	规格按需要确定	根	1	1	1	1	1	1	
铁横担	∠50×5×1500	根	1	2	2	2	3	2	
低压针式绝缘子	PD	个	4			4	6	8	
蝴蝶式绝缘子	ED	个		3	4	8	4		
U型抱箍	带螺母	个	1				1	2	
M型抱铁	50×5	个	1	2	2	2	3	2	大小根据电杆梢径确定
拉线抱箍	50×5	副		1	1	2	1		大小根据电杆梢径确定
拉线	规格按需要确定	根		2	1	2	1		
铁拉板	40×4×250	副		8	8	8	4		
六角螺栓	M16×80（带螺母）	个		2	2	4	2		
六角螺栓	M16（带螺母）	个		4	4	4	4		长度值根据电杆梢径确定
六角螺栓	M12（带螺母）	个		16	8	16	8		长度值根据绝缘子尺寸确定
垫圈	φ17孔	个	2	4	4	8	6	4	

3. 电杆附件的加工方法，见图6-3。

4. 横担 常用的横担有铁横担、木横担和瓷横担三种。铁横担大多用60×60×6或5×50×50毫米的角钢制成；木横担大多用80～100毫米见方的木材制作。横担的长度是根据导线的根数，相邻电杆间档距的大小和线间距离来决定。在一般

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

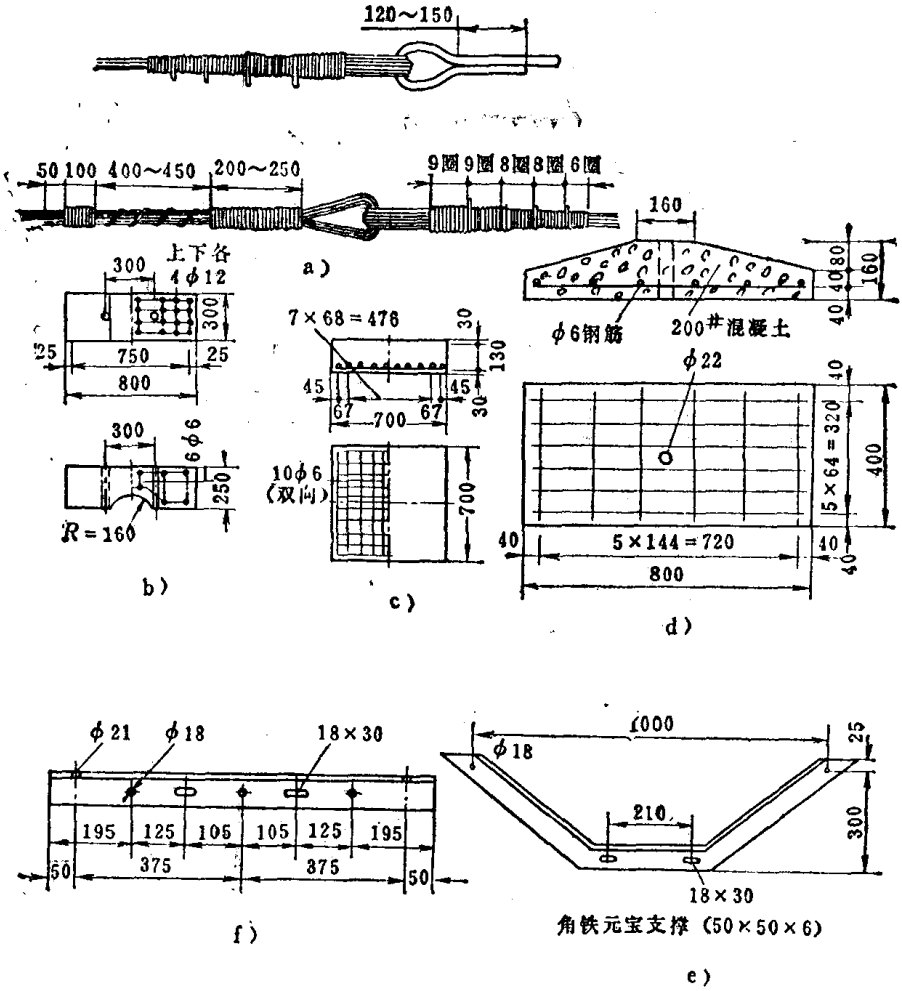


图 6-3 电杆附件的加工方法

a)拉线底把绑扎 b)卡盘加工 c)底盘加工 d)拉线底盘加工 e)角铁元宝支撑加工 f)角铁横担加工

档距下，10千伏电压线路的横担长度在1.2～1.6米；低压三相四线制线路，横担长度在1.4～1.5米。10千伏线路导线间的距离，见表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

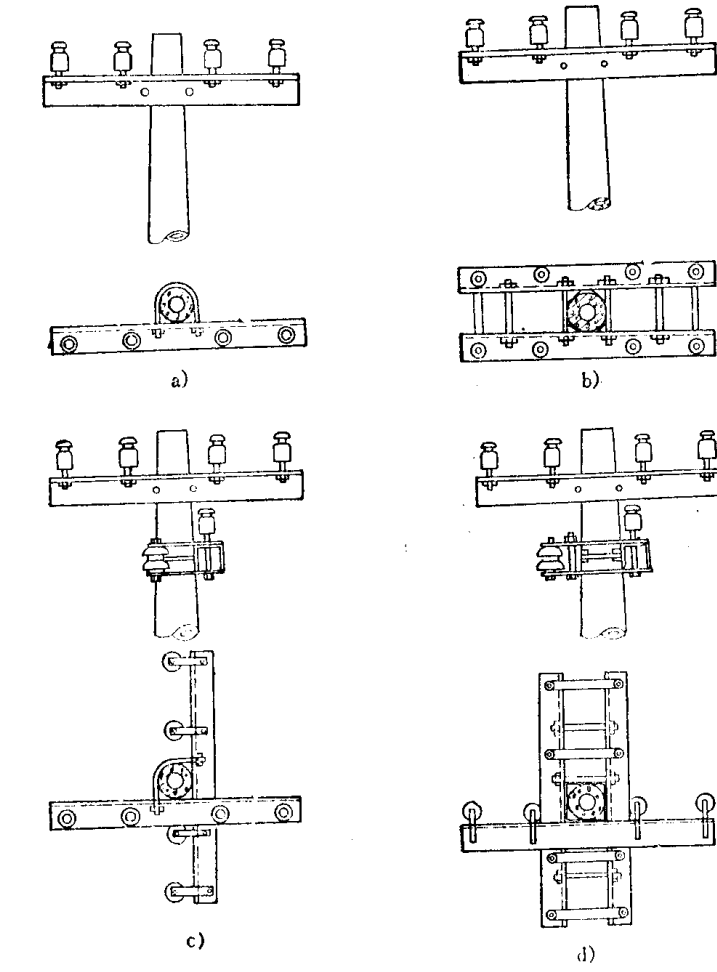


图6-4 横担的安装方式

a)直线横担的安装 b)直线转角横担的安装 c)直线分支横担的安装 d)直线转角分支横担的安装 e)90°转角横担的安装

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-12。低压线路不同档距时的最小线间的距离，见表 6-13 所示。瓷横担有高压和低压两种，其技术数据见表6-14。

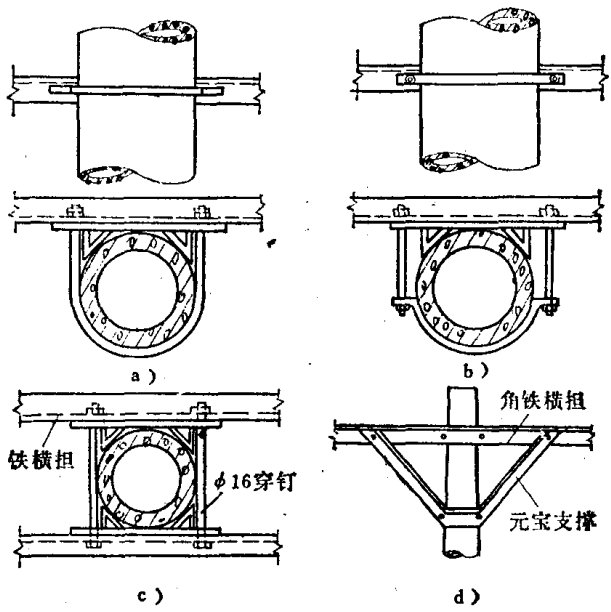


图 6-5　横担的固定方法

a)U 形抱箍　b)用半固定夹板固定　c)双横担固定法 d)元宝支架横担固定法

表 6-12　10 千伏线路导线间的最小距离

电杆之间距离(米)	50及以下	75	100	125	150
最小线间距离(米)	60	70	80	90	110
常用线间距离(米)	80	90	100	110	135

表 6-13　低压线路不同档距时的最小线间距离

档　距　(米)	40及以下	50	60	70
线 间 距 离 (米)	0.3	0.4	0.45	0.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

横担的安装方式和固定方法，见图 6-4 和图 6-5。

表 6-14 瓷横担技术数据

型号	使用电压（千伏）	机械强度（公斤）			安装螺栓直径（毫米）	稳定螺栓直径（毫米）	重量（公斤）
		抗弯破坏	最大使用	起始转动			
CD10-7	10千伏及两线一地	250	83	100	16	6	4.75
CD10-8	10千伏及两线一地	250	83	100	16	6	4.75

6-5 户内低压线路

6-5.1 接户线、进户线的型式及安装

用户所用的电，是用导线从低压架空线路上引下来的。从低压电杆上到用户户外的一段线路叫做接户线。动力用户的接户线，一般采用四根绝缘导线，截面较大，其中一根中性线截面可小些；照明用户的接户线，一般用两根截面相同的绝缘导线。铜芯线的截面不得小于 2.5 毫米^2，铝芯线不得小于 4 毫米^2。较大的集体照明用户，也可用四根线的。

接户线引到用户户外的形式很多。一般常见的有：直接从电杆上引到用户户外支持铁件上；利用已引到用户户外支持铁件上的接户线；从墙壁或屋檐处加装支持铁件再引到另一用户处。直接从电杆引下的接户线，最常用的见图 6-6。

从接户线支持铁件处接下来引到屋内配电盘（最简单的由闸刀开关、熔断器和电度表所组成）上的一段导线叫做进户线。进户方式一般有以下几种：

1. 绝缘线穿瓷管进户。进户点应距地面 2.7 米处、并使进户管口与接户线的垂直距离在 0.5 米左右；见图 6-7。

2. 加装进户杆（落地杆或短杆）进户。进户点应距地面2.7

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

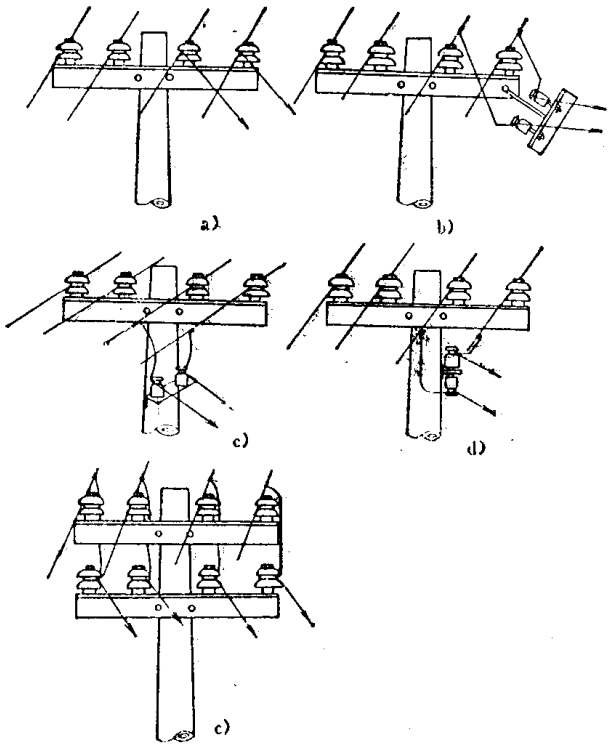


图 6-6　直接从电杆引下的接户线型式

a)直接连接　b)丁字铁架连接　c)交叉横担连接　d)特种铁架连接
e)平行连接

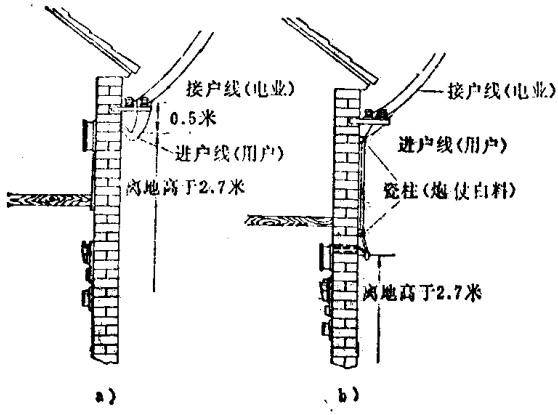


图 6-7　绝缘线穿瓷管进户

a)穿瓷管进户　b)瓷柱支持瓷管进户

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

米处，以塑料护套线穿瓷管、绝缘线穿钢管或硬塑料管进户，见图 6-8。

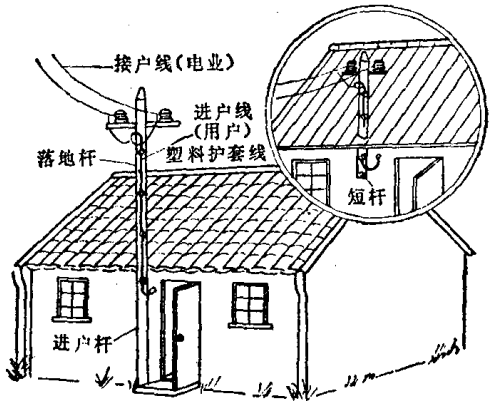


图 6-8　加装进户杆(落地杆或短杆)进户

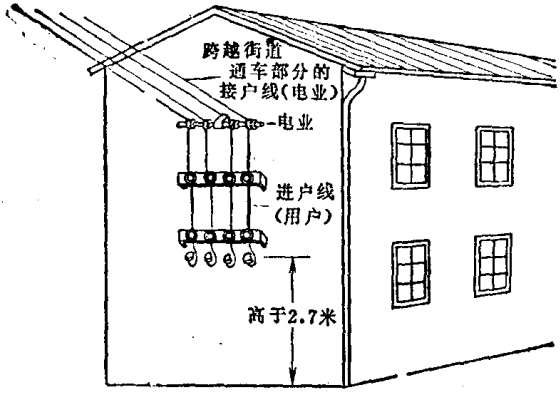


图 6-9　角铁加装瓷瓶支持单根绝缘线穿管进户

3．角铁加装瓷瓶支持单根绝缘线穿管进户。进户点应距地面 2.7 米处，但对原已放高距离或由于安全要求必须放高距离的接户线垂直距离在 0.5 米时，应采用图 6-9 所示的方法使进户线与接户线连线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

进户线应采用绝缘良好的铜芯、铝芯导线，不应用软线，并不得有接头。

进户线的最小截面为：

铜芯绝缘线　1.5 毫米²；

铝芯绝缘线　2.5 毫米²。

进户线截面的选择方法是：

电灯及电热负荷　导线的安全载流量(安)≥所有电具的额定电流之和。

电力负荷　连接一台或多台电动机导线的安全载流量见3-2.2节。

进户管的管径应根据进户线的根数和截面来决定，但不应小于 13 毫米。

6-5.2　户内低压线路结构及导线选择

户内低压线路结构是指所有安装在户内的导线、软线或电缆以及它的固定用配件、支撑与保护结构物的总称。户内线路多为 380 伏和 220 伏。380 伏多用于电气设备；220 伏多用于照明及家用电器。少数地区也采用 110 伏的单相配电制。

在户内线路布线时，正确地选择导线截面积是保证安全、可靠、经济用电的重要措施之一。

导线的选择主要应考虑导线的持续允许电流(安全电流)、电压损失和机械强度。

线路中的电流强度，对一般照明可用下式计算：

单相计算：

$$I_{计}=\frac{P}{U}\quad(安)$$

式中　P ——照明线路中电灯的总功率(瓦)；

U ——单相额定电压(110 或 220 伏)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-5.3 各种导线的连接

在敷设线路时，常常会遇到导线连接的问题。由于接头连接不当，往往会烧坏导线，引起火灾等事故。因此，在敷设线路时，应尽量避免接头，如需接头，也应按照规定的方式连接起来，接头的机械强度不应小于导线机械强度的80%；其绝缘强度应保持一样。

1. 导线绝缘层的剥法　导线在接头时，需要把绝缘层剥掉，剥去的长度一般是50～100毫米。

常用的切剥法有斜剥法和级段剥法两种，见图6-10。

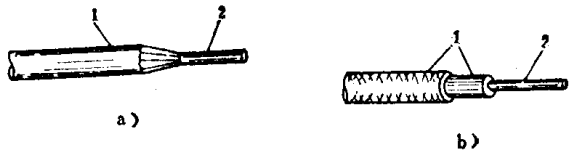
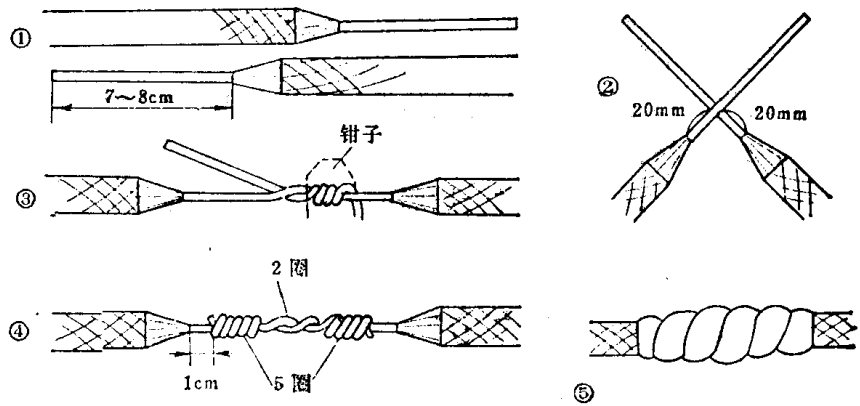


图 6-10　导线绝缘层的剥法

a)斜剥法　b)级段剥法　1.导线绝缘层　2.线芯

2. 单芯导线的连接　单芯导线的连接有平接法、丁字接法、十字接法、终端接法等几种，见图6-11。



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

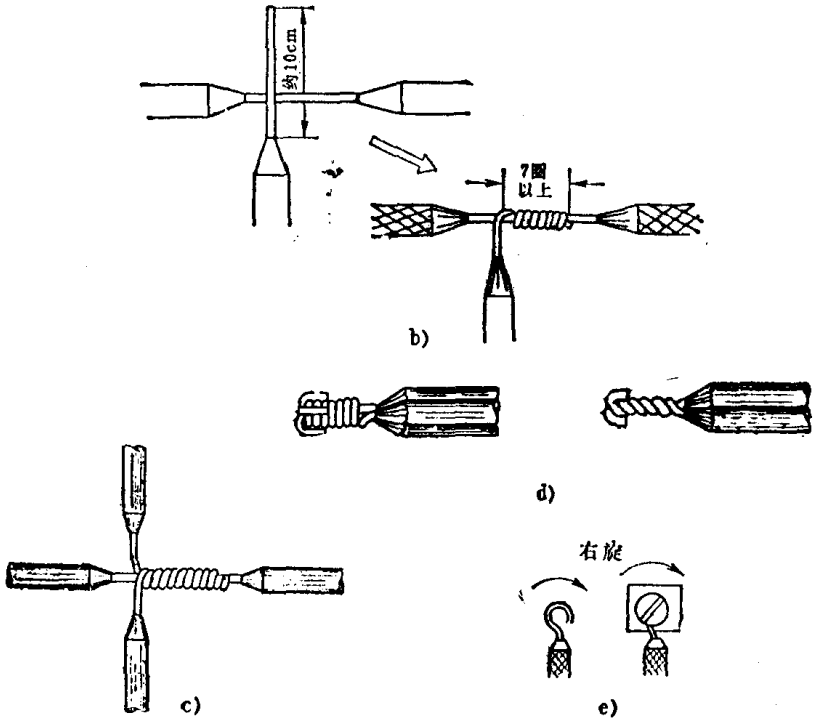


图 6-11　单芯导线的连接

a)平接法(①—⑤操作顺序)　b)丁字接法　c)十字接法　d)终端接法
e)末端接法

3．　软线与单芯导线的接法，见图6-12。

图 6-12　软线与单芯导线的接法

4．　多芯导线的接法，见图6-13。

6-5.4　线夹、瓷瓶和铝片卡的固定

线夹、瓷瓶和铝片卡的固定方法，因支持物的材质和形状不同而不同，这里只介绍用环氧树脂粘接的方法。这种方法使用简单，操作容易，施工快，适用于不同材质的支持物，如在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

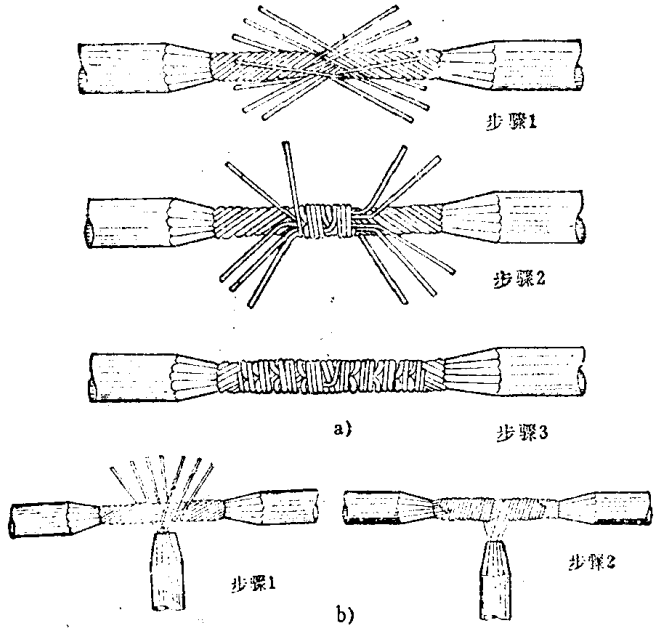


图 6-13　多芯导线的连接

a)平接法　b)丁字接法

混凝土结构、钢结构和木结构上的粘接。

瓷瓶、线夹和铝片粘接固定方法，见图6-14。

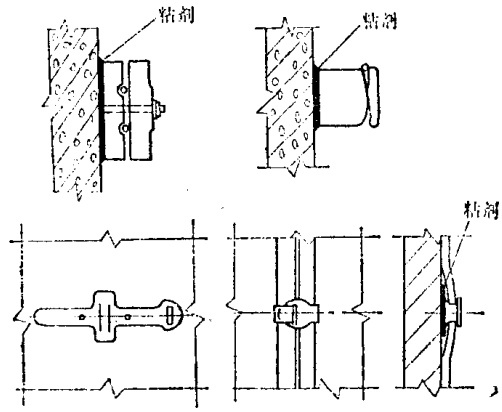


图 6-14　线夹，瓷瓶和铝片卡粘接

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

环氧树脂粘接剂的成分及配方见表 7-57 和表 7-58。

6-5.5 导线的绑扎

在低压瓷瓶上绑扎导线的方法有两种：截面在 6 毫米^2 以下的导线，可采用单绑法，见图 6-15a；截面在 6 毫米^{2}以上的导线，可采用双绑法，见图6-15b。

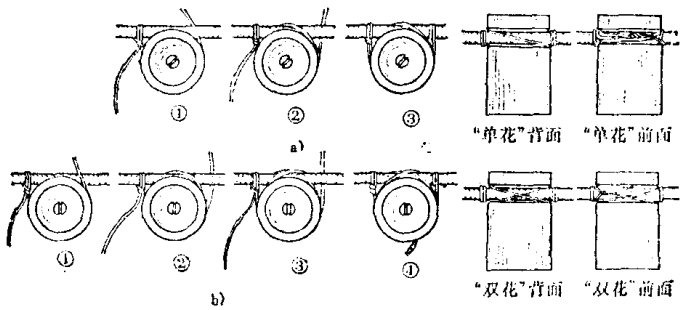


图 6-15 瓷瓶绑扎法

a) 单绑法 b) 双绑法

导线的终端可绑回头线，见图6-16。其公卷数和单卷数与导线截面的关系，见表6-15。隔绝绝缘子的绑扎，见图6-17。

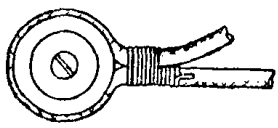


图 6-16 导线回头绑法

在瓷瓶上绑扎导线时，应采用纱包铁心绑线。绑线的直径可按表 6-16 选择。

图6-17 隔绝绝缘子的绑扎

表 6-15 公卷数和单卷数与导线截面的关系

导线截面（毫米^2）	1.5～2.5	4～25	35～70	95～120
公卷数	8	12	16	20
单卷数	5	5	5	5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表6-16 绑线选择表

导线截面（毫米²）	纱包铁心绑线直径（毫米）
6以下	0.8
6～35	0.89
50～95	1.24

6-5.6 线路的敷设

户内低压线路的敷设方式，基本上可分为明装和暗装两种。下面介绍明装线路的配线方式。

1. 户内明线装置的绝缘导线，按照机械强度的要求，最小截面和敷设距离，见表6-17。

表6-17 户内明线装置的最小截面和距离

装置方法	绝缘导线最小截面（毫米²）		敷设		距离			
			绝缘导线截面（毫米²）		前后支持物间的最大距离（米）	线间最小距离（毫米）	与地面最小距离（米）	
	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯			水平敷设	垂直敷设
木槽板	0.5	1.5			0.5（底钉间） 0.3（盖钉间）		0.15	0.15
塑料护套线	0.5	1.5			0.2		0.15	0.15
塑料线直敷	0.5	1.5			0.2		2.0	1.3
瓷夹明线	1.0	1.5	1.0～2.5		0.6		2.0	1.3
			4.0～10.0		0.8			
瓷柱明线	1.0	2.5	1.0～2.5		1.5	35	2.0	1.3
			4.0～10.0		2.0	50		
			16.0～25.0		2.5	50		
瓷瓶明线	2.5	4.0	—	4.0	6.0	100	2.0	1.3
			2.5及以上	6.0及以上	10.0	150		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 布线方法

(1) 瓷夹板和塑料夹板配线

瓷夹板和塑料夹板配线的线路应与建筑物平行。其转角、交叉、分支的安装方法，见图6-18。配线的组成，见图6-19。

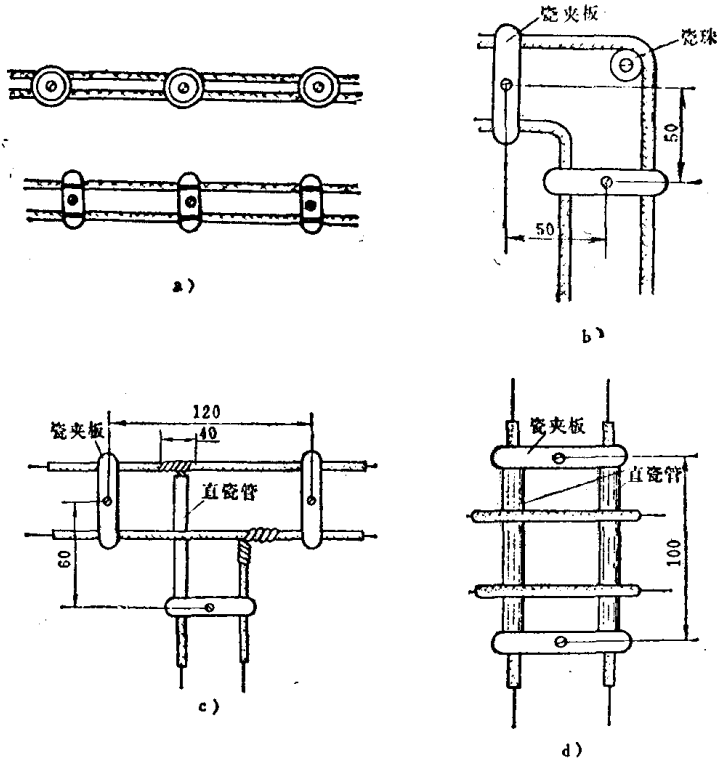


图 6-18 夹板配线转角、交叉、分支的安装

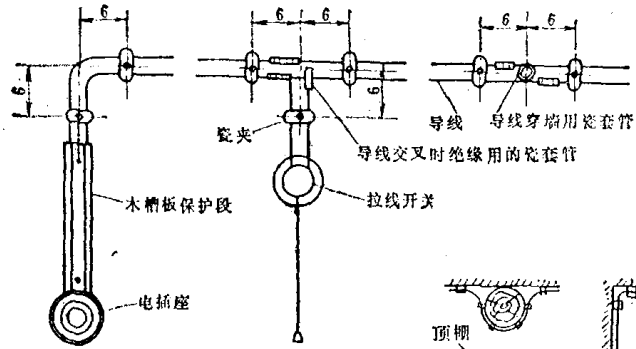
a)直线 b)转角 c)分支 d)交叉

(3) 瓷珠配线

瓷珠配线适用于用电量较大及用电处潮湿较大的场合。由于导线较粗，用瓷夹板配线有困难，用瓷珠配线较容易。瓷珠配线的转角、交叉、分支的安装，见图 6-20。瓷珠配线的组成，见图6-21。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



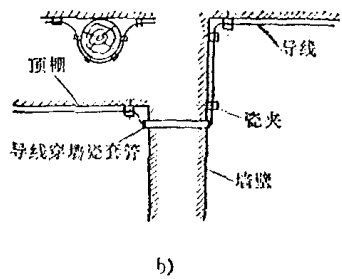


图 6-19　夹板配线的组成

a)瓷夹线路在转角、分支及终端处的安装　b)瓷夹线路在不同平面的转角及穿墙处的安装

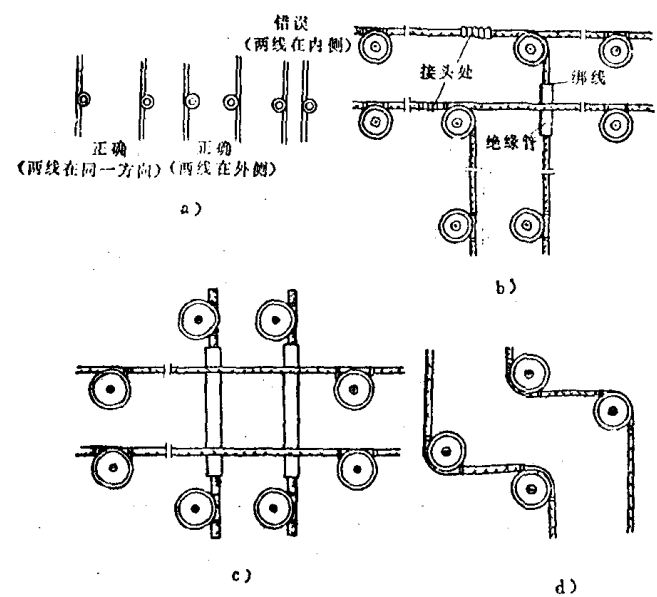


图 6-20　瓷珠配线转角、交叉、分支的安装

a)瓷珠正确安装法　b)导线的分支法　c)导线的交叉法　d)导线的转弯法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

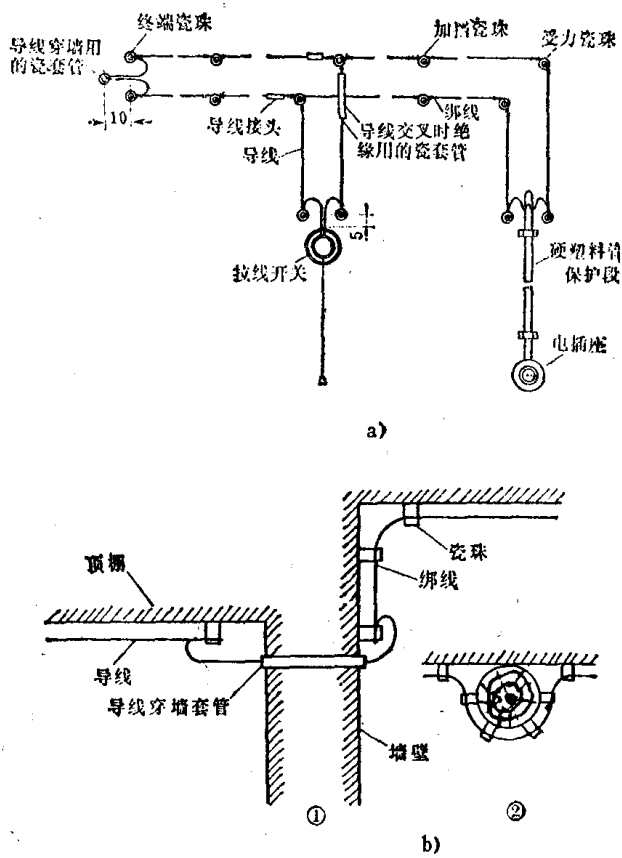


图 6-21　瓷珠配线的组成

a) 瓷珠配线在转角、交叉、分支的组成

b) 瓷珠配线在不同平面、转角及穿墙处的组成

(4) 钢管配线或塑料管配线

动力配线或很潮湿的场所，有时要用钢管或塑料管配线。这种配线有明敷和暗敷两种。明敷的方法是把管子敷在墙壁外边，暗敷是将管子埋入墙内，然后抹平墙壁。钢管及塑料管配线，见图6-22。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

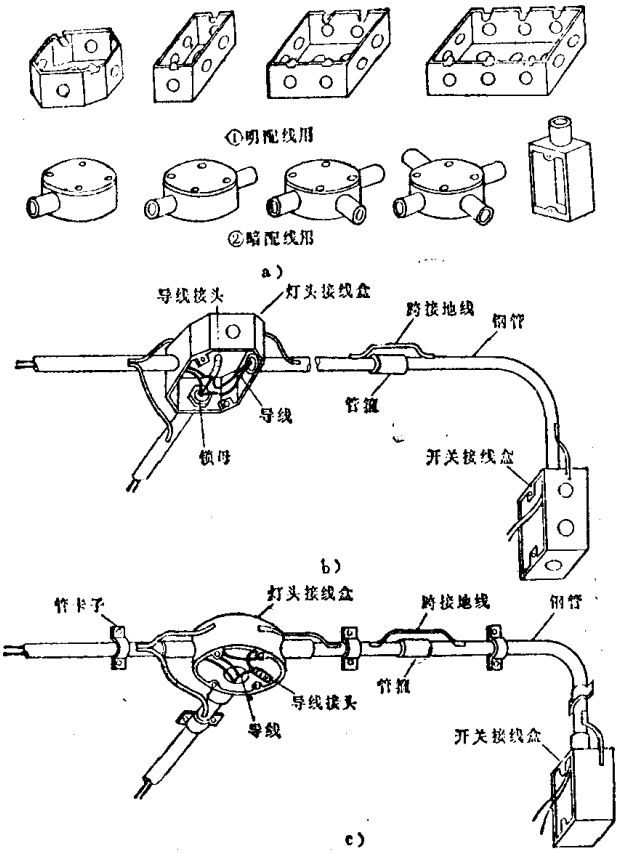


图 6-22　钢管配线

a)钢管配线用接线盒　b)钢管暗配线的组成　c)钢管明配线的组成

(5) 接地线或接零线的配线

接地线或接零线在做配线时，可以沿线路加装一根铜芯导线作为接地线或接零线，或沿地面以上 200～300 毫米处敷设一条圆钢作为接地线或接零线。当采用钢管配线时，可以利用钢管本身作为接地线或接零线。当采用塑料管配线时，可加穿一根铜芯导线作为接地线或接零线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-5.7 电度表的安装

电度表是测量电路用电量的仪表。由于电源相数不同，其接线方法也不同。如要测量电流不太大的单相电路，可采用DD_1、DD_5、DD_{10}、DD_{15}等型的单相电度表，可直接接入电路，见图 6-23。测量电流较大的单相电路可采用带电流互感器的DD_1型单相电度表，接线原理见图6-24。

在测量三相四线制用电量时，可采用DT_1或DT_2型三元

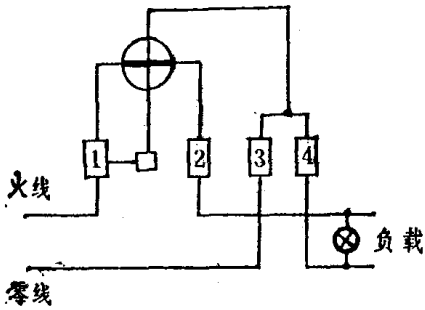


图 6-23 DD 型单相电度表原理接线图

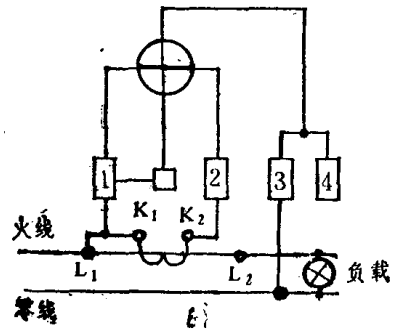


图6-24 带有电流互感器的单相电度表接线图

件电度表，其接线有直接接入或带电流互感器等两种方式，见图 6-25 和图 6-26。

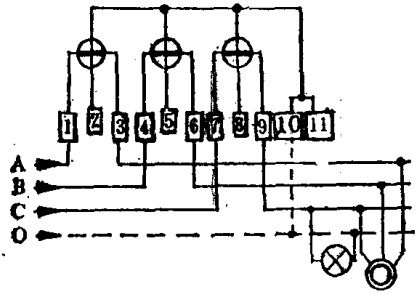


图 6-25 DT 型三相四线制电度表接线图

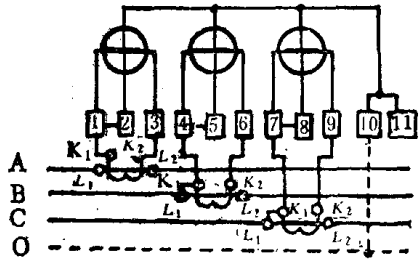


图 6-26 DT 型带有电流互感器三相四线制电度表接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用三块单相电度表组合一起可测量三相四线制电路的用电量。接线原理见图6-27。

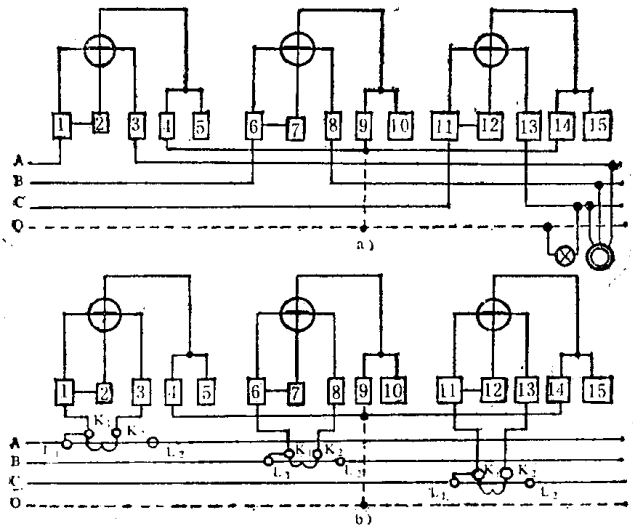


图 6-27　用三块单相电度表测量三相电量的原理接线图

(a)三块单相电度表接入三相四线制回路

(b)三块单相电度表经电流互感器接入三相四线制回路

6-5.8　低压配电盘

低压配电盘有固定和活动两种安装形式，而固定又有明装

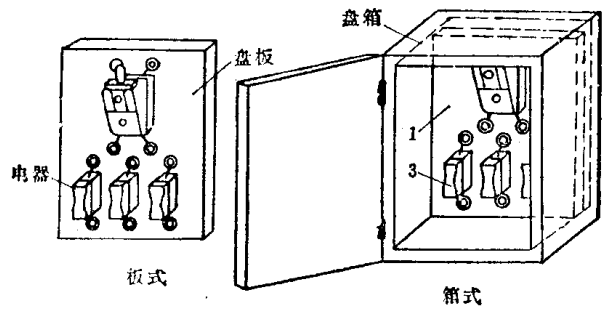


图 6-28　小容量配电盘外形图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

和暗装之分，还可分为板式和箱式，小容量配电盘一般采用明装板式或箱式，见图6-28。在较大容量配电盘上除了有总开关和分路开关之外，还装有保护装置(熔断器)、测量仪表——电压表、电流表。配电盘的尺寸和盘面布置要根据电气接线图或者根据配电电具型号，量好尺寸，将它们均匀对称地布置在盘面上，见图 6-29。其接线见图 6-30。

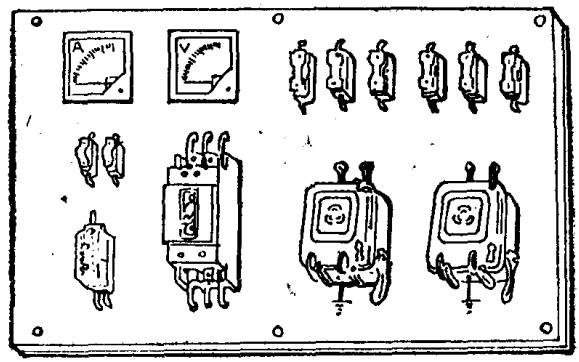


图 6-29　盘面电具安装示意图

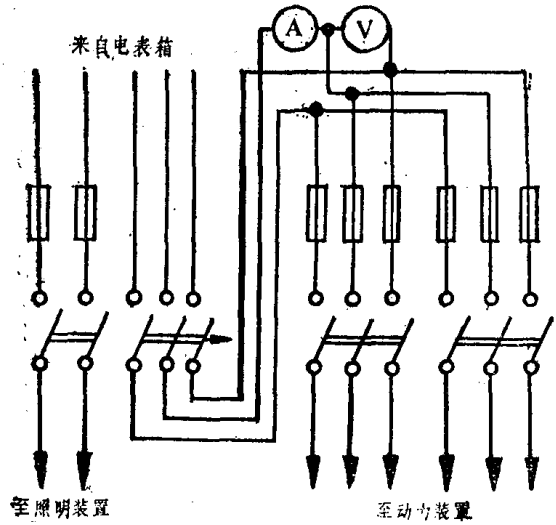


图 6-30　盘面电具接线图

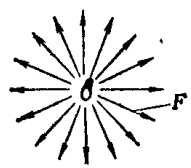
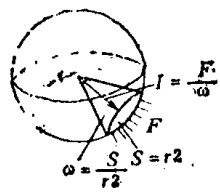
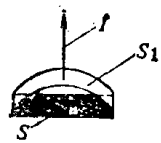
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-6 照　明

6-6.1 照明技术基本计算公式及单位

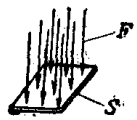
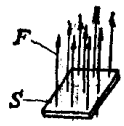
表 6-18 照明技术基本计算公式及单位

名称	代号	公式	单位	说明	示意图
光通量	F		流明① (lm)	光源在单位时间内，向四周空间发射出的、使人产生光感觉的能量，称为光通量(发光量)	
发光强度	I	$I=\frac{F}{\omega}$ (1 烛光 $=\frac{1\text{ 流明}}{1\text{ 立体角}②}$)	烛光 (cd)	光通量的空间密度，即单位立体角内的光通量	
亮度	B	$B=\frac{I}{S}$	$\frac{\text{烛光}}{\text{米}^2}$ (cd/m²)	发光表面S_1的发光强度与光源沿发光强度方向的投影面积S之比	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	代号	公式	单位	说明	示意图
照度	E	$E=\frac{F}{S}$ $\left(1\text{勒克司}=\frac{1\text{流明}}{1\text{米}^2}\right)$	勒克司 (lx)	被照面 S 上的光通密度	
光度	R	$R=\frac{F}{S}$	$\frac{\text{流明}}{\text{米}^2}$ (lm/m²)	发光面 S 上的光通密度	

① 每瓦特功率完全化为波长等于 0.555 微米的光波时，其光通量为 683 流明（0.555 微米波长的光波是绿色的，它在可见光波当中，可见度最大）。

② 1 立体角（或称球面角、球弧）等于半径为 r 的球体上，表面积 r^2 与球心相对应的立体角，即 $\omega=\frac{S}{r^2}$（见发光强度的示意图）。

6-6.2 常用照明电光源

常用照明电光源的种类，一般分为热辐射光源和气体放电光源两种。具体分类见表6-19。

6-6.3 白炽灯（普通灯泡）

白炽灯适用于普通照明用，其技术数据，见表6-20。

6-6.4 低压照明灯泡

低压照明灯泡，适用于局部安全照明用，其外形与普通灯泡一样。技术数据见表6-21。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-19　常用电光源的种类及其特性

种类		发光原理	发光效率(流明/瓦)	额定寿命(小时)	优点	缺点	用途
热辐射光源	白炽灯	钨丝白炽体，高温，热辐射	>11	1000	构造简单，价格低，使用方便	效率低，寿命短	适用于照度要求较低，开关次数频繁的场所
	碘钨灯	白炽灯充入微量的碘，利用碘循环，提高发光效率	19.5～21	1500	效率高于白炽灯，光色好，寿命较长	灯座温度高，安装要求高，偏角不得大于4度，价格高	适于照度要求较高、悬挂高度较高的屋内、外照明
气体放电光源	荧光灯	水银和氩气放电，发出可见光和紫外线，后者激励管壁荧光粉发光	46～60	3000	效率高，寿命长，发光表面的温度低	功率因数低，需镇流器、起辉器等附件	适于照度要求较高、需辨别色彩的屋内照明
	高压水银荧光灯(镇流式)	同荧光灯	38～50	5000	效率高，寿命长，耐震	功率因数低，需镇流器，起动时间长达4～8分钟	适于悬挂高度较高的大面积屋内、外照明

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-20 白炽灯型号及技术数据

灯泡型号	额定电压（伏）	额定功率（瓦）	光通量（流明）	灯头型号
PZ110-15	110	15	125	E27/27-1 或 2C22/25-2
PZ220-15	220		110	
PZ110-25	110	25	225	
PZ220-25	220		220	
PZ110-40	110	40	445	
PZ220-40	220		350	
PZ110-60	110	60	770	
PZ220-60	220		630	
PZ110-75	110	75	1020	
PZ220-75	220		850	
PZ110-100	110	100	1420	
PZ220-100	220		1250	
PZ110-150	110	150	2360	E27/27-1 E27/35-2 或 2C22/25-2 2C22/30-3
PZ220-150	220		2090	
PZ110-200	110	200	3250	
PZ220-200	220		2920	
PZ110-300	110	300	5050	E27/35-2 E40/45-1 2C22/30-3
PZ220-300	220		4610	
PZ110-500	110	500	8900	E40/45-1
PZ220-500	220		8300	
PZ110-1000	110	1000	19000	
PZ220-1000	220		18600	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-21　局部照明灯泡技术数据

灯泡型号	额定电压（伏）	额定功率（瓦）	光通量（流明）	灯头型号
JZ6-10①	6	10	115	
JZ6-20①		20	240	
JZ12-10	12	10	19	
JZ12-15		15	170	
JZ12-25		25	300	
JZ12-40		40	500	
JZ12-60		60	850	
JZ12-100		100	1600	
TJ24-15②	24	15	123	E27/27-1 或 2C22/25-2
TJ24-25		25	250	
TJ24-40		40	460	
TJ24-60		60	745	
TJ24-100		100	1580	
TJ32-15	32	15	120	
TJ32-25		25	235	
TJ32-40		40	446	
TJ32-60		60	732	
TJ32-100		100	1550	
JZ36-15	36	15	135	
JZ36-25		25	200	
JZ36-40		40	460	
JZ36-60		60	800	
JZ36-100		100	1550	

① 为直流灯泡，工厂型号为 JQ，其余交、直流两用。
② TJ 为铁路客车灯泡型号。

6-6.5　日光灯（荧光灯）及其使用维护

1. 日光灯有直管形、U 形和环形等几种，常用的是直管形，主要用于家庭、工厂、商店、学校、装饰展览会、机车车

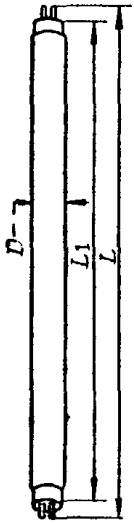
www.789pdf.com 789书库网

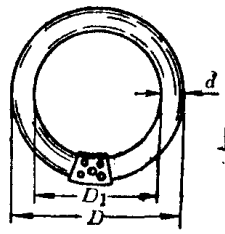
www.789pdf.com 789书库网

厢、客轮舱室以及仪器照明等。100瓦高功率日光灯管可用于商店、厂房、精密加工车间、计算机机房等场所。

环形、U形日光灯具有照度集中、照明均匀及造型美观等特点。

日光灯为预热式热阴极低气压汞气放电灯，具有光色好、发光效率高、寿命长等特点。其型号、参数及尺寸见表6-22、表6-23以及图6-31和图6-32。





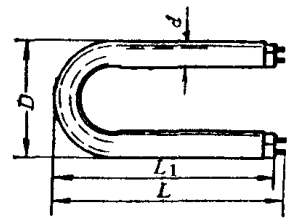


图6-31　直管形日光灯外形图图　6-32　环形、U形日光灯外形图

2．日光灯起辉器（继电器或起动器）

起辉器用于预热式日光灯，与镇流器配合使用，使日光灯起辉。起辉器主要由氖气泡、电容器和外壳构成。其技术参数见表6-24。

3．日光灯镇流器

日光灯镇流器按其特性可分为电感式、电容式和电阻式三种。一般使用的是电感式镇流器，其技术参数见表6-25和表6-26。

4．日光灯安装线路

直管形日光灯接线见图6-33。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-22　直管形日光灯的型号、参数及尺寸

型号		额定功率(瓦)	工作电压(伏)	工作电流(毫安)	起动电流(毫安)	额定光通量(流明)	平均寿命(小时)	主要尺寸(毫米)			灯头型号
统一型号	工厂型号							管直径 D	全长 L	管长 L_1	
YZ4	—	4	35	110	170	70	700	15.5	150	134	2RC-14
YZ6		6	55	135	200	150	1000		226	210	
YZ8		8	65	145	220	250			301	285	
—	(RR)-15S	15	58	300	500	665	3000	25	451	436	2RC-23
	(RR)-30S	30	96	320	560	1700			909	894	
YZ15	(RR)-15 / (RL)-15	15	50	320	440	580 / 635		38	451	436	2RC-35
YZ20	(RR)-20 / (RL)-20	20	60	350	500	930 / 1000			604	589	
YZ30	(RR)-30 / (RL)-30	30	81	350	560	1550 / 1700			909	894	
YZ40	(RR)-40 / (RL)-40	40	108	410	650	2400 / 2640			1215	1200	
YZ100	(RR)-100 / (RL)-100	100	87	1500	1800	5000 / 6100	2000				

注：1. RR——为日光色，RL——为冷白色。

2. 型号中的"S"表示细管。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-23　环形、U 形日光灯的型号、参数及尺寸

型号		额定功率（瓦）	起动电流（毫安）	工作电流（毫安）	灯管压降（伏）	额定光通量（流明）	平均寿命（小时）	主要尺寸（毫米）				
统一型号	工厂型号							外圆 D	内圆 D_1	全长 L	管长 L_1	管直径 d
YH20	CRR20	20	500	350	60	970	2000	207	145	—	—	32
YH30	CRR30	30	560	350	95	1550		308	244			
YH40	CRR40	40	650	410	108	2200		397	333			
YU30	URR30	30	560	350	89	1550		—	—	417.5	410	38
YU40	URR40	40	650	410	108	2200				626.5	619	

表 6-24　起辉器技术参数

配用灯管功率（瓦）	电源电压（伏）	起辉电压（伏）	起动速度				额定寿命（次）
			电源电压（伏）	时间（秒）	电源电压（伏）	时间（秒）	
6～40	220	>135	220	1～4	180	<15	5000
100					200	2～5	

环形和 U 形日光灯接线见图 6-34。

表 6-25　日光灯镇流器的技术数据（I）

规格（220 伏）	线径		匝数	铁心截面（厘米²）	铁心间隙（毫米）
	旧（毫米）	新（毫米）			
8（瓦）	0.17	0.19	2400，3200＋260	14×14，15×17	
15瓦（四头）	0.34	0.29	1680＋100	17×24	0.05～0.08
20瓦（四头）	0.34	0.31	1650＋70	17×24	0.08～0.12
30瓦	0.34	0.31	1420～1500	17×24	0.23
40瓦	0.34		1230～1290	20×24	0.4～0.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-26　日光灯镇流器的技术数据(Ⅱ)

型　　号	所配灯管的功率(瓦)	工作电压(伏)	工作电流(毫安)	起动电压(伏)	起动电流(毫安)
YZ_1-220/6	6	203	140～5	215	180±10
YZ_1-220/8	8	200	150～10		190±10
YZ_1-220/15	15	202	330～30		440±30
YZ_1-220/20	20	196	350～30		460±30
YZ_1-220/30	30	180	360～30		560±30
YZ_1-220/40	40	165	410～30		650±30
YZ_1-220/100	100	185	1500～100		1800±100

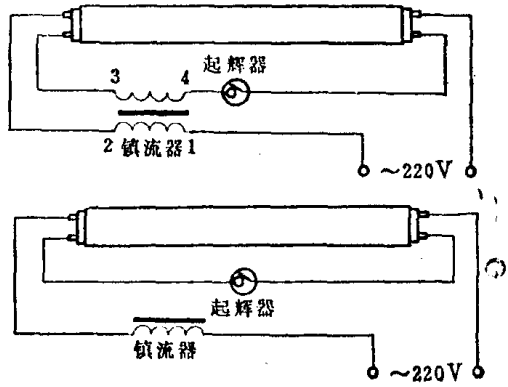


图6-33　直管形日光灯接线图

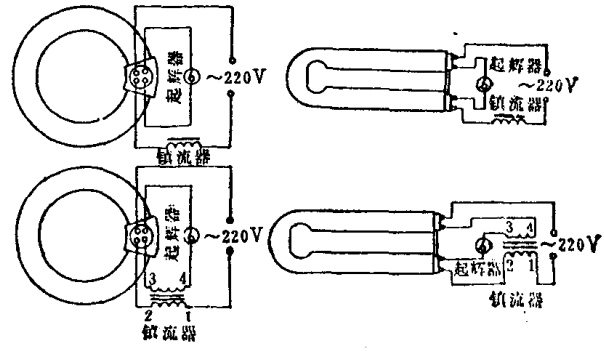


图6-34　环形、U形日光灯接线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5. 日光灯使用及其维护

日光灯是由灯管、镇流器、起辉器等三个主要部件组成。使用时应注意以下几点：

① 使用各种灯管时，应配备相应功率的起辉器和镇流器，不同功率不能互相混用。

② 使用日光灯管必须按规定正确接线(见图6-33)，否则将会烧坏灯管或不亮。

③ 环形日光灯头不能扭转，否则会引起灯丝短路。

日光灯常见故障及其检修见表6-27。

表 6-27 日光灯常见故障及修理

故障现象	可能原因	修理方法
灯管不能发光	(1) 接触不良	(1) 紧固灯座或起辉器座内的接触簧片，检查电路内部是否有线头松脱
	(2) 起辉器损坏	(2) 将起辉器取下，用电线把起辉器座内两个接触簧短路，若灯管两端发亮，则说明起辉器坏了，应更换
	(3) 灯管损坏	(3) 用万用电表测试灯丝
	(4) 镇流器内部断开	(4) 用万用电表测试镇流器直流电阻
	(5) 电源故障(保险丝熔断)	(5) 检查电源电压
灯管两端发光	(1) 起辉器损坏	(1) 将起辉器取下，若灯管正常发光了，则说明起辉器损坏，应予更换
	(2) 气温过低	(2) 提高气温或加保温罩
	(3) 电源电压过低	(3) 检查电源电压
	(4) 灯管陈旧寿命将终	(4) 更换新管
灯管发光后灯光在管内旋转	新灯管的暂时现象	开用几次或灯管两端对调，即可消失

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	修理方法
灯光闪烁忽亮忽灭	(1) 灯管质量不好	(1) 换新管试验
	(2) 接触不良	(2) 检查线路连接情况
	(3) 镇流器质量不好	(3) 调换镇流器
	(4) 起辉器损坏	(4) 调换新起辉器
灯管两端发黑或生黑斑	(1) 灯管陈旧	(1) 调换新管
	(2) 若系新灯管可能因起辉器损坏，使两端发射物加速蒸发	(2) 调换起辉器
	(3) 灯管内水银凝结是细灯管常有现象	(3) 起动后即能蒸发
	(4) 电源电压过高	(4) 如有条件调低电压
	(5) 起辉器不好或接线不牢引起长时间闪烁	(5) 接牢起辉器或调换起辉器
	(6) 镇流器配用规格不合适	(6) 调换合适的镇流器
灯管发光后立即熄灭	(1) 接线错误，灯丝烧断	(1) 用正确方法接线
	(2) 镇流器短路	(2) 更换新镇流器
镇流器过热	(1) 灯具通风散热不好	(1) 改善装置，适当通风散热
	(2) 镇流器内部线圈匝间短路	(2) 更换新的镇流器
	(3) 电源电压过高	(3) 检查电源电压
灯管使用寿命较短或早期端部发黑	(1) 镇流器配用不当，或质量差，内部短路	(1) 更换新镇流器
	(2) 电源开关频繁操作	(2) 减少开关次数
	(3) 起辉器工作不正常，使灯管预热不足	(3) 更换起辉器
	(4) 装置处震动大	(4) 改善装置位置，减少震动

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	修理方法
灯管一端或两端发黑（约有50～60毫米长度）	这是灯管寿命终止的现象	调换新管
杂声与电磁声较大	(1) 镇流器质量较差，或其铁心未夹紧	(1) 调换镇流器
	(2) 电源电压过高	(2) 如有条件设法降压
	(3) 镇流器过载或其内部短路	(3) 调换镇流器
	(4) 起辉器不好，开启时有辉光杂声	(4) 调换起辉器

6-6.6 经济荧光灯(冷阴极自镇流式)

经济荧光灯是冷阴极(灯丝不需要预热)自镇流(内管外壁涂有导电电阻膜，起限流作用)气体放电灯。它耗电量小，使用方便，不需要镇流器和起辉器；灯头型号与普通灯泡相同，插入一般插口灯座就能使用；有绿、白、蓝等光色，但光亮度较低，只适于不需要很亮的灯光处所作照明用。其型号、参数及尺寸见表6-28，其外形见图6-35。

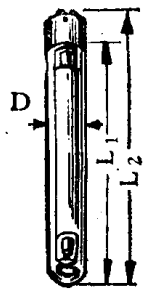


图 6-35 经济荧光灯外形图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-28　经济荧光灯的型号、参数及尺寸

规格	额定电压（伏）	额定功率（瓦）	主要尺寸（毫米） 管直径 D	全长 L_2	管长 L_1	平均寿命（小时）	灯头型号
3瓦	220	3～5	22	230	210	2000	2C22/22-1

6-6.7　照明管形卤钨灯

照明管形卤钨灯的技术数据见表6-29，其外形见图6-36。

表 6-29　照明管形卤钨灯的技术数据

灯泡型号	额定电压（伏）	额定功率（瓦）	光通量（流明）	色温（K）	平均寿命（小时）	主要尺寸（毫米） 最大直径 D	全长 L	安装方式
LZG110-500	110	500	10250	2800	1500	12	123±2	顶式
LZG220-500	220		9750				177	夹式
LZG220-1000		1000	21000				210±2	顶式
LZG220-1000			21000				232	夹式
LZG220-1500		1500	31500			13.5	293±2	顶式
LZG220-2000		2000	42000				310	夹式

注：有的工厂型号为LSG。

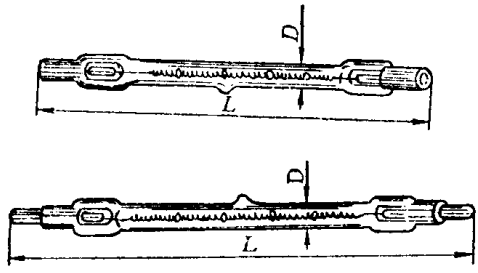


图 6-36　照明管形卤钨灯外形图

6-6.8　高压汞灯及其配件

高压汞灯主要利用高压汞气放电而发光。这里所谓的“高压”是指灯管内在工作状态下的气体压力为1～5个大气

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压，而一般低气压日光灯(普通日光灯)只有6～10毫米汞柱的压力。

高压汞灯的工作原理和普通日光灯一样，也要有一个合适的镇流器配套使用，镇流器的作用和普通日光灯镇流器的作用相似。

高压汞灯的品种有：照明日光高压汞灯、自镇流日光高压汞灯、反射型日光高压汞灯、光化学反应高压汞灯、仪器高压汞灯、晒图高压汞灯、矿用照明高压汞灯、反射型黑光高压汞灯以及超高压球形汞灯等。下面介绍一下照明日光高压汞灯，其技术参数见表6-30。

表6-30 照明日光高压汞灯技术参数

型号	额定电压(伏)	额定功率(瓦)	工作电压(伏)	起动电压(伏)	起动电流(安)	工作电流(安)	稳定时间(分)	光通量(流明)	灯头型号
GGY50	220	50	95±15	不大于180	1.0	0.62	5～10	1500	E27/27-1
GGY80		80	110±15		1.3	0.85		2800	
GGY125		125	115±15		1.8	1.25	4～8	4750	E27/35-2
GGY175		175	130±15		2.3	1.50		7000	
GGY250		250	130±15		3.7	2.15		10500	E40/45-1
GGY400		400	135±15		5.7	3.25		20000	E40/75-3
GGY700		700	140±15		10.0	5.45		35000	
GGY1000		1000	145±15		13.7	7.50		50000	

高压汞灯镇流器主要供GGY型日光高压汞灯配套，但也适用于GFY、GGQ型高压汞灯及SGZ管形汞氙灯。其技术参数见表6-31。

高压汞灯的接线见图6-37。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-31　高压汞灯镇流器技术参数

型　　号	配灯泡功率（瓦）	工作特性		起动特性		镇流器（在额定电压时）功率损耗（瓦）	阻抗（欧）
		镇流器端电压（伏）	工作电流（安）	镇流器端电压（伏）	起动电流（安）		
GYZ50	50	177	0.62～0.05	220	1.0±0.08	10	285
GYZ80	80	172	0.85～0.06		1.3±0.1	16	202
GYZ125	125	168	1.25～0.1		1.8±0.125	25	134
GYZ175	175	150	1.50～0.12		2.3±0.15	26.25	100
GYZ250	250		2.15～0.15		3.7±0.25	37.5	70
GYZ400	400	146	3.25～0.25		5.7±0.4	40	45
GYZ700	700	144	5.45～0.45		10.0±0.7	70	26.5
GYZ1000	1000	139	7.50～0.60		13.7±1	100	18.5

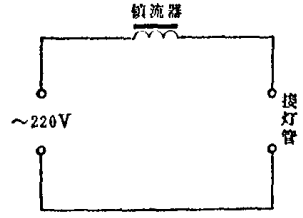


图 6-37　高压汞灯接线图

6-6.9　钠　灯

钠灯是一种发光效率较高（最高可达100流明/瓦）的电光源，它分低压钠灯和高压钠灯两种。其技术参数见表 6-32 和 表 6-33。

钠灯也需要镇流器，其接线见图6-38。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 6-32　低压钠灯技术参数

型　号	电源电压(伏)	额定功率(瓦)	起辉电压(伏)	工作电压(伏)	工作电流(安)	主要尺寸(毫米)			灯头型号
						外径 D	全长 L	光中心高度 H	
N45	220	45	470	80	0.6	50	245	150	2C22
N75		75	470	120	0.6	50	320	200	
N140		140	490	160	0.9	61	520	280	

表 6-33　高压钠灯技术参数

型　号	额定电压(伏)	额定功率(瓦)	起动电流(安)	工作电压(伏)	工作电流(安)	稳定时间(分)	光通量(流明)	主要尺寸(毫米)		灯头型号
								最大直径 D	全长 L	
GN-400	220	400	6.3	105	4.4	4～8	36000	60	275±5	E40/45-1

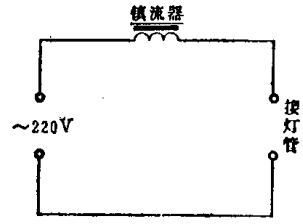


图 6-38　钠灯接线图

6-7　工厂灯具

工厂灯具按其灯罩的型式可分为配照型、广照型、深照型、斜照型、散照型、双罩型和圆球型等种类。

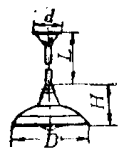
下面只介绍配照型、广照型、深照型和斜照型等四种灯具的外型、用途及技术数据。

www.789pdf.com 789书库网

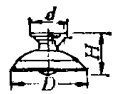
www.789pdf.com 789书库网

表6-34 配照型工厂灯

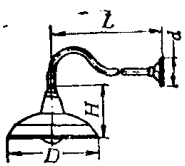
外形图



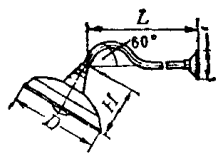
GC1-A直杆吊灯



GC1-C吸顶灯



GC1-D90°弯杆灯



GC-E60°弯杆灯

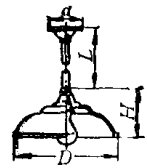
用途	适用于工厂车间、一般仓库及公共场所等					
技术参数	型号规格	外形尺寸（毫米）				灯泡功率（瓦）
		d	D	H	L	
	GC1-A、B-1	100	355	205	500～1200	60～100
	GC1-C-1	120		210	—	
	GC1-D、E、F、G-1	100		205	300	
	GC1-A、B-2	100	406	215	500～1200	150～200
	GC1-C-2	120		220	—	
	GC1-D、E、F、G-2	100		215	350	

www.789pdf.com 789书库网

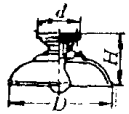
www.789pdf.com 789书库网

表6-35 广照型工厂灯

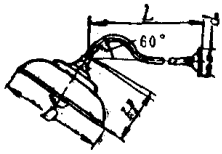
外形图



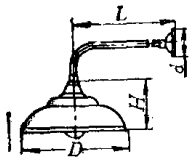
GC3-A直杆吊灯



GC3-C吸顶灯



GC3-E60°弯杆灯



GC3-G90°直杆弯灯

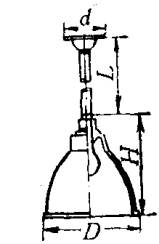
用途	适用于靠墙的操作场所、车间、货垛、通道等一般照明					
技术参数	型号规格	外形尺寸（毫米）				灯泡功率（瓦）
		d	D	H	L	
	GC3-A、B-1	100	355	162	500～1200	60～100
	GC3-C-1	120		165	—	
	GC3-D、E、F、G-1	100		162	300	
	GC3-A、B-2	100	420	177	500～1200	150～200
	GC3-C-2	120		180	—	
	GC3-D、E、F、G-2	100		177	350	

www.789pdf.com 789书库网

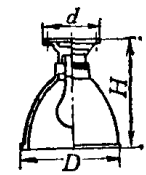
www.789pdf.com 789书库网

表6-36 深照型工厂灯

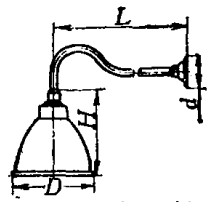
外形图



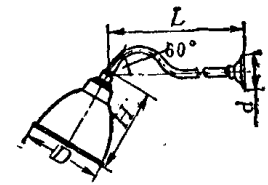
GC5-A直杆吊灯



GC5-C吊顶灯



GC5-D90°弯杆灯



GC5-E60°弯杆灯

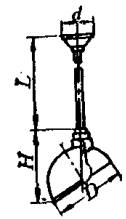
用途	适用于较高的厂房、车间及球场等一般照明					
技术参数	型号规格	外形尺寸（毫米）				灯泡功率（瓦）
		d	D	H	L	
	GC5-A、B-2	100	250	265	300～1000	150～200
	GC5-C-2	120		270	—	
	GC5-D、E、F、G-2	100		265	350	
	GC5-A、B-3	100	310	315	300～1000	300
	GC5-C-3	120		320	—	
	GC5-D、E、F、G-3	100		315	400	

www.789pdf.com 789书库网

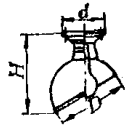
www.789pdf.com 789书库网

表6-37 斜照型工厂灯

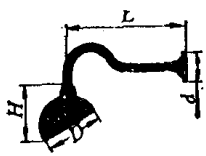
外形图



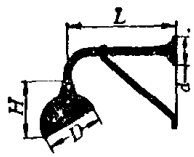
GC7-A直杆吊灯



GC7-C吸顶灯



GC7-D90°弯杆灯



GC7-G90°直杆弯灯

用途	适用于画廊、宣传牌及一般车间、厂房的局部照明					
技术参数	型号规格	外形尺寸（毫米）				灯泡功率（瓦）
		d	D	H	L	
	GC7-A-1	100	220	256	300～1000	60
	GC7-C-1	120		266	—	
	GC7-D、G-1	100		256	300	
	GC7-A-2	100	250	285	300～1000	100
	GC7-C-2	120		290	—	
	GC7-D、G-2	100		285	350	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-8 常用照明附件

常用照明附件包括开关、挂线盒、插头、插座等，其主要规格见表6-38。

表6-38 常用照明附件

名称	外形	种类	额定电压(伏)	额定电流(安)	备注
拉线开关		胶木 瓷质	250	3	
挂线盒带拉线开关		胶木 瓷质	250	3	
防水拉线开关		瓷质 胶木	250	5	用于屋外
挂线盒		胶木 瓷质	250	5	
平开关		胶木	250	5 10	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	外形	种类	额定电压(伏)	额定电流(安)	备注
插头和插座	圆插头	胶木 橡胶	250	3 5	
	扁插头 两用插座	胶木	250	3 5	
	单相安全插头及插座	胶木	250	5 10 15 20 30	有接地插脚和插孔
	三相安全插头及插座	胶木	380	15 20 30	

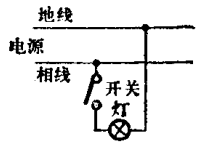
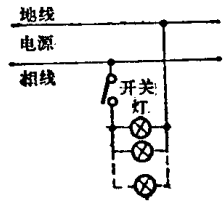
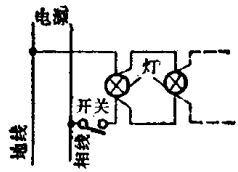
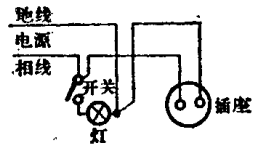
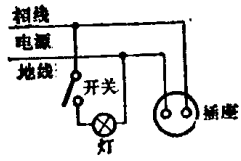
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6-9 常用照明电灯线路

一般照明电灯的常用线路见表6-39。

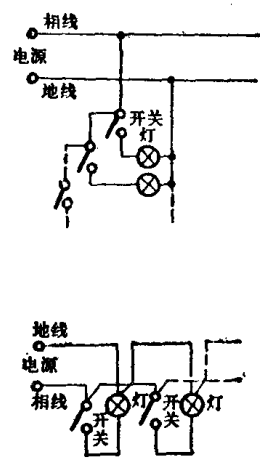
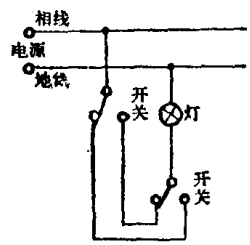
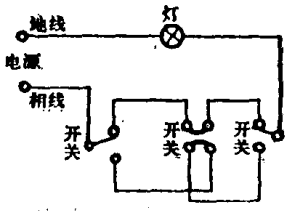
表 6-39 一般照明电灯的常用线路

线路图	特点及用途
	一只单连开关控制一只灯，开关应接在相线上，修理安全
 	一只单连开关控制多只灯，同时开、闭。连接多只灯时，可按图中虚线接线，但应注意灯的总容量，不能超过开关的额定值。下图无接头，较安全，但用线较多
 	一只单连开关控制一只灯并与插座连接。上图用线较省，但有接头，应接牢，否则可能引起事故。下图无接头，较安全，但用线较多

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

线路图	特点及用途
	两只或多只单连开关控制两只或多只灯
	用两只双连开关，在两个地方控制一只灯，可用于楼梯上下或走廊两端
	用两只双连开关和一只三连开关，在三个地方控制一只灯。可用于楼梯、走廊及特殊要求的地方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第七章 电工材料

7-1 导电材料

用作导电材料的金属，应具有高的导电性、足够的机械强度、不易氧化、不易腐蚀、容易加工和焊接等特性，同时还要考虑资源情况。最常用的金属导电材料是铜、铝和铁等。

铜是最早广泛使用的导电材料，它的导电性和机械性能均比铝好。在电阻相同的情况下，铝线的截面比铜线大1.68倍，但重量只为铜线的54%。由于铝的资源丰富，价格便宜，因此，除对导体尺寸和机械性能有特殊要求的场合外，均可优先采用铝作导电材料。

各种材料的电阻率见表7-1。金属的电阻温度系数见表7-2。

表7-1 材料的电阻率

名称	电阻率①（欧·毫米²/米）	名称	电阻率①（欧·毫米²/米）
铝	0.0290	银	0.016
铍	0.059(0°C)	锑	0.405
钨	0.053	钛	0.47(25°C)
铁	0.10	碳	13.76
金	0.023	铬	0.131
铱	0.063	锌	0.061
镍	0.070	硬铝	0.0335
锡	0.113	黄铜	0.08
铂	0.110	康铜	0.49
汞	0.958	铜镍合金	0.33
铅	0.208	白铜	0.42

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	电阻率①（欧·毫米²/米）	名称	电阻率①（欧·毫米²/米）
锰镍铜合金	0.43	松香	10^{20}
高镍铜	0.45	聚苯乙烯	10^{21}
硅	1100(0°C)	硫	10^{21}
钯	0.107	硬橡胶	10^{22}
镁	0.044	石蜡	3×10^{22}
锰	0.05	安装电线的铜线芯	0.184
铜	0.017	铜圆线、扁线、母线，硬	0.0179～0.0182
钼	0.054	软	0.01754
石墨	8.0	工业用铜，硬棒	0.0179
石棉	10^{12}	软棒	0.01748
电木	10^{15}	H62黄铜，铸造的	0.072
云母（片）	10^{19}	软的	0.065
瓷	2×10^{19}	安装电线的铝线芯	0.0310
火漆	5×10^{19}	铝圆线、扁线、母线	0.0295
虫胶	10^{20}	工业用铝（含Al 99.5%）	0.027～0.030

① 对金属，表列数值是指在温度18～20°C时纯金属及合金的电阻率。对绝缘体，表列数值是指在温度18～20°C时电阻率的近似值。

表7-2 金属的电阻温度系数

金属名称	确定α时的温度（°C）	电阻温度系数α（1/度）	金属名称	确定α时的温度（°C）	电阻温度系数α（1/度）
铝	18～100	0.0038	银	0～100	0.0036
钨	0～170	0.0051	锌	20	0.0037
铁	45	0.0062	金	0～100	0.0034～
铜	18	0.0043			0.0025
镍	0～100	0.0062	铱	18	0.0039
锡	20	0.0042	康铜	25	0.000002
铂	0～100	0.0038	德银	18	0.0003
汞	0～25	0.0009	高镍铜	0	0.003
铅	18	0.0042	锰镍铜合金	18	0.000001

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

金属名称	确定α时的温度(°C)	电阻温度系数α(1/度)	金属名称	确定α时的温度(°C)	电阻温度系数α(1/度)
镍铬合金	20	0.0004	H62 黄铜	20	0.0017
CuMn 合金	—	0.00022	HPb59-1 黄铜	20	0.0026
安装电线的铜线芯	20	0.00395	安装电线的铝线芯	20	0.0041
铜圆线、扁线、母线	20	0.00395	铝圆线、扁线、母线	20	0.0041
工业用铜	20	0.00433			

注：金属的电阻与温度的关系为：$R_t = R_0(1 + \alpha t)$

其中 R_t 和 R_0 分别是温度为 t°C 和 0°C 时的金属的电阻值。

7-1.1 裸导线

表 7-3 裸导线的分类、名称、特性和用途

分类	名称	型号	特性	主要用途
圆线	圆铜线	TY TR	硬线的抗拉强度比软线大一倍，半硬线有一定的抗拉强度和延伸率，软线的延伸率高	硬线主要用作架空导线；半硬线、软线主要用作电线、电缆及电磁线的线芯，亦用于其他电器制品
	圆铝线	LY LYB LR		
	镀锡圆铜线	TRX	具有很好的耐蚀性与焊接性能，并起铜线与被覆绝缘(如橡皮)之间的隔离作用	电线、电缆用线芯、屏蔽线及用于其他电器制品
	铝合金圆线	HL (Al-Mg-Si) HL_2 (Al-Mg)	具有比纯铝线高的抗拉强度	硬线用于制造架空导线，软线用于电线、电缆线芯等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

分类	名称	型号	特性	主要用途
绞线	铝绞线	LJ	导电性、机械性良好，钢芯铝绞线比铝绞线拉断力大1倍左右	用于低压或高压的架空电力线路
	钢芯铝绞线	LGJ		
型线	扁铜线	TBY TBR	铜、铝扁线和母线的机械特性和圆线相同。扁线、母线的结构形状均为矩形，仅在规格尺寸和公差上有所区别	铜、铝扁线，主要用于电机、电器等线圈或绕组。铜、铝母线主要作汇流排用，亦用于其他电器制品
	扁铝线	LBY LBBY LBR		
	铜母线	TMY TMR		
	铝母线	LMY LMR		
软接线	铜电刷线	TS TSX TSR TSXR	多股铜线或镀锡铜线绞制，柔软，耐振动，耐弯曲	电刷连接线
	铜软绞线	TRJ TRJ-1 TRJ-2 TRJ-3 TRJ-4	柔软，TRJ-4特别柔软，为提高抗腐蚀性，TRJ-2，3，4可用镀锡铜线绞制	引出线，接地线，整流器和可控硅的引出线等，电气设备部件间连接用线
	铜编织线	TYZ TYZX TRZ-1 TRZX-1 TRZ-2 TRZX-2	柔软	小型电炉和电气设备等连接线
	铜线编织线	QC	柔软	汽车、拖拉机、蓄电池连接线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一、圆铝、铜单线

常用圆铝、铜单线的规格见表 7-4。

二、铝绞线

铝绞线有硬铝绞线(LJ 型)和钢芯铝绞线(LGJ 型)两种，主要作为低压及高压架空线路用，其技术参数见表 7-5 和表 7-6。

表 7-4 常用圆铝、铜线的规格

直径 (毫米)	截面积 (毫米²)	铝		铜	
		每1千米的净重 (公斤)	20°C时每1千米的直流电阻 (欧)	每1千米的净重 (公斤)	20°C时每1千米的直流电阻 (欧)
0.20	0.0314	0.085	901	0.279	560
0.21	0.0346	0.097	820	0.308	506
0.23	0.0415	0.112	682	0.369	424
0.25	0.0491	0.133	577	0.436	359
0.27	0.0573	0.155	494	0.509	307
0.29	0.0661	0.178	428	0.587	266
0.31	0.0755	0.204	375	0.671	233
0.33	0.0855	0.231	331	0.760	206
0.35	0.0962	0.260	294	0.855	183
0.38	0.1134	0.306	250	1.008	156.0
0.41	0.1320	0.357	214	1.170	133.0
0.44	0.1521	0.411	186	1.352	116.0
0.47	0.1735	0.469	163	1.54	101.0
0.49	0.1886	0.509	150	1.68	93.3
0.51	0.204	0.550	138.6	1.81	86.0
0.53	0.221	0.600	128.0	1.98	79.4
0.55	0.238	0.643	119.0	2.12	73.7
0.57	0.255	0.689	111.0	2.27	68.8
0.59	0.273	0.734	103.6	2.42	64.2
0.62	0.302	0.813	93.8	2.68	58.0
0.64	0.322	0.868	88.0	2.86	54.5
0.67	0.353	0.950	80.2	3.13	49.6
0.69	0.374	1.01	75.7	3.32	47.0
0.72	0.407	1.10	69.5	3.62	43.0
0.74	0.430	1.16	65.8	3.82	40.6

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

直径（毫米）	截面积（毫米²）	铝		铜	
		每1千米的净重（公斤）	20°C时每1千米的直流电阻（欧）	每1千米的净重（公斤）	20°C时每1千米的直流电阻（欧）
0.77	0.466	1.26	60.7	4.14	37.6
0.80	0.503	1.36	56.3	4.47	34.9
0.83	0.541	1.46	52.4	4.81	32.4
0.86	0.581	1.57	48.7	5.16	30.2
0.90	0.636	1.72	44.5	5.66	27.5
0.93	0.679	1.83	41.7	6.04	25.8
0.96	0.724	1.95	39.1	6.43	24.3
1.00	0.785	2.12	36.1	6.98	22.3
1.04	0.849	2.28	33.3	7.55	20.7
1.08	0.916	2.47	30.9	8.14	19.20
1.12	0.985	2.65	28.8	8.75	17.80
1.16	1.057	2.85	26.8	9.40	16.6
1.20	1.131	3.05	25.0	10.05	15.50
1.25	1.227	3.31	23.1	10.91	14.3
1.30	1.327	3.58	21.5	11.80	13.2
1.35	1.431	3.86	19.8	12.73	12.30
1.40	1.539	4.15	18.4	13.69	11.40
1.45	1.651	4.45	17.15	14.70	10.60
1.50	1.767	4.77	16.00	15.70	9.33
1.56	1.911	5.15	14.80	17.0	9.18
1.62	2.06	5.56	13.73	18.32	8.53
1.68	2.22	5.98	12.75	19.7	7.90
1.74	2.38	6.40	11.95	21.1	7.37
1.81	2.57	6.95	11.00	22.9	6.84
1.88	2.78	7.49	10.2	24.7	6.31
1.95	2.99	8.06	9.46	26.5	5.88
2.02	3.20	8.65	8.85	28.5	5.50
2.10	3.46	9.34	8.18	30.8	5.11
2.26	4.01	10.83	7.05	35.7	4.39
2.44	4.68	12.64	6.05	41.6	3.76
2.63	5.43	14.65	5.22	48.3	3.24
2.83	6.29	16.98	4.50	55.9	2.80
3.05	7.31	19.75	3.88	65.0	2.41
3.28	8.45	22.8	3.35	75.1	2.08
3.53	9.79	26.4	2.89	87.0	1.80
3.80	11.34	30.6	2.49	100.8	1.55
4.10	13.20	35.6	2.14	117.3	1.332
4.50	15.90	43.0	1.78	141.4	1.108
4.80	18.1	48.9	1.56	160.9	0.973
5.20	21.2	57.4	1.33	188.8	0.827

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-5 LJ型铝绞线的技术参数

标称截面 (毫米²)	铝截面 (毫米²)	电线直径 (毫米)	直流电阻 (20°C) (欧/千米)	拉断力 (公斤)	单位重量 (公斤/千米)
10	10.10	4.46	2.896	163	27.6
16	15.89	5.10	1.847	257	43.5
25	24.71	6.36	1.188	400	67.6
35	34.36	7.50	0.854	555	94.0
50	49.48	9.00	0.593	750	135
70	69.29	10.65	0.424	990	190
95	93.27	12.50	0.317	1510	257
95(1)	94.23	12.42	0.311	1340	258
120	116.99	14.00	0.253	1780	323
150	148.07	15.75	0.200	2250	409
185	182.80	17.50	0.162	2780	504
240	236.38	19.90	0.125	3370	652
300	297.57	22.40	0.0996	4520	822
400	397.83	25.90	0.0745	5670	1099
500	498.07	28.98	0.0595	7100	1376
600	603.78	31.95	0.0491	8150	1669

www.789pdf.com 789书库网

表7-6 LGJ型钢芯铝绞线的技术参数

标称截面（毫米²）	截面（毫米²）		铝钢截面比	直径（毫米）		直流电阻（20°C）（欧/千米）	拉断力（公斤）	单位重量（公斤/千米）
	铝	钢		电线	钢芯			
10	10.60	1.77	6.0	4.50	1.5	2.774	367	42.9
16	15.27	2.54	6.0	5.40	1.8	1.926	530	61.7
25	22.81	3.80	6.0	6.60	2.2	1.289	790	92.2
35	36.95	6.16	6.0	8.40	2.8	0.796	1190	149
50	48.26	8.04	6.0	9.60	3.2	0.609	1550	195
70	68.05	11.34	6.0	11.40	3.8	0.432	2130	275
95	94.23	17.81	5.3	13.68	5.4	0.315	3490	401
95(1)	94.23	17.81	5.3	13.68	5.4	0.312	3310	398
120	116.34	21.99	5.3	15.20	6.0	0.255	4310	495
120(1)	116.33	21.99	5.3	15.20	6.0	0.253	4090	492
150	140.76	26.61	5.3	16.72	6.6	0.211	5080	598
185	182.40	34.36	5.3	19.02	7.5	0.163	6570	774
240	228.01	43.10	5.3	21.28	8.4	0.130	7860	969
300	317.52	59.69	5.3	25.20	10.0	0.0935	11120	1348
400	382.4	72.22	5.3	27.68	11.0	0.0778	13430	1626

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

www.789pdf.com 789书库网

表 7-7　裸扁铜、铝

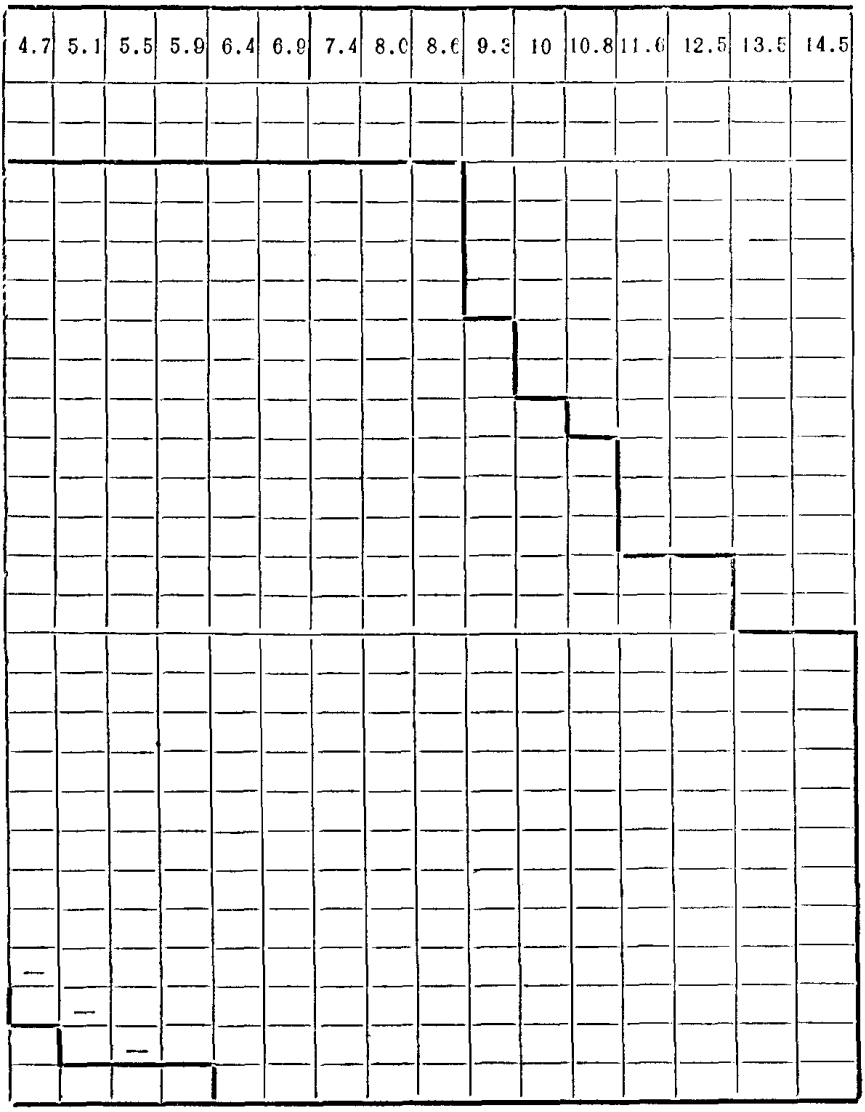
a \ b	2.1	2.26	2.44	2.63	2.83	3.05	3.28	3.53	3.8	4.1	4.4
0.90											
1.00											
1.08											
1.16											
1.25											
1.35											
1.45											
1.56											
1.68											
1.81											
1.95	—	—									
2.10		—									
2.26			—								
2.44											
2.63					—						
2.83											
3.05											
3.28											
3.53									—		
3.8											
4.1											
4.4											
4.7											
5.1											
5.5											

注：1.a—扁线截面的短边；b—扁线截面的长边。2.表中粗线以内表示有扁铜但划有横线者除外。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

线规格表(毫米)



线规格，但划有横线者除外。3.表中双虚线右下方，粗线以内，表示有扁铝线规格，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三、铝、铜扁线及铝母线

铝、铜扁线的规格见表 7-7。

四、铁线

常用镀锌铁丝的规格见表 7-8。

表7-8 镀锌铁线规格

直径 (毫米)	截面 (毫米²)	重量 (公斤/千米)	最大电阻 (欧/千米) (20°C)	抗张力 (公斤)	伸长率 (%)
6.0	28.27	220.5	4.691	989.5	12
5.5	23.76	185.3	5.581	831.6	12
5.0	19.64	153.2	6.753	687.4	12
4.5	15.90	124.0	8.341	556.5	10
4.0	12.57	98.05	10.55	440.0	10
3.5	9.621	75.04	13.78	336.7	10
3.2	8.042	62.73	16.49	281.5	10
2.9	6.605	51.52	20.08	231.2	10
2.6	5.309	41.41	24.98	185.8	7
2.3	4.155	32.41	31.92	145.4	7
2.0	3.142	24.51	42.21	110.0	7
1.8	2.545	19.85	52.11	89.03	7
1.6	2.011	15.69	65.95	70.39	7

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-1.2 电磁线

电磁线是一种具有绝缘层的导电金属线，用以绕制电工产品的线圈或绕组。其作用是通过电流产生磁场，或切割磁力线产生电流，实现电能和磁能的相互转换。

电磁线的型号编制方法见电（D）135-66《电线电缆产品型号编制方法》的规定命名，型号中汉语拼音代号的含义见表7-9。

表7-9 电磁线型号中的汉语拼音代号含义

绝缘层				导体		派生
绝缘漆	绝缘纤维	其他绝缘层	绝缘特征	导体材料	导体特征	
Q 油性漆	M 棉纱	V 聚氯乙烯	B 编织	L 铝线	B 扁线	-1 薄漆层
QA 聚氨酯漆	SB 玻璃丝	YM 氧化膜	C 醇酸胶粘漆浸渍	TWC 无磁性铜	D 带（箔）	-2 厚漆层
QG 硅有机漆	SR 人造丝		E 双层		J 绞制	
QH 环氧漆	ST 天然丝		G 硅有机胶粘漆浸渍		R 柔软	
QQ 缩醛漆	Z 纸		J 加厚			
QXY 聚酰胺酰亚胺漆			N 自粘性			
QY 聚酰亚胺漆			F 耐致冷性			
QZ 聚酯漆			S 彩色			
QZY 聚酯亚胺漆						

举例：QZL-1 聚酯漆、铝线-薄漆层　薄漆层聚酯漆包铝线；
QZJBSB 聚酯漆、绞制、编织、玻璃丝　中频绕组线；
SBELCB 玻璃丝、双层、铝线、醇酸胶粘漆浸渍、扁线　双玻璃丝包扁铝线。

一、漆包线的品种、型号和主要用途见表7-10。

二、铜漆包线规格及安全载流量见表7-11。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-10 漆包线的品种、型号和主要用途

类别	产品名称	型号	规格*（毫米）	耐温等级（℃）	主要用途
油性漆包线	油性漆包圆铜线	Q	0.02～2.50	A(105)	中、高频线圈及仪表电器的线圈
缩醛漆包线	缩醛漆包圆铜线	QQ-1 QQ-2	0.02～2.50	E(120)	普通中小电机、微电机绕组和油浸变压器的线圈、电器仪表用线圈
	缩醛漆包圆铝线	QQL-1 QQL-2	0.06～2.50		
	彩色缩醛漆包圆铜线	QQS-1 QQS-2	0.02～2.50		
	缩醛漆包扁铜线	QQB	*a*边0.8～5.6 *b*边2.0～18.0		
	缩醛漆包扁铝线	QQLB	*a*边0.8～5.6 *b*边2.0～18.0		
聚氨酯漆包线	聚氨酯漆包圆铜线	QA-1	0.015～1.00	E(120)	要求Q值稳定的高频线圈、电视线圈和仪表用的微细线圈
	彩色聚氨酯漆包圆铜线	QA-2			
聚酯漆包线	聚酯漆包圆铜线	QZ-1 QZ-2	0.02～2.50	B(130)	通用中小电机的绕组、干式变压器和电器仪表的线圈
	聚酯漆包圆铝线	QZL-1 QZL-2	0.06～2.50		
	聚酯漆包扁铝线	QZB	*a*边0.8～5.6 *b*边2.0～18.0		
	聚酯漆包扁铝线	QZLB	*a*边0.8～5.6 *b*边2.0～18.0		
聚酰亚胺漆包线	聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1 QY-2	0.02～2.50	220	耐高温电机、干式变压器、密封式继电器及电子元件
	聚酰亚胺漆包扁铜线	QYB	*a*边0.8～5.6 *b*边2.0～18.0		

* 圆线规格以线芯直径表示；扁线以线芯窄边(*a*)及宽边(*b*)长度表示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-11　各种铜漆包线规格及安全载流量

标称直径（毫米）	外皮直径（毫米）	截面积（毫米²）	重量（公斤/公里）	$j=2.5$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	$j=3$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	每厘米可绕匝数（匝）	每立方厘米可绕匝数（匝）	20°C时电阻值（欧/公里）
0.06	0.085	0.0028	0.0252	0.0070	0.0084	117	13680	6440
0.07	0.095	0.0038	0.0342	0.0095	0.0114	105	11025	4730
0.08	0.105	0.005	0.0448	0.0125	0.0150	95	9025	3630
0.09	0.115	0.0064	0.0567	0.0160	0.0192	86	7395	2860
0.10	0.125	0.0079	0.070	0.0197	0.0237	80	6400	2240
0.11	0.135	0.0095	0.085	0.0237	0.0285	74	5476	1850
0.12	0.145	0.0113	0.101	0.0282	0.0339	68	4624	1550
0.13	0.155	0.0133	0.118	0.0332	0.0399	64	4096	1320
0.14	0.165	0.0154	0.137	0.0385	0.0462	60	3600	1140
0.15	0.180	0.0177	0.158	0.0442	0.0531	55	3025	994
0.16	0.190	0.0201	0.179	0.0502	0.0603	52	2704	873
0.17	0.200	0.0227	0.202	0.0567	0.0681	50	2500	773
0.18	0.210	0.0254	0.227	0.064	0.0762	47	2209	688
0.19	0.220	0.0284	0.253	0.0710	0.0852	45	2025	618
0.20	0.230	0.0315	0.280	0.0787	0.0945	43	1849	558
0.21	0.240	0.0347	0.309	0.0867	0.104	41	1681	507
0.23	0.270	0.0415	0.370	0.103	0.124	37	1369	423
0.25	0.290	0.0492	0.437	0.123	0.147	34	1156	357
0.27	0.310	0.0573	0.510	0.143	0.171	32	1024	306
0.29	0.330	0.0660	0.589	0.165	0.198	30	900	266
0.31	0.350	0.0755	0.673	0.188	0.226	28	784	233
0.33	0.370	0.0855	0.762	0.213	0.256	27	729	205
0.35	0.390	0.0962	0.857	0.240	0.288	25	625	182
0.38	0.420	0.1134	1.01	0.283	0.340	23	529	155
0.41	0.450	0.1320	1.17	0.330	0.396	22	484	133
0.44	0.480	0.1521	1.35	0.380	0.456	20	400	115
0.47	0.510	0.1735	1.54	0.433	0.520	19	361	101
0.49	0.530	0.1886	1.67	0.471	0.565	18	324	93.1
0.51	0.560	0.204	1.82	0.510	0.612	17	317	85.9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

标称直径（毫米）	外皮直径（毫米）	截面积（毫米²）	重量（公斤/公里）	$j=2.5$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	$j=3$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	每厘米可绕匝数（匝）	每立方厘米可绕匝数（匝）	20°C时电阻值（欧/公里）
0.53	0.580	0.221	1.96	0.552	0.663	17.2	295	79.3
0.55	0.600	0.238	2.11	0.595	0.714	16.6	275	73.9
0.57	0.620	0.255	2.26	0.637	0.765	16.1	259	68.7
0.59	0.640	0.273	2.43	0.682	0.819	15.6	243	64.3
0.62	0.670	0.302	2.69	0.755	0.906	14.8	222	57.9
0.64	0.690	0.322	2.89	0.805	0.966	14.4	207	54.6
0.67	0.720	0.353	3.14	0.882	1.05	13.8	190	49.7
0.69	0.740	0.374	3.33	0.935	1.12	13.5	182	46.9
0.72	0.770	0.407	3.72	1.01	1.22	12.9	166	43
0.74	0.800	0.430	3.83	1.07	1.29	12.5	156	40.8
0.77	0.830	0.466	4.15	1.16	1.39	12	144	37.6
0.80	0.860	0.503	4.48	1.25	1.50	11.6	134	34.9
0.83	0.890	0.541	4.28	1.35	1.62	11.2	125	32.4
0.86	0.920	0.581	5.17	1.45	1.74	10.8	117	30.2
0.90	0.960	0.636	5.67	1.59	1.90	10.4	108	27.5
0.93	0.990	0.679	6.05	1.69	2.03	10.1	102	25.8
0.96	1.02	0.724	6.45	1.81	2.17	9.8	96	24.2
1.00	1.08	0.785	7.00	1.96	2.35	9.25	85.6	22.4
1.04	1.12	0.849	7.87	2.12	2.54	8.92	79.5	20.6
1.08	1.16	0.916	8.16	2.29	2.74	8.62	74.3	19.2
1.12	1.20	0.986	8.78	2.46	2.95	8.33	69.4	17.75
1.16	1.24	1.057	9.41	2.64	3.17	8.06	65	16.6
1.20	1.28	1.131	10.0	2.84	3.35	7.81	61	15.5
1.25	1.33	1.227	10.9	3.06	3.68	7.51	56.4	14.3
1.30	1.38	1.327	11.8	3.31	3.98	7.24	52.4	13.2
1.35	1.43	1.431	12.7	3.57	4.29	7	49	12.2
1.40	1.48	1.539	13.7	3.84	4.61	6.75	45.56	11.4
1.45	1.53	1.651	14.7	4.12	4.95	6.53	42.44	10.6
1.50	1.58	1.767	15.7	4.41	5.30	6.32	39.94	9.89

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

标称直径（毫米）	外皮直径（毫米）	截面积（毫米²）	重量（公斤/公里）	$j=2.5$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	$j=3$ 安/毫米²时，导线容许通过电流（安）	每厘米可绕匝数（匝）	每立方厘米可绕匝数（匝）	20°C时电阻值（欧/公里）
1.56	1.64	1.911	17.0	4.77	5.73	6.09	37.08	9.18
1.62	1.70	2.06	18.3	5.15	6.18	5.88	34.57	8.50
1.68	1.76	2.22	19.7	5.55	6.66	5.68	32.26	7.92
1.74	1.82	2.38	21.1	5.95	7.14	5.49	30.14	7.36
1.81	1.90	2.57	22.9	6.42	7.71	5.26	27.66	6.83
1.88	1.97	2.78	24.7	6.95	8.34	5.07	25.70	6.30
1.95	2.04	2.99	26.6	7.47	8.97	4.9	24.01	5.87
2.02	2.11	3.20	28.5	8.00	9.60	4.73	22.37	5.48
2.10	2.20	3.46	30.8	8.65	10.3	4.54	20.61	5.06
2.26	2.36	4.01	35.7	10.0	12.0	4.23	17.89	4.38
2.44	2.54	4.67	41.6	11.6	14.0	3.93	15.44	3.75
2.63		5.43	48.4	13.5	16.2			3.23
2.83		7.00	56.0	17.5	21.0			2.79
3.05		8.14	65.1	20.3	24.4			2.4
3.28		9.40	75.3	23.5	28.2			2.08
3.53		10.90	87.2	27.2	32.7			1.80
3.80		12.63	101	31.5	37.9			1.55
4.10		14.70	117	36.7	44.1			1.33
4.50		17.71	141	44.2	53.1			1.10
4.80		20.16	161	50.4	60.4			0.968
5.20		23.66	189	59.1	70.9			0.829

三、漆包线去漆法简介

（1）燃烧去漆法　将线端要去漆皮部分，在酒精灯火焰上燃烧，使漆皮碳化，然后迅速浸入乙醇中，取出后用洁净棉花或棉布擦净，漆皮即掉。

（2）甲酸去漆法　将需要去漆皮的线端，插入常温之甲酸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

溶液中，数分钟后取出，用蘸有乙醇的棉花将甲酸擦净即可。若在甲酸中加入少量丙酮或苯能减少刺激性气味。

(3) 碱液去漆法　将欲去漆皮部分，插入50%浓度的苛性钠溶液中，然后取出，用蒸馏水洗去沾在线表面的碱液，即可将漆皮除去。碱液浓度越高，去漆皮时间越短。

7-1.3　通用绝缘电线

一、绝缘电线的绝缘有橡皮和塑料两类，其品种和规格见表7-12。

表7-12　橡皮、塑料绝缘电线品种和规格

型　号	产　品　名　称	导线长期容许工作温度(℃)	导线截面(毫米²)	敷设场合及要求
BLXF BXF	铝芯氯丁橡皮线 铜芯氯丁橡皮线	65	2.5～95 0.75～95	固定敷设用，尤其适用于户外，可明敷、暗敷
BLX BX	铝芯橡皮线 铜芯橡皮线	65	2.5～630 0.75～500	固定敷设用，可明敷、暗敷
BXR	铜芯橡皮软线		0.75～400	室内安装，要求较柔软时
BLV BV	铝芯聚氯乙烯绝缘电线 铜芯聚氯乙烯绝缘电线		1.5～185 0.03～185	固定敷设于室内外及电气设备内部，可明敷、暗敷，最低敷设温度不低于－15°C
BLV-105 BV-105	铝芯耐热105°C聚氯乙烯绝缘电线 铜芯耐热105°C聚氯乙烯绝缘电线	105	1.5～185 0.03～185	固定敷设于高温环境的场所，可明敷、暗敷，最低敷设温度不低于－15°C
BVR	铜芯聚氯乙烯软线	65	0.75～50	固定敷设安装，要求柔软时用，最低敷设温度不低于－15°C

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	产品名称	导线长期容许工作温度(°C)	导线截面(毫米²)	敷设场合及要求
BLVV	铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线	65	1.5～10	固定敷设于潮湿的室内和机械防护要求高的场合。可明敷、暗敷和直埋地下，最低敷设温度不低于－15°C
BVV	铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电线		0.75～10	
BVF	丁腈聚氯乙烯复合物绝缘电气装置用电线	65	0.75～6	交流500伏或直流1000伏及以下的电器、仪表等装置作连接线用
BVFR	丁腈聚氯乙烯复合物绝缘电气装置用软线		0.75～70	

二、橡皮、塑料绝缘软线适用于各种交直流移动电器、电工仪表、电信设备及自动化装置。工作电压大多为交流250伏或直流500伏以下，RVV型电线可用于交流500伏或直流1000伏及以下。其品种和电线结构见表7-13。

表7-13　橡皮塑料绝缘软线品种和结构

型号	产品名称	导线长期容许工作温度(°C)	导线截面(毫米²)	导线结构(根数/直径，毫米)
RXS RX	棉纱编织橡皮绝缘绞型软线 棉纱编织橡皮绝缘软线	65	0.2	12/0.15
			0.28	16/0.15
			0.4	23/0.15
			0.5	28/0.15
			0.6	34/0.15
			0.7	40/0.15
			0.75	42/0.15
			1.0	32/0.20
			1.2	38/0.20
			1.5	48/0.20
			2.0	64/0.20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	产　品　名　称	导线长期容许工作温度(°C)	导线截面(毫米²)	导线结构(根数/直径,毫米)
RFB RFS RVB RVS	丁腈聚氯乙烯复合物绝缘平型软线 丁腈聚氯乙烯复合物绝缘绞型软线 聚氯乙烯绝缘平型软线 聚氯乙烯绝缘绞型软线	70 65	0.12 0.2 0.3 0.4 0.5 0.75 1 1.5 2 2.5	7/0.15 12/0.15 16/0.15 23/0.15 28/0.15 42/0.15 32/0.20 48/0.20 64/0.20 77/0.20
RV RV-105	聚氯乙烯绝缘软线 耐热聚氯乙烯绝缘软线	65 105	0.012 0.03 0.06 0.12 0.2 0.3 0.4 0.5 0.75 1 1.5 2 2.5 4 6	7/0.05 7/0.07 7/0.10 7/0.15 12/0.15 16/0.15 23/0.15 28/0.15 42/0.15 32/0.20 48/0.20 64/0.20 77/0.20 77/0.26 77/0.32
RVV	聚氯乙烯绝缘护套软线	65	0.12 0.2 0.3 0.4 0.5 0.75 1 1.5 2 2.5 4 6	7/0.15 12/0.15 16/0.15 23/0.15 28/0.15 42/0.15 32/0.20 48/0.20 64/0.20 77/0.20 77/0.26 77/0.32

7-1.4　电　缆

电缆的型号、用途和规格见表 7-14。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-14 电缆的型号、用途和规格

型号	名称	标称截面（毫米²）	导线结构（根数/直径，毫米）	主要用途
YQ	轻型橡套电缆	0.3 0.5 0.75	16/0.15 28/0.15 42/0.15	连接交流电压 250 伏及以下的轻型移动电气设备
YQW				同上，并具有耐气候性和一定的耐油性能
YZ	中型橡套电缆	0.5 0.75 1 1.5 2 2.5 4 6	28/0.15 42/0.15 32/0.20 46/0.20 64/0.20 77/0.20 77/0.26 77/0.32	连接交流 500 伏及以下的各种移动电气设备
YZW				同上，并具有耐气候性和一定的耐油性能
YC	重型橡套电缆	2.5 4 6 10 16 25 35 50 70 95 120	49/0.26 49/0.32 49/0.39 84/0.39 84/0.49 133/0.49 133/0.58 133/0.68 189/0.68 259/0.68 259/0.76	同 YZ，但能承受较大的机械外力作用
YCW				同上，并具有耐气候性和一定的耐油性能
YH	电焊机用铜芯橡套软电缆	10 16 25 35 50 70 95 120 150	322/0.2 513/0.2 798/0.2 1121/0.2 1596/0.2 999/0.3 1332/0.3 1702/0.3 2109/0.3	用作电焊机二次侧接线及连接电焊钳的软电缆，额定工作电压为 200 伏
YHL	电焊机用铝芯橡套软电缆	16 25 35 50 70 95 120 150 185	228/0.3 342/0.3 494/0.3 703/0.3 999/0.3 1332/0.3 1702/0.3 2109/0.3 2590/0.3	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-1.5 各种规格导线的安全载流量和铜丝的熔断电流

表7-15 直接敷设在地中的低压绝缘电缆（铜、铝）安全载流量（安）

线芯最高工作温度80℃ 地温为30℃

标称截面	双芯电缆		三芯电缆		四芯电缆	
(毫米²)	铜	铝	铜	铝	铜	铝
1.5	13	9	13	9	—	—
2.5	22	16	22	16	22	16
4	35	26	35	26	35	26
6	52	39	52	39	52	39
10	88	66	83	62	74	56
16	123	92	105	79	101	75
25	162	122	140	105	132	99
35	198	148	167	125	154	115
50	237	178	206	155	189	141
70	286	214	250	188	233	174
95	334	250	299	224	272	204
120	382	287	343	257	308	231
150	440	330	382	287	347	260
185	—	—	431	323	396	297
240	—	—	—	—	448	336

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表7-16 塑料绝缘电线(铜、铝)安全载流量

线芯最高工作温度70℃ 周围环境温度35℃

标称截面	明线敷设		穿管敷设						护套线			
			二根		三根		四根		二芯		三及四芯	
(毫米²)	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
0.2	3								3		2	
0.3	5								4.5		3	
0.4	7								6		4	
0.5	8								7.5		5	
0.6	10								8.5		6	
0.7	12								10		8	
0.8	15								11.5		10	
1	18		15		14		13		14		11	
1.5	22	17	18	13	16	12	15	11	18	14	12	10
2	26	30	20	15	17	13	16	12	20	16	14	12
2.5	30	23	26	20	25	19	23	17	22	19	19	15
3	32	24	29	22	27	20	25	19	25	21	22	17
4	40	30	38	29	33	25	30	23	33	25	25	20
5	45	34	42	31	37	28	34	25	37	28	28	22
6	50	39	44	34	41	31	37	28	41	31	31	24
8	63	48	56	43	49	39	43	34	51	39	40	30
10	75	55	68	51	56	42	49	37	63	48	48	37
16	100	75	80	61	72	55	64	49				
20	110	85	90	70	80	65	74	56				
25	130	100	100	80	90	75	85	65				
35	160	125	125	96	110	84	105	75				
50	200	155	163	125	142	109	120	89				
70	255	200	202	156	182	141	161	125				
95	310	240	243	187	227	175	197	152				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-17　橡皮绝缘电线(铜、铝)安全载流量(安)

标称截面	明线敷设		穿管敷设						护套线			
			二根		三根		四根		二芯		三及四芯	
(毫米²)	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
0.2									3		2	
0.3									4		3	
0.4									5.5		3.5	
0.5									7		4.5	
0.6									8		5.5	
0.7									9		7.5	
0.8									10.5		9	
1.0	17		14		13		12		12		10	
1.5	20	15	16	12	15	11	14	10	15	12	11	8
2	24	18	18	14	16	12	15	11	17	15	12	10
2.5	28	21	24	18	23	17	21	16	19	16	16	13
3	30	22	27	20	25	18	23	17	21	18	19	14
4	37	28	35	26	30	23	27	21	28	21	21	17
5	41	31	39	28	34	26	30	23	33	24	24	19
6	46	36	40	31	38	29	34	26	35	26	26	21
8	58	44	50	40	45	36	40	31	44	33	34	26
10	69	51	63	47	50	39	45	34	54	41	41	32
16	92	69	74	56	66	50	59	45				
20	100	78	83	65	74	60	68	52				
25	120	92	92	74	83	69	78	60				
35	148	115	115	88	100	78	97	70				
50	185	143	150	115	130	100	110	82				
70	230	185	186	144	168	130	149	115				
95	290	225	220	170	210	160	180	140				
120	355	270	260	200	220	173	210	165				
150	400	310	290	230	260	207	240	188				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表7-18 通用橡套软电缆载流量（安）

线芯长期允许工作温度为+65℃

周围环境温度为+25℃

主线芯截面（毫米²）	YQ，YQW		YZ，YZW			YC，YCW			
	二芯	三芯	二芯	三芯	四芯	单芯	二芯	三芯	四芯
0.3	7	6	—	—	—	—	—	—	—
0.5	11	9	12	10	9	—	—	—	—
0.75	14	12	14	12	11	—	—	—	—
1	—	—	17	14	13	—	—	—	—
1.5	—	—	21	18	18	—	—	—	—
2	—	—	26	22	22	—	—	—	—
2.5	—	—	30	25	25	37	30	26	27
4	—	—	41	35	36	47	39	34	34
6	—	—	53	45	45	52	51	43	44
10	—	—	—	—	—	75	74	63	63
16	—	—	—	—	—	112	98	84	84
25	—	—	—	—	—	148	135	115	116
35	—	—	—	—	—	183	167	142	143
50	—	—	—	—	—	226	208	176	177
70	—	—	—	—	—	289	259	224	224
95	—	—	—	—	—	353	318	273	273
120	—	—	—	—	—	415	371	316	316

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表7-19 长方形截面的金属排(铜、铝)安全载流量

金属排最高温度70℃

环境温度35℃

金属排尺寸 宽度×厚度 (毫米)	最大容许电流(安)					
	铜排			铝排		
	一片	二片并用	三片并用	一片	二片并用	三片并用
25×3	300			235		
30×3	355			270		
30×4	420			320		
40×4	550			420		
40×5	615			475		
50×5	755			585		
50×6	840			650		
60×5	900			710		
60×6	990	1530	1970	765	1190	1510
60×8	1160	1900	2460	900	1480	1920
60×10	1300	2250	2900	1015	1770	2330
80×6	1300	1860	2390	1010	1430	1850
80×8	1490	2300	2970	1160	1800	2310
80×10	1670	2730	3510	1300	2120	2730
100×6	1590	2170	2790	1250	1700	2200
100×8	1830	2690	3460	1430	2100	2680
100×10	2030	3180	4090	1600	2520	3200
120×8	2110	2990	3820	1670	2330	2970
120×10	2380	3610	4580	1820	2820	3610

表7-20 金属圆梗(铜、铝)载流量

金属梗最高温度70℃

周围空气温度35℃

圆梗直径 (毫米)	最大容许电流(安)		圆梗直径 (毫米)	最大容许电流(安)	
	(铜梗)	(铝梗)		(铜梗)	(铝梗)
6	135	105	16	595	420
7	170	130	18	635	490
8	205	160	19	685	530
10	280	215	20	735	570
12	365	280	21	790	610
14	445	345	22	840	650
15	495	380	25	1005	780

7-1.6 常用低压熔丝规格

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-21　常用低压熔丝规格

种类	直径（毫米）	近似英规线号	额定电流（安）	种类	直径（毫米）	近似英规线号	额定电流（安）	熔断电流（安）
青铅合金丝	0.08	44	0.25	铅锡合金丝（其中铅75%锡25%）	0.508	25	2	3
	0.15	38	0.5		0.559	24	2.3	3.5
	0.20	36	0.75		0.61	23	2.6	4
	0.22	35	0.8		0.71	22	3.3	5
	0.28	32	1		0.813	21	4.1	6
	0.29	31	1.05		0.915	20	4.8	7
	0.36	28	1.25		1.22	18	7	10
	0.4	27	1.5		1.63	16	11	16
	0.46	26	1.85		1.83	15	13	19
	0.5	25	2		2.03	14	15	22
	0.54	24	2.25		2.34	13	18	27
	0.58	23	2.5		2.65	12	22	32
	0.65	22	3		2.95	11	26	37
	0.94	20	5		3.26	10	30	44
	1.16	19	6	铜线	0.23	34	4.3	8.6
	1.26	18	8		0.25	33	4.9	9.6
	1.51	17	10		0.27	32	5.5	11
	1.66	16	11		0.32	30	6.8	13.5
	1.75	15	12.5		0.37	28	8.6	17
	1.98	14	15		0.46	26	11	22
	2.38	13	20		0.56	24	15	30
	2.78	12	25		0.71	22	21	41
	3.14	10	30		0.74	21	22	43
	3.81	9	40		0.91	20	31	62
	4.12	8	45		1.02	19	37	73
	4.44	7	50		1.22	18	49	98
	4.81	6	60		1.42	17	63	125
	5.24	4	70		1.63	16	78	156
					1.83	15	96	191
					2.03	14	115	229

注：青铅合金丝的熔断电流均为额定电流的 2 倍。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-1.7 新老产品代替对照表及线规对照表

表 7-22 新老产品代替对照表

推荐使用新产品			被代替的老产品		
名称	型号	说明	名称	型号	说明
1.裸线 硬铝绞线钢芯铝绞线	LJ LGJ	价格低，用途与TJ相同 机械拉力强度与TJ相当，余与上同	硬铜绞线	TJ	导电性能好，机械拉力强度高，但价格贵
2.电磁线 油性漆包圆铜线	Q	外径小，价格低，电气性能好，工艺简单	单、双纱包(编织)圆线	M，MJ ME，MEJ MBM	不符合节棉政策，防潮、耐磨、防雷性能差，工序复杂
聚酯漆包圆铜线	QZ	外径小，机械强度高，耐温等级高，工艺简单	单、双纱漆包圆线	QM，QMJ QME，QMEJ	不符合节棉政策，工序复杂
			单丝(天然丝)漆包圆线	QSJ	不符合国家节约天然丝要求，工序复杂
聚酯漆包圆铝线	QZL	重量轻，耐温等级与QZ及QZB相同(B级)	聚酯漆包圆铜线	QZ	价格贵，导电性能好
聚酯漆包扁铝线	QZLB		聚酯漆包扁铜线	QZB	同上
3.绝缘电线 铜、铝芯聚氯乙烯绝缘电线	BV BLV	材料来源于国内，具有一定防潮能力，耐油、耐燃，敷设方便、省工、省料	铜、铝芯橡皮线(95毫米²及以下)	BX，BXS BLX	不符合国家节棉技术政策，耐油、耐燃、防潮能力差，耗费大量进口橡胶。工艺复杂。
铜芯聚氯乙烯绝缘软线	BVR	同上	铜芯橡皮绝缘软线	BXR	同上
铜、铝芯氯丁橡皮绝缘电线	BXF BLXF	具有耐气候、耐光、不延燃性能，适合于户外敷设	铜、铝芯橡皮绝缘玻璃纤维编织电线(95毫米²及以下)	BBX BBLX	耗用大量进口橡胶，工艺复杂，防潮、耐油能力差，易长霉
铜、铝芯聚氯乙烯绝缘及护套线	BVV BLVV	代替穿管，安装方便。省料、耐光、防潮、耐油、耐燃	铜、铝芯穿管橡皮线	BXG BLXG	除上述缺点外，还要穿管敷设，施工麻烦，浪费管材和金属

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

推荐使用新产品			被代替的老产品		
名　称	型　号	说　明	名　称	型　号	说　明
铜芯聚氯乙烯绝缘软线	RVB RVS	性能、用途可代替右列各产品，其经济意义及优越性能同前	橡皮花线	BXH	不符节棉技术政策，耗用大量进口橡胶。工序复杂
			日用橡皮软线	RXS	
丁腈复合物绝缘日用电器软线	RFS (RYS) RFS (RYB)	除上述特性外，尚具有耐寒性能及较好的耐油性能		RX	
铝芯聚氯乙烯绝缘电线			铜芯聚氯乙烯绝缘电线	BV	
铝芯聚氯乙烯绝缘及护套电线	BLV BLVV	用途与性能均与铜芯相同	铜芯聚氯乙烯绝缘及护套电线	BVV	
4.橡套软线 聚氯乙烯绝缘护套软线	RVZ	用途与YHZ相同，材料立足国内，耐油性能较好，制造方便，价廉	中型橡套电缆	YHZ	需用大量进口橡胶，易延燃，耐油性能差
氯丁橡皮护套软线	RHF	同上。并有良好的耐光和大气老化性能	日用橡套软线	RH	同上
5.电力电缆 铝芯聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆	VLV 型系列	电气性能好，耐水性好，抗酸碱腐蚀，具有一定的机械强度，价格较低，敷设方便	铜芯聚氯乙烯绝缘及护套电力电缆	VV	电气性能好，耐水性好，抗酸、碱，机械强度高
			铝芯纸绝缘铅包电力电缆	ZLQ型系列	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表7-23 线规对照表

英制线规			线径	英制线规			线径
B.W.G	S.W.G	A.W.G (B.S.)	(毫米)	B.W.G	S.W.G	A.W.G (B.S.)	(毫米)
5/0	7/0		12.70			10	2.591
	6/0		11.79	13			2.413
		4/0	11.68		13		2.237
4/0			11.53			11	2.310
	5/0		10.97	14			2.108
3/0			10.80			12	2.057
		3/0	10.40		14		2.032
	4/0		10.16	15	15	13	1.829
2/0			9.65	16			1.651
	3/0		9.45		16	14	1.626
		2/0	9.27	17			1.473
	2/0		8.84			15	1.448
0			8.64		17		1.422
		0	8.25			16	1.295
	0		8.23	18			1.245
1	1		7.62		18		1.219
		1	7.35			17	1.143
2			7.21	19			1.067
	2		7.01		19	18	1.016
3			6.53		20	19	0.9144
	3	2	6.54	20			0.8890
			6.40	21	21	20	0.8128
4			6.04			21	0.7230
	4		5.89	22	22		0.7112
		3	5.827			22	0.6430
5			5.588	23			0.6350
	5	4	5.385		23		0.6096
			5.189			23	0.5740
6			5.156	24	24		0.5588
	6		4.877			24	0.5106
		5	4.621	25	25		0.5080
7			4.572	26	26		0.4572
	7		4.470			25	0.4547
8			4.191		27		0.4166
	8	6	4.115	27			0.4064
			4.064			26	0.4039
9			3.759		28		0.3759
	9	7	3.658			27	0.3606
10			3.404	28			0.3556
	10	8	3.251		29		0.3454
11			3.048	29			0.3302
	11		2.946			28	0.3200
		9	2.900		30		0.3150
12			2.769	30			0.3048
	12		2.642		31		0.2946

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

英制线规			线径	英制线规			线径
B.W.G	S.W.G	A.W.G (B.S.)	(毫米)	B.W.G	S.W.G	A.W.G (B.S.)	(毫米)
		29	0.2870	36	42	38	0.1016
	32		0.2743		43		0.0914
31	33	30	0.2540			39	0.0889
	34		0.2337		44		0.0813
32			0.2286			40	0.0787
		31	0.2261		45	41	0.0711
	35		0.2134		46	42	0.0633
33			0.2032				0.0610
		32	0.2007		47	43	0.0564
	36		0.1930				0.0508
		33	0.1803			44	0.0502
34			0.1778			45	0.0447
	37		0.1727		48		0.0406
		34	0.1600			46	0.0398
	38		0.1524			47	0.0355
		35	0.1422		49	48	0.0316
	39		0.1321				0.0305
35		36	0.1270			49	0.0281
	40		0.1219		50		0.0254
	41	37	0.1118			50	0.0251

注：B.W.G.伯明翰铁线线规；S.W.G.英国标准线规；A.W.G.美国线规(明布朗，夏普线规)。

7-2 绝缘材料

绝缘材料又称电介质，它在直流电压作用下，只容许有微小的电流通过，其电阻率(亦称电阻系数)一般应大于10^9欧姆·厘米。

绝缘材料的主要作用是用来隔离带电的或不同电位的导体，使电流能按一定的方向流通。在不同的电工产品中，由于技术要求不同，绝缘材料还往往起着某些不同的效用，例如散热冷却、机械支撑和固定、储能、灭弧、改善电位梯度、防潮、防霉以及保护导体等。

7-2.1 常用绝缘材料分类及耐热等级

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

绝缘材料的品种很多，按物态一般可分为：

1. 气体绝缘材料　常用的有空气、氮气、氢气和六氟化硫等(本节略)。

2. 液体绝缘材料　常用的有变压器油、开关油、电容器油和电缆油等。

3. 固体绝缘材料　常用的有绝缘漆、绝缘浸渍纤维制品、层压制品、塑料制品、薄膜粘带、云母材料和陶瓷材料等。

绝缘材料按其在正常运行条件下容许的最高工作温度分级，称为耐热等级，见表7-24。

表7-24　绝缘材料的耐热等级

级别	绝　缘　材　料	极限工作温度(℃)
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然的纺织品，以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品，以及易于热分解和熔化点较低的塑料(脲醛树脂)	90
A	工作于矿物油中的和用油或油树脂复合胶浸过的Y级材料、漆包线、漆布、漆丝及油性漆、沥青漆等	105
E	聚酯薄膜和A级材料复合、玻璃布、油性树脂漆、聚乙烯醇缩醛高强度漆包线、乙酸乙烯耐热漆包线	120
B	聚酯薄膜、经合适树脂浸渍涂覆的云母、玻璃纤维、石棉等制品，聚酯漆、聚酯漆包线	130
F	以有机纤维材料补强和石棉带补强的云母片制品、玻璃丝和石棉、玻璃漆布、以玻璃丝布和石棉纤维为基础的层压制品、以无机材料作补强和石棉带补强的云母粉制品、化学热稳定性较好的聚酯和醇酸类材料、复合硅有机聚酯漆	155
H	无补强或以无机材料为补强的云母制品、加厚的F级材料、复合云母、有机硅云母制品、硅有机漆、硅有机橡胶聚酰亚胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰亚胺漆等	180
C	耐高温有机粘合剂和浸渍剂及无机物如石英、石棉、云母、玻璃和电瓷材料等	180以上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-2.2 电工用薄膜、粘带及复合材料

一、电工用薄膜的特点是柔软、耐潮、电气性能和机械性能好。其主要品种、规格和用途见表7-25。

二、电工用粘带的品种、特性和用途见表7-26。

表7-25 电工常用薄膜的性能和用途

名称	常态击穿强度(千伏/毫米)	耐热等级	厚度(毫米)	用途
聚丙烯薄膜	>150	—	0.006～0.02	可用作电容器介质
聚酯薄膜	>130	E	0.006～0.10	可用作低压电机、电器线圈匝间、端部包扎绝缘，衬垫绝缘，电磁线绕包绝缘，E级电机槽绝缘和电容器介质
聚萘酯薄膜	>210	F	0.02～0.10	可用作F级电机槽绝缘、导线绕包绝缘和线圈端部绝缘
芳香族聚酰胺薄膜	90～130	H	0.03～0.06	可用作E、H级电机槽绝缘
聚酰亚胺薄膜	100～130	C	0.03～0.06	可用作H级电机、微电机槽绝缘，电机、电器绕组和起重电磁铁外包绝缘以及导线绕包绝缘

表7-26 电工常用粘带的特性和用途

名称	常态击穿强度(千伏/毫米)	厚度(毫米)	用途
聚乙烯薄膜粘带	>30	0.22～0.26	有一定的电气性能和机械性能，柔软性好，粘接力较强，但耐热性低于Y级。可用于一般电线接头包扎绝缘
聚乙烯薄膜纸粘带	>10	0.10	包扎服贴，使用方便，可代替黑胶布带作电线接头包扎绝缘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	常态击穿强度（千伏/毫米）	厚　度（毫米）	用　途
聚氯乙烯薄膜粘带	＞10	0.14～0.19	有一定的电气性能和机械性能，较柔软，粘接力强，但耐热性低于Y级。供作电压为500～6000伏电线接头包扎绝缘
聚酯薄膜粘带	＞100	0.055～0.17	耐热性较好，机械强度高。可用于半导体元件密封绝缘和电机线圈绝缘
环氧玻璃粘带	＞6*	0.17	具有较高的电气性能和机械性能。可作变压器铁心绑扎材料，属B级绝缘
有机硅玻璃粘带	＞0.6*	0.15	有较高的耐热性、耐寒性和耐潮性，以及较好的电气性能和机械性能。可用于H级电机、电器线圈绝缘和导线连接绝缘
硅橡胶玻璃粘带	3～5*	—	同上，但柔软性较好

* 击穿电压，千伏

三、复合制品的品种、性能和用途见表7-27。

表7-27　复合制品的性能和用途

名　称	型号或代号	厚　度（毫米）	耐热等级	常态击穿电压（平均值，千伏）	用　途
聚酯薄膜绝缘纸复合箔	6520	0.15～0.30	E	6.5～12	用于E级电机槽绝缘、端部层间绝缘
聚酯薄膜玻璃漆布复合箔	6530	0.17～0.24	B	8～12	用于B级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘。可用于湿热地区
聚酯薄膜聚酯纤维纸复合箔	DMD	0.20～0.25	B	10～12	同　上
聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NMN	0.25～0.30	F	12～15	用于F级电机槽绝缘、端部层间绝缘、匝间绝缘和衬垫绝缘
聚酰亚胺薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔	NHN	0.25～0.30	H	7～12	同上，但适用于H级电机

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-2.3 绝缘漆布、绝缘层压板及印刷电路用敷铜箔层压板

一、漆 布

表 7-28 漆布的品种性能和用途

名 称	型 号	耐热等级	特 性 和 用 途
油性漆布（黄漆布）	2010 2012	A	2010柔软性好，但不耐油。可用于一般电机、电器的衬垫或线圈绝缘。2012耐油性好，可用于在变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器中作衬垫或线圈绝缘
油性漆绸（黄漆绸）	2210 2212	A	具有较好的电气性能和良好的柔软性。2210适用于电机、电器薄层衬垫或线圈绝缘；2212耐油性好，适用于在变压器油或汽油气侵蚀的环境中工作的电机、电器中作薄层衬垫或线圈绝缘
油性玻璃漆布（黄玻璃漆布）	2412	E	耐热性较2010、2012漆布好。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘，以及在油中工作的变压器、电器的线圈绝缘
沥青醇酸玻璃漆布（黑玻璃漆布）	2430	B	耐潮性较好，但耐苯和耐变压器油性差。适用于一般电机、电器的衬垫和线圈绝缘
醇酸玻璃漆布	2432	B	耐油性较好，并具有一定的防霉性。可用作油浸变压器、油断路器等线圈绝缘
醇酸玻璃-聚酯交织漆布	2432-1		
环氧玻璃漆布	2433	B	具有良好的耐化学药品腐蚀性，良好的耐湿热性和较高的机械性能和电气性能。适用于化工电机、电器槽绝缘，衬垫和线圈绝缘
环氧玻璃-聚酯交织漆布	2433-1		
有机硅玻璃漆布	2450	H	具有较高的耐热性，良好的柔软性，耐霉、耐油和耐寒性好。适用于H级电机、电器的衬垫和线圈绝缘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由漆布组成的电机、电器绝缘结构，一般都需进行浸渍处理。因此在设计绝缘结构和浸渍工艺时，应注意漆布和浸渍漆的相容性问题。如果浸渍漆选择不当，在浸渍过程中会发生漆布表面漆膜膨胀或脱落现象。常用绝缘漆和漆布的相容性可参见表 7-29。

表 7-29　常用漫漆和漆布的相容性

漆布 \ 浸渍漆	油性漆-石油溶剂	醇酸漆-苯类溶剂	醇酸酚醛漆-苯溶剂	聚酯三聚氰胺漆-石油溶剂	环氧树脂漆-苯溶剂	聚酯漆-苯类溶剂	有机硅漆-苯类溶剂
油性漆布	优	良	良	良	良	○	○
沥青醇酸玻璃漆布	良	良	良	良	可	可	○
醇酸玻璃漆布	良	优	优	优	良	良	○
环氧玻璃漆布	○	良	良	良	优	良	○
有机硅玻璃漆布	○	○	○	○	○	○	良

注：相容性顺序是，优、良、可，○表示不推荐。

二、层压板

表 7-30　绝缘层压板印刷电路用敷铜箔层压板的品种、组成、特性和用途

名称	型号	耐热等级	特性和用途
酚醛层压纸板	3020	E	电气性能较好，耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件，并可在变压器油中使用
	3021	E	机械强度高，耐油性好。适于作电工设备中的绝缘结构件，并可在变压器油中使用
	3022	E	有较高的耐潮性。适于作在高湿度条件下工作的电工设备中的绝缘结构件
	3023	E	介质损耗低。适于作无线电、电话和高频设备中的绝缘结构件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　　称	型　号	耐热等级	特　性　和　用　途
酚醛层压布板	3025	E	机械强度高。适于作电器设备中的绝缘结构件，并可在变压器油中使用
	3027	E	电气性能好，吸水性小。适于作高频无线电装置中的绝缘结构件
酚醛层压玻璃布板	3230	B	机械性能、耐水和耐热性比层压纸、布板好，但粘合强度低。适于作电工设备中的绝缘结构件，并可在变压器油中使用
苯胺酚醛层压玻璃布板	3231	B	电气性能和机械性能比酚醛玻璃布板的好，粘合强度与棉布板相近。可代替棉布板用作电机、电器中的绝缘结构件
环氧酚醛层压玻璃布板	3240	F	具有很高的机械强度，电气性能好，耐热性和耐水性较好，浸水后的电气性能较稳定。适于作要求高机械强度、高介电性能以及耐水性好的电机、电器绝缘结构件，并可在变压器油中使用
有机硅环氧层压玻璃布板	3250	H	电气性能和耐热性好，机械强度较高。供作耐热和湿热地区H级电机、电器绝缘结构件
酚醛纸敷铜箔板	3420（双面） 3421（单面）	E	具有高的抗剥强度，较好的机械性能、电气性能和机械加工性。适于作无线电、电子设备和其他设备中的印刷电路板
环氧酚醛玻璃布敷铜箔板	3440（双面） 3441（单面）	F	具有较高的抗剥强度和机械强度，电气性能和耐水性好。用于制造工作温度较高的无线电、电子设备及其他设备中的印刷电路板

7-2.4　云母材料

天然云母的种类很多，但在电工绝缘材料中，占重要地位

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的仪白云母和金云母两种。云母制品的特性见表7-31。

表7-31 云母纸制品特性

名称	型号	耐热等级	击穿强度(千伏/毫米)	厚度(毫米)	特性和用途
醇酸纸云母带	5430	B	16～25	0.10,0.13,0.16	耐热性较高，但防潮性较差，可作直流电机电枢线圈和低压电机线圈的绕组绝缘
醇酸绸云母带	5432	B	16～25	0.13,0.16	
醇酸玻璃云母带	5434	B	16～25	0.10,0.13,0.16	
环氧聚酯玻璃粉云母带	5437-1	B	20～35	0.14,0.17	热弹性较高，但介质损耗较大，可作电机匝间和端部绝缘
醇酸纸柔软云母板	5130	B	15～30	0.15,0.20～0.25,0.3～0.5	供作低压交、直流电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸纸柔软粉云母板	5130-1	B	16～55	0.15,0.2～0.25,0.3～0.5	
环氧纸柔软粉云母板	5136-1	B	>16	0.15,0.2～0.25,0.3～0.5	用作电机槽绝缘及匝间绝缘
环氧玻璃柔软粉云母板	5137-1	B	>25	0.15,0.2～0.25,0.3～0.5	用于低压电机槽绝缘和端部层间绝缘
醇酸衬垫云母板	5730	B	20～40	0.4～2.0	用于电机、电器衬垫绝缘
虫胶衬垫云母板	5731	B	20～40	0.4～2.0	
环氧衬垫粉云母板	5731-1	B	20～40	0.4～2.0	
醇酸纸云母箔	5830	B	16～35	0.15,0.20,0.25,0.30	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
虫胶纸云母箔	5831	E～B	16～35		
有机硅玻璃云母箔	5850	H	16～35	0.15,0.20,0.25,0.30	用于H级电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘

7-2.5 电 瓷

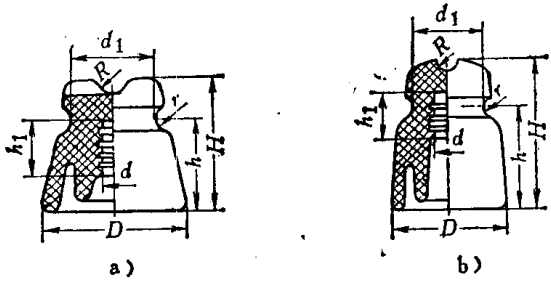
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一、低压架空线路用绝缘子：低压架空线路用绝缘子有针式绝缘子、蝴蝶形绝缘子和拉紧绝缘子。前两种在交流或直流电压500伏以下架空线路中作绝缘和固定导线用，后一种在架空线路电杆中拉紧用。

低压针式绝缘子的规格、低压蝴蝶形绝缘子规格和拉紧绝缘子的规格分别见表7-32～表7-34。

表7-32　低压针式绝缘子规格



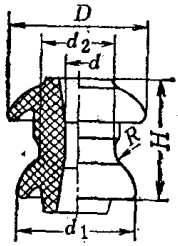
绝缘子型号	图号	主要尺寸（毫米）								机械强度（公斤）
		H	h	h_1	D	d_1	d	R	r	
PD	a	66±4	45	33	76±5	43	20±2	6	6	1000
PD-I-1	b	110±7	79	38	88±5	45	22±2.5	10	7	1000
PD-I-2	b	90±5	62	32	71±4	40	18±2	7	5	800
PD-I-3	b	71±5	46	32	54±3	31	15±1.5	6	4	300

注：型号说明—“P”表示针式绝缘子，“D”表示低压，“PD”表示低压针式绝缘子；PD-I为过渡产品，其后的数字1，2，3表示三种过渡产品的尺寸大小，“3”为最小的一种。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

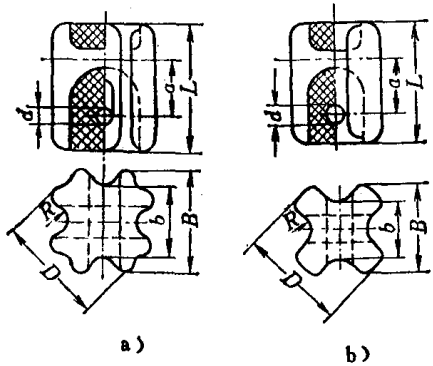
表 7-33 低压蝴蝶形绝缘子规格



绝缘子型号	主要尺寸（毫米）						机械强度（公斤）
	H	D	d_1	d_2	d	R	
ED-1	100±4	120	95±4	50±3	$22^{+1.5}_{-1}$	12	1800
ED-2	80±4	90	78±4	42±3	$20^{+1.5}_{-1}$	10	1500
ED-3	65±3	75	65±3	36±2	16±1	8	1000

注：型号说明—“E”表示蝴蝶形绝缘子，“D”表示低压，“ED”表示低压蝴蝶形绝缘子；字母后面的数字 1，2，3 表示绝缘子按尺寸大小分为 1，2，3 号，1 号为尺寸最大的一种。

表 7-34 架空线路用拉紧绝缘子规格



a）　　b）

绝缘子型号	图号	主要尺寸（毫米）							耐压试验电压（有效值）（千伏）	机械强度（吨）
		L	a	D	B	b	d	R		
J-9	a	172±4	65	99^{+3}_{-2}	89	60	$25^{+1.5}_{-1}$	14	25	9
J-4.5	b	90±3	42	64±2	58	45	$14^{+1.5}_{-1}$	10	15	4.5

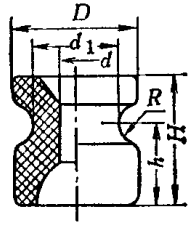
注：型号说明—“J”表示拉紧绝缘子，字母后面的数字 9，4.5 表示绝缘子的机械破坏强度，单位为吨。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、低压户内线路用电瓷：交流或直流电压500伏以下低压户内线路用电瓷有鼓形绝缘子(俗称爆仗白料)、瓷管和瓷夹板，其规格分别见表7-35～表7-37。

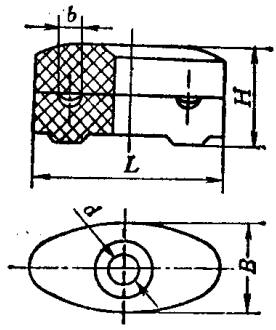
表7-35　低压布线用鼓形绝缘子规格



绝缘子型号	主要尺寸（毫米）					机械强度（公斤）
	H	D	d_1	d	R	
G-50	50±4	32	24	9	5	250
G-38	38±3	32	24	9	5	100
G-25	25	25	17	6	4	

注　型号说明—“G”表示鼓形绝缘子；字母后面的数字表示绝缘子的高度。

表7-36　低压布线瓷夹板



型号	线槽数	主要尺寸（毫米）					每百副重量（公斤）
		L	B	b	H	d	
N-240	2	40	20	6	20	6	4
N-251	2	51	22	6	24	7	7
N-364	3	64	27	8	29	2孔7	10
N-376	3	76	30	8	29	2孔7	12.5

注：型号说明—“N”表示瓷夹板，字母后第一个数字为槽数，其后二位数字为产品长度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-37　低压布线瓷管的规格

主要尺寸 / 瓷管型号	长度（毫米）	外径（毫米）	内径（毫米）	壁厚（毫米）
UZA-9	305	15	9	3
UWA-9	305	15	9	
UBA-9	305	15	9	
UZA-15	305	24	15	4.5
UWA-15	305	24	15	
UBA-15	305	24	15	
UZA-19	305	29	19	5
UWA-19	305	29	19	
UBA-19	305	29	19	
UZA-25	305	36	25	5.5
UWA-25	305	36	25	
UBA-25	305	36	25	
UZA-38	305	51	38	6.5
UWA-38	305	51	38	
UBA-38	305	51	38	
UZB-9	152	15	9	3
UWB-9	152	15	9	
UBB-9	152	15	9	
UZB-15	152	24	15	4.5
UWB-15	152	24	15	
UBB-15	152	24	15	
UZB-19	152	29	19	5
UWB-19	152	29	19	
UBB-19	152	29	19	
UZB-25	152	36	25	5.5
UWB-25	152	36	25	
UBB-25	152	36	25	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

主要尺寸 / 瓷管型号	长度（毫米）	外径（毫米）	内径（毫米）	壁厚（毫米）
UZB-38	152	51	38	6
UWB-38	152	51	38	
UBB-38	152	51	38	

注：型号说明—“UZ”，“UW”，“UB”分别表示为直瓷管，弯头瓷管和包头瓷管，字母后面的数字A、B分别表示瓷管长度为305及152毫米的两个品种，数字9,15，19，25，38分别表示瓷管内径的五种规格。例如：UZA-9型即表示长度为305毫米、内径为9毫米的直瓷管。

7-2.6 铁绑线

铁绑线是用软性铁丝表面包以40～80支玻璃纤维，再浸以沥青和石蜡等混合剂制成，用于输配电线路绝缘瓶与导线的绑扎，其主要技术数据见表7-38。

表7-38 铁绑线主要技术数据

线号	标称直径（毫米）	抗张强度（公斤/毫米^2）	包纱
24	0.56	不小于30	45支纱5股
22	0.71	不小于30	45支纱5股
20	0.89	不小于30	45支纱3股
18	1.25	不小于30	45支纱3股
16	1.65	不小于30	45支纱3股

7-2.7 绝缘漆

绝缘漆主要是以合成树脂或天然树脂等为漆基（成膜物质）与某些辅助材料（溶剂、稀释剂、填料和颜料等）组成。

本文仅介绍浸渍漆。浸渍漆分有溶剂漆和无溶剂漆两大类，其特性分别见表7-39和表7-40。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-39 常用有溶剂漆的品种、组成、特性和用途

名称	型号	耐热等级	特性和用途
沥青漆	1010 (L30-10)	A	耐潮性好。供浸渍不要求耐油的电机线圈
油改性醇酸漆	1030	B	耐油性和弹性好。供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
丁基酚醛醇酸漆	1031	B	耐潮性、内干性较好，机械强度较高。供浸渍线圈，可用于湿热地区
三聚氰胺醇酸漆	1032 (A30-1)	B	耐潮性、耐油性、内干性较好，机械强度较高，且耐电弧。供浸渍在湿热地区使用的线圈
醇酸玻璃丝包线漆	1230 (C34-1)	B	耐油性和弹性好，粘结力较强。供浸涂玻璃丝包线
环氧酯漆	1033 (H30-2)	B	耐潮性、内干性好，机械强度高，粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
环氧醇酸漆	8340 (H30-6)	B	耐热性、耐潮性较好，机械强度高，粘结力强。可供浸渍用于湿热地区的线圈
聚酯浸渍漆	155 (Z30-2)	F	耐热性、电气性能较好，粘结力强。供浸渍F级电机、电器线圈
有机硅浸渍漆	1053 (W30-1)	H	耐热性和电气性能好，但烘干温度较高。供浸渍H级电机电器线圈和绝缘零部件
低温干燥有机硅漆	9111	H	耐热性较1053稍差，但烘干温度低，干燥快。用途同1053

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-40　常用无溶剂漆的品种、组成、特性和用途

名　　称	耐热等级	特　性　和　用　途
环氧无溶剂漆 110	B	粘度低，击穿强度高，储存稳定性好。可用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 672-1	B	挥发物少，固化快，体积电阻率高。适于滴浸小型电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9102	B	挥发物少，固化较快。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 111	B	粘度低，固化快，击穿强度高。可用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 H30-5	B	特性用途与 111 相同
环氧无溶剂漆 594 型	B	粘度低，体积电阻率高，储存稳定性好。可用于沉浸中型高压电机、电器线圈
环氧无溶剂漆 9101	B	粘度低，固化较快，体积电阻率高，储存稳定性好。可用于沉浸中型高压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆 1034	B	挥发物较少，固化快，耐霉性较差。用于滴浸小型低压电机、电器线圈
聚丁二烯环氧聚酯无溶剂漆	B	粘度较低，挥发物较少，固化较快，储存稳定性好，耐热性较1034高。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯酚醛无溶剂漆 5152-2	B	粘度低，击穿强度高，储存稳定性好。用于沉浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯无溶剂漆EIU	F	粘度低，挥发物较少，击穿强度高，储存稳定性好。用于沉浸小型F级电机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆319-2	F	粘度较低，电气性能较好，储存稳定性好。可用于沉浸小型F级电机、电器线圈

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-2.8 绝缘油

一、常用绝缘油有变压器油、开关油、电容器油等，其特性和主要用途见表 7-41 。

表 7-41 常用绝缘油的特性和用途

性能及用途	变压器油		开关油(45号变压器油)	电容器油
	10号	25号		
运动粘度(厘沲)				
20°C	<30	20～30	<30	37～45
50°C	7.5～9.6	8.5～9.6	6～9.6	9～12
闪点 (°C)(闭口)	135～160	135～155	135～145	135～175
凝固点 (°C)	－12～－10	－28～－25	－47～－45	－48～－45
酸值(毫克KOH/克)	0.006～0.05	0.004～0.05	0.003～0.05	0.003～0.02
灰分(%)	0.001～0.005	0.002～0.005	0.003～0.005	0.0015
残碳	—	—	—	—
透明度(5°C时)	透明	透明	透明	透明
抗氧化安定性，氧化后沉淀物(%)	0.01～0.1	0.06～0.1	0.02～0.1	—
氧化后酸值(毫克KOH/克)	0.02～0.35	0.04～0.35	0.048～0.35	—
介质损耗角正切20°C	<0.005	0.0005～0.005	—	—
70°C	0.0025～0.025	0.001～0.025	—	—
100°C,50赫	—	—	—	<0.005
击穿强度(千伏/厘米)	160～180	180～210	—	200～230
主要用途	用于变压器及油开关中起绝缘和散热作用		在低温工作下的油开关中作绝缘排热灭弧用	在电容器上作绝缘用

二、绝缘油的维护与净化

在储存、运输和运行过程中，油会被污染和老化(即劣化)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

因此，在电气设备运行前或运行中，必须对油进行监督和维护，采取防止老化的措施，以保证设备的安全运行，延长设备的检修周期。

防止油老化一般可采取加强散热以降低油温；用氮或薄膜

表7-42　运行中变压器油的质量标准①

名　　称	技　术　要　求	试　验　方　法
水溶性酸 pH	≥4.2	Y-12
酸　　值 (毫克KOH/克)	≤0.1	GB264-64
闪点(°C)	1. 比新油标准不低于5°C② 2. 比前次测量值不低于5°C	GB261-64
击穿强度 (千伏)	≥20 (对15千伏以下变压器) ≥30 (对20～35千伏变压器) ≥35 (对44～220千伏变压器)	GB507-65
介质损耗角正切 (70°C)	≤0.02③	SY2654-66
羰　　基 (毫克/克)	≤0.28④	—
界面张力 (达因/厘米)	≥15④	—

① 变压器油用作户外开关油时，应增加凝固点试验，其凝固点不可高于当地最低气温。

② 发现闪点下降时，应分析油气组成，以查明原因。

③ 暂订标准。

④ 参考标准。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

使变压器油与空气隔绝；添加抗氧化剂(如2，6-二叔丁基对甲酚等)；防止日光照射；采用热虹吸过滤器，使变压器油连续再生等措施。

为了保证充油电器设备的安全运行，除采取上述防止油老化的措施外，还必须经常检查设备温升和油面高度以及油的界面张力、闪点、酸值、击穿强度和介质损耗角正切值等。若油面下降，则需补充油，所补充的油的主要物理性能（如比重、凝固点、粘度、闪点等)应与设备中原有的油相同或相近，以保证二者混合后的安定度合格。未经处理的运行油不能与变压器油混合使用。

运行油必须符合表7-42所列的质量标准。

如运行油不符合上述标准，则需对油进行净化和再生。绝缘油常用的净化和再生方法有：

(1) 压力过滤法　用框式过滤机，除去油中水分和机械杂质。这是普遍采用的净化方法。

(2) 白土再生法　在油的老化程度不太严重时，利用白土的优良吸附性能，除去油中杂质和水分，能取得较好的再生效果。白土的用量可根据油的外观和酸值决定：

外　观	酸　值 (毫克KOH/克)	白　土　用　量 (油重量的%)
透　明	0.05～0.08	5～8
透　明	0.08～0.12	8～15

(3) 硫酸-白土再生法　适用范围较广，不论油的老化程度如何，效果都是好的。可根据油的外观、酸值，决定硫酸、白土的量：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

外　观	酸　值（毫克KOH/克）	白　土　量（油重量的%）	硫　酸　量（油重量的%）
透　明	0.08～0.2	6～8	0.2～0.5
半透明	0.2～0.5	8～15	0.5～1.0
半透明	0.5以上	15～25	1～5

7-3　电阻与电热材料

7-3.1　电阻材料

电阻合金材料是制造电阻元件的重要材料之一，广泛用于电机、电器、仪器及电子等工业。按使用要求分为锰铜、康铜和镍铬等三类主要制品。锰铜用于标准电阻、电阻箱、分流器及附加电阻；康铜用作起动、分流、限流、调整等变阻器及镇流器的电阻；镍铬用于电阻式加热仪器及电炉。其规格见表7-43。

表 7-43　康铜、锰铜及镍铬电阻合金裸线规格

直　径（毫米）	截　面　积（毫米²）	每　米　电　阻　值（欧/米）		
		康　铜	锰　铜	镍　铬
0.025	0.00049	958.01	937.63	2242.6
0.03	0.000706	665.25	651.09	1556.9
0.04	0.001256	374.20	366.24	875.79
0.05	0.001962	239.49	234.39	560.50
0.06	0.002826	166.31	162.77	389.24
0.07	0.003846	122.20	119.60	286.01
0.08	0.005024	95.550	91.56	218.94
0.09	0.006358	73.923	72.349	173.01
0.10	0.007850	59.872	58.598	140.12
0.12	0.001130	41.578	40.693	97.310
0.13	0.001326	35.428	34.675	82.918
0.14	0.015386	30.547	29.897	71.493
0.15	0.017662	26.610	26.043	62.278
0.16	0.020096	23.387	22.890	54.737

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

直径 (毫米)	截面积 (毫米²)	每米电阻值(欧/米)		
		康铜	锰铜	镍铬
0.17	0.022686	20.717	20.276	48.486
0.18	0.025434	18.479	18.086	43.249
0.19	0.028338	16.585	16.232	38.816
0.20	0.0314	14.968	14.649	35.009
0.23	0.04152	11.318	11.077	26.489
0.25	0.04906	9.5801	9.3762	22.426
0.27	0.05722	8.2129	8.0382	19.223
0.28	0.06154	7.6368	7.4743	17.873
0.30	0.07065	6.6525	6.5109	15.569
0.32	0.08038	5.8469	5.7225	13.684
0.35	0.09616	4.8375	4.7835	11.438
0.37	0.10746	4.3734	4.2804	10.235
0.38	0.11335	4.1463	4.0580	9.7041
0.40	0.1256	3.742	3.6624	8.7579
0.45	0.1589	2.9567	2.8938	6.9199
0.50	0.1962	2.3949	2.3439	5.6050
0.55	0.2374	1.9792	1.9371	4.6322
0.60	0.2826	1.6631	1.6277	3.8924
0.70	0.3846	1.2220	1.1960	2.8601
0.80	0.5024	0.9355	0.9156	2.1894
0.90	0.6358	0.7392	0.7234	1.7301
1.00	0.785	0.5987	0.5859	1.4012
1.20	1.1304	0.4157	0.4069	0.9731
1.40	1.5386	0.3054	0.2989	0.7149
1.60	2.0096	0.2338	0.2289	0.5473
1.80	2.5434	0.1847	0.1808	0.4324
2.00	3.1415	0.1476	0.1464	0.3500
2.30	4.1526	0.1131	0.1107	0.2648
2.60	5.3066	0.0885	0.0866	0.2072
3.00	7.065	0.0665	0.0651	0.1556
3.20	8.038	0.0584	0.0572	0.1368

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

直径（毫米）	截面积（毫米²）	每米电阻值(欧/米) 康铜	锰铜	镍铬
3.50	9.616	0.0483	0.0478	0.1143
4.00	12.56	0.0374	0.0366	0.0875
4.50	15.89	0.0295	0.0289	0.0691
5.00	19.62	0.0239	0.0234	0.0560
5.50	23.74	0.0197	0.0193	0.0463
6.00	28.26	0.0166	0.0162	0.0389
6.50	33.16	0.0141	0.0138	0.0331
7.00	38.46	0.0122	0.0119	0.0286
8.00	50.24	0.0093	0.0091	0.0218

7-3.2 电热材料和元件

电热材料用来制造各种电阻加热设备中的发热元件，作为电阻体接在电路中，把电能转变为热能，使炉温升高。它在高温下必须具有良好的抗氧化性能。

一、常用电热材料及元件的特点和用途见表 7-44。

二、管状电加热元件是由铁铬铝或镍铬电热材料作为发热体，外面套以金属护套，中间填以具有良好绝缘和导热性能的

表 7-44 常用电热材料及元件的特点和用途

类别	品种		发热体工作温度°C 常用	最高	特点和用途
材料	镍铬合金	Cr20Ni80	1000～1050	1150	1.电阻率较高；2.加工性能好，可拉成细丝；3.高温强度较好，用后不变脆，适用于移动式设备上；4.具有奥氏体组织，基本上无磁性
		Cr15Ni60	900～950	1050	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

类别	品种		发热体工作温度°C 常用	发热体工作温度°C 最高	特点和用途
材料	铁铬铝合金	1Cr13A14	900～950	1100	1.抗氧化性能比镍铬好；2.电阻率比镍铬高，比重较轻，用料省；3.不用镍，价较廉；4.高温强度低，且用后变脆，适用于各种固定式设备；5.加工性能稍差；6.具有铁素体组织，有磁性
		0Cr13A16Mo2	1050～1200	1300	
		0Cr25A15	1050～1200	1300	
		0Cr27A17Mo2	1200～1300	1400	
	石墨C			3000	1.电阻率较低（须配大电流低电压调压器）；2.适于真空或保护气氛中使用
元件	硅碳棒 硅碳管 SiC		1250～1400	1500	1.高温强度高；2.硬而脆；3.元件间的电阻值一致性较差；4.易老化，电阻随使用时间延长而增大（须配调压装置）
	硅钼棒 $MoSi_2$		1500～1600	1700	1.表面有SiO_2保护膜，抗氧化性能好，无老化现象；2.正向电阻温度系数较大（须配调压装置，开始加热时，须降低电压，防止电流过大）；3.室温下硬而脆，1350°C开始变软，而有延展性；4.不宜在800°C以下长期使用，因不能形成较好的氧化膜
	管状电加热元件		550°C以下（介质温度）		1.结构简单；2.可直接在液体中加热，热效率较高；3.机械强度好，可弯成各种形状；4.拆装便利，使用安全；5.适用于液体加热槽、易熔金属熔化炉、空气干燥加热器及日用电热器等；6.必须在规定的加热介质和工作温度下使用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

结晶氧化镁填料制成。由于氧化镁粉紧紧地把电热丝固定下来，使其与空气隔绝，不易氧化，不怕震动，故其寿命长（在正常条件下，为2～6年，甚至10年以上），加热效果优于单纯使用的普通电热丝。它可以加热静止的或流动的空气，也可以浸在水或其他液体中直接加热，并能熔炼轻金属或作金属模具加热用。目前已广泛用于石油、化工、机械、电子、轻工等许多行业中。其结构示意图见

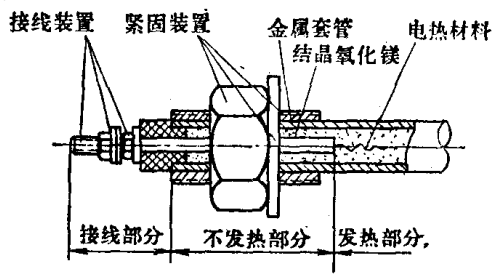


图7-1　管状电加热元件结构示意图

表7-45　管状电加热元件的型号和用途

型　　号	用　　途	最高工作温度（介质）	管子材料
JGQ1　JGQ2　JGQ3	加热流动空气用	≤300°C	碳钢管
JGQ4　JGQ5　JGQ6	加热静止空气用	≤300°C	碳钢管
JGQ7　JGQ8	加热流动空气用	≤300°C	碳钢管
JGY1　JGY2	加热静止油用	≤300°C	碳钢管
JGY3	加热循环油用	≤100°C	碳钢管
JGS1	加热水用	敞开：100°C 密闭：压力3公斤/厘米^2 ≤120°C	碳钢管
JGS2　JGS3			紫铜管
JGX1　JGX2　JGX3	敞开式槽内供硝盐液加热用	≤550°C	不锈钢管
JGJ1　JGJ2　JGJ3	敞开式槽内供碱液加热用	≤550°C	碳钢管
JGM1　JGM2	各种金属模具加热用	≤300°C	碳钢管

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 7-1；选用原则见表 7-45。

7-3.3 远红外电热元件

利用远红外线加热干燥是近几年发展起来的一项新技术，它适用于各种有机物、高分子物质和含水物质，例如油漆、绝缘漆、纺织品、印刷品、粮食、木材、烟草和蔬菜的干燥，食品的烘焙，还可用于金属材料的回火热处理和应力消除等方面。具有投资省、烘干时间短、升温速度快、占地面积少、烘物质量高和消耗电能少等优点。采用这项技术，一般都取得节电 30～50% 的效果。

一、几种远红外电热元件

1. 金属管状远红外元件

金属管状远红外辐射元件就是在普通金属管状电加热元件上加涂远红外辐射涂层而制成的。其优点是可做成不同长度，各种形状，并且起动升温快，热效率高，寿命长，安装维修方便；缺点是表面负荷率较小（一般不大于 4 瓦/厘米^2），不适用于大功率高温加热。

金属管状远红外辐射元件的直径有 ϕ10、ϕ12、ϕ14、ϕ16 毫米几种，形状可根据设计而制造。其基体管主要有不锈钢和碳钢两种。碳钢管面所覆盖的远红外辐射涂料不易脱落，但如工艺场所有腐蚀性气体或使用温度较高，可选用不锈钢管。

2. 陶磁类远红外元件

表 7-46 碳化硅板加热器规格性能

尺寸（毫米）	单件电压（伏）	单件功率（瓦）
150×250×40	110～220	600～800
250×300×40	110～220	800～1000
150×500×40	110～220	800～1000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这类元件有“碳化硅板”、“锆英石板”等，它的制造工艺不复杂，使用方便，寿命长，节电效果好，适用于要求温度高，辐射强度大的炉子。但这类元件机械性能一般较脆，不宜碰撞和振动，安装检修较麻烦。“碳化硅板”加热器规格性能见表7-46。

3. 直热式远红外辐射元件

这种辐射元件的制作很简单，就是在电阻带向炉心的正面涂覆远红外辐射涂料，而在带的背面涂覆低辐射率的二氧化铝涂料。它的表面负荷率很大，可达10瓦/厘米^2，所以照射面可得到较大的辐射强度，能达到较高的加热温度。

二、辐射材料及涂覆工艺

1. 辐射材料

在选择配制远红外辐射涂层材料时，除了考虑材料辐射率特性外，还应考虑价格便宜、来源丰富、无毒等因素。常用的辐射材料按组分及配比可分为六大体系，其配方见表7-47。

2. 涂覆工艺

表 7-47 国内常用远红外辐射材料的配方

编号	体系	配方 (按重量比)
1	α-Fe_2O_3	α-Fe_2O_3单一体
2	TiO_2-ZrO_2	$TiO_2$80%、$ZrO_2$20%
3	TiO_2-ZrO_2	$TiO_2$77%、$ZrO_2$20%、$Nb_2O_5$3%
4	TiO_2-ZrO_2	$TiO_2$72%、$ZrO_2$20%、$Fe_2O_3$2%、$Cr_2O_3$2% $MnO_2$2%、$Co_2O_3$2%
5	TiO_2-Fe_2O_3	$TiO_2$80%、$Fe_2O_3$20%
6	SiC-Fe_2O_3	SiC60%、$Fe_2O_3$25%、$SiO_2$10%、$Ni_2O_3$3%、$MnO_2$2%
7	SiC-Fe_2O_3	SiC80%、$Fe_2O_3$15%、$Ni_2O_3$3%、$MnO_2$2%
8	Re-稀土	ReCaMnFeOx(铁锰酸稀土钙)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

编号	体　　系	配　　方　　（按重量比）
9	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	$ZrO_2 \cdot SiO_2$ 68%、Fe_2O_3 7%、MnO_2 2.5%、Cr_2O_3 2%、Co_2O_3 0.5%、粘土20%
10	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	$ZrO_2 \cdot SiO_2$ 52%、矾土15%、Fe_2O_3 3%、Cr_2O_3 3%、MnO_2 2%、苏州机选土10%、漳州黑土15%
11	$ZrO_2 \cdot SiO_2$	$ZrO_2 \cdot SiO_2$ 50%、Fe_2O_3 25%、Cr_2O_3 20%、MnO_2 5%、2号阳粘土10%、阿拉伯树胶 1 %

常用的涂层法有四种：等离子喷涂法、涂刷法、撒布法和复合烧结法。由于涂刷法工艺简单，施工方便，不需专用设备，应用最普遍，故下面仅介绍这种方法。

涂刷法就象刷漆一样，先将金属电加热元件或碳化硅电加热元件进行喷砂及有机溶剂的清洗处理，然后用毛刷将预制的料浆均匀地涂刷在各种电加热元件的表面，涂层控制在0.2～0.4毫米，涂后凉干，再在100～200℃温度下，烘干两小时，即可使用。

料浆是用粘结剂与远红外辐射材料按一定比例，经球磨或搅拌混合均匀后制得的，其配方见表7-48。

表 7-48　远红外料浆配方

材料名称 / 重量比	远红外辐射材料	硅溶胶	中性水玻璃	有机硅高温漆	水	二甲苯
配方一	4	1～2	—	—	适量	—
配方二	2	—	1～2	—	适量	—
配方三	2	—	—	1	—	1

注：1. 硅溶胶是一种半透明的SiO_2胶体溶液，由钠水玻璃（俗名泡花碱）经离子交换除去杂质离子，并抽气浓缩制成。硅溶胶中的SiO_2含量为25～36%，粘度6～8，pH值9～9.5。

2. 中性水玻璃是将钠水玻璃稀释后，加入适当的弱酸（醋酸或硼酸）中和至中性。工业用模数为3.3的中性水玻璃。

www.789pdf.com 789书库网

表 7-49 主要热电偶材料的特点和用途

热电偶材料（主要成分%）		工作温度(℃)		容许误差	主要特点	主要用途
正极	负极	短期工作最高温度	推荐工作温度			
铂铑20 (Pt80Rh20)	铂铑5 (Pt95Rh5)	1770	1300～1600	≤600℃: ±3℃ >600℃: ±0.5%t	适用于真空（短期使用）、惰性及氧化性气氛中。不能用于还原性气氛或含有铅、锌等金属蒸气和硫、磷、砷等非金属蒸气的气氛中。一般不必进行自由端温度修正	用于钢水温度、各种高温热处理炉、加热炉及其他高温测量
铂铑10 (Pt90Rh10)	铂 (Pt100)	1600	1000～1300	≤600℃: ±2.4℃ >600℃: ±0.4%t	精度较高，稳定性和重现性较好，可作一、二等标准温度传递。气氛适用情况同上	各种金属熔炼、高温热处理炉、加热炉及其他高温测量
镍铬 (Ni90.5Cr9.5)	镍硅① (Ni97.5Si2.5)	1300	600～1250	同上	在较廉价金属热电偶中具有最好的抗氧化性能。适用于真空（短期使用）惰性及氧化性气氛。磷、硫及硅会影响其寿命	有色金属熔炼、各种高温热处理炉、加热炉及航空、石油、化工等高温测量

www.789pdf.com 789书库网

续表

热电偶材料（主要成分%）		工作温度(°C)		容许误差	主要特点	主要用途
正极	负极	短期工作最高温度	推荐工作温度			
铁 (Fe100)	康铜 (Cu55Ni45)	800	300～600	≤400°C: ±3°C >400°C: ±0.75%t	热电势与热电势率较高，价格较廉，在真空中可长期使用。缺点是在潮湿空气中易生锈。在500°C以上易氧化。气氛适用情况同上	石油、化工等生产中测温
镍铬 (Ni90.5Cr9.5)	考铜② (Cu56.5Ni43Mn0.5)	800	0～600	≤400°C: ±4°C >400°C: ±1%t	在常用热电偶材料中，它具有最高热电势和热电势率。耐蚀性及耐热性比铁-康铜优良。气氛适用情况同上	同上

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

续表

热电偶材料（主要成分%）		工作温度(°C)		容许误差	主要特点	主要用途
正极	负极	短期工作最高温度	推荐工作温度			
镍铬 (Ni90.5Cr9.5)	康铜 (Cu55Ni45)	800	0～600	≤400°C: ±4°C >400°C: ±1%t	耐中子辐照，其热电势和热电势率比镍铬-考铜热电偶小，其他性能基本相同。适用气氛同上	同上
铜 (Cu100)	康铜③ (Cu55Ni45)	300	0～300	-40～100°C: ±0.8°C 100～300°C: ±0.75%t 精密级的误差减半	均匀性和稳定性都较好。在潮湿空气中有抗蚀性。气氛适用情况同上	同上

① 分度号：EU-2 ② 分度号：EA-2 ③ 分度号：CK。

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

表7-50 常用热电偶的热电势

热端温度 t (℃)	冷端温度为热电偶的热电势（毫伏）					
	康铜-铜	康铜-铁	镍-镍铬合金	康铜-镍铬合金	铂铑20-铂铑5	铂铑10-铂
-200	-5.46	-7.50	—	—	—	—
-100	-3.32	-4.40	—	—	—	—
0	0	0	0	0	—	—
20	0.76	—	0.82	1.25	—	0.113
100	4.1	5.15	4.07	5.62	0.074	0.643
200	8.8	10.48	8.12	11.08	0.268	1.436
300	14.1	15.77	12.22	19.09	0.569	2.315
400	19.9	20.96	16.32	26.48	0.966	3.250
500	26.3	26.12	20.62	34.18	1.447	4.220
600	—	31.47	24.87	41.95	2.005	5.222
700	—	37.15	29.12	50.02	2.633	6.256
800	—	43.25	33.12	57.94	3.327	7.322
900	—	49.26	37.27	65.75	4.084	8.421
1000	—	—	41.45	—	4.902	9.556
1100	—	—	45.62	—	5.767	10.723
1200	—	—	49.77	—	6.678	11.915
1300	—	—	—	—	7.633	13.116
1400	—	—	—	—	8.618	14.313
1500	—	—	—	—	9.619	15.504
1600	—	—	—	—	10.622	16.688
1700	—	—	—	—	11.613	—

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

表 7-51 常用补偿导线的性能与用途

品种	热电势（毫伏）（容许误差毫伏）					往复电阻值（欧/米①）	补偿导线极性及绝缘皮颜色标志		配用热电偶
	100°C	150°C	200°C	300°C	400°C				
铜-铜镍0.6	0.643	1.025	1.436	2.315	3.250	<0.04	铜（+）	红（+）	铂铑10（+）
(Cu-CuNi0.6)	(±0.023)	$\binom{+0.024}{-0.055}$	(±0.064)	(±0.072)	(±0.072)		铜镍（-）	绿（-）	铂（-）
镍铬-考铜	6.95	10.69	14.66	22.90	31.48	<1.25	镍铬（+）	红（+）	镍铬（+）
(NiCr10-CuNi43Mn0.5)	(±0.30)	(±0.38)	(±0.43)	(±0.43)	(±0.43)		考铜（-）	黄（-）	考铜（-）
铜-康铜	4.10	6.13	8.13	12.21	16.40	<0.684	铜（+）	红（+）	镍铬（+）
(Cu-CuNi40-Mn1.5)	(±0.15)	(±0.20)	(±0.23)	(±0.23)	(±0.23)		康铜（-）	蓝（-）	镍硅（-）（镍铝）
铜-铜镍1.8	1.35	2.05	2.96	4.61	6.37	<0.04	铜（+）	红（+）	钨铼5（+）
(Cu-CuNi1.8)	(±0.05)	(±0.09)	(±0.11)	(±0.16)	(±0.16)		铜镍（-）	白（-）	钨铼20（-）

① 补偿导线的往复电阻值是指当温度为20°C、长度各为1米、截面积各为1毫米²时的两导线总阻值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-3.4 热电偶

热电偶广泛用于测量和控制温度。其优点是精度高、结构简单、使用方便。

热电偶是由两根成分不同、但具有一定热电特性的材料(热电极)焊接一端构成的。热电偶的焊接端称为工作端或热端，测温时将它插在测温部位，其温度为t_1。另一端为自由端或冷端，其温度为t_2。如果两端的温度不同($t_1>t_2$)，在回路中将产生热电动势，即可由指示仪表M显示出来，示意图见图7-2。

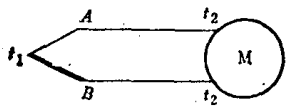


图7-2 热电偶测温原理示意图

主要热电偶材料的特点和用途见表7-49。常用热电偶的热电势见表7-50。

各种温度指示仪表的刻度，都是按照热电偶冷端处于0℃时制造的，因此，冷端温度变化将影响被测温度指示的正确性。为了消除这个影响，在工业上常采用补偿导线法。其示意图见图7-3。常用补偿导线的性能和用途见表7-51。

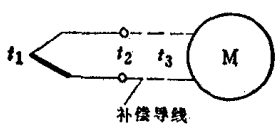


图7-3 补偿导线示意图

7-4 磁性材料

7-4.1 磁性材料分类

磁性材料按其特性和用途通常可分为软磁材料和永磁材料(又称硬磁材料)两大类。

一、软磁材料

软磁材料磁性能的主要特点是磁导率高、矫顽力低。这类材料在较低的外磁场下，就能产生高的磁感应强度，而且随着

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

外磁场增大，磁感应强度很快达到饱和。当外磁场去掉后，磁性又基本消失。属于软磁材料的品种有：电工用纯铁、硅钢片、铁镍合金、铁铝合金、软磁铁氧体等。它的主要用途是作传递、转换能量和信息的磁性零部件或器件。

二、永磁材料

永磁材料磁性能的主要特点是矫顽力高。永磁材料经饱和磁化再去掉外磁场时，将储存一定的磁能量，并能在较长时间内保持强的和稳定的磁性。属于永磁材料的品种有铝镍钴、稀土钴、硬磁铁氧体等。它主要是用在能够产生恒定磁通的磁路中，在一定空间内提供恒定的磁场，作为磁场源。

7-4.2 电工硅钢板

电工用硅钢板是电工中最重要的软磁材料，主要用于电机、电器及仪表的磁路。其电磁性能，见表 7-52。

表 7-52 电工硅钢板电磁性能

钢号	钢板厚度	在不同磁场强度(安匝/厘米)中的磁感(高斯)不小于					单位铁损(瓦特/公斤)不大于		
	(毫米)	B10	B25	B50	B100	B300	F10/50	P15/50	P17/50
		热		轧		钢	板		
D11	1.0	—	15300	16300	17600	20000	5.8	13.4	—
D12	1.0	—	15000	16200	17500	19800	5.5	12.5	—
D11	0.50	—	15300	16400	17600	20000	3.3	7.7	—
D12	0.50	—	15000	16200	17500	19800	3.2	7.5	—
D13	0.50	—	15000	16200	17500	19800	2.8	6.5	—
D21	0.50	—	14800	15900	17300	19500	2.5	6.1	—
D22	0.50	—	14800	15900	17300	19500	2.2	5.3	—
D23	0.50	—	14600	15700	17200	19400	2.0	4.6	—
D31	0.50	—	14600	15700	17100	19200	2.0	4.4	—
D32	0.50	—	14600	15700	17100	19200	1.8	3.9	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

钢号	钢板厚度（毫米）	在不同磁场强度（安匝/厘米）中的磁感（高斯）不小于					单位铁损（瓦特/公斤）不大于		
		B 10	B 25	B 50	B 100	B 300	F 10/50	P 15/50	P 17/50
D31	0.35	—	14600	15700	17100	19200	1.6	3.6	—
D32	0.35	—	14500	15600	16800	18800	1.4	3.2	—
D41	0.50	13000	14500	15600	16800	18800	1.6	3.6	—
D42	0.50	12900	14400	15500	16700	18700	1.4	3.2	—
D43	0.50	12800	14300	15400	16600	18700	1.25	2.9	—
D44	0.50	12800	14300	15400	16600	18700	1.15	2.7	—
D41	0.35	13000	14500	15600	16800	18800	1.35	3.2	—
D42	0.35	12900	14400	15500	16700	18700	1.2	2.8	—
D43	0.35	12800	14300	15400	16600	18700	1.05	2.5	—
D44	0.35	12800	14300	15400	16600	18700	0.9	2.2	—
晶粒取向度小的冷轧钢板									
D1100	0.50	—	15300	16400	17600	20000	3.3	7.5	—
D1200	0.50	—	15300	16400	17600	20000	2.8	6.5	—
D1300	0.50	—	15500	16400	17600	20000	2.5	5.8	—
D3100	0.50	—	15500	16000	17300	19600	1.7	3.7	—
D3200	0.50	—	14800	15800	17200	19500	1.5	3.4	—
晶粒取向的冷轧钢板									
D310	0.50	15700	17000	18000	19000	19800	1.15	2.55	3.5
D320	0.50	16500	18000	18700	19200	20000	1.05	2.3	3.6
D330	0.50	17000	18500	19000	19500	20000	0.95	2.1	2.9
D340	0.50	17000	18500	19000	19500	20000	0.85	1.9	2.6
D310	0.35	15700	17000	18000	19000	19800	0.9	2.0	2.9
D320	0.35	16500	18000	18700	19200	20000	0.8	1.8	2.6
D330	0.35	17000	18500	19000	19500	20000	0.7	1.6	2.3
D340	0.35	17000	18500	19000	19500	20000	0.6	1.4	2.0

注：热轧钢和晶粒取向度小的冷轧钢的性能是指剪切后不再经退火的试样性能。冷轧晶粒取向的钢的性能是指剪切后退火以消除加工硬化的试样性能。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-5 其他材料

7-5.1 电 刷

电刷是用于电机的换向器或集电环上传导电流的滑动接触件。电刷选用得是否恰当，对于电机的运行有很大关系。其技术性能和选择见表 7-53 和表 7-54。

表 7-53 电刷技术性能及工作条件

类别	标号	电阻系数（分接触法）（欧·毫米²/米）	一对电刷的接触电压降（伏）	工作条件		
				额定电流密度（安/厘米²）	容许圆周速度（米/秒）	电刷使用单位压力（克/厘米²）
电化石墨电刷	DS-4	6～16	1.6～2.4	12	40	150～200
	DS-8	31～50	1.9～2.9	10	40	200～400
	DS-14	22～36	2～3	10	40	200～400
	DS-52	12～22	2～3.2	12	50	200～250
	DS-72	10～16	2.4～3.4	12	70	150～200
	DS-74	35～80	3.2～4.4	12	50	200～400
	DS-74B	45～75	2.3～3.5	12	50	200～400
	DS-74B_2	60～90	2.3～3.5	12	50	200～400
	DS-79	20～43	1.6～2.6	12	40	200～400
	DH-112	40～55	2.5～3.7	12	50	200～400
金属石墨电刷	T-1	1～6	1～2	15	25	150～200
	T-3	5～12	1.4～2.2	12	20	150～200
	TS-2	0.1～0.35	0.3～0.7	20	20	180～230
	TS-4	0.2～1.3	0.6～1.6	15	20	200～250
	TS-51	0.04～0.12	0.15～0.35	25	20	180～230
	TS-64	0.05～0.15	0.1～0.3	20	20	180～230
	TS-103	0.2～1	0.6～1.6	15	20	200～250
	TSQ-A	<0.25	<0.4	20	20	180～230
	TSQ-5	1～12	<2	15	35	150～200
	TSQ-17	1～12	<1.9	15	25	150～200

注：S——石墨，DH 与 DS——电化石墨，T——铜，Q——铅，TSQ-A——汽车拖拉机用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-54 常用电机电刷的选择

电机的类型	电刷的工作条件		可采用的电刷	
	电流密度(安/厘米²)	圆周速度(米/秒)	正常的	代用的
交流电动机				
一切容量的异步电动机和单枢变流机的滑环：				
1. 电刷的电流密度较高的	12以上	20～40	TS-84 DS-72	TS-4 DS-4
2. 电刷的电流密度正常的	10以下	20以下	DS-52	DS-14
3. 圆周速度较高的	10以下	60以下	DS-74B DS-74	DS-72
其他专用和特殊直流电机				
电动工具及其他类似用途的小型电动机(电压110～220伏)	10以下	15以下	DS-8	DS-52
汽车电机：				
1. 汽车发电机			DS-13	DS-52
2. 汽车起动电动机			TS-103 TSQ-5	 TSQ-17
快速小型电动机(伺服电动机)：				
1. 电压 50 伏以上	10以下	10以下	DS-52	DS-14
2. 电压 20～50 伏	15以下	4 以下	TSQ-5	T-3 TSQ-17
3. 电压 20 伏以下	10以上	2 以下	TSQ-5 TSQ-17	TS-4
直流发电机				
电焊发电机			DS-4 DS-8	DS-14 T-1

7-5.2 润滑油和润滑脂

一、常用的机械润滑油有 7 个牌号，其质量指标见表7-55。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-55　机械润滑油指标

质量指标	10*	20*	30*	40*	50*	70*	90*
粘度50°C(厘沲)	7～13	17～23	27～33	37～43	47～53	67～73	87～93
残炭(%)不大于	—	—	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6
酸值(毫克KOH/克)不大于	0.14	0.16	0.2	0.35	0.35	0.35	0.35
灰分(%)不大于	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
机械杂质(%)不大于	0.005	0.005	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
水分(%)	无	无	无	无	无	痕迹	痕迹
闪点(开口)(°C)不低于	165	170	180	190	200	210	220
凝点(°C)不高于	−15	−10	−15	−10	−20	0	5

二、常用润滑脂的品种、代号及适用场合见表 7-56。

表 7-56　润滑脂的品种、代号及适用场合

名称		代号	颜色	滴点(不低于)(°C)	适用场合
钠基润滑脂	1号	ZN-1	深黄色到暗褐色均匀油膏	130	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	
钙钠基润滑脂	1号	ZGN-1	由黄色到深棕色的均匀软膏	120	在较高工作温度、容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	
钙基润滑脂	1号	ZG-1	从淡黄色到暗褐色，在玻璃上涂抹1～2毫米厚的润滑脂层，在透光检查时均匀无块状物	75	用于一般工作温度、与水接触的封闭式电动机
	2号	ZG-2		80	
	3号	ZG-3		85	
	4号	ZG-4		90	
石墨钙基润滑脂		ZG-S	黑色均一的非纤维状油膏	80	—
钡基润滑脂3号		ZB-3	由黄褐色到暗褐色软膏	150	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称		代号	颜色	滴点(不低于)(℃)	适用场合
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	用于高温有严重水分场合的封闭式电动机
	2号	ZFG-2		200	
	3号	ZFG-3		220	
	4号	ZFG-4		240	
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	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

7-5.3 胶粘剂

胶粘剂又称粘合剂或粘接剂。随着高分子工业的发展，各种胶粘剂已广泛用于电工、机械等各个行业。

一、环氧树脂胶粘剂

环氧树脂胶粘剂是一种新型的合成树脂胶，它可以粘合多

表 7-57 环氧树脂胶粘剂成分及作用

环氧树脂	它是环氧胶的主要成分，是一种粘稠状的液体，固化后变成棕色，固化后就不能再溶解。当温度高于 200℃ 或受阳光曝晒时，容易老化变脆，粘合能力降低。常用环氧树脂牌号及性能见下表		
	牌号	软化点 (℃)	一般性能及用途
	618	液体	粘接力强，粘度低，便于操作，适于粘合、浇铸、层压等
	6101	14～22	适于粘合、浇铸
	634	20～28	同上，粘度较 6101 高，并具有较高电气性能
	601	64～76(固体)	附着力强，韧性好
	607	110～135(固体)	具有良好的抗化学药品及电气性能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

增塑剂

用来增加环氧树脂固化后的韧性，以提高抗弯及抗冲击强度。常用增塑剂名称及用量见下表。用量是指环氧树脂6101#或634#为100而言

名　　称	用量(%)	性　　状
邻苯二甲酸二辛脂	15～20	液体油状
磷酸三苯脂	15～20	液体、耐寒性差
磷酸三甲酸苯脂	15～20	液体
聚硫橡胶	30～300	黄褐色液体
酚醛树脂	30～40	黄褐色高粘度液体

固化剂

热塑性环氧树脂加入固化剂后，即成为热固性的环氧树脂。常用固化剂名称及性能见下表。使用固化剂时，必须研成粉末状。表中固化剂用量是指环氧树脂 6101#或 634#为 100 而言

名　　称	用量(%)	性　　能	固化条件
乙二胺	6～8	液体，挥发性高，反应放热，室温固化，固化速度快，使用有效期短(约半小时)，耐热性较差(＜100°C)	室温 24 小时或 120°C 3 小时
二乙基三胺	10	液体，挥发性高，反应放热，固化速度快，使用有效期短，室温配制	20～30°C 8 小时
己二胺	15	同上	同上
三乙醇胺	10	液体，室温搅匀后即可使用，使用有效期长	60°C12 小时或 150°C 2 小时

稀释剂

主要作用是降低环氧树脂的粘度，便于工艺操作。常用的稀释剂有丙酮、二甲苯、酒精、甲苯、香蕉水等。用量一般为环氧树脂重量的 5～20%

填料

用来改善粘接性能，减少收缩率和环氧树脂胶粘剂的用量。填料要求干燥、细而均匀(180～200目)，填料的用量要适当，不宜过多，常用填料种类有石棉纤维、玻璃纤维、石英粉、瓷粉、二氧化铝粉、铁粉、铝粉、铜粉等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

种金属、合金及非金属，如钢铁、合金钢、各种有色金属和合金、玻璃、陶瓷、玻璃钢、橡胶、硬塑料等，粘接强度较高。但是必须注意，它虽然使用范围广，也并非“万能”，而应根据具体对象选用。环氧树脂胶的成分及作用见表7-57；几种配方见表 7-58。

环氧树脂胶的配制和使用方法，随配方特点、使用要求及各单位习惯而异。一般说来，活性组分（固化剂、催化剂等）应最后加入，当环氧树脂为固体时，应先将其加热熔化（温度要适当，有时熔化后须冷却），或溶解于其他惰性组分(如增韧

表 7-58　几种环氧树脂粘接剂的配方

配　　方	固　化　条　件
环氧树脂 100 聚酰胺树脂 200 铁　粉 50～200 玻璃丝粉　1～2 石墨粉　少量	20～30°C48小时或150°C 2 小时
环　氧　树　脂　100 邻苯二甲酸二丁脂　20 乙　二　胺　8 玻　璃　丝　粉　1～2 铁　粉 50～200 二　硫　化　钼　粉　1～2	20～30°C24小时或120°C 3 小时
环　氧　树　脂 100 邻苯二甲酸二丁脂　20 邻　苯　二　甲　酸　酐　40 填　料　适量	20～30°C 1 小时后，缓慢升温至180°C，保温 2 小时，降至室温

剂、稀释剂)中。填料、增韧剂、稀释剂等可先与树脂相混，也可临时加入。配胶时，必须将各组分充分搅拌均匀，并避免混

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

入有害的杂质，如水、油等。胶液粘度过大时，可酌加稀释剂(一般不超过10%)，或适当加温，但加温将缩短适用期，有时甚至引起爆聚，必须严格控制。粘接表面必须按要求进行处理，不含溶剂时，可立即合拢，并按指定程序进行固化；含溶剂时，应露置适当时间，并在加压条件下进行固化，多余的胶液，应在其未固化前擦去，以保证得到美观的接头(固化的胶液，为不熔不溶物质，只能用机械方法去除)。

二、502胶

以α-氰基丙烯酸乙酯为主体，加入少量增韧剂、增稠剂和阻聚剂而成。不含溶剂，使用时不需调配，使用方便，固化迅速，在粘接后数秒至几分钟内即可产生强度，2小时后可以进行加工。可粘合金属、塑料(氟塑料、聚烯烃等除外)、橡胶、木材、玻璃、陶瓷等。工作温度－50～＋70℃，接头对有机溶剂有一定抵抗性，但不耐水、酸、碱。脆性较大，不耐冲击和振动。

使用方法：将胶涂在处理好的表面上，合拢后，在触压下保持30秒至数分钟后，在室温放置48小时即可。502胶固化较慢，但填缝性较好，可粘接稍微粗糙一些的表面(但不适于粘接多孔材料及高度粗糙表面)。胶液应保存在冷温、干燥、密封、避光的场所，储存有效期较短。

粘接强度如下：

	抗张强度(公斤/厘米²)	剪切强度(公斤/厘米²)
钢	385	222
铝	196	116
铜	329	128

三、胶粘剂的选用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-59 部分胶粘剂及其用途

名　　称	用　　途
光学树脂胶	光学玻璃粘接
E型环氧树脂(618、634、6101)	粘接、浇铸、层压涂料、包封
F型环氧树脂(酚醛环氧)	粘接、浇铸、层压涂料、包封
203低分子量聚酰胺树脂	环氧固化剂
特种固化剂	环氧固化剂
活性稀释剂	环氧活性溶剂
KH-1密封胶(Xy-755胶)	金属密封
KH-802胶	高强度金属结构粘接
KH-509胶	高强度金属结构粘接
酚醛树脂胶	木材粘接，层压材料
脲醛及改性脲醛胶	木材粘接
KH-501胶	多种材料的快速粘接
502快干胶	多种材料的快速粘接
珊瑚502胶	多种材料的快速粘接
氯乙烯-醋酸乙烯共聚物	塑料粘接，软唱片
软聚氯乙烯粘接剂	粘接软聚氯乙烯
硬聚氯乙烯粘接剂	粘接硬聚氯乙烯等
聚醋酸乙烯酯乳液(化学鳔、白胶、白乳胶)	通用粘接剂
合成胶水	织物、纸张粘接
聚氨酯粘合剂	塑料、金属粘接
JQ-1胶	橡胶与金属粘接
MCG胶	橡胶、人造革、金属
XY-401胶	橡胶、皮革、金属、木材等
KH-506胶	耐热结构粘接(刹车片等)
JF-2胶	橡胶与金属粘接
X98-4胶(JSF-2胶БФ-2胶培爱夫胶)	各种金属及非金属粘接
X98-1胶(JSF-4胶БФ-4胶培爱夫胶)	各种金属及非金属粘接
KH-505胶	耐高温粘接
KH-1导电胶	耐热导电粘接
室温硫化硅橡胶	粘接、灌封、防潮
压敏胶带(电工胶纸)	绝缘、包装、定位

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7-5.4 滚动轴承

滚动轴承按滚动体的种类可分为两大类：(1)球轴承(滚珠轴承)，其滚动体为球；(2)滚子轴承(滚柱轴承)，其滚动体为圆柱。

滚动轴承按其所能承受的负载作用方向又可分为如下各类：

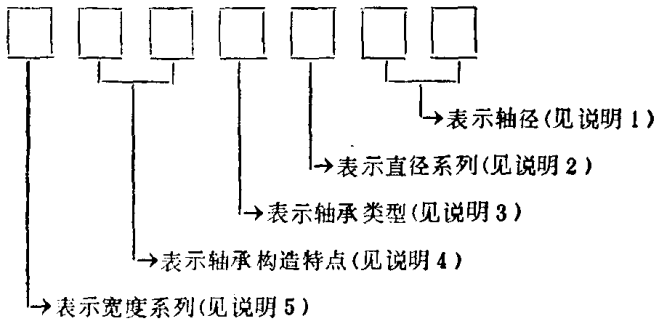
向心轴承　只能承受径向负载(如向心短圆柱滚子轴承)，或能在承受径向负载的同时，承受不大的轴向负载(如向心球轴承)。

向心推力轴承　能承受径向和轴向联合负载，并可能是以径向负载或轴向负载为主。

推力向心轴承　能承受轴向负载，但也能在承受轴向负载的同时，承受不大的径向负载。

推力轴承　只能承受轴向负载。

滚动轴承的代号以七位数字组成，各数字表示的意义如下：



说明：(1)内径为20～495毫米的轴承以轴径被5除得的商数表示，内径为10～20毫米的轴承代号如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

轴承内径（毫米）	10	12	15	17
代　　号	00	01	02	03

(2) 表示直径系列的代号如下：1—特轻系列，2—轻系列，3—中系列，4—重系列，5—轻宽系列，6—中宽系列，7、8—不定系列，9—内径非标准。

(3) 表示轴承类型的代号意义如下：0—向心球轴承，1—向心球面球轴承，2—向心短圆柱滚子轴承，3—向心球面滚子轴承，4—长圆柱滚子轴承或滚针轴承，5—螺旋滚子轴承，6—向心推力球轴承，7—圆锥滚子轴承，8—推力球轴承或推力向心球轴承，9—推力滚子轴承或推力向心滚子轴承。

(4) 用一位或两位数字表示。例如：5—表示外圈有制动槽的，15—表示带防尘盖的，按国家标准GB307-64的附图第1页和第2页。

(5) 表示宽度系列的代号意义如下：1—正常系列，2—宽系列，3、4、5、6—特宽系列，7—窄系列，8、9—特殊系列。

(6) 轴承的精度等级，在轴承代号数字部分的左面用汉语拼音字母C、D、E、(F)、G表示。其中C级精度最高，按排列顺序依次至G级最低。

例如：轴承代号306、2312、6313、60305，其代号的意义如下：

代号306即代号0306，因数字前面的"0"可以省去，故这种滚动轴承是向心球轴承，3代表中系列，内径为$6\times5=30$毫米。

代号2312表示向心短圆柱滚子轴承、中系列、内径为60毫米。

代号6313表示向心推力球轴承、中系列、内径为65毫米。

代号60305表示一面带防尘盖的单列向心球轴承、中系列，内径为25毫米。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一、常用的滚动轴承规格见表7-。

表 7-60　常用滚动轴承规格

轻型			尺寸（毫米）		
滚珠轴承		滚柱轴承			
单列向心滚珠轴承	单列向心推力轴承	单列向心短圆柱	内径	外径	宽度
200	6200	—	10	30	9
201	6201	—	12	32	10
202	6202	—	15	35	11
203	6203	—	17	40	12
204	6204	2204	20	47	14
205	6205	2205	25	52	15
206	6206	2206	30	62	16
207	6207	2207	35	72	17
208	6208	2208	40	80	18
209	6209	2209	45	85	19
210	6210	2210	50	90	20
211	6211	2211	55	100	21
212	6212	2212	60	110	22
213	6213	2213	65	120	23
214	6214	2214	70	125	24
215	6215	2215	75	130	25
216	6216	2216	80	140	26
217	6217	2217	85	150	28
218	6218	2218	90	160	30
219	6219	2219	95	170	32
220	6220	2220	100	180	34

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

中型			尺寸 (毫米)		
滚珠轴承		滚柱轴承	内径	外径	宽度
单列向心滚珠轴承	单列向心推力轴承	单列向心短圆柱			
300	6300	—	10	35	11
301	6301	—	12	37	12
302	6302	—	15	42	13
303	6303	—	17	47	14
304	6304	—	20	52	15
305	6305	2305	25	62	17
306	6306	2306	30	72	19
307	6307	2307	35	80	21
308	6308	2308	40	90	23
309	6309	2309	45	100	25
310	6310	2310	50	110	27
311	6311	2311	55	120	29
312	6312	2312	60	130	31
313	6313	2313	65	140	33
314	6314	2314	70	150	35
315	6315	2315	75	160	37
316	6316	2316	80	170	39
317	6317	2317	85	180	41
318	6318	2318	90	190	43
319	6319	2319	95	200	45
320	6320	2320	100	215	47

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、常用电动机的滚动轴承型号分别见表7-61 和表 7-62。

表 7-61　J2、JO2、JQ2和JQO2系列电动机滚动轴承的型号

机座号	同期转速为 3000 转/分		同期转速为 1500 转/分及以下	
	轴伸端轴承	非轴伸端轴承	轴伸端轴承	非轴伸端轴承
1	204	204	204	204
2	205	205	305	305
3	206	206	306	306
4	208	208	308	308
5	309	309	309	309
6	310	310	2309	310
7	311	311	2311	311
8	314	314	2314	314
9	317	317	2317	317

表 7-62　JZ和JZR系列电动机滚动轴承的型号

机座号	轴伸数	风扇端	接线盒端
JZ和JZR 1	单(双)轴伸	6309	6309
2	单(双)轴伸	6310	6310
3	单(双)轴伸	6312	6312
4	单轴伸	6315	6314
4	双轴伸	6315	6315
5	单轴伸	42616	316
5	双轴伸	42616	42616
JZR 6	单轴伸	42620	320
6	双轴伸	42620	42620
7	单轴伸	42620	326
7	双轴伸	42620	42620

7-5.5　皮带

采用皮带传动，结构简单，安装、维修都很简便，因此在

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

各种电机传动中，都得到广泛的应用。

皮带传动分为三角皮带传动和平皮带传动两种。三角皮带传动多用于两轴间的距离较小的情况下；平皮带传动多用于两轴间的距离较大的场合。皮带传动的功率范围和传动比范围见表 7-63。

表 7-63　皮带传动的功率范围和传动比范围

	三角皮带传动	平皮带传动
功率范围 N(瓦)	0.35～370 常用功率N<40	0.35～1500 常用功率N<75
传动比	1/10～10 常用传动比：1/7～7	1/5～5 常用传动比：1/3～3

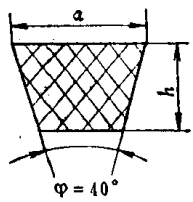
传动比 $i=\frac{n_1}{n_2}\approx\frac{D_2}{D_1}$。$i<1$ 为增速；$i>1$ 为降速

n_1—主动轮转速(转/分)　　D_1—主动轮直径(毫米)

n_2—从动轮转速(转/分)　　D_2—从动轮直径(毫米)

一、三角皮带传动

表 7-64　三角皮带的剖面尺寸

		O	A	B	C	D	E	F
	a(毫米)	10	13	17	22	32	38	50
	h(毫米)	6	8	10.5	13.5	19	23.5	30

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-65　根据传递功率选用三角皮带型号

传递功率		推荐采用的皮带型号
(瓦)	(马力)	
0.4～0.75	0.5～1	O
0.75～2.2	1～3	OA
2.2～3.7	3～5	OAB
3.7～7.5	5～10	AB
7.5～20	10～25	BC
20～40	25～50	CD
40～75	50～100	DE
75～150	100～200	EF
>150	>200	F

二、平皮带传动

表 7-66　橡胶带规格

胶布层数	传动带宽度 (b) (毫米)							
3～4	16	20	25	32	40	50	56	63
3～6	71	80	90	100	112	125		
4～10	140	160	180	200	224	250		
6～12	280	315	355	400	450	500	560	

注：与传动带配用的皮带轮宽度 B，要比传动带的宽度 b 大一级，如 $b=32$ 毫米，则取 $B=40$ 毫米。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-67　各种规格的平皮带能传递的功率及皮带轮最小直径

平皮带规格		电动机皮带轮最小直径(毫米)	在下列各种转速时容许传递功率(千瓦)		
宽(毫米)	厚(层数)		750转/分	1000转/分	1500转/分
75	3	100	3	4	6
75	4	125	5.6	7.47	11.24
100	3	125	4	5.34	8.01
100	4	156	7.47	9.96	14.94
100	5	175	12.37	16.50	24.75
125	4	150	9.30	12.46	18.6
125	5	200	15.45	20.70	31.05
125	6	250	23.25	31.05	41.50
150	4	150	11.17	14.94	22.35
150	5	200	18.45	24.75	37.05
150	6	300	28.05	37.35	56.1
175	4	150	34.65	45.3	68.25
175	5	200	56.56	75	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第八章　常用电工仪表

8-1　电测仪表的基本知识

电工仪表不仅能直接测量（指示或记录）电气参数（如电压、电流、电阻、功率、频率及相位角等），还可以与变换装置配合间接测量多种非电量（如磁通、温度、压力、流量、速度及照度等）。因此电工仪表是生产、科研和国防建设上的基本测量工具之一。

电工仪表的种类很多，本章主要介绍常用的各种开关板式电测仪表及电工维护检修常用仪表。

8-1.1　电测仪表的等级及分类：

1．根据国家标准GB776-76，电测仪表按准确度的等级分为七级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。通常0.1和0.2级仪表作为标准表，0.5至1.5级仪表用于实验，1.5至5.0级仪表用于工程。

2．电测仪表种类繁多，分类方法也很多，除按准确度分类外，还有以下几种分类方法：

(1) 按仪表外形尺寸可分为：微型、小型、中型、大型和巨型五种。

(2) 按使用方式可分为：开关板式仪表和可携式仪表。

(3) 按仪表的工作原理可分为九类，见表8-1。

8-1.2　电测仪表的主要技术指标

1．误差　不论仪表的质量如何，它的指示值与被测量的实际值总是有误差的，因此“误差”是衡量仪表准确性的标准。误差的表达形式见表8-2。

www.789pdf.com 789书库网

表8-1 按工作原理电测仪表分类表

分类名称 \ 性能	标志符号	符号	应用范围	工作电流	测量范围			制成仪表类型
					电流(安)	电压(伏)	频率(赫)	
磁电系		C	直流电表，与多种变换器配合后可扩大使用范围；作比率表	直流	10^{-11}～10^{2}	10^{-3}～10^{3}		电流表、电压表、欧姆表、兆欧表、检流计、钳形表
电磁系		T	安装式电表及一般实验室用交(直)流表	交直流	10^{-3}～10^{2}	1～10^{3}	一般用于工频，可扩频到5千赫	电流表、电压表、频率表、功率因数表、同步表、钳形表
电动系		D	作交直流标准表及一般实验室用表	交直流	10^{-3}～10^{2}	1～10^{3}	一般用于工频，有的可达10千赫	电流表、电压表、功率表、功率因数表、同步表
铁磁电动系		D	作安装式电表	交直流	10^{-7}～10^{2}	10^{-1}～10^{3}	一般用于工频	电流表、电压表、功率表、频率表、功率因数表

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

续表

性能 / 分类 / 名称	标志符号	符号	应用范围	工作电流	测量范围			制成仪表类型
					电流(安)	电压(伏)	频率(赫)	
静电系		Q	在高压测量方面应用	交直流		$10\sim5\times10^{6}$	可达10^{8}	电压表、象限计
感应式		G	计算交流电路中的电能	交流	$10^{-1}\sim10^{2}$	$10\sim10^{3}$	用于工频	主要作为电度表
热电系		E	在高频线路中应用	交流	$10^{-3}\sim10$	$10\sim10^{3}$	小于10^{8}	电流表、电压表、功率表
整流系		L	作万用表	交流	$10^{-5}\sim10$	$10^{-3}\sim10^{3}$	一般用于工频，有的可达5千赫	万用表、电流表、电压表、欧姆表、功率因数表、频率表
电子系		Z	在弱电线路中应用	交直流		5×10^{-3} $\sim5\times10^{2}$	一般为$10^{6}\sim10^{8}$	电压表、阻抗表

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-2 误差及其表达式

误差	定义	表达式
绝对误差	指示值 A_x 与实际值 A_0 的代数差，用Δ表示	$\Delta = A_x - A_0$
相对误差	绝对误差与实际值 A_0 之比的百分数，用 γ 表示	$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} 100\%$
引用误差	绝对误差与仪表测量上限 A_m 之比的百分数，用 γ_m 表示	$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} 100\%$

引用误差用来表示仪表的基本误差，即仪表的准确度等级。

2. 仪表的准确度 仪表在规定条件下工作时，在它的标度尺工作部分的全部分度线上，可能出现的基本误差，称为仪表的准确度。各准确度等级的基本误差不应超过表 8-3 内的规定。

表 8-3 仪表的基本误差

仪表准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差%	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

3. 仪表的灵敏度和仪表常数 在测量过程中被测量变化一个很小的 Δx 值与引起仪表可动部分偏转角的变化量 $\Delta\alpha$ 的比值，称为仪表的灵敏度，用 S 表示。它反映仪表能够测量的最小被测量。

$$S = \Delta\alpha / \Delta x$$

灵敏度的倒数称为仪表常数，用 C 表示。

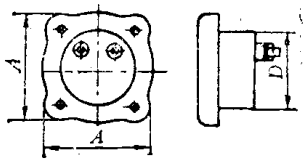
$$C = 1/S$$

www.789pdf.com 789书库网

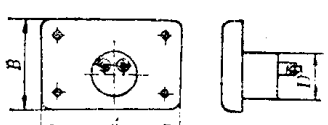
表 8-4 形状特性代号及尺寸表

外形形状

I型($A\times A-D$)



II型($A\times B-D$)



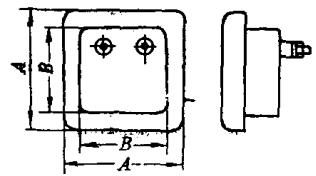
形状第一位代号	面板最大尺寸（毫米）	形状第二位代号表示外壳形状尺寸特征						
		0	1	2	3	5	6	9
1	150～200	160×160 －150 Ⅲ	185×185 －120 Ⅰ				160×160 －150×170 Ⅳ	其他型
2	200～400		200×220 －210 Ⅲ					其他型
4	100～120	110×110 －100 Ⅲ	110×110 －100 Ⅰ		110×85 －60 Ⅱ			其他型

www.789pdf.com 789书库网

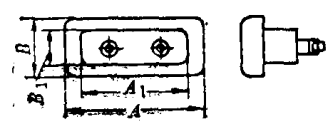
续表

外形形状

III型($A\times A-B$)



IV型($A\times B-A_1-B_1$)



V型($D-d$)

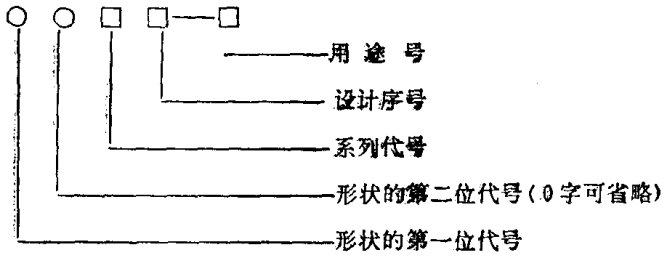
形状第一位代号	面板最大尺寸（毫米）	形状第二位代号表示外壳形状尺寸特征						
		0	1	2	3	5	6	9
5	120～150	135×135 －120 I	135×110 －80 II	130×105 －70 II				其他型
6	80～100	85×65 －40 II		85×85 －80 I		85～70 V	100～80 V	其他型
8	50～80		65×65 －60 I	80～65 V				其他型
9	50及50以下	30×30 －25 I	45×45 －40 I					其他型

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

www.789pdf.com 789书库网

在直读仪表中，若刻度均匀，C常用安/格或伏/格来表示。

8-1.3 常用开关板式仪表的型号意义



形状特性代号与系列代号分别列于表8-4和表8-5。

表8-5 系列代号

代号	B	C	D	E	G	L	Q	R	S	T	U	Z
系列	谐振	磁电	电动	热电	感应	整流	静电	热线	双金属	电磁	光电	电子

例如 1C2-A 表示磁电系电流表，由表8-4查得形状第一位代号是"1"，表示面板最大尺寸为150～200毫米；形状第二位代号是"0"，表示外壳形状为Ⅲ型，尺寸为160×160－150毫米。

59C4-V 表示磁电系电压表，由表8-4查得面板最大尺寸为120～150毫米，外壳形状为其他型。

8-2 控制测量用仪表

8-2.1 电流表和电压表

由于产生转动力矩的方法和机构不同，电流表和电压表有不同的类型，常用的有磁电系、电磁系和电动系等几种。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 磁电系电流表和电压表

(1) 磁电系仪表工作原理。

磁电系仪表的原理结构见图8-1。当被测电流经游丝流过处在永久磁铁磁场中的动线圈时，它与磁场相互作用产生转动力矩，带动指针偏转。当转动力矩与游丝的反作用力矩平衡时，指针停止摆动指出被测数值。

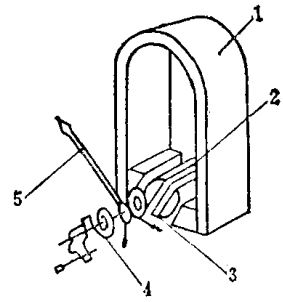


图8-1 磁电系仪表原理结构图
1—永久磁铁 2—动线圈 3—永久磁铁气隙 4—游丝 5—指针

磁电系仪表的优点是标度均匀，灵敏度和准确度较高，读数受外界磁场影响小。但表头本身只能用来测量直流，采用整流装置后才能测量交流，过载能力也较差。

(2) 常用磁电系电流表电压表的型号及规格，见表8-6。

表 8-6 部分常用开关板式磁电系电流表、电压表型号规格

型号	级别	测量范围		备注
1C2-$\frac{A}{V}$	1.5	电流	1～500毫安；1～10000安培	75安培以上带外附分流器
		电压	3～600伏；1～3千伏	1千伏以上带外附电阻器
12C1-$\frac{A}{V}$	1.5	电流表	1～500毫安；1～50安	直接接入
			75～750千安；1～10千安	外附定值分流器
		电压表	3～300～600伏	直接接入
			1；1.5；3千伏	外附定值附加电阻
			零位在中间的包括上述所有量限	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别	测量范围		备　注
44C2-$\frac{A}{V}$	1.5	电流表	10；50；100；150；200；250微安	直接接通
			1；2；3；5；10；15～500毫安	
			1；2；3；5；7.5；10安	
			15；20～300；500；750安1；1.5千安	外附定值分流器
		电压表	1.5；3；7.5～100；150～600伏	直接接通
			750伏 1；1.5千伏	外附定值附加电阻
52C2-$\frac{A}{V}$	1.5	电流表	50；75；100；150；200；300；750；1000微安	直接接通
			1；2；3；10；20；50；100～1000毫安 1；1.5；2；2.5；3；5；7.5安	
			10～100；150～1000； 1000～3000安	配用75FL2型外附定值分流器
		电压表	50；75；100；300～1000毫伏	直接接入
			1；1.5；2；2.5；3；5～30伏	
			50；75；100；150～1000伏	配用FJ26型外附定值附加电阻
85C10-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	50～500微安	直接接入
			1～10；15～100；100～750毫安	
			1～10安	
			15～100；150～750安	外附FL-30型定值分流器
			1；1.5；2；3千安	
		电压表	50～100；150～300；500～1000毫伏 1～10；15～100；150～600伏	直接接入
			750伏 1；1.5；2；3；5千伏	外附FL-20型定值附加电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别		测　量　范　围	备　注
99C2-A	2.5	电流表	50；100；200；300；500微安 1；2；3；5；10毫安	双向量限和单向量限相同
99C12-AV	1.5	电流表	50；100；150；200；350；500微安 1；2；3；5；10～100；150毫安	
	2.5	电压表	1.5；3；5；7.5；15～150伏	

(3) 磁电系仪表常见故障及原因，见表8-7。

表 8-7　磁电系仪表常见故障及原因

序号	常见故障	故障部位及原因
1	不回零	1. 轴尖：(1)生锈、氧化或有其他杂物粘附在其上(2)磨损(3)轴尖座松动 2. 轴承：(1)锥孔磨损、光洁度降低(2)表面有伤痕(3)圆锥孔太脏(4)轴承松动 3. 游丝：(1)游丝焊片与轴承螺丝有摩擦(2)游丝内圈和轴心不同心(3)游丝平面翘起与平衡锤摩擦(4)游丝太脏，有粘圈现象(5)过载受热产生弹性疲劳
2	刻度特性变化	1. 游丝过载，引起弹性疲劳 2. 游丝受潮或受腐蚀性气体腐蚀的表面损坏 3. 元件变形或相对位置发生变化 4. 仪表平衡不好
3	电路通但无指示	1. 有分流支路的测量线路，表头断路而分流支路正常 2. 表头短路（游丝焊片和支架没有绝缘好，使进出线短路） 3. 游丝和支架相碰，使动圈短路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

序号	常见故障	故障部位及原因
4	电路通，信号指示小	1. 动圈部分短路 2. 分流电阻绝缘不好，有部分短路 3. 游丝焊片和支架绝缘不好，有部分电流通过支架而分流
5	电路不通，无指示	1. 电气测量线路断路 2. 游丝烧断或者脱焊 3. 动圈断路 4. 和动圈串联的附加电阻断路
6	电路通但指示不稳	1. 焊接不牢，有假焊 2. 线路接触不良 3. 线路中有击穿或短路
7	误差大	1. 上述机械故障都能引起误差过大 2. 永久磁铁磁性减弱 3. 活动部分平衡不好 4. 线路接触不良或者绝缘不好 5. 电阻元件阻值发生变化

2. 电磁系电流表和电压表

(1) 电磁系仪表工作原理

电磁系仪表的原理结构(排斥型)见图8-2。在线圈内有一块固定铁片和一块装在转轴上的动铁片，当线圈中有被测电流通过时，定铁片和动铁片同时被磁化，并呈同一极性。由于同性相斥，动铁片带动指针转动，当转动力矩与游丝的反作用力矩平衡时，指针

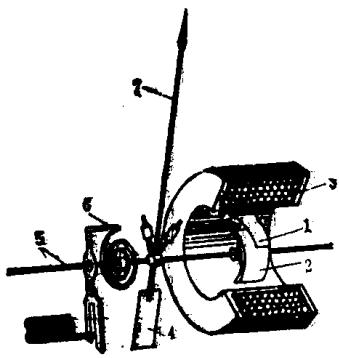


图8-2 电磁系仪表原理结构图

1—固定铁片 2—动铁片 3—固定线圈 4—阻尼器 5—转轴 6—游丝 7—指针

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

就指出被测量的数值。

电磁系仪表的优点是适用于交、直流测量，过载能力强，无需辅助设备，可直接测量大电流。但标度不均匀，准确度不高，读数易受外界磁场影响。

(2) 常用电磁系电流表、电压表的型号及规格，见表8-8。

表8-8 部分常用开关板式电磁系电流表、电压表规格型号

型号	级别	测量范围		仪表接法
1T1-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	0.5～200安	直接
			5～10千安/5安	经电流互感器次级通过5安
	1.5	电压表	15～600伏	直接
			380伏～380千伏/100伏	经电压互感器次级通过100伏
1T9-A	2.5	工作部分1～5，2～10，4～20安		量限同1T1-A、V过载5倍
		过载部分5～15，10～30，20～50安		
62T51-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	100，300，500毫安 1，2，3，5，10，20，30，50安	直接接入
			10～100A，150～600，1000～1500安	配用互感器
		电压表	30，50，150，250，450伏	直接接入
44T1-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	50，100，300 500毫安 1，2，3，5，10，20，30，50安	直接接入
59T4-$\frac{A}{V}$	1.5		10，20，30，50，75，100，150，200，300，600，1000，1500安	配用电流互感器
		电压表	30,50，100，150，250,300,460伏	直接接入
81T1-$\frac{A}{V}$ 81T2-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	0.5，1，2，3，4，5，10安	直接接入
		电压表	30，50，100，150，250，450伏	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 电磁系仪表的很多故障与磁电系仪表相同，产生的原因也相似，现将电磁系仪表特有的故障及消除方法列于表 8-9 中。

表 8-9 电磁系仪表特有的故障及消除方法

序号	故障	主要原因	一般消除方法
1	卡针	1. 空气阻尼器的翼片碰阻尼箱 2. 阻尼片碰阻尼器的磁铁 3. 静动铁片松动而相碰 4. 动铁片碰电流线圈 5. 辅助铁片松动碰动铁片	1. 调整阻尼片的位置 2. 调整阻尼片，使其位于磁铁气隙中间 3. 固紧静动铁片 4. 调整动铁片位置，使动铁片位于线圈窗孔中央 5. 固定好辅助铁片
2	指针抖动	测量机构固有频率与转矩频率共振	1. 增减可动体的重量 2. 更换游丝
3	测量机构有响声	1. 同第二项 2. 屏蔽罩松动 3. 阻尼机构零件松动	1. 同第二项 2. 固紧屏蔽罩 3. 固紧松动零件
4	通电指针不偏转	线圈装反或者接反	正确安装线圈和接线
5	通电指针反向偏转	固定静铁片的铅罩位置装反	调整铅罩位置
6	交直流误差大	1. 测量电路感抗较大 2. 测量机构中铁磁元件剩磁大	1. 改变附加电阻的绕制方法或者并联电容减少感抗 2. 将有剩磁的元件退磁

3. 电动系电流表、电压表

(1) 电动系仪表的工作原理　电动系仪表的原理结构见图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8-3。仪表由固定线圈和活动线圈组成，当它们通以被测电流时，两线圈在电磁力的互相作用下，使活动线圈偏转。这偏转力矩与游丝的反作用力矩平衡时，指针指出被测量数值。

电动系仪表的优点是适用于交、直流测量，灵敏度和准确度较高，还可用来测量非正弦量的有效值。但标度不均匀，过载能力差，读数受外界磁场影响大。

(2) 常用电动系电流表、电压表的规格型号，见表8-10。

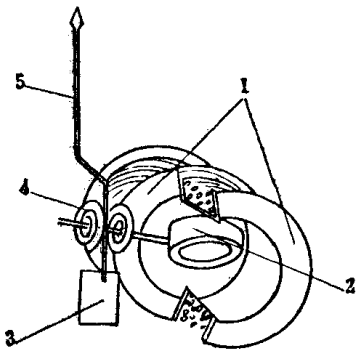


图8-3 电动系仪表原理结构图
1—固定线圈 2—活动线圈 3—阻尼器
4—游丝 5—指针

表8-10 部分常用开关板式电动系电流表、电压表规格型号

型号	级别	测量范围			接入方式
1D7-$\frac{A}{V}$ 41D4-$\frac{A}{V}$	1.5	电流表	安培	0.5,1,2,3,5,10,15,20,30,50	直接接入
				5,10,15,20,30,50,75,100,150,200,300,400,600,750	经电流互感器接入
			千安	1,1.5,2,2.5,3,4,5,6,7.5,10	
		电压表	伏	15,30,50,75,150,250,300,450,600	直接接入
				450,600	经电压互感器接入
			千伏	3.6, 7.2, 12, 18, 42, 150, 300,460	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别	测　量　范　围			接入方式
1D8-V	2.5	双指针电压表120,250			量限同上
13D1-$\frac{A}{V}$	2.5	电流表	安	5,10,20,30,50	直接接入
				10/5,20/5,30/5,50/5,75/5,100/5,150/5,200/5,300/5,400/5	经电流互感器接入
			千安/安	1/5,1.5/5,2/5,3/5,4/5,5/5,6/5	
		电压表	伏	30,150,250,450	直接接入
				3.6千伏～42千伏/100伏	经电压互感器接入

(3) 电动系仪表常见故障及消除方法，见表8-11。

表8-11　电动系仪表常见故障及消除方法

序号	常见故障	主　要　原　因	一　般　消　除　方　法
1	位　移	1. 轴尖和轴承配合较紧	1. 将上轴承的螺丝适当旋出一些
		2. 轴尖磨损	2. 磨修或更换轴尖
		3. 轴尖脏	3. 清洗轴尖
		4. 轴承磨损	4. 更换轴承
		5. 轴承松动	5. 压紧轴承
		6. 轴承脏	6. 清洗轴承
		7. 轴尖生锈	7. 抛磨轴尖
2	活动部分偏转不自由，有卡滞现象	1. 纸面刻度上竖立的小毛刺碰针	1. 用酒精灯火焰燎去小毛刺
		2. 阻尼片碰撞阻尼盒	2. 调整阻尼片使其不碰阻尼盒
		3. 可动线圈的引出线碰擦固定线圈	3. 将出线缠在可动体的轴柱上
		4. 固定线圈的连接引出线碰擦可动线圈	4. 固定连接导线，使其离开可动体的线圈

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

序号	常见故障	主　要　原　因	一　般　消　除　方　法
3	不平衡，误差大	1. 指针打弯 2. 平衡锤位移 3. 活动部分的其他零件松动而变位	1. 校直指针 2. 调整平衡锤，使可动体平衡 3. 检查并固紧松动的零件并重新调整平衡
4	倾倒误差大	1. 轴尖与轴承的间隙过大 2. 研磨后的轴尖曲率半径过小 3. 更换轴承半径曲率过大	1. 调整轴承螺钉，缩小间隙 2. 适当磨大轴尖的曲率半径 3. 选择曲率半径合适的轴承进行更换
5	指针振动	活动机构固有频率与所测电流的频率谐振	1. 增减活动部分的重量 2. 更换游丝，以增减反作用力矩
6	指示数不稳	1. 量程转换开关接触不良 2. 线路元件焊接不牢 3. 游丝焊片松动与活动部分的轴杆有瞬时短路	1. 用汽油洗净接点并涂凡士林 2. 检查并重新焊接松动的元件 3. 固紧游丝、焊片并与轴杆绝缘
7	通电后不偏转	1. 测量线路短路或断路 2. 有一个固定线圈装反 3. 游丝焊片活动部分的轴杆短路	1. 检查测量线路并消除短路或断路现象 2. 检查测量线路，并正确安装固定线圈 3. 消除短路现象，并固紧游丝焊片

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

序号	常见故障	主　要　原　因	一　般　消　除　方　法
8	通以额定电流后，偏转很小	1. 固定线圈有一个装反 2. 固定线圈连接错误 3. 固定线圈或可动线圈有部分短路 4. 分流电阻短路 5. 游丝扭绞或碰圈	1. 重新装正 2. 检查测量线路，正确安装装反的固定线圈 3. 将接反的线圈正确连接 4. 消除短路现象或重新配制 5. 取下后进行调整

8-2.2　功率表和千乏表(无功功率表)

1. 电动系功率表的工作原理

功率表一般都是电动系的，它与电动系电流表、电压表的区别，在于定圈和动圈不是串联起来使用，而是分别将定圈串入负载电路(称为电流支路)，

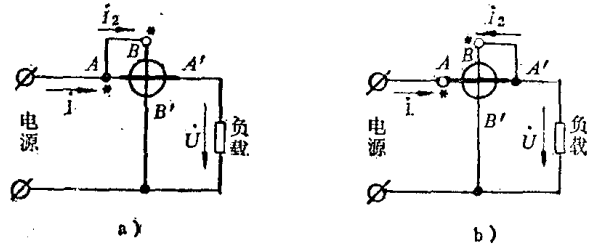


图 8-4　功率表正确接法示意图

动圈和附加电阻串联后再并入负载电路(称为电压支路)，如图 8-4 所示。这样测量机构的偏转角与负载的电压和电流的乘积成正比，因而能测量负载的功率。

2. 功率表使用注意事项

(1) 使用功率表时不但要注意功率表的量限，而且还要注意功率表的电流量限和电压量限，只有这两个量限都满足要求时，功率表的量限才满足要求。

(2) 功率表的接线必须遵守“发电机端”规则，否则不仅无法读数，还会损坏仪表。正确的接法是，将标有“*”号的电流

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

端钮接至电源端，另一端钮接至负载端；标有“*”号的电压端钮可接至电流端钮的任一端，而另一端钮则跨接到负载的另一端，见图 8-4。

(3) 一般功率表只标注分格数，而不标注瓦特数。不同量限的表，每一分格都代表不同的瓦特数，称为功率表的分格常数，用 C(瓦/格)表示。在测量时读得的偏转格数 α，乘以相应的分格常数 C，就等于被测功率的数值，即

$$P = C \times \alpha \quad (瓦)$$

3. 常用功率表的规格型号，见表 8-12。

表 8-12 部分常用开关板式功率表规格型号

型号	级别		测量范围	接入方式
1D6-$\frac{W}{VAR}$ 41D3-W	2.5	瓦 乏	额定电压100,220,380伏,额定电流5安	220伏380伏 外附电阻器
1D5-W	2.5	千瓦	额定电压127伏，220伏，额定电流5安，1～2千瓦	直接接通
			额定电压 380～3500 伏，额定电流 7.5～4000安，3～900千瓦	配用电流互感器次级5安,配用电压互感器次级100伏
		千乏	额定电流 5 安，额定电压 127 伏，220伏0.8～1.5千乏	直接接通
			额定电流 7.5～5000 安，额定电压 380～110000伏	电流配用电流互感器次级 5 安，电压配用电压互感器次级100伏
63D1-1W	2.5	瓦 乏	同1D6-$\frac{W}{VAR}$	同1D6-$\frac{W}{VAR}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别	测　量　范　围		接 入 方 式
1L1-W	2.5	瓦	额定电压100,127,220,380伏，电流5安	直接接通
			额定电流5～10000/5安或/0.5安 额定电压380～380000/100伏或/50伏	配用互感器
12L1-W	2.5	瓦（单相）	额定电压50,100,220伏，电流5安，0.5安	直接接通
			额定电压220～220000/100伏或/50伏 额定电流5～10000/5安或0.5安	外附功率变换器
16L8-$\frac{W}{VAR}$	2.5		同42L1-$\frac{W}{VAR}$型三相功率表	同42L1-$\frac{W}{VAR}$产品
42L1-$\frac{W}{VAR}$ 63L2-$\frac{W}{VAR}$	2.5	千瓦	额定电流5安，额定电压127,220,380伏	直接接人
			额定电压380～380千伏/100伏 额定电流5～10千安/5安或0.5安	配用电流电压互感器
59L4-$\frac{W}{VAR}$	2.5	瓦 乏	额定电压127,220,380伏，电流5安，0.5安	直接接人
			额定电流5～10000/5安或0.5安 额定电压380～380000/100伏或50伏	外附功率变换器

8-2.3　电度表

1．电度表的工作原理

电度表是感应系仪表，其原理结构见图8-5。仪表由电压线圈、电流线圈、铝转盘、制动磁铁和计数机构等组成。当两线圈都通过交流电时，产生的交变磁场穿过铝转盘，在转盘上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

感应产生的涡流与交变磁场相互作用，产生转动力矩使铝盘转动。转动的铝盘又切割制动磁铁的磁场，产生制动力矩，制动力矩与铝盘的转速成正比。当转动力矩和制动力矩平衡时，铝盘以稳定的速度转动。功率越大，转速越快，时间越久，转数愈多，因此感应系仪表能计量电能。

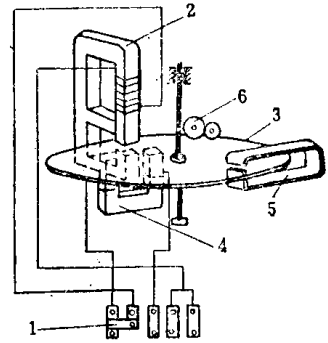


图 8-5　感应式电度表原理结构图
1—接线端子　2—电压铁心　3—铝转盘
4—电流铁心　5—制动磁铁　6—计数机构

2．电度表使用注意事项

（1）电度表不允许安装在10%额定负载以下的电路中使用。

（2）电度表在使用时，不容许电路经常短路或负载超过额定值的 125%。

3．常用电度表的规格型号，见表 8-13。

表 8-13　部分常用电度表的规格型号

型号	级别	规格		接入方式
		额定电流（安）	额定电压（伏）	
DD1	2.5	2.5,5,10, 5,10, 5,10	220 127 110	直接接入
		次级：5 次级：5	220,127, 110次级	经电流互感器接入 经万用互感器接入
DD5	2.0	3,5,10	220	直接接入
DD10	2.0	2.5, 5, 10, 20,30	220	直接接入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别	规格		接　入　方　式
		额定电流(安)	额定电压(伏)	
DS2	2.0	5,10,25	100,380	直接接入，经电流、电压互感器接入
DT-2	2.0	5,10,25	3×380/220	同DS2
DX2	2.5	5	380,100	经万用电流互感器及电压互感器接入
DB15	0.5	1,5,10	100,220	直接接入
DBS2	0.5	1,5,10	100,380	
DJ1	2.0	5,10,120	110,220,600	直接接通
		1000,1500	750,1500	经分压器或附加电阻和分流器接入
		20000	750,1500	经分压器或附加电阻和直流互感器接入

8-2.4　三相功率因数表

1.　功率因数表的工作原理

功率因数表是根据"比率表"原理制成的，比率表的原理结

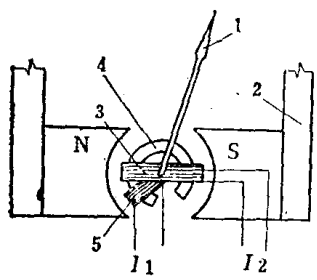


图 8-6　比率表原理结构图
1—指针　　2—永久磁铁
3、5—活动线圈　4—环形铁心

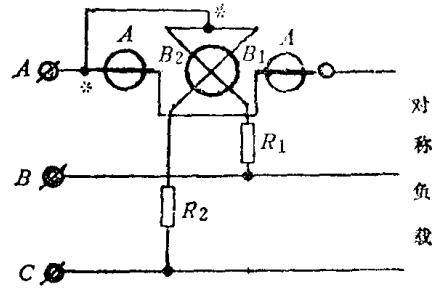


图 8-7　三相功率因数表接线图
A—定圈　B_1、B_2—动圈
R_1、R_2—附加电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

构见图 8-6。在同一根轴上装有两个交叉的线圈，这两线圈在磁场(磁电式比率表磁场由永久磁铁建立；电动式比率表磁场由另一固定线圈建立)中所受的作用力矩相反，指针偏转的角度决定于两个线圈中流过电流的比值I_1/I_2。图 8-7 是三相功率因数表原理接线图。表的两个动圈B_1和B_2分别与电阻R_1和R_2串联后接入线路，由于两动圈中的电流相位不同，在磁场中所受的力矩也不同，仪表的偏转角就取决于负载电路的相位角φ。

2. 三相功率因数表使用注意事项

(1) 选择功率因数表时，除了在额定电流和电压量限内外，还必须处在规定的频率范围内。

(2) 功率因数表的接线端钮都标有特殊记号，它与功率表一样，必须按照"发电机端"原则进行接线。

(3) 对三相功率因数表进行接线时还需注意相序不能接错。

3. 常用三相功率因数表规格型号，见表8-14。

表 8-14 部分常用功率因数表规格型号

型号	级别	测量范围	外形尺寸	备注
1D1-cosφ 1D5-cosφ	2.5	cosφ：0.5～1～0.5 伏：100，110，127，220安：5	160×160×95	
1L1-cosφ	2.5	同上		直接接通
1L2-cosφ		380～380000伏/100伏，5～10000安/5安或0.5安		配用互感器接通

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	级别	测量范围	外形尺寸	备　注
19D1-cosφ	2.5	cosφ:0.5～1～0.5 5安 380伏/127伏U/100伏	186×186×107	直接接入 配用互感器接入
6L2-cosφ	2.5	单相：100,220伏；5安 三相：100,380伏；5安 cosφ:0.5～1～0.5	80×80×(59～78)	
44L1-cosφ 59L1-cosφ	2.5	380伏5安	100×80×(50～80) 120×120×(40～60)	外附功率因数变换器
13T1-cosφ	2.5	0～1～0 127,220,380/100或380/127L/5安	120×120×(170～180)	

8-2.5　频率表

频率表的种类繁多，这里只介绍电动系频率表。

1．电动系频率表的工作原理

电动系频率表是利用电动系比率表的原理制成的，只是内

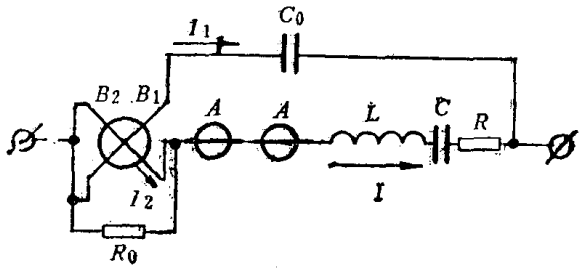


图 8-8　电动系频率表内部接线原理图

A—定圈　B_1,B_2—动圈　L—电感　C,C_0—电容　R,R_0—电阻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

部接线与普通比率表不同，它的内部接线原理见图 8-8。图中动圈 B_1 与电容 C_0 串联构成一条支路；动圈 B_2 与电阻 R_0 并联后再和固定线圈 A、电感 L、电容 C 及电阻 R 串联构成另一支路，这两条支路并联后，串接在负载线路中。当定圈和两动圈均通以电流时，定圈 A 分别对动圈 B_1 和 B_2 产生相反的力矩，在这两个力矩作用下，仪表指针转过某一角度，直到两力矩平衡时为止。由于仪表内部两并联支路存在阻抗，阻抗的大小随频率而变化，则两支路中的电流及由这电流而产生的力

表 8-15　部分常用开关板式频率表型号规格

型　号	级别	测　量　范　围	接 入 方 式
1D1-Hz 1L1-Hz	1.0 5.0	45～55,55～66赫 额定电压 50,100,127,220,380 伏	直接接入
16D2-Hz	2.5	48～50～52赫，45～50～55赫 额定电压 110 伏 220 伏	直接接入
16D2-Hz	2.5	48～50～52赫，45～50～55赫 额定电压U_1/100伏	通过电压互感器次级 100 伏接入线路
46L2-Hz	5.0	45～55赫，55～65赫 额定电压50,100,220,380伏	直接接入
59L2-Hz	5.0	45～55赫，55～65赫 额定电压50,100,220,380伏	外附频率变换器
62L1-Hz 62L2-Hz	1.0 1.5 2.5	C组45～55,55～65,380～480,450～550 赫 B 组950～1100,1450～1550 赫 额定电压50,100,110,127,220,380伏	直接接入
62J51-Hz	1.5 2.5	45～55，380～480，450～550，950～1050,1450～1550赫 额定电压 36,110,127,220,380 伏	带外附专用阻抗器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

矩亦随频率而变化，因而仪表指针偏转的角度能反映线路电流的频率。

2. 常用开关板式频率表的规格型号，见表8-15。

8-2.6 记录仪表

电工记录仪表是用来记录电量或经过变换器把非电量变成电量的仪表。这类仪表大致可分为自动平衡式记录仪表、笔式记录仪表、光线示波器及磁带记录仪等。常用的电工笔式（表头类）记录仪表是由指针式仪表加一套传动及记录装置组成的，可直接记录电力部门线路上的各种电参数，有的还配用放大器用以扩大仪表的灵敏度、工作频率和输入阻抗等。常用电工记录仪表型号规格见表8-16。

表 8-16 常用电工记录仪表(开关板式)型号规格

型号	名称	规格	接入方式
LC8-$\frac{A}{V}$	直流自动记录电表（磁电系）	1～300毫安；0～30安	直接接入
		50安～75千安	外附分流器
		75～300毫伏；1～1000伏	
		准确度等级：1.5；记录纸：100毫米×10米；走纸速度：0～5400毫米/时分六档；电源：交流 127，220 伏；外形尺寸＝220×222×260毫米	
LD5-$\frac{A}{V}$	交流自动记录电表（铁磁电动系）	0～5安，0～600伏，500～600伏	直接接入
		5～800安，1～15千安，4～500千伏	经互感器接入
		其他同 LC8-$\frac{A}{V}$	
LD6-$\frac{W}{VAR}$	自动记录功率表（铁磁电动系）	额定电流：5安；额定电压：100，127，220 伏；其他同 LC8-$\frac{A}{V}$	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　　号	名　　称	规　　格	接入方式
LL1-Hz	自动记录频率表（整流系）	45～55赫，55～65赫，0.5级； 其他同LC8-$\frac{A}{V}$	
LC12-$\frac{A}{V}$	直流打点式自动记录电表（磁电系）	0～20毫安； 0～30伏； 电源24伏； 精度2.5； 打点速度2次/秒； 外形尺寸：125×80×60毫米	

8-3　维护检修常用仪表

8-3.1　万用表

万用表是一种多用途电表，可用来测量电阻、直流电流、直流电压、交流电流、交流电压等。少数万用表还可测量功率、电感和电容。

1．万用表测量原理

万用表是用磁电系表头和测量线路，通过转换开关来实现各种测量功能的，其测量原理见图8-9。

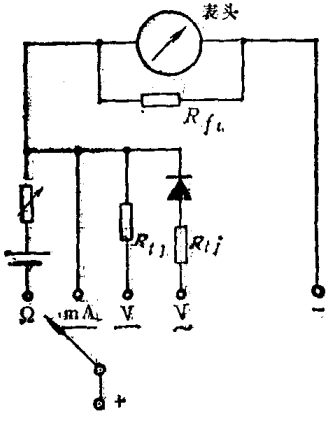


图8-9　万用表测量原理图

2．万用表使用注意事项

（1）测量前需检查转换开关和表笔是否拨在和插在所测档的位置上，不能放错。若测电压量，而转换开关置于电流或电阻档上，则会损坏仪表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 在测量电流或电压时，如果对被测量的大小不清楚，应将量程放在最高档上，以防指针打坏，然后再拨到合适的量程上测量，以减小误差，但不可带电转换量程。

(3) 测量直流电压或直流电流时，应注意被测量的极性，仪表的正负端应与被测电路正负端相接。测量电流时，仪表串联在电路中；测量电压时，仪表并联于电路上。

(4) 测量2500伏交、直流高压时，要注意人身安全，防止触电。电路中有固定大电容时，应事先放电。

(5) 测量交流电压时，须考虑被测电压的波形。万用表只适于测量正弦波电压或电流的有效值，而不能测量非正弦量。

(6) 表上有一旋钮标志↙Ω↘符号，是供测量电阻时用的。测量时应先将测试笔短接，调节其旋钮，使指针偏转到零位。若无法调节至零，则说明电池电压不足或内部接触不良。

(7) 测量电阻时，被测电阻至少有一端与电路断开，并切断电源才能进行测量。电阻的量程应选得合适，原则上是使指针停在表头刻度中心位置附近为宜，因为此位置测量误差最小。测量低电阻时，要注意接触电阻。测量高电阻(大于10千欧)时，应注意不要形成并联电路(例如，不应将双手接触测试笔或电阻引线)。

(8) 每次测量完毕，应将转换开关拨到交流电压最高一档，或者拨在空档上，以免别人误用，造成仪表损坏。

3. 常用万用表的规格型号，见表8-17。

表8-17 部分常用万用表规格型号

型号	测量项目及测量范围		灵敏度	基本误差(%)
MF30	直流电流	0～50～500微安～5～50～500毫安		±2.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	测量项目及测量范围		灵敏度	基本误差(%)
MF30	直流电压	0～1～5～25伏	20千欧/伏	±2.5
		0～100～500伏	5千欧/伏	
	交流电压	0～10～100～500伏	5千欧/伏	±4
	电阻	中心值：25、250欧、2.5千欧、25千欧、250千欧		±2.5
		倍数：R×1、×10、×100、×1K、×10K		
		范围：0～4～40～400千欧～4～40兆欧		
	电平	－10～＋56分贝		
MF18	直流电流	0～60微安～1.5～7.5～15～75～300～1500毫安		±1
	直流电压	0～150毫伏～1.5～7.5～15～75～300～600伏	20千欧/伏	±1
	交流电流	0～1.5～7.5～15～75～300～1500毫安		±1.5
	交流电压	0～7.5～15伏	133欧/伏	±1.5
		0～75～300～600伏	2千欧/伏	
	电阻	中心值：12、120欧、1.2、12、120千欧		±1
		倍数：R×1、×10、×100、×1K、×10K		
		范围：0～2～200千欧～2～20兆欧		
MF14	直流电流	0～1～2.5～10～25～100～250毫安～1～5安		±1.5
	直流电压	0～2.5～10～25～100～250～500～1000伏	1千欧/伏	±1.5
	交流电流	0～2.5～10～25～100～250毫安～1～5安		±2.5
	交流电压	0～2.5伏	100欧/伏	±2.5
		0～10～25～100～250～500～1000伏	400欧/伏	
	电阻	中心值：75、750欧、7.5、75千欧		±1.5
		倍数：R×1、×10、×100、×1K		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	测量项目及测量范围		灵敏度	基本误差(%)
MF14	电阻	范围：0～10～100千欧～1～10兆欧		±1.5
500 (500-F)	直流电压	0～2.5～10～50～250～500伏	20千欧/伏	±2.5
		2500伏	4千欧/伏	±4.0
	交流电压	0～10～50～250～500伏	4千欧/伏	±4.0
		2500伏	4千欧/伏	±5.0
	直流电流	0～50微安～1～10～100～500毫安		±2.5
	电阻	0～2～20～200千欧～2～20兆欧		±2.5
U-101	直流电流	0～100微安1～10～100～1000毫安		±2.5
	直流电压	0～0.25～2.5～10～50～250～500～1500伏	10千欧/伏	±2.5
	交流电压	0～10～50～250～500～1000伏	4千欧/伏	±4
	电阻	中心值：75、750欧、7.5、75千欧		±2.5
		倍数：R×1、×10、×100、×1K		
		范围：0～10～100千欧～1～10兆欧		
	电平	-10～+22～+36～+50～+56～+62分贝	用10V档	
	电容量	0.001～0.3微微法	用10V档	
	电感量	20～1000亨		
	晶体管直流放大倍数	0～100		

4. 万用表常见故障及其原因，见表8-18。

8-3.2 兆欧表

兆欧表又叫摇表或高阻表，它是测量电路、绕组、电缆及电气设备等绝缘电阻的常用仪表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-18 万用表常见故障及其原因

故障位置	故障现象	可能原因
表头	摇动表头，指针摆动不正常	1. 支撑部位卡住；2. 游丝绞住；3. 机械平衡不好；4. 表头线断开或分流电阻断开
直流电流档	无指示	1. 表头被短路；2. 表头线圈脱焊或动圈断路；3. 表头串联电阻损坏或脱焊；4. 分档开关未接通
	各档测量值偏高	1. 与表头串联的电阻值变小；2. 分流电阻值偏高或断开
	各档测量值偏低	1. 表头灵敏度降低；2. 与表头串联的电阻值变大
直流电压档	无指示	1. 电压部分开关公用接点脱焊；2.最小量程档附加电阻断线或损坏
	某量程档不通，其他档通	转换开关接触不好，或接触点与该档附加电阻脱焊
	小量程误差大，随量程增大误差变小	小量程的附加电阻有故障
	某量程显著不准确，该档前各档正常，该档后随量程增大，误差变小	该档附加电阻有故障
交流电压档	指针轻微摆动或指示极小	整流器可能被击穿
	读数小一半左右	部分整流元件损坏，全波整流变成半波整流
电阻档	无指示	1. 转换开关公共点引线断开；2.调零电位器中心焊点引线断焊；3.电池无电压输出
	正负表笔短路，指针调不到零	1. 电池容量不足；2. 串联电阻值变大；3. 转换开关接触电阻增大
	调节零时，指针跳跃不稳	调零电位器接触不良
	某量程不通或误差很大	1. 转换开关接触点接触不良；2.串联电阻断开；3.该档分流电阻有故障；4.该档电池或其串联电阻有故障

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 兆欧表的工作原理

常用的兆欧表是由一台手摇发电机和磁电系比率表组成的，其原理结构见图8-10，兆欧表的工作原理见图8-11。由图

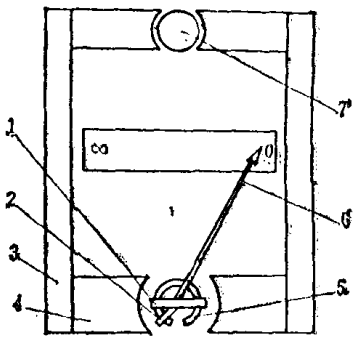


图 8-10 兆欧表原理结构图
1,2—动圈 3—永久磁铁 4—极掌 5—有缺口圆环铁心 6—指针 7—手摇发电机

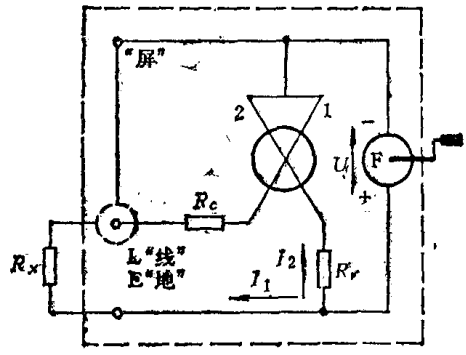


图 8-11 兆欧表工作原理图
1,2—动圈 F—发电机 R_c、R_v—附加电阻 R_x—被测绝缘电阻

可见被测电阻 R_x 与动圈 1 串联，流过动圈 1 的电流 I_1 与 R_x 的大小有关，由 I_1 产生的力矩 M_1 将随 R_x 的大小而变化，根据比率表的原理，仪表偏转角 α 随 M_1 的大小而变化，因而指针的偏转角能反映 R_x 值的大小。

2. 兆欧表使用注意事项

(1) 选用兆欧表电压等级时应注意，额定电压在 500 伏以下的设备，一般选用 500 伏或 1000 伏的表；额定电压在 500 伏以上的设备、电机的绕组及电力变压器的绕组等应选用 1000～2500伏的表；一般低压电器设备的绝缘电阻用100～200伏的兆欧表即可。

(2) 为了防止发生人身和设备事故及得到精确的测量结果，在测量前必须切断电源，并将被测设备充分放电。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 仪表的接线柱与被测设备间连接的导线，不能用双股绝缘线和绞线，应用单股线分开单独连接，以免绞线绝缘不良而引起误差。

(4) 测量前先将兆欧表进行一次开路和短路试验，检查兆欧表是否良好。摇动手柄后，若连接线开路，指针不指在“∞”处，短路时，指针不指在“0”处，则都说明表有问题，需要检修。

(5) 对有可能感应出高电压的设备，应消除这种可能后，才能进行测量。被测设备的表面要擦干净，以免造成测量误差。

(6) 测量时，手摇发电机应由慢到快，当转速达到120转/分时，要保持匀速。读数应以指针稳定不变时为准。

(7) 在测量电缆的缆芯对缆壳的绝缘电阻时，除将缆芯和缆壳分别接于“电路”和“接地”接线柱外，还要将电缆壳芯之间的内层绝缘物接“保护环”，以消除因表面漏电而引起的误差。

3. 常用兆欧表的规格型号见表8-19。

表 8-19 常用兆欧表规格型号及技术数据

型号	发电机电压(伏)	测量范围(兆欧)	最小分度(兆欧)	准确度等级
0101	100	0～100		1.0
2525	250	0～250		1.0
5050	500	0～500		1.0
1010	1000	0～1000		1.0
ZC11-1	100	0～500	0.05	1.0
ZC11-2	250	0～1000	0.1	1.0
ZC11-3	500	0～2000	0.2	1.0
ZC11-4	1000	0～5000	1	1.0
ZC11-5	2500	0～10000	1	1.5
ZC11-6	100	0～20	0.01	1.0
ZC11-7	250	0～50		1.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　　号	发电机电压（伏）	测量范围（兆欧）	最小分度（兆欧）	准确度等级
ZC11-8	500	0～100	0.05	1.0
ZC11-9	50	0～200		1.0
ZC11-10	2500	0～2500		1.5
ZC25-1	100	0～100	0.05	1.0
ZC25-2	250	0～250	0.1	1.0
ZC25-3	500	0～500	0.1	1.0
ZC25-4	1000	0～1000	0.2	1.0
ZC30-2	5000	0～100000	5	1.5

4．兆欧表常见故障及处理方法，见表8-20。

表 8-20　兆欧表常见故障及处理方法

常见故障	可　能　原　因	排　除　方　法
发电机发不出电或电压很低	1．绕组断线或其中一个绕组断线 2．线路接头断线 3．碳刷接触不好，没有接触或碳刷磨损	1．重新绕线圈 2．检查线路，把断头重新焊牢 3．调换碳刷，或调整碳刷与整流环的接触面
发电机电压低，摇动摇柄很重	1．发电机整流环片间有污物，有磨损碳粒或铜屑形成短路 2．整流环击穿短路 3．转子线圈短路 4．发电机并联电容击穿 5．内部线路短路	1．把转子拆下，用竹片在片间清洗和用汽油清洗 2．修理或更换整流环 3．重绕转子线圈 4．调换电容 5．清除线路短路处
发电机电压不稳	1．调速器装置上螺钉松弛，调速轮摩擦点接触不紧 2．调速器上螺钉失灵	1．固牢调速器装置上的螺钉，使调速器接点接触好摩擦轮 2．调换弹簧

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

常见故障	可能原因	排除方法
摇发电机打滑，电压发不出	1. 偏心轮固定螺钉松动	1. 调整好偏心轮位置，与各齿轮啮合好，再固紧偏心轮上的螺钉
	2. 调速器弹簧或弹性失灵	2. 用尖头钳转动调速器螺母，拉紧弹簧，使摩擦点压紧摩擦轮
发电机摇不动，有卡碰现象或摇时很重	1. 发电机转子与磁轭相碰	1. 拆下发电机进行检查，重新装配
	2. 各增速齿轮啮合不好或损坏	2. 调整齿轮位置，啮合好，尤其要调好偏心轮位置，损坏时重换
	3. 滚珠轴承脏、油干涸，轴承偏斜	3. 拆下转轴，在轴承中用汽油清洗重新上润滑油
	4. 小机盖固定螺钉松动，使转子滚珠轴承上位置不正	4. 调整小机盖位置，固紧螺钉
	5. 转轴在轴承中，间隙距离过小	5. 在小机盖固定螺钉，垫上一些胶木垫
	6. 转轴弯曲	6. 整直
指针不能转动或转动时有卡住现象（或有轻微卡住现象）	1. 仪表可动线圈框架内部铁心松动，造成铁心与线圈相碰	1. 固定铁心螺钉
	2. 线圈内部的铁心与极掌之间有铁屑、灰尘等杂物	2. 拆下表头内部，进行清洗，消除铁屑等杂物
	3. 由于导丝变形，在线圈转动时，导丝与某些固定部分相碰	3. 整形或配换导丝
	4. 线圈本身变形，或上下轴尖位置有变动，造成线圈与铁心、极掌相碰	4. 重整线圈和线框
	5. 支撑线圈的上、下轴尖松动或脱落	5. 调整上、下轴尖，固紧好宝石螺钉
	6. 表盘有细毛和指针相碰，线圈和铁心极掌间有细毛	6. 拆下表头，消除掉铁心间和表盘上的细毛

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

常见故障	可能原因	排除方法
指针指不到"∞"位置	1. 导丝变质、变形、残余力矩变大	1. 修理或配换导丝
	2. 发电机电压不足	2. 修理发电机
	3. 电压回路的电阻变质、数值增高	3. 调换回路电阻
	4. 电压线圈间短路或断线	4. 重绕电压线圈
指针超过"∞"位置	1. 有无穷大平衡线圈的摇表可能该线圈短路或断路	1. 重绕无穷大平衡线圈
	2. 电压回路电阻变小	2. 调换电压回路电阻
	3. 导丝变形，残余力矩比原来减小	3. 修理或更换导流丝
指针不指零位	1. 电流回路电阻变化，即电阻增大后，指针不到零位，阻值减小，指针超过零位	1. 调换电流回路电阻
	2. 电压回路电阻变化，即阻值大，指针超过零位，阻值小，指针不到零位	2. 调整电压回路电阻
	3. 导丝变质或变形	3. 修理或配换导丝
	4. 电流线圈或零点平衡线圈有短路或断路	4. 重绕电流线圈或零点平衡线圈

8-3.3 钳形表

钳形表是在不断开电路的情况下进行电流测量的一种仪表。分为可测交流电流和可测交、直流电流两种类型，有的还可测量电压。

1. 钳形表的工作原理

钳形表是由电流互感器和整流式电流表组成，其工作原理见图8-12。当把载流导线卡入钳口时，相当于互感器的初级线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

圈(一匝)流过电流，次级线圈将出现感应电流，和次级线圈相连的电流表指针就发生偏转，从而指示被测电流的数值。

2. 钳形表使用注意事项

(1) 测量前应先放在最大量程档上进行测量，然后再视测量值的大小，变换合适的量程。

(2) 测量电流时，被测载流导线应放在钳形口的中央，以免产生误差。

(3) 钳口应紧密接合，如有杂声可重新开合一次，如仍有杂声应检查钳口有无污垢存在，如有污垢，可用汽油擦干净再进行测量。

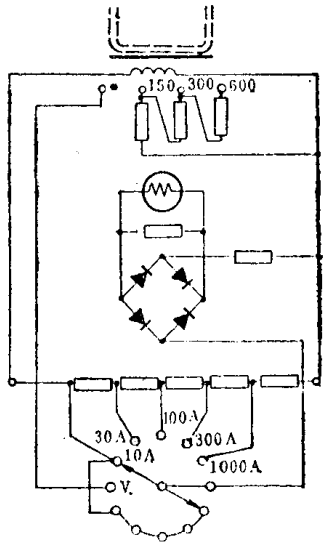


图 8-12 钳形表(MG4-AV型)工作原理图

(4) 测量完毕一定要将量程开关放在最大量程位置上，以免再次使用时，由于疏忽未选择量程而损坏电表。

(5) 测量小于 5 安以下电流时，为了得到较为准确的测量值，在条件许可的情况下，可把导线多绕几圈放进钳口进行测量，但实际电流数值应为读数除以放进钳口内的导线数。

3. 常用钳形表的规格型号，见表8-21。

8-3.4 直流电桥

直流电桥主要用来精确测量电阻值。根据结构的不同，直流电桥可分为单电桥、双电桥和单双两用电桥。单电桥适用于测量中值电阻 (1～10^6 欧)；双电桥适用于测量低值电阻(1 欧以下)。

1. 直流单电桥

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-21　常用钳形表的规格型号

型　号	级别	用　途	测　量　范　围
MG20 MG21	5.0	测量交直流电流	MG20为0～100安，0～200安，0～300安 0～400安，0～500安，0～600安 MG21为0～750安，0～1000安，0～1500安
MG25	2.5	测量交流电流、电压和直流电阻	交流电流为 5 安/25安/100安，5安/50安/250安 交流电压为300伏/600伏 直流电阻 0～50 千欧
MG4-AV	2.5	交流电流、电压	交流电压为0～150伏～300伏～600伏 交流电流为 0～10 安～30 安～100 安 ～300 安～1000安
T301-A	2.5	交流电流	0～10～25～50～100～250安 0～10～25～100～300～600安 0～10～30～100～300～1000安
T302-AV	2.5	交流电流	0～10～50～250～1000安 0～250～500伏，0～300～600伏

直流单电桥又称惠斯登电桥，其工作原理如图8-13所示。图中ac、cb、bd、da四支路称为电桥的四个臂，其中一个臂连接被测电阻 R_x，其余三个臂连接可调标准电阻。测量时调节一个臂或几个臂的电阻，使检流计指针指在零位，表示电桥达到平衡。这时被测电阻 R_x 为

$$R_x = \frac{R_2}{R_3} R_4$$

R_2、R_3 叫比例臂，R_4 叫比较臂，知道这些电阻值就可知道被测电阻 R_x 的数值。

2．直流双电桥

直流双电桥又称凯尔文电桥，与单电桥相比，其特点在于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

它能消除用单电桥测量时无法消除的由接线电阻和接触电阻造成的测量误差。因此，双电桥测量准确度高，是测量小电阻(1～10^{-5}欧)的常用仪器。直流双电桥的工作原理如图 8-14 所示。R_n 为标准电阻，作为电桥的比较臂，R_x 为被测电阻。标准电阻和被测电阻各有一对电流接头和一对电压接头，电阻 R、R_1～R_4为桥臂电阻，阻值都很小，一般不超过 10 欧。

当电桥达到平衡时，被测电阻 $R_x=\frac{R_2}{R_1}R_n$。

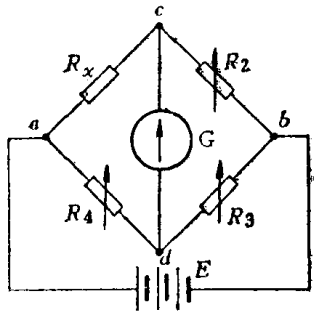


图 8-13　直流单电桥原理图
G—检流计　R_x—被测电阻
E—直流电源　R_2、R_3、R_4—标准电阻

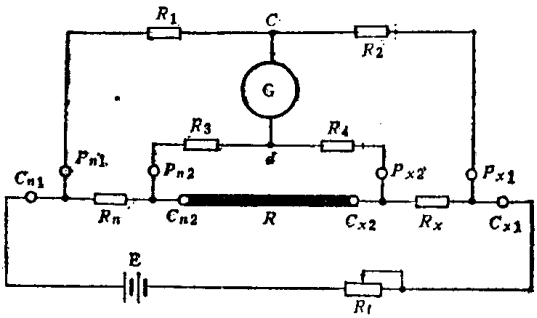


图 8-14　直流双电桥原理图
G—检流计　E—直流电源　R_n—标准电阻
$R_{1\sim4}$—桥路电阻　R_x—被测电阻　R_t—调节电阻　$C_{n1\sim n2}$，$C_{x1\sim x2}$—电流接头
$R_{n1\sim n2}$，$P_{x1\sim x2}$—电压接头

3.　直流电桥使用注意事项

(1) 测量前应先估计被测电阻的大小，参照使用说明书上的表格选择相适应的比例臂(倍率)，使"比较臂"可调电阻各档充分被利用，以提高读数的精度。

(2) 使用电桥时，应先将检流计锁口打开，检查指针是否指零位，否则应调至零位。电池电压如不足应更换，否则会影响电桥的灵敏度。

(3) 当采用外接电源时，必须注意极性，电压的大小应根

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

据电桥要求来选择。为了安全，可在电源回路中串接一可调电阻，对应不同的被测电阻，可调节电源电压，提高其灵敏度。

(4) 测量端钮与被测电阻间，应尽量使用截面较大的短导线连接，连接要牢固，氧化层应刮净，以提高测量精度和避免接线脱落而烧坏检流计。

(5) 测量时，先按下“电源按钮”并锁住，然后按下“检流计按钮”，若指针向正方向偏转，说明比较臂数值不够，应加大，反之应减小。这样反复调节直至指针停留在零位。

(6) 测量完毕，先松开检流计按钮，再松开电源按钮，并将检流计锁扣锁住，以免搬移时由于振动而扯断吊丝。

(7) 对于直流双电桥除上述注意事项外，还应注意：

① 被测电阻电压接头 (P_{x1}～P_{x2}) 应在电流接头 (C_{x1}～C_{x2}) 的内侧，即电压接头的引出线应比电流接头的引出线更靠近被测电阻。

② 选用标准电阻时，应尽量使其阻值与被测电阻在同一数量级，最好能满足下述关系：

$$\frac{1}{10}R_x < R_n < 10R_x$$

4. 常用直流电桥的型号规格，见表 8-22。

表 8-22 常用直流电桥的型号规格

名 称	型 号	等级	测 量 范 围	用 途
单双两用桥	QJ16 (QJ36)	0.02	单桥 100～10^6 欧 双桥 10^{-6}～100 欧	测量电阻和作为0.02级精密电阻箱
单双两用桥	QJ17	0.02	单桥 100 欧～1 兆欧 双桥 10^{-6}～100 欧	测直流电阻值

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

名　称	型　号	等级	测　量　范　围	用　途
单双两用桥	QJ19	0.05	单桥 10^2～10^6 欧 双桥10^{-5}～10^3 欧	测量直流电阻值
携带式直流单桥	QJ23	0.2	1～999900欧，保证精度范围 1～99990欧	测量直流电阻
直流单桥	QJ24	0.1	10^{-3}～9999000欧，保证准确度范围 20～99990 欧	测量直流电阻
携带式直流双桥	QJ26	0.2	10^{-4}～11欧	测量直流低阻用
携带式直流单双桥	QJ31	0.2	单桥 10 欧～1 兆欧 双桥 1～0.001 欧	测量直流电阻
直流单双桥	QJ32	0.05	单桥 50～10^6欧 双桥 10^{-5}～100 欧	直流电阻精密测量
高阻电桥	QJ38	0.05	10^5～10^{16} 欧	测量高阻元件，绝缘电阻及微电阻
直流双桥	QJ103	2	10^{-4}～11 欧	测量低阻值
线路试验器	QJ43	0.1	1～999900欧，保证准确度范围 10～9999 欧	测量直流电阻电缆故障点

8-3.5　交流电桥

交流电桥主要用来测量电感、电容及阻抗等参数，它也是将被测对象与标准器(如标准电感、标准电容)在电桥线路中进行比较的较量仪器，因此具有较高的测量准确度。

1．交流电桥的工作原理

交流电桥的原理线路见图8-15。它和直流电桥的原理很相似，只是要用交流电源(多为晶体管或电子管振荡器)，指零仪 G

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

也是交流的(如谐振式检流计或晶体管毫伏表等)，平衡条件也与直流电桥相似，即

$$\dot{Z}_x=\frac{\dot{Z}_2}{\dot{Z}_3}\dot{Z}_4$$

当电源是正弦交流波形时，要上式成立必须满足

$$\begin{cases}Z_xZ_3=Z_2Z_4\\ \varphi_x+\varphi_3=\varphi_2+\varphi_4\end{cases}$$

可见交流电桥平衡的条件是：相对桥臂上阻抗的幅模乘积要相等；阻抗的幅角之和也要相等。因此调节交流电桥平衡时要反复进行。

在一般情况下，为使电桥结构简单，常把 $\dot{Z}_2$ 和 $\dot{Z}_3$ 桥臂设计为纯电阻，那末比较臂 $\dot{Z}_4$ 的阻抗性质只要随被测量 $\dot{Z}_x$ 是电感或是电容而确定，这样调节起来就方便多了。

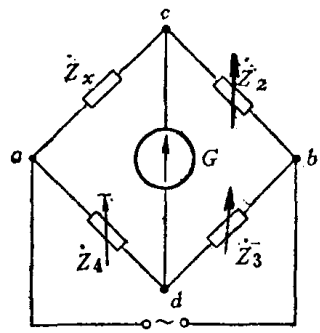


图8-15　交流电桥原理图

2．交流电桥使用注意事项

(1) 电桥的电源要按使用说明书所规定的电压频率和波形要求去选用。

(2) 合理地布置仪器和连接线，屏蔽和接地应严格按使用说明书上的要求去处理。

(3) 指零仪或与其所接的放大器应随电桥的平衡逐渐提高其灵敏度，直至完全平衡为止。

(4) 换接元件时要断开电桥电源后再进行。

3．常用交流电桥的型号规格，见表8-23。

8-3.6　直流电位差计

直流电位差是测量直流电势(电压)的仪器，也可用它来间

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 8-23　常用交流电桥的型号规格

名　称	型号	等级	测　量　范　围	用　途
交流电桥	QS-1	5	高压测量：电压为 5～10 千伏时， 电容：0.3×10^{-4}～0.4 微法 介质损耗角正切：0.005～0.6 低压测量：电压 100 伏时， 电容：0.3×10^{-3}～100 微法 介质损耗角正切：0.005～0.6	测量工频高低压设备、电容及介质损耗角
万能电桥	QS-18	1	电容：0.5微微法～1100微法 电感：0.2 微亨～110 微亨 电阻：0.01 欧～11 兆欧 品质因数Q：0～11 介质损耗角：0～0.1	测量元器件中频交流参数，如电阻、电感、电容

接测量电阻、电流及功率等。按线路结构可分为电阻式和匝比式两种。

1．直流电位差计的工作原理

图 8-16 为电阻式电位差计的原理图，E_n 为标准电池，其电势值为 1.0185～1.0195伏。测量时，先将开关 K 合向“校正”侧，调节 R_i，使 R_T 电阻压降与 E_n 相等(检流计指零)，则得 $I=E_n/R_T$(安)。然后将 K 合向“测量”侧，调节 R_u 上的压降使之与被测电势相等，则

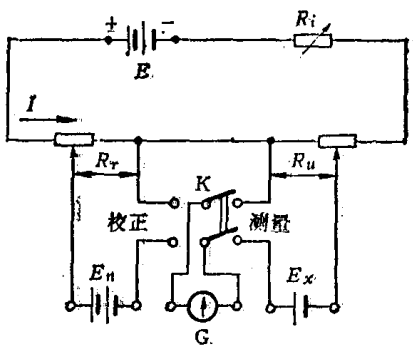


图 8-16　电阻式电位差计原理图

E_x—被测电势　E_n—标准电池　R_u—读数盘电阻　R_T—调定电阻　E—工作电源　R_i—工作电流调节电阻　K—转换开关

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$E_x = IR_u = \frac{R_u}{R_T} E_n \quad (伏)$$

可见，被测电势 E_x 的测量准确度取决于 R_u 和 R_T 比值的误差和 E_n 数值的误差，因此电位差计的测量准确度很高，从0.2级直到0.001级，匝比式可达0.0001级。

2. 直流电位差使用注意事项

(1) 按照被测量 E_x 的大小和测量准确度的要求来选择所需的量限和相应准确度的电位差计。

(2) 选择量限时，应使被测值的第一位数字出现在第一读数盘上，这样读数的准确度最高。

(3) 当被测电压大于电位差计上限电压时，应用标准分压箱来扩大量限。

(4) 测量大电压时要注意泄漏和静电屏蔽。

3. 常用直流电位差计的型号规格，见表8-24。

表8-24 常用直流电位差计的型号规格

产品名称	型号	级别	测量范围	备注
携带式直流电位差计	UJ36	0.1	0～121毫伏， 0～24.2毫伏	内附检流计、标准电池、干电池
携带式直流电位差计	UJ37	0.1	-1～0～103 毫伏 最小分度50 微伏	
	UJ27 (旧303)	0.1	0～100毫伏	
	UJZZ-1	0.1	0～110.2毫伏	
	UJ23	0.1	10微伏～24毫伏 50微伏～120毫伏	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

产品名称	型　号	级别	测　量　范　围	备　注
携带式直流电位差计	UJ33	0.05	0.1微伏～1.05伏	
	UJ39	0.05	1微伏～1.7伏	
高阻直流电位差计	UJ9/1	0.02	10微伏～1.21111伏	配用AC9/5检流计及Ⅱ级标准电池BZ，FJ10等
低电势直流电位差计	UJ35	0.01	0.1微伏～111.11毫伏	与AC9，BC3，BZ3，FL23及0.01级分压箱配用

8-4　常用数字仪表

数字仪表是最近廿年才发展起来的一种新型仪表，由于采用电子技术和逻辑原理，特别是模数转换技术的发展，就有可能实现测量技术数字化、自动化和运动化。数字仪表具有以下特点：

1．测量准确度高，测量结果可以数字显示或直接打印，读数准确，消除了人的读数误差。

2．测量速度快，参数采样、选择量程等测量过程全部自动化，可在极短的时间内巡检所有被测数据。

3．可以多参数输入，多功能输出。输出的数码信息可连接外围设备进行打印、绘图、储存等，也可直接输入计算机进行数字处理和调节控制生产过程。

4．可以直接测量动态参数和参数变化过程。

工矿企业常用的数字电测仪表有：数字电压表、数字频率表、数字万用表和数字欧姆表等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

常用的数字仪表型号规格，见表8-25。

表 8-25　常用数字仪表的型号规格

型　　号	测量项目	测量范围或量程	灵　敏　度	精　　确　　度
PZ13 脉冲宽度调制式积分型数字电压表	电　压	300毫伏 3～30～300伏	<10微伏	300毫伏，3伏量程为满刻度0.01%±1字，其余为满刻度0.01%±2字
PZ8 直流数字电压表	电　压	0～0.19999伏 0～1.9999伏 0～19.999伏 0～199.99伏 0～10000伏	0.2 伏以内为不大于末位2字，其余各档均为末位一个字	2伏以内为被测电压0.02%±2字，其余为0.03%±2字
PX-1C数字相位计（相位-电压变换器）	相　角	0～360°	300毫伏	相对精度 ±0.1～0.2度， 绝对精度 ±0.3～0.4度
	频　率	20～100千赫		
SYP-2 数字频率表	频　率	10赫～10兆赫		±1个字
	周　期	10赫～1兆赫		$\pm\frac{0.3}{\text{倍率}}\pm$ 1个字
	脉冲时间间隔	最短10微秒，最长受计数容量限制		±1个字
	计　数	最大999999，两信号间隔最小 0.1 微秒		
	频率比	$f_A=f_B=y_1$～107/1		$\pm f_B$转换之误差/倍率±1个字

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	测量项目	测量范围或量程	灵 敏 度	精　确　度
PP7型数字工频频率计	供电频率监视	46.00～53.99赫	在50赫附近分辨率为0.02赫	在50赫时0.02% 在上下限时0.7%
PF-1 数字万用表	直流电压	50,500毫伏 5,50,500伏		5伏±0.1%，其余0.2%
	直流电流	5,50,500微安,5,50,500毫安		5微安±0.5% 其余±0.2%
	交流电压	5，50,500伏		5,50伏±0.5%(30～5千赫）±1%（20～30赫 5～10千赫）500伏，±1%(20～10千赫）±1.5%（10～20赫,10～100千赫）
	电　阻	500欧，5，50，500千欧，5兆欧		5兆欧±0.5% 其余±0.2%
PC-4 数字欧姆表	200欧		0.7欧	±0.05%±2字
	2千欧		1.0欧	0.05%±2字
	20千欧		10欧	0.05%±2字
	200千欧		100欧	0.1%±2字
	2000千欧		1千欧	0.2%±2字

8-5　示波器的使用和注意事项

示波器通常用来观察和测量各种电压(或电流)的波形、幅值、频率、相位等，还可观察和测量各种脉冲波形和各种电信号的动态过程，是电工常用的仪器之一。示波器种类很多，大致分为通用示波器和专用示波器两大类。本节以SBT-5同步

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示波器为例，介绍使用方法和注意事项。

8-5.1 示波器的组成

一般示波器结构示意图见图8-17，它由 Y 轴偏转系统、X 轴偏转系统、显示器及电源（图中未示出）四部分组成。各系统又由几个单元电路组成，如 Y 轴偏转系统有输入 RC 衰减器、前置放大级、延迟线及末级平衡放大级等。X 轴偏转系统有触发放大级、扫描发生器及水平放大级等。显示器有示波管及控制器等。

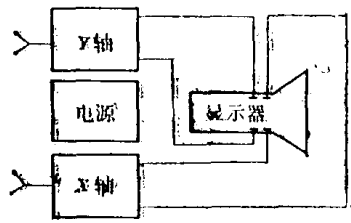


图 8-17 示波器结构示意图

8-5.2 示波器的使用方法

示波器的控制器是控制仪器工作状态的旋钮、开关等机械操作元件；接触器为高频插头、接线柱等输入、输出端子。控制器和接触器一般多放在仪器的面板上，它们的作用如下：

1. 面板

〔电源开〕 电源开关向上拨，接通电源，指示灯亮，表示示波器正确接通电源。

〔辉度〕 控制示波器荧光屏上迹点的亮度，顺时针旋转则亮度增加，反之，则亮度减弱。

〔聚焦〕 聚焦光点为一小圆点。在每次改变辉度后，一般需要重新调整聚焦状态。

〔标尺亮度〕 示波管荧光屏前座标刻度片的照明亮度和不同色别的控制器，旋转控制器可以从白光变成红光、黄光以供给不同的需要。

〔Y 轴输入〕 Y 轴偏转系统的被测信号输入插座。

〔Y 轴选择〕 选择输入端阻抗的控制器，一般有 1 兆欧和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

75欧两种。在旋至比较信号档时，将比较信号送入机内，作校准衰减器用。

〔Y 轴衰减〕 分1、3、10、30、100、300 和 1000 七档，供选择适当的测量电压，以使信号幅度适当，不致过小而看不清，也不致过大而畸变。

〔Y 轴增幅〕 控制 Y 轴的迹线幅度，顺时针旋转时增长迹线，反之缩短迹线。显示迹线长度一般控制在 6 厘米范围内。

〔Y 轴位移〕 在荧光屏上 Y 轴方向上下位置移动迹线，顺时针旋转时迹线向上移动，反之，则向下移动。

〔触发输入〕 外界触发信号输入端。外触发信号的峰值不应小于 0.5 伏。

〔触发选择〕 触发方式和极性选择开关。一般观测放在“内＋”或“内－”位置，用外界触发扫描时，应放置在“外＋”或“外－”位置。如果观测与电源频率有时间关系的信号波形时，可以用“电源”档进行触发。

〔稳定调节〕 触发稳定调节器。先将触发增幅旋钮逆时针方向旋到底，然后将稳定调节控制器逆时针方向缓慢旋到使示波管荧光屏上刚出现扫描基线，再顺时针旋转，使扫描刚刚消失，这时的位置表示扫描发生器的工作点已调在临界状态，最后顺时针方向旋转“触发增幅”控制器，就能得到稳定的触发状态。

〔触发增幅〕 触发信号幅度控制器。控制触发器正常工作状态，以便“稳定调节”控制器选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。分为 1、10 和100三档，供选择适当的输入电压。在旋至“扫描档”时，则由机内的扫描电压

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

作时间基准。

〔X 轴增幅〕 控制 X 轴方向迹线长度。顺时针旋转时，迹线增长，反之，迹线缩短。迹线长度显示控制在 10 厘米左右为宜。

〔X 轴位移〕 把迹线移动到荧光屏 X 轴方向左右的位置。顺时针旋转时迹线向右移，逆时针时向左移。

〔扫描时间〕 扫描时基速度档级开关。扫描速度在 0.1 微秒/厘米～10毫秒/厘米范围内，共分为五个十进档级。

〔扫描微调〕 扫描时基速度微调控制器。配合"扫描时间"，可使扫描时基速度从 0.02微秒/厘米～10 毫秒/厘米连续可调。

〔扫描扩展〕 扫描时间速度扩展控制开关。置于"校准"位置时，扫描速度不扩展，顺时针旋转到头("开"的位置)时，扫描速度扩展约5倍，使最高扫描时基速度达到 0.02 微秒/厘米。

〔扫描输出〕 正向扫描锯齿波电压输出接线柱。

〔比较信号〕 约 1 千赫的方波校准信号电压，其峰值50毫伏～50伏共分八档，"0"为失去比较信号，用于校准阻容补偿衰减器、探极的补偿电容器或校准 Y 轴放大器的偏转幅度。

〔时标〕 用已知频率的正弦波送到示波管的阴极，作为确定被测信号波形从一点到另一点的时间间隔。当阴极电位升高时，光点变暗，反之变亮，使显示波形分割成阴暗相同的光点，称为时标。如时标在 1 微秒档时，时标脉冲振荡器的输出频率为 1 赫。

2. 后盖板

〔$Y_1Y_2X_1X_2$〕 被测信号可不经过仪器内的放大系统而直接送至示波管的 Y 偏转板或 X 偏转板。

〔Z〕 可将外时标信号从本插座接入。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8-5.3 示波器使用注意事项

1. 接通电源前要检查所接的电源与示波器电源 110/220 变换插销所示位置是否相符，如不符，应将变换插销放在所需的位置。

进线电压误差超过额定电压±5% 时，应加稳压电源使之符合使用条件。

2. 开启电源开关，指示灯亮，表示仪器正常接通电源。并按仪器要求进行预热。

3. 仪器内通常装有微型电风扇，长期使用后（约500小时），需往风扇轴承加润滑油。不可拆除风扇而长期使用示波器。

4. 仪器后盖板风扇部位装有滤尘网，使用一定时期后要拆下清洗。

5. 若用其他导线或电缆引入观察信号，当 Y 轴选择置于75欧档时，应在引入线或电缆上串接隔直电容，以防止外界信号源的高压直接加在电阻上而烧毁。

6. 示波管的偏转灵敏度有一定的限制，故在使用过程中，荧光屏上波形的幅度不应大于8厘米，更不宜长时间超过规定值，以免过载。在使用时应将 Y 轴衰减器置于最大，然后视所显示波形大小，适当加以调整。

7. 由于人体感应50赫交流电压，其数量级可能远大于被测信号电平，所以在观察时，应避免手指触及 Y 轴输入端或探极引入头，以免观测不正确和 Y 轴末级输出过载。

8. 切断电源后，若还需要使用，应稍停3～4分钟后才能开启电源，以免损坏整流管和示波管。

9. 使用辉度要适中，不宜过亮，且光点不宜长时间停留在一点上，以免损坏荧光屏。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10．用探极引入信号时，应将Y轴选择置于1兆欧档。

11．光点聚焦可调聚焦旋钮，使其成一小圆点，直径一般不大于1毫米。如光点不圆，可调辅助聚焦。辅助聚焦调整好后不必经常再调。辉度和聚焦要同时调节。

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。

如果信号较弱，可由后盖板插孔直接输入，加至示波管的偏转板上。但应在插孔与输入信号源之间串接隔直流电容，以免影响偏转板正常工作。

13．扫描时间的选择与扫描微调的调节，由脉冲持续时间、重复频率以及观察需要来决定。

14．一般情况下，扫描扩展总是置于"校准"位置，只有需要从一系列复杂脉冲波形中选取某一个脉冲进行仔细观察时，才能打开扫描扩展开关，于是荧光屏上的波形在水平方向可扩展5倍左右。将此开关逐渐旋动时，荧光屏上被扩展的波形将逐渐移动。

15．当需要用输入信号对示波管的辉度进行调制时，该信号可由仪器后盖板的调辉插头"Z"直接输入。

16．仪器内部的比较信号发生器与触发扫描发生器均可作为信号源，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。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第九章 电子元器件

9-1 国产半导体器件型号命名方法

根据GB249-74规定，国产半导体器件的型号由五部分组成，其符号及意义见表9-1。

表9-1 国产半导体器件命名表

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类别		用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N型、锗材料	P	普通管		
3	三极管	B	P型、锗材料	V	微波管		
		C	N型、硅材料	W	稳压管		
		D	P型、硅材料	C	参量管		
				Z	整流器		
		A	PNP型、锗材料	L	整流堆		
		B	NPN型、锗材料	S	隧道管		
		C	PNP型、硅材料	U	光电器件		
		D	NPN型、硅材料	K	开关管		
		E	化合物材料	X	低频小功率管①		
				G	高频小功率管①		
				D	低频大功率管①		
				A	高频大功率管①		
				T	可控整流器		
				Y	体效应器件		
				B	雪崩管		
				CS	场效应器件		
				BT	半导体特殊器件		
				FH	复合管		
				JG	激光器件		

① 截止频率≥3兆赫为高频管；截止频率<3兆赫为低频管；耗散功率≥1瓦为大功率管；耗散功率<1瓦为小功率管。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示例：

1. 3AD30A PNP 型锗材料低频大功率三极管
2. 3DG8C NPN 型硅材料高频小功率三极管
3. 2DW7A P型硅材料稳压二极管
4. BT33C 半导体特殊器件（单结晶体管），三个电极耗散功率 300 毫瓦

9-2 晶体二极管

晶体二极管是由一个 PN 结加上正负电极引线和管壳做成的。二极管的种类很多，按照 PN 结的结构可分为点接触型和面接触型两种。见图 9-1。

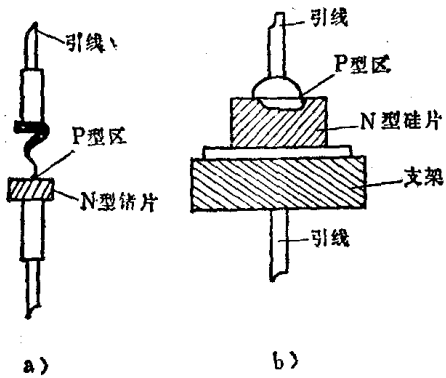


图 9-1 二极管内部结构
a) 点接触型 b) 面接触型

图 9-1a 是点接触型二极管的内部结构。由于 PN 结面积很小，允许通过的电流不大，一般在几十毫安以下，但它的极间电容很小，工作频率可高达 10^2～10^5 兆赫，因此这种类型的二极管适用于小电流整流、检波、限幅、鉴频等。

图 9-1b 是面接触型二极管的内部结构。由于 PN 结面积较大，允许通过的电流很大，从 100 毫安到几百安培，但它的极间电容较大，工作频率较低，一般在 100 千赫以下，因此这种类型的二极管主要用作功率整流。

9-2.1 晶体二极管的特性和简易测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 二极管的特性

二极管最主要的特性就是单向导电性，这可以用二极管两端的电压与通过管子的电流之间的关系曲线——伏安特性曲线来表示，见图 9-2。由图可见二极管的伏安特性可分为正向导通区（Ⅰ段）、反向截止区（Ⅱ段）和反向击穿区（Ⅲ段）。在工作

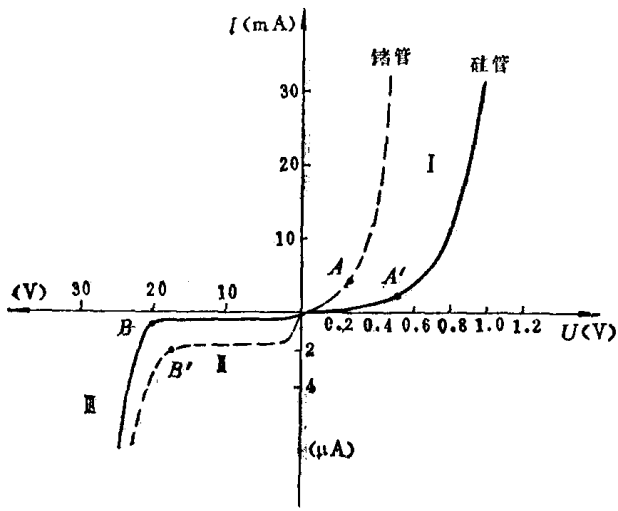


图 9-2 晶体二极管的伏安特性曲线

时，只有当正向电压大于 A 点后才有较大的正向电流，A 点的电压称为死区电压，一般硅管约为 0.5～0.7 伏，锗管约为 0.1～0.3 伏。当管子加反向电压时只有很小的反向饱和电流，反向电流越小，单向导电性能越好，一般硅管在几十微安以下，锗管可达几百微安。管子的正反向电流受温度影响极大，随温度升高而骤增。

2. 二极管的简易测试

二极管和其他晶体管的好坏和极性判别可以用万用表进行简单的测试，测试时应用 $R\times100$ 档或 $R\times1k$ 档。如用 $R\times$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1档，则流过管子的电流太大，用$R\times10k$档，则表内的电池电压太高，都会损坏管子。由于晶体管的伏安特性是非线性的，所以同一只管子如用不同的档次或不同型号的表去测量极间电阻时，测出的阻值是不相同的。例如硅二极管2CP14，用$R\times10$档测量正向电阻是95欧；用$R\times100$档测量是800欧；用$R\times1k$档测量是5.6千欧。因此不能简单地用某个具体的阻值去判断管子的好坏。我们常说的二极管正向电阻在几百欧时符合要求，是指用常用的万用表(中心阻值为十到二十几欧)在$R\times100$档上测得的阻值。

如果用表针指示的位置来判别管子好坏的方法就要方便多了，如2CP14管，用$R\times10$档测量其正向电阻时，表针指示的位置是满刻度的54%；用$R\times100$档测量时，表针指示的位置是满刻度的61%；用$R\times1k$档测量时，表针指示的位置是满刻度的68%。这三档都在表盘的中间或中间偏右一点，如果以这一位置作为判别管子好坏的标准，那么不论用哪种型号的表(但其中心阻值要在十到二十欧范围内)，用哪一档去测量(除去$R\times1$档和$R\times10k$档)，只要表针指示的位置在上述范围内就可以认为是"好"的。显然这种方法比用阻值作为判别标准要确切些，能适应不同的情况，使用起来也很方便，因此本书所有晶体管简易测试都采用以表针指示的位置作为判别标准，只有个别地方用具体阻值加以说明。

晶体二极管简易测试方法见表9-2

9-2.2 晶体二极管使用注意事项

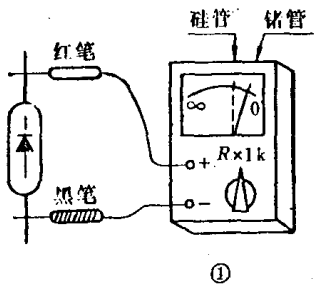
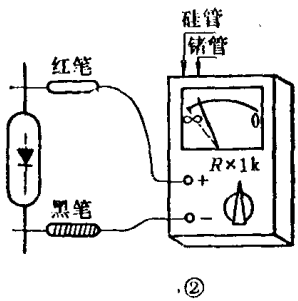
1. 晶体二极管的种类较多，在使用时要根据管子性能和使用场合选择合适的管子。

(1) 普通二极管：如2AP1～2AP9、2CP1～2CP21等适用于高频检波、限幅和小电流整流等。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-2　晶体二极管简易测试方法

项目	正向电阻	反向电阻
测试方法	 ①	 ②
测试情况	硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点；锗管：表针指示在右端靠近满度的地方(如上图所示)表明管子正向特性是好的。 如果表针在左端不动，则管子内部已经断路	硅管：表针在左端基本不动，极靠近∞位置；锗管：表针从左端起动一点，但不应超过满刻度的1/4(如上图所示)，则表明反向特性是好的。 如果表针指在0位，则管子内部已短路
极性判别	万用表⊖端(黑表笔)连接二极管的阳极，因为⊖端与万用表内电池正极相连	万用表⊖端(黑表笔)连接二极管的阴极

(2) **整流二极管**：如2CZ11～2CZ27等，适用于不同功率的整流。

(3) 开关二极管：如2AK1～2AK4、2CK1～2CK19等，适用于电子计算机、脉冲电路和开关电路中。

(4) 稳压二极管：如2CW1～2CW10、2DW1～2DW7等，适用在各种稳压电路中。

另外，还应考虑不同材质和结构的管子所具有的特点，以便更合理地使用管子。例如，锗管比硅管正向压降要小，因此

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

锗管更适合于检波和限幅；而硅管比锗管热稳定性要好，因此适用于环境温度变化较大的场合。在工作频率较高时，几乎都采用点接触型的管子；而在电流较大的电路中，大多采用面结型的管子。

2. 使用晶体二极管时极性不能接错，由于器件的结构和生产过程不同，有时外形虽然相同的同类器件，其极性却是不同的，必须遵照器件管壳上的标记，或用万用表加以判别。

3. 晶体二极管在电路中所承受的反向峰值电压和正向电流都不能超过额定值，对于有电感性元件的电路，反向额定峰值电压要选择得比线路工作电压大 2 倍以上。

4. 晶体管的正反向电流受温度影响极大，特别是大功率整流二极管，要注意其散热问题。有关大功率二极管各种整流电路的电参数计算、元件的选择和保护，与可控硅元件全导通($\alpha=0$)的情况相似，可参看"可控硅元件"一节。

5. 在焊接半导体器件时，要将引线的氧化层刮净，最好先浸一层锡。焊接要迅速，一般不超过 5 秒，但要保证焊点牢靠，严防虚焊。一般焊点距离管壳不小于 10 毫米，电烙铁功率一般以 25 瓦为宜。

9-2.3 常用晶体二极管的型号及主要参数

1. 晶体二极管主要参数说明

(1) 最大整流电流　在规定的散热条件下，二极管长期运行时，允许通过二极管的最大正向电流。

(2) 最高反向工作电压　最高反向工作电压为反向击穿电压的 1/2，而有些小容量二极管，其最高反向工作电压则定为反向击穿电压的 2/3。

(3) 反向电流　在给定的反向电压下，通过二极管的反向电流值。它是表征二极管单向导电性能的一个重要指标。反向

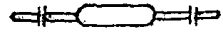
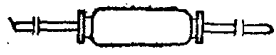
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电流越小，单向导电性能越好。

2. 常用晶体二极管的型号及主要参数见表 9-3。

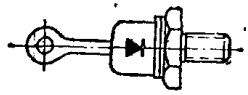
表 9-3 常用晶体二极管部分型号主要参数表

型号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作峰值电压（伏）	外形图
2AP1	16	20	
2AP2	16	30	
2AP3	25	30	
2AP4	16	50	
2AP5	16	75	
2AP6	12	100	
2AP7	12	100	
2AP9	5	15	
2AP10	5	30	
2AP11	25	10	④
2AP12	40	10	
2AP13	20	30	
2AP14	30	30	
2AP15	30	30	
2AP16	20	50	
2AP17	15	100	
2AP21	50	10	
2AP22	16	30	
2AP23	25	40	
2AP24	16	50	
2AP25	16	50	
2AP26	16	100	
2AP27	8	150	②
2AP28	16	100	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

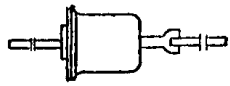
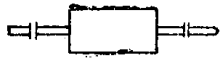
续表

型　　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作峰值电压（伏）	外　　形　　图
2CP1A	500	50	 ④
2CP1		100	
2CP2		200	
2CP3		300	
2CP4		400	
2CP5		500	
2CP1E		600	
2CP1G		800	
2CP6K	100	50	见外形图①
2CP6A		100	
2CP6B		200	
2CP6C		300	
2CP6D		400	
2CP6E		600	
2CP6F		800	
2CP10		25	
2CP11		50	
2CP12		100	
2CP13		150	
2CP14		200	
2CP15		250	
2CP16		300	
2CP17		350	
2CP18		400	
2CP19		500	
2CP20		600	
2CP20A		800	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

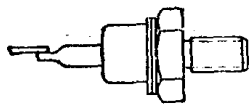
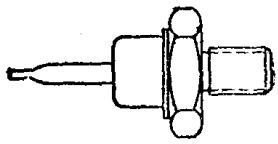
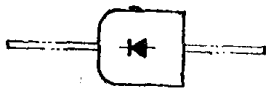
续表

型　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作电压峰值（伏）	外　形　图
2CP21A	300	50	 ⑧  ⑨
2CP21		100	
2CP22		200	
2CP23		300	
2CP24		400	
2CP25		500	
2CP26		600	
2CP27		700	
2CP28		800	
2CP31	250	25	见外形图④
2CP31A		50	
2CP31B		100	
2CP31C		150	
2CP31D		200	
2CP31E		250	
2CP31F		300	
2CP31G		350	
2CP31H		400	
2CP31I		500	
2CP32	350	25	见外形图④
2CP32A		50	
2CP32B		100	
2CP32C		150	
2CP32D		200	
2CP32E		250	
2CP32F		300	
2CP32G		350	
2CP32H		400	
2CP32I		500	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

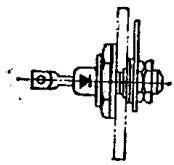
续表

型　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作峰值电压（伏）	外　形　图
2CZ12	3000	50	 ⑪
2CZ12A		100	
2CZ12B		200	
2CZ12C		300	
2CZ12D		400	
2CZ12E		500	
2CZ12F		600	
2CZ12G		700	
2CZ12H		800	
2CZ13	5000	50	 ⑫
2CZ13A		100	
2CZ13B		200	
2CZ13C		300	
2CZ13D		400	
2CZ13E		500	
2CZ13F		600	
2CZ13G		700	
2CZ13H		800	
2CZ21A	300	200	⑤
2CZ21B		400	
2CZ21C		600	
2CZ21D		800	
2CZ21E		1000	
2CZ21F		1200	
2CZ20A	1000	200	 ⑦
2CZ20B		400	
2CZ20C		600	
2CZ20D		800	
2CZ20E		1000	
2CZ20F		1200	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作峰值电压（伏）	外　形　图
2CZ11K	1000	50	 ③
2CZ11A		100	
2CZ11B		200	
2CZ11C		300	
2CZ11D		400	
2CZ11E		500	
2CZ11F		600	
2CZ11H		800	
2DP3A	300	200	见外形图⑤
2DP3B		400	
2DP3C		600	
2DP3D		800	
2DP3E		1000	
2DP3F		1200	
2DP3G		1400	
2DP3H		1600	
2DP3I		1800	
2DP3J		2000	
2DP4A	500	200	见外形图⑤
2DP4B		400	
2DP4C		600	
2DP4D		800	
2DP4E		1000	
2DP4F		1200	
2DP4G		1400	
2DP4H		1600	
2DP4I		1800	
2DP4J		2000	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作峰值电压（伏）	外　形　图
2DP5A	1000	200	见外形图⑦
2DP5B		400	
2DP5C		600	
2DP5D		800	
2DP5E		1000	
2DP5F		1200	
2DP5G		1400	
2DP5H		1600	
2DP5I		1800	
2DP5J		2000	
2AK1	100	10	见外形图①
2AK2	150	20	
2AK3	200	30	
2AK4	200	35	
2AK5	200	40	
2AK6	200	50	
2AK7	10	30	
2AK8	10	35	
2AK9	10	40	
2AK10	10	50	
2AK11	250	30	
2AK12	250	35	
2AK13	250	40	
2AK14	250	50	
2AK15	2	12	
2AK16	3	12	
2AK17	10	20	
2AK18	250	35	
2AK19	250	40	
2AK20	250	50	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　　号	最大整流电流（毫安）	最高反向工作电压峰值（伏）	外　　形　　图
2CK1	100	30	见外形图①
2CK2	100	60	
2CK3	100	90	
2CK4	100	120	
2CK5	100	150	
2CK6	100	180	
2CK7	30	10	
2CK8	30	20	
2CK9	30	30	
2CK10	30	40	

9-3　稳压二极管

稳压二极管是由硅材料做成的面结型晶体二极管，它在电子线路中能起稳定直流电压作用。

9-3.1　稳压二极管的特性及主要参数说明

稳压二极管的伏安特性见图 9-3。它的正向特性曲线与普通二极管的没有多大区别，而反向击穿电压却比普通二极管小得多，并且击穿部分的特性曲线非常陡直。这说明流过管子的反向击穿电流可以急剧变化，而管子两端的反向电压却几乎不变，稳压管就是利用这种特性来进行稳压的。只要在外电路中有限流措施，使其击穿电流与反向电压的乘积不超过管子的最大允许功耗，就不会损坏管子，可长时间在反向击穿区稳定工作。

稳压二极管的主要参数说明

1．稳定电压 U_W　稳压管在正常工作时，管子两端保持

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

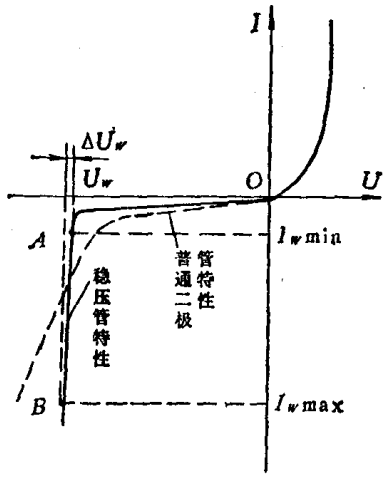


图 9-3 硅稳压二极管的伏安特性曲线

不变的电压值。它随温度变化而有所改变。对于同一型号的稳压管，由于制造上的原因，其稳压值是不一样的，而是在某一范围内。

2. 稳定电流 I_W 管子在反向击穿区正常工作时，工作电流有一定范围，即在 $I_{W\max}$ 与 $I_{W\min}$ 之间(见图 9-3)，通常管子的稳定工作电流选在 $I_W=(\frac{1}{2}\sim\frac{1}{4})I_{W\max}$ 处。有时手册上不给出 $I_{W\max}$ 值，只给出最大耗散功率 P_M，由此可求出 $I_{W\max}=P_M/U_W$。

3. 最大耗散功率 P_M 管子不会产生热击穿而损坏的最大容许耗散功率。它近似等于稳压电压与最大稳定电流的乘积，即 $P_M=U_WI_{W\max}$。

4. 动态电阻 r 在稳定电压范围内，稳压管两端电压变量与稳定电流变量的比值，即 $r=\Delta U_W/\Delta I_W$。它是表征稳压管性能好坏的重要参数之一。r 越小，管子的稳压性能越好。

5. 电压温度系数 α_W 稳压管在稳定电流时，温度变化 1℃所引起管子两端电压的相对变化量，即 $\alpha_W=\dfrac{\Delta U_W/U_W}{\Delta T}$。

一般说，稳压值在 6 伏以上的管子，α_W 为正；低于 6 伏的管子，α_W 为负；6 伏左右的管子，α_W 接近于零，即受温度影响最小。因此在某些要求比较严格的场合，常选用 6 伏稳压管，或把 6 伏稳压管串联起来使用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-3.2 稳压二极管的应用

稳压二极管的用途较多，最常见的是作恒压源和基准电压。

1. 稳压管基本稳压电路

稳压管基本稳压电路见图9-4。稳压管与负载并联工作在反向击穿区。当负载 R_Z 增大或输入电压 U_{sr} 升高引起输出电压 U_{sc} 升高时，由稳压管反向击穿特性可知，稳压管 D_W 上的电压略增大一点，就会使稳定电流 I_W 增加很多，这将使限流电阻 R 上的压降增加，至使输出电压 U_{sc} 趋近于原来值。当输入电压 U_{sr} 偏低时，调整过程与上述相反。因此稳压管近似一个恒压源，可保持输出电压基本不变。由上面的分析可知，限流电阻 R 是不可少的，它不仅将稳压管的电流限制在容许的工作电流范围内，还承受输入电压与输出电压之差，稳压管必须有它的配合才能实现稳压作用。

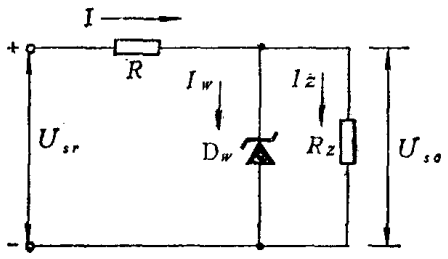


图 9-4 稳压管基本稳压电路

稳压管基本稳压电路虽然简单，但用途很广，图中各种参数可按下列原则选择：

(1) 稳压管 D_W 的选择

稳压管 D_W 的选择，主要是确定稳压管的主要参数 U_W、I_W 和 P_M。

$$U_W = U_{sc}$$

$$I_{W\max} \geqslant (2\sim3) I_{z\max}$$

$$P_M > U_W(I_W + I_{z\max})$$

(2) 计算限流电阻 R

限流电阻 R 可在下式范围内选择：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\frac{U_{sr\max}-U_{sc}}{I_{W\max}}<R<\frac{U_{sr\min}-U_{sc}}{I_W+I_{z\max}}$$

限流电阻 R 的功率为：

$$P_R\geqslant(2\sim3)(I_W+I_{z\max})^2R$$

(3) 决定输入电压 U_{sr}：

$$U_{sr}=(2\sim3)U_{sc}$$

上面各式中参数意义如下：

U_{sc} ——负载要求的输出电压；

$I_{z\max}$——负载要求的最大输出电流；

I_W ——稳压管的稳定电流，查表 9-4；

$I_{W\max}$——稳压管的最大稳定电流，查表 9-4；

$U_{sr\max}$、$U_{sr\min}$——输入电压 U_{sr} 的最大值和最小值，可根据实际情况或要求来确定。

2. 用硅稳压管获得基准电压的几种典型电路见图 9-5。

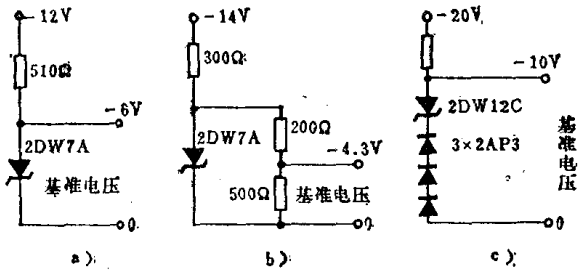


图 9-5 几种基准电压的典型电路

a) 基准电压 = 稳压管的稳定电压 b) 基准电压<稳压管的稳定电压
c) 用二极管进行温度补偿的基准电压

图 9-5c 中 2DW12C 的稳定电压随温度升高而升高，而 2AP3 的管压降恰好随温度升高而降低，若配合适当，可以获得较好的温度补偿，使基准电压基本保持不变。在实际的应用

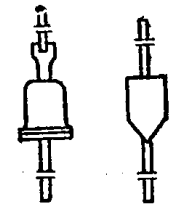
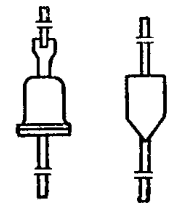
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

中，往往将稳压管和温度补偿二极管封装在一个管壳内，做成电压温度系数很小的稳压管，如标准稳压管2DW7系列就是这样的管子。

9-3.3 常用稳压管的型号及主要参数

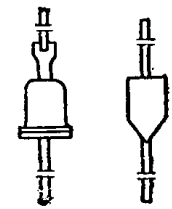
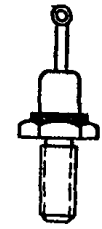
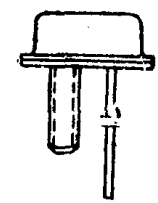
表9-4 常用稳压管部分型号和主要参数

型号	稳定电压 U_W（伏）	稳定电流 I_W（毫安）	最大稳定电流 $I_{W\max}$（毫安）	动态电阻 r（欧姆）	电压温度系数 α_W（%/°C）	耗散功率和外形
2CW1	7～8.5	5	29	≤6	≤0.07	 耗散功率0.28瓦
2CW2	8～9.5	5	26	≤10	≤0.08	
2CW3	9～10.5	5	23	≤12	≤0.09	
2CW4	10～12	5	20	≤15	≤0.095	
2CW5	11.5～14	5	17	≤18	≤0.095	
2CW7	2.5～3.5	10	71	≤80	-0.06～0.02	耗散功率 0.25瓦
2CW7A	3.2～4.5	10	55	≤70	-0.05～0.03	
2CW7C	5～6.5	10	38	≤30	-0.03～0.05	
2CW7E	7～8.5	5	29	≤15	0.07	
2CW7G	9～10.5	5	23	≤25	0.09	
2CW7I	11.5～14	5	18	≤40	0.095	
2CW7K	16.5～20	5	12.5	≤60	0.10	
2CW7M	22.5～26	5	9.5	≤85	0.11	
2CW11	3～4.5	10	55	≤70	-0.05～0.03	 耗散功率 0.25瓦
2CW12	4～5.5	10	45	≤50	-0.04～0.04	
2CW13	5～6.5	10	38	≤30	-0.03～0.05	
2CW14	6～7.5	10	33	≤10	0.01～0.07	
2CW16	8～9.5	10	26	≤10	0.01～0.08	
2CW18	10～12	5	20	≤25	0.01～0.09	
2CW20	13.5～17	5	14	≤45	0.01～0.09	
2CW20B	20～24.5	5	10	≤60	0.01～0.1	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

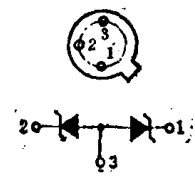
续表

型号	稳定电压 U_W (伏)	稳定电流 I_W (毫安)	最大稳定电流 $I_{W\max}$ (毫安)	动态电阻 r (欧姆)	电压温度系数 α_W (%/°C)	耗散功率和外形
2CW21	3～4.5	30	220	≤40	-0.05～0.03	 耗散功率1瓦
2CW21A	4～5.5	30	180	≤30	-0.04～0.04	
2CW21B	5～6.5	30	150	≤15	-0.03～0.05	
2CW21C	6～7.5	30	130	≤7	0.06	
2CW21E	8～9.5	30	105	≤7	0.08	
2CW21J	16～20.5	20	45	≤26	0.1	
2CW21L	23～29.5	20	33	≤38	0.11	
2CW21N	32～40	10	25	≤60	0.12	
2CW22	3～4.5	100	660	≤20	-0.05～0.03	 耗散功率3瓦加1.5×60×60毫米铝散热片
2CW22A	4～5.5	100	540	≤15	-0.04～0.04	
2CW22B	5～6.5	100	460	≤12	-0.03～0.05	
2CW22C	6～7.5	100	400	≤6	0.06	
2CW22E	8～9.5	100	315	≤5	0.08	
2CW22G	10～12	100	250	≤10	0.095	
2CW22I	13.5～17	100	175	≤16	0.1	
2CW22K	19～24.5	50	120	≤26	0.11	
2CW22M	27～34.5	50	96	≤38	0.12	
2CW23A	17～22	4	9	≤80	≤0.085	耗散功率200毫瓦
2CW23C	25～34	3	6	≤130	≤0.095	
2CW23E	37～49	3	4	≤180	≤0.1	
2DW1A	5	30	240	≤20	0.02	 耗散功率1瓦
2DW1B	6	30	200	≤8	0.02	
2DW1	7	30	170	≤3.5	0.02	
2DW2	8	30	150	≤3.5	0.02	
2DW3	9	30	135	≤4	0.02	
2DW4	10	30	120	≤4	0.03	
2DW5	11	30	100	≤5	0.03	
2DW6	12	30	90	≤5	0.03	
2DW6A	13	30	80	≤6	0.04	
2DW6F	20	30	55	≤10	0.04	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型　号	稳定电压 U_W（伏）	稳定电流 I_W（毫安）	最大稳定电流 $I_{W\max}$（毫安）	动态电阻 r（欧姆）	电压温度系数 a_W（%/°C）	耗散功率和外形
2DW7A	5.9～6.5	10	30	≤25	0.005	
2DW7C	6.0～6.3	10	30	≤10	0.0005	
2DW8A	5～6	10	30	≤25	<10.081	
2DW8C	5～6	10	30	≤10	<10.081	耗散功率 0.2 瓦

注：2DW7 型标准稳压管有三个管脚，管脚 1、2 为正负极，其中有红点的脚接电源“+”端，另一脚接“−”端；脚 3 是备用脚，通常情况下脚 3 不用。当脚 1 或 2 损坏后，才把它作为单个二极管正极，此时只作一般稳压管使用，不能作标准稳压管，这时脚 3 接电源“−”端。2DW8 型稳压管管脚 1 和 2 可任用一个，接电源“+”端，脚 3 接电源“−”端。

9-4　晶体三极管

由两个 PN 结加上相应的电极引线，用管壳封装起来就成了晶体三极管。它有三个电极分别称为发射极 e、集电极 c 和基极 b。常见的三极管有硅平面管和锗合金管两种，每种又有 NPN 型和 PNP 型两种结构形式，目前硅管多为 NPN 型，锗管多为 PNP 型，其结构和符号如表 9-5 所示。

9-4.1　晶体三极管的特性及工作状态

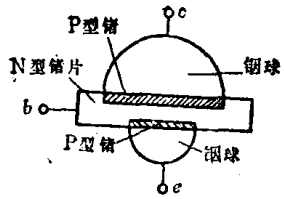
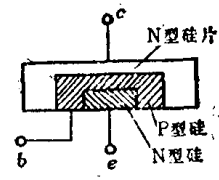
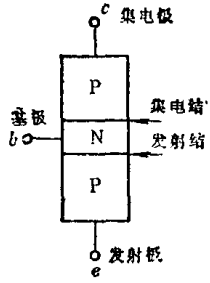
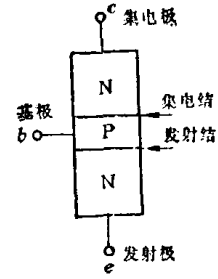
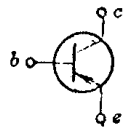
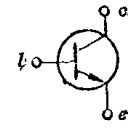
晶体管的伏安特性可以全面地反映各电极的电压与电流之间的关系，常用的是共发射极输入、输出特性。

输入特性是指加在晶体管基极与发射极之间的电压 U_{be} 和它产生的基极电流 I_b 之间的函数关系。输出特性是指对应某

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-5　晶体三极管的结构和符号

型式	PNP 型	NPN 型
结构示意图	 高频锗合金管	 高频硅平面管
原理图		
符号		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

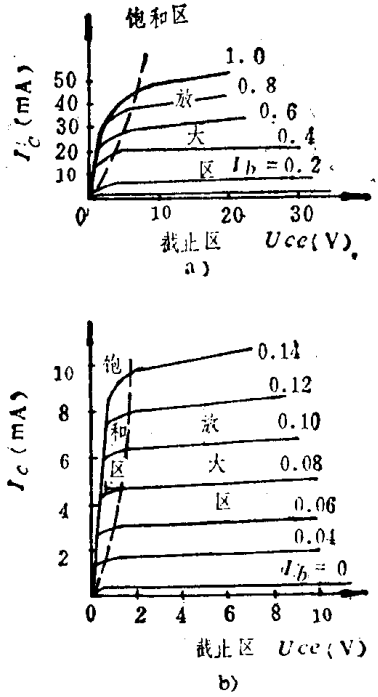


图 9-6　晶体三极管的输出特性

a) 3DG4C (硅管) 输出特性

b) 3AG25 (锗管) 输出特性

确定的基极电流 I_b，晶体管的集电极电流 I_c 与加在集电极-发射极间的电压 U_{ce} 之间的函数关系，见图9-6。在实际工作中输出特性更为有用，一般产品手册上都列出这些曲线。

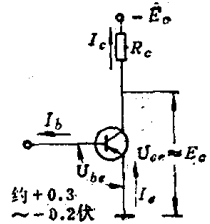
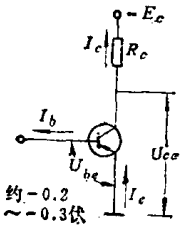
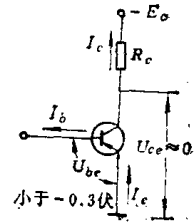
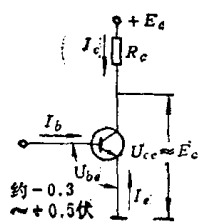
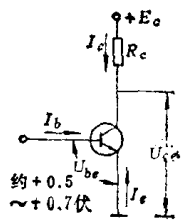
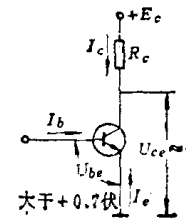
由输出特性可见，特性曲线分为三个区，分别对应三极管的三种工作状况，即截止状态、放大状态和饱和状态。这三种工作状态的特点及参数变化范围见表 9-6。

9-4.2　晶体三极管的接法

由于输入信号和输出信号的公共点不同，所以三极管有共

www.789pdf.com 789书库网

表 9-6　晶体三极管三种工作状态和数量关系

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
PNP型			
NPN型			

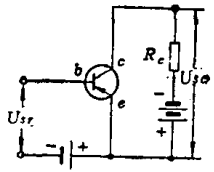
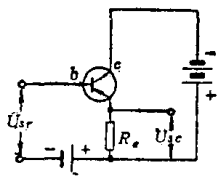
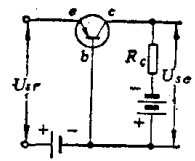
www.789pdf.com 789书库网

续表

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
参数范围	$I_b \leqslant 0$（I_b 为负，代表其实际方向，和图中所示方向相反，即与放大和饱和状态时的 I_b 方向相反）	$I_b > 0$ 其实际方向如图所示	$I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$
	锗管的 U_{be} 约从 $+0.3 \sim -0.2$ 伏内 硅管的 U_{be} 约从 $-0.3 \sim +0.5$ 伏内	锗管的 U_{be} 约从 $-0.2 \sim -0.3$ 伏内 硅管的 U_{be} 约从 $+0.5 \sim +0.7$ 伏内	锗管的 U_{be} 比 -0.3 伏更负 硅管的 U_{be} 大于 $+0.7$ 伏
	$I_c \leqslant I_{ceo}$（硅管几微安以下，锗管几十微安到几百微安）	$I_c = \beta I_b + I_{ceo}$	$I_c \approx E_c / R_c$
	$U_{ce} \approx E_c$	$U_{ce} = E_c - I_c R_c$	$U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3$ 伏（管子饱和压降）
工作状态的特点	当 $I_b \leqslant 0$ 时，I_c 很小（小于 I_{ceo}），三极管相当于开断，电源电压 E_c 几乎全部加在管子两端	I_b 从 0 逐渐增大，I_c 也按一定比例增加，微弱的 I_b 的变化能引起 I_c 较大幅度的变化，管子起放大作用	I_c 不再随 I_b 的增加而增大，管子两端压降很小，电源电压 E_c 几乎全部加在负载电阻 R_c 上

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

表 9-7　晶体三极管三种电路接法和性能比较

电路名称	共发射极电路	共集电极电路（射极输出电路）	共基极电路
电路原理图（PNP型）			
输出与输入电压的相位	反　相	同　相	同　相
输入阻抗	较小（约几百欧）	大（约几百千欧）	小（约几十欧）
输出阻抗	较大（约几十千欧）	小（约几十欧）	大（约几百千欧）
电流放大倍数	大（几十到两百倍）	大（几十到两百倍）	<1
电压放大倍数	大（几百～千倍）	<1	较大（几百倍）
功率放大倍数	大（几千倍）	小（几十倍）	较大（几百倍）
频率特性	较　差	好	好
稳定性	差	较　好	较　好
失真情况	较　大	较　小	较　小
对电源要求	采用偏置电路，只需一个电源	采用偏置电路，只需一个电源	需要两个独立电源
应用范围	放大、开关等电路	阻抗变换电路	高频放大、振荡

注：NPN 型三种接法的电源极性与 PNP 型相反。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发射极、共集电极和共基极三种接法。各种接法的形式和性能的比较见表 9-7。

9-4.3 晶体三极管基本偏置电路

晶体三极管可以组成各种放大器，为了使信号在放大过程和传递过程中减少失真，就必须给各级放大器设置合适的静态工作点，当电源电压 E_c 和集电极负载 R_c 一定时，工作点就取决于基极电流 I_b，这个电流就是所谓偏流，提供偏流的电路叫偏置电路，改变偏置电路中的电阻就可以调节偏流改变静态工作点。

偏置电路的另一个作用是稳定工作点，减少温度对电路稳定性的影响。因此"偏置"对于晶体管放大电路来说是不可缺少的。在实际应用时，可根据电路对工作点稳定性和失真情况的要求合理地选择偏置电路。常用的基本偏置电路的形式及性能见表 9-8。

9-4.4 晶体三极管的简易测试

1. 三极管电极的判别方法见表 9-9。

2. 三极管性能的判别方法见表 9-10。

3. 三极管管型的判别方法

用万用表判别三极管是 PNP 型还是 NPN 型时，可参看表 9-9 中"第一步判断基极"一栏。

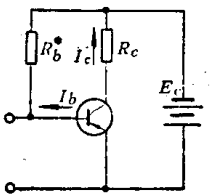
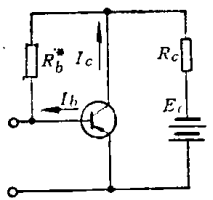
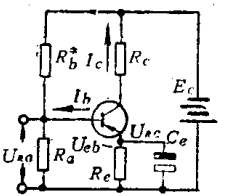
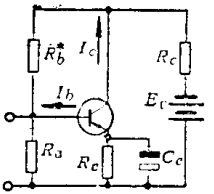
4. 三极管是高频管还是低频管的判别方法见表 9-11。

5. 三极管是硅管还是锗管的判别方法

用万用表的电阻档 $R\times100$ 档或 $R\times1k$ 档，测量管子发射极-基极间的正向电阻，若表针指示的位置在表盘的中间或中间偏右一点，则被测的管子是硅管；若表针指示的位置在表盘右端靠近满刻度的地方，则被测的管子是锗管。

www.789pdf.com 789书库网

表 9-8　晶体管基本偏置电路的形式和性能

名称	固定偏流式	电压负反馈式	电流负反馈式	混合负反馈式
电路	 ①	 ②	 ③	 ④
特点	1. 电路简单 2. 偏置电路损耗小 3. 稳定性差	1. 电路简单 2. 比较稳定，R_c 越大，稳定性越好 3. 由于有负反馈，失真可减少，但放大倍数因此而降低 4. 当变压器耦合或 R_c 很小时，稳定性就较差	1. 电路较复杂 2. 稳定性好，R_e 越大，R_a、R_b 越小越稳定 3. 偏置电路要损耗一定功率，R_e 越大，R_a、R_b 越小，损耗越大 4. 电容 C_e 可旁路交流分量，防止交流信号负反馈而减小放大倍数	具有电压负反馈和电流负反馈的特点

www.789pdf.com 789书库网

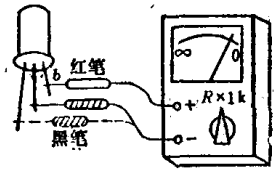
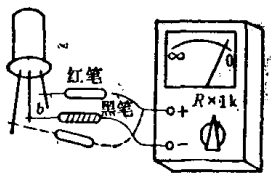
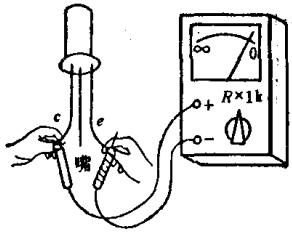
续表

名称	固定偏流式	电压负反馈式	电流负反馈式	混合负反馈式
参数选择	$R_b \approx \frac{E_c}{I_b} \approx \frac{E_c}{I_c}\beta$	$R_b \approx \frac{E_c - I_c R_c}{I_b}$ $\approx \frac{E_c - I_c R_c}{I_c}\beta$	R_e——低频小信号放大器取几百至几千欧，功率放大器取十几欧，甚至为0 C_e——低频放大器取几十微法 $R_a \approx \frac{\beta}{10\sim20} R_e$ $R_b \approx \frac{\beta}{10\sim20}\left(\frac{E_c}{I_c} - R_e\right)$	参考电压负反馈和电流负反馈的原则选取
工作原理	当温度上升，引起I_c增加，工作点产生漂移，电路不稳定	当温度上升，引起I_c增加，此时集电极负载电阻R_c上压降也随之增加，反过来使I_b减少，形成电压负反馈，以削弱温度对工作点的影响	当I_c随着温度升高而增加时，R_e两端压降也增加。由于$U_{eb} = U_{Ra} - U_{Re}$，这样使管子的b、e极电位差减少，因而使I_b减少，形成电流负反馈，以削弱温度对工作点的影响	当温度升高引起I_c增加，同时存在电压负反馈和电流负反馈，以削弱温度的影响，因而稳定性更好

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

www.789pdf.com 789书库网

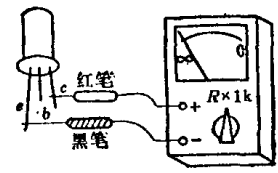
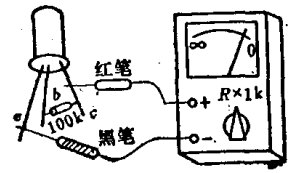
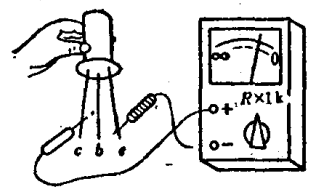
表 9-9　三极管电极的判别方法

项　目		方　法	说　明
第一步判别基极	PNP型三极管		可把三极管看作两个二极管来分析。将万用表的+端(红笔)接某一管脚，用-端(黑笔)分别接另外两管脚。这样可有三组(每组二次)读数，当其中一组二次测量的阻值均小时(指针指在右端)，则+端所连接的管脚即为PNP型管子的基极
	NPN型三极管		方法同上，但以-端(黑笔)为准，用+端(红笔)分别接另外两管脚，当其中一组二次测量的阻值均小时，则-端所连接的管脚为NPN型管子的基极
第二步判别集电极			利用三极管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个表笔接到管子的另外两脚，用嘴含住基极(利用人体电阻实现偏置)，看准表针位置，再将表笔对调，重复上述测试，比较两次指针位置，对于PNP型管子，阻值小的一次，+端所接的即为集电极；对于NPN型管子，阻值小的一次，-端所接的即为集电极

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-10　三极管(PNP)性能的判别方法

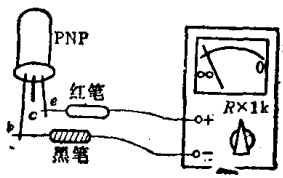
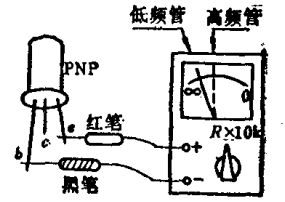
项　目	方　法	说　明
穿透电流 I_{ceo}		用 $R\times1$k(或 $R\times100$)档测集电极-发射极反向电阻，指针越靠左端(阻值越大)，说明 I_{ceo} 越小，管子性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大；高频管比低频管阻值大；小功率管比大功率管阻值大。低频小功率锗管约在几千欧以上
电流放大系数 β		在进行上述测试时，如果用嘴含住基极(或在基极-集电极间接入100千欧电阻)，集电极-发射极的反向电阻便减小，万用表指针将向右偏转，偏转的角度越大，说明 β 值越大
稳定性能		在判别 I_{ceo} 同时，用手捏住管子，受人体体温影响，管子集电极-发射极反向电阻将有所减小。若指针变化不大，则管子稳定性较好。若指针迅速向右端偏转，则管子稳定性较差

注：测 NPN 管时将万用表的表笔对调即可。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-11　三极管是高频管还是低频管的判别方法

步　骤	方　　法	说　　明
第一步		先用 $R\times1$k 档测发射极-基极间的反向电阻，表针应指在靠近左端的地方，一般不超过满刻度的 1/10
第二步		再用 $R\times10$k 档短时间测发射极-基极间的反向电阻，若表针位置与第一步测试时所在的位置没有多大变化，或变化甚小，一般不超过满刻度的 1/3，则所测管为低频管。若表针指示位置变化很大，超过了满刻度的 1/3 以上，则所测管为高频管

注：测 NPN 型管的发射结反向电阻时，应将表笔对调一下。

9-4.5　常用晶体三极管的型号及主要参数

1．晶体三极管主要参数说明

直流参数

(1) 共发射极直流电流放大系数 h_{FE} 或 $\bar{\beta}$　在没有交流信号输入时，共发射极电路的输出直流电流(即集电极直流电流)与输入直流(即基极直流电流)的比值，即 $h_{FE}(\bar{\beta})=I_c/I_b$。

(2) 集电极-基极反向截止电流 I_{cbo}　在发射极断开时($I_e=0$)，基极和集电极之间在规定的反向电压时的集电极电流。在室温下，小功率锗管的 I_{cbo} 约为 10 微安左右，大功率锗管的 I_{cbo} 可达数毫安，而硅管的 I_{cbo} 则是同功率锗管的 1/100～1/1000。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 集电极-发射极反向截止电流I_{ceo}(穿透电流) 在基极断开时($I_b=0$)，集电极和发射极之间在规定的反向电压时的集电极电流。一个管子的I_{ceo}大约是它的I_{cbo}的β倍。I_{ceo}和I_{cbo}受温度影响极大，因此是衡量管子热稳定性的重要参数，其值越小，性能越稳定。

交流参数

(1) 共发射极交流放大系数h_{fe}或β 在共发射极电路中，输出电流I_c与输入电流I_b的变化量之比，即$h_{fe}(\beta)=\Delta I_c/\Delta I_b$。当三极管在放大区工作时，可粗略地认为$h_{fe}(\beta)=h_{FE}(\bar{\beta})$。

三极管的h_{fe}一般在10～200之间，h_{fe}太小，电流放大作用差；h_{fe}太大，电流放大作用大，但性能往往不稳定。

(2) 共基极交流放大系数h_{fb}或α 在共基极电路中，输出电流I_c与输入电流I_e的变化量之比，即$h_{fb}(\alpha)=\Delta I_c/\Delta I_e$。

α和β是从两个方面说明同一个管子放大性能的参数，两者可以互相换算，即

$$\beta=\frac{\alpha}{1-\alpha}\text{或}\ \alpha\approx\frac{\beta}{1+\beta}$$

极限参数

(1) 集电极最大容许电流I_{CM} 当集电极电流I_C增加到某一数值，β值下降到额定值的2/3或1/2时的I_C值为I_{CM}。当I_C超过I_{CM}时，虽然不致损坏管子，但β值将显著下降，影响放大效果。

(2) 集电极-发射极击穿电压BU_{ceo} 基极开路时，加在集电极和发射极之间的最大容许电压。使用时如果$U_{ce}>BU_{ceo}$，管子就会击穿损坏。

(3) 集电极最大容许耗散功率P_{CM} 集电极流过I_C，温度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

要升高，管子因受热而引起的参数变化不超过规定容许值时的最大集电极耗散功率。管子实际耗散功率 $P_c=U_{ce}I_C$。使用时应 $P_C<P_{CM}$。

P_{CM} 与散热条件有关，加大散热片可大大提高 P_{CM}。

2. 常用晶体三极管的型号和主要参数见表 9-12、表 9-13 和表 9-14。

表 9-12 常用低频中、小功率晶体三极管主要特性(锗 PNP 型)

型号	用途	直流参数			交流参数	极限参数			电极位置图
		集-基极反向截止电流 I_{CBO}(微安)	集-发极反向截止电流 I_{CEO}(微安)	共发射极直流放大系数 h_{FE}	共发射极电流放大系数 h_{fe}	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}(伏)	集电极最大容许电流 I_{CM}(毫安)	集电极最大耗散功率 P_{CM}(毫瓦)	
3AX1	低放	≤30	≤250	—	≥10	≥10	10	150	①或②
3AX2	低放	≤15	≤300	—	≥10	≥10	10	150	①或②
3AX3	低放	≤15	≤500	—	≥10	≥10	10	150	①或②
3AX4	低放	≤15	≤500	—	≥10	≥10	10	150	①或②
3AX5	前置	≤15	≤350	—	≥10	≥10	10	150	①或②
3AX21	低放	≤12	≤325	30～85	—	≥12	30	100	①
3AX21A	低放	—	—	20～200	—	≥9	30	100	①
3AX22	功放	≤12	≤300	40～150	—	≥18	100	125	①
3AX22A	功放	—	—	20～200	—	≥10	100	125	①
3AX23	前置	≤12	≤550	30～150	—	≥12	30	100	①
3AX24	低放	≤12	≤550	65～150	—	≥12	30	100	①
3AX23A	低放	≤12	≤550	35～150	—	≥12	50	100	①
3AX27	低放振荡	≤20	≤300	—	>12	≥10	50	100	①
3AX28	低放振荡	≤10	≤500	—	>20	≥10	50	100	①
3AX29	低放振荡	≤10	≤500	—	>35	≥10	50	100	①
3AX30	低放振荡	≤10	≤500	—	>50	≥10	50	100	①
3AX31A	低放	≤20	≤1000	40～200	—	≥12	125	125	①
3AX31B	功放	≤10	≤750	50～150	—	≥18	125	125	①

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	直流参数			交流参数	极限参数			电极位置图
		集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	共发射极电流放大系数 h_{fe}	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	
3AX31C	振荡	≤6	≤500			≥25			①
3AX31D	低放	≤12	≤750	—	30～150	≥12	30	100	
3AX31E	前置		≤500		20～85				
3AX41	功放	≤50	—	≥20	—	≥30*	300	300	②
3AX42A	低放	≤25	—	—	20～200	≥12	20	100	①
3AX42B	低放	≤12			30～150				
3AX42C									
3AX42D	前置								
3AX42E									
3AX45A	低放	≤30	≤1000	20～250	—	≥10	200	200	①
3AX45B	功放	≤15	≤750	40～200		≥15			
3AX45C		≤30	≤1000	30～250		≥10			
3AX61	功放	≤100	—	≥20	—	≥30*	500	500	③
3AX62				≥50					
3AX63				≥20		≥60*			
3AX71A	低放	≤20	≤1000	30～200	30～150	≥12	125	125	④
3AX71B	功放	≤10	≤750	50～150		≥18			
3AX71C		≤6	≤500			≥25			
3AX71D	低放	≤12	≤750			≥12	30	100	
3AX71E	前置		≤500						
3AX81A	功放	≤30	≤1000	30～250	—	≥10	200	200	④
3AX81B		≤15	≤700	40～200		≥15			
3AX81C		≤30	≤1000	30～250		≥10			
2Z800A	功放	≤80	≤2000	40～150	—	≥18	500	500	①
2Z800B		≤60	≤1500			≥25			
2Z800C			≤1300			≥30			
2Z800D		≤40	≤800			≥45			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	直流参数			交流参数	极限参数			电极位置图
		集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	共发射极交流放大系数 h_{fe}	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	
3BX1A	低放	≤30	—	—	≥10	≥10	—	150	⑧
3BX1B		≤20			≥15	≥15			
3BX1C					≥20				
3BX1D					≥35				
3BX1E					≥10	≥25			
3BX3A	低放	≤18	≤600	40～200	—	≥10	125	125	⑤
3BX3B		≤10	≤400	40～150		≥20			
3BX6A	互补	≤30	≤900	≥20	—	≥10	125	125	
3BX6B		≤20	≤700	≥30					
3BX6C		≤10	≤500	≥20		≥20			
3BX31A	功放	≤20	≤1000	40～200	—	≥12	125	125	
3BX31B		≤10	≤750	50～150		≥15			
3BX31C		≤6	≤500						
3DX101	低放	≤1	—	9～15	≥10	≥10	20	300	⑦
3DX102						>10			
3DX103									
3DX104	低速开关					≥30			
3DX105						≥40			
3DX106						≥60			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	直流参数			交流参数	极限参数			电极位置图
		集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	共发射极电流放大系数 h_{fe}	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	
3DX2A	低放功放	≤5	≤25	10～20	—	≥15	100	500	⑥
3DX2B						≥30			
3DX2C				20～30		≥15			
3DX2D						≥30			
3DX2E				≥30		≥15			
3DX2F						≥30			
3DX3A	低放	≤3	≤10	—	9～20	≥15	30	200	⑥
3DX3B						≥30			
3DX3C					20～30	≥15			
3DX3D						≥30			
3DX3E					≥30	≥15			
3DX3F						≥30			
3DX5A	低放	≤1	—	—	≥9	≥10	100	500	⑦
3DX5B									
3DX5C									
3DX5D	低迷					≥30			
3DX5E	开关					≥40			
3DX5F						≥70			

www.789pdf.com 789书库网

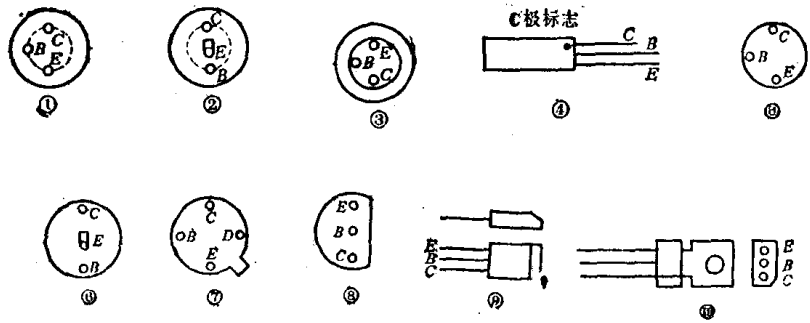
www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	直流参数 集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	直流参数 集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	直流参数 共发射极直流放大系数 h_{FE}	交流参数 共发射极电流放大系数 h_{fe}	极限参数 集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	极限参数 集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	极限参数 集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	电极位置图
3CX 3DX 200A	低放	≤1	≤2	55～400	—	≥12	300	300	**
3CX 3DX 201A	低放	≤1	≤2	55～400	—	≥12	300	300	**
3CX 3DX 202A	低放	≤1	≤2	55～400	—	≥12	300	300	**
3CX 3DX 200B	互补	≤1	≤2	55～400	—	———	300	300	**
3CX 3DX 201B	功放	≤1	≤2	55～400	—	≥18	300	300	**
3CX 3DX 202B	功放	≤1	≤2	55～400	—	≥18	300	300	**
3CX203A 3DX203A	互补	≤5	≤20	55～400	—	≥15	700	700	⑦
3CX203B 3DX203B	互补	≤5	≤20	55～400	—	≥25	700	700	⑦
3CX204A 3DX204A	功放	≤5	≤20	55～400	—	≥15	700	700	———
3CX204B 3DX204B	功放	≤5	≤20	55～400	—	≥25	700	700	⑩

注：* 指 BU_{CER}（基极-发射极间并联电阻时的集电极-发射极反向击穿电压）

** 3CX（3DX）200A、B-图③；3CX（3DX）201A、B-图④；3CX（3DX）202A、B-图⑤。



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-13 常用高频中、小功率晶体三极管的主要特性

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极或共基极电流放大系数（交流） h_{fe}或h_{fb}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射极反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3AG1B 3AG1C 3AG1D 3AG1E	中放 高放 振荡 变频	50	10	20～200 30～200	≤7	—	≥10	①
3AG6C 3AG6D 3AG6E	高放 振荡	50	10	30～250	≤10	—	≥10	①
3AG7 3AG8 3AG9 3AG10	中放 高放	60	10	20～250 30～250	≤10 ≤5	≤100	≥10	①
3AG11 3AG12 3AG13 3AG14	高放 振荡	30	10	≥0.95 0.95～0.98 ≥0.97	≤10 ≤5	—	≥10	①
3AG21 3AG22 3AG23 3AG24	中放 高放 振荡 变频	50	10	20～250 30～250	≤10 ≤5	≤200	≥10	①
3AG25 3AG26 3AG27 3AG28	同上	50	10	≥20 ≥30	≤10 ≤5	—	≥10	②
3AG29 3AG29A 3AG29B 3AG29C	高放	150	50	≥30*	≤10	—	≥15	④

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极或共基极电流放大系数（交流） h_{fe}或h_{fb}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射极反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3AG31	中放	75	50	≥20	≤8	—	≥30**	③
3AG32	高放			≥30	≤5			
3AG33	高放 振荡	60	30	>24	≤10	—	—	③
3AG34					≤3			
3AG35								
3AG36			20		≤2			
3AG37								
3AG38A	中速 开关	120	80	≥20*	≤10	≤350	≥10	⑤
3AG38B				≥30*	≤8	≤300	≥12	
3AG41	高放 振荡	60	30	>24	<10	—	—	③
3AG42					<3			
3AG43								
3AG44			20		<2			
3AG45								
3AG46	中放	120	100	>20	<8	—	≥30**	③
3AG47				>30	<5			
3AG48	超高频放大		50	>24	<3			
3AG49					<2			
3AG50	振荡	100	30					
3AG51A	中放 高放 振荡	50	10	≥20	≤10	≤200	≥10	②或⑥
3AG51B				20～200				
3AG51C				30～200				
3AG51D								
3AG51E								

www.789pdf.com 789书库网

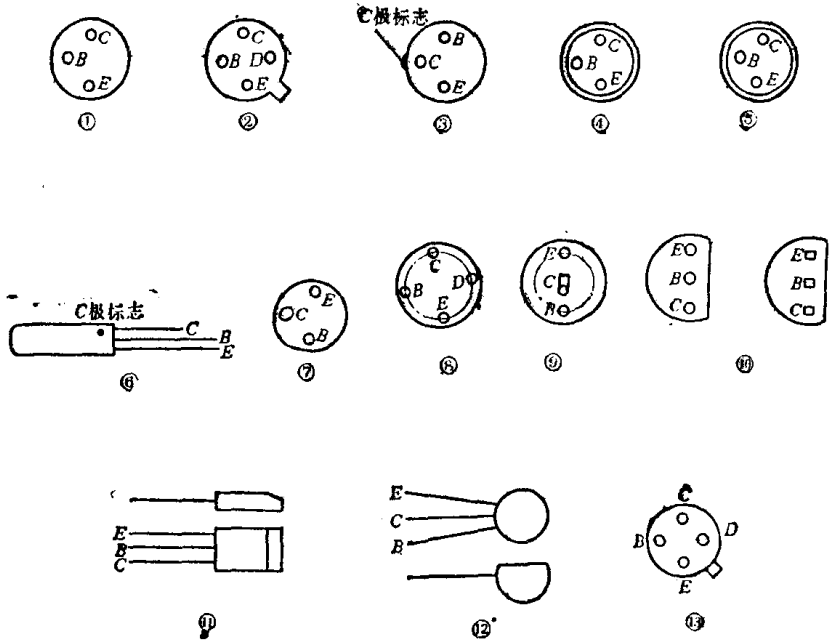
www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极或共基极电流放大系数（交流） h_{fe} 或 h_{fb}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-发极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射极反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3AG52A 3AG52B 3AG52C 3AG52D	高放 混频 振荡	60	10	30～200 ≥20	≤10	≤200	≥10	②
3AG61	高放	500	150	40～300*	≤70	≤500	≥20	⑦
3AG62				40～150*	≤50		≥30	
3AG63					≤30	≤200	≥35	
3AG64				80～200*	≤20	≤100		
3AG71 3AG72	中速开关 中放同步分离	50	10	≥30	≤10	≤600	≥10	①或⑥
3AG87A 3AG87B 3AG87C	超高频放大 混频 振荡	300	50	≥8 ≥10	≤10	—	≥15	②
3AK11	中电平高速开关	120	70	30～150*	<30	—	25	①或③
3AK12							≥20	
3AK13			60		<10		≥15	
3AK14		100						
3AK15				30～250*				
3AK20A 3AK20B 3AK20C	高速开关 视频放大 同步分离	50	20	30～150*	≤5	≤100 ≤50	≥12	①

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极放大直流系数 h_{FE}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-射反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
TF301	高放 变频 振荡	100	20	30～60	≤1	≤3	≥12△	⑧
TF302				50～90				
TF303				80～125				
TF304				105～155				
TF305				135～185				
TF306				165～250				

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-射反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3DG200 A 3DG201 B 3DG202 C 3DG203	高放 变频 振荡	100	20	25～270	≤0.1	≤0.5	≥15	⑧
					≤0.05	≤0.1	≥25	⑩
								⑪
							≥20	⑫
3DG204	调频机	100	10	25～120	≤0.1	≤0.5	≥15	⑩
3DG205	高频头							⑪
3DG1	高放	200	20	≥9▲	≤50	—	≥10△	⑨或⑧
3DG1A 3DG1B 3DG1C							≥25△	
3DG4A	高放 振荡 中放	300	30	20～180	≤0.1	≤0.1	≥30	⑧
3DG4B							≥15	
3DG4C							≥30	
3DG4D							≥15	
3DG4E							≥30	
3DG4F				10～250			≥15	
3DG6A	同上	100	20	10～200	≤0.1	≤0.1	≥15	③
3DG6B 3DG6C				20～200	≤0.01	≤0.01	≥20	
3DG6D							≥30	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	集-基极反向截止电流 I_{CBO}（微安）	集-射反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3DG8A	高放	200	20	≥10	≤1	≤1	≥15	⑧
3DG8B	变频			≥20	≤0.1	≤0.1	≥25	
3DG8C	振荡							
3DG8D							≥60	
3DG11A	同上	100	30	≥10	≤0.1	≤0.1	≥9	⑧
3DG11B				≥20				
3DG12A	高放	700	300	20～200	≤1	≤10	≥30	⑧
3DG12B							≥45	
3DG12C	振荡						≥30	
3DG18A	超高频放大振荡	100	10	10～200	≤0.1	≤0.5	≥12	⑧
3DG18B								
3DG18C								
3DG27A	视放	1000	300	≥20	≤1	≤10	≥75	⑧
3DG27B	高压开关						≥100	
3DG27C							≥150	
3DA87A	视放振荡放大	1000	100	≥20	≤1	≤5	≥80	⑧
3DA87B							≥150	
3DA87C							≥200	
3DA87D							≥250	
3DA87E							≥300	
3DG111	高放中放	400	—	≥20	≤0.5	≤0.5	≥20	⑧
3DG116	视放				≤0.1	≤0.1	≥140	
3DG118A	同上	400	—	≥10	—	≤1	≥180	⑧
3DG118B				≥20		≤0.1		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（硅 NPN 型、硅 PNP 型）　　续表

型　号	用　途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	集-射极饱和压降 U_{CES}（伏）	集-射极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射极反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3DK2A	高速开关	200	30	30～150	≤0.35	≤0.1	≥20	
3DK2B								
3DK2C							≥15	
3DK4	高速开关功放	700	800	20～200	≤1.5	≤10	≥15	
3DK4A					≤1		≥30	
3DK4B							≥45	
3DK4C							≥30	
2G210（3DG56）A	超高频放大混频振荡	100	15	≥20	—	≤0.1	≥20	⑬
2G210（3DG56）B		150	20		—	≤0.1	≥20	
3DG75								
3DG79A		100						
3DG79B								
3DG79C								
2G910	超高频放大	100	10	≥10	—	≤0.5	≥12	
2G211（3DG80）		200	30	≥30	≤0.35	≤0.1	≥20	
2G911	振荡	100	10	≥20	≤0.35	≤0.1	≥10	
DG304A	超高频放大，中放（末级中放）	300	30	≥20	≤0.35	≤1	≥15	
DG304B							≥20	⑬
DG304C							≥40	
3CG3A	高放预放同步分离振荡	300	30	≥20	≤0.5	≤1	≥15	
3CG3B				≥30			≥25	
3CG3C				≥50			≥35	⑬
3CG3D				≥30			≥45	
3CG3E				≥50			≥45	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	集电极最大耗散功率 P_{CM}（毫瓦）	集电极最大容许电流 I_{CM}（毫安）	共发射极直流放大系数 h_{FE}	集-射极饱和压降 U_{CES}（伏）	集-射极反向截止电流 I_{CEO}（微安）	集-射极反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	电极位置图
3CG5A	高放	500	50	≥20	≤2	≤1	≥15	⑬
3CG5B				≥30			≥25	
3CG5C	振荡			≥50			≥35	
3CG5D				≥30			≥45	
3CG5E				≥50			≥45	
3CG14A	高放	100	15	30～200	≤0.8	≤0.1	≥25	⑬
3CG14B	同步							
3CG14C	分离							
3CG21	高放	300	50	40～200	≤0.5	≤10	≥15	⑬
3CG21A	振荡					≤1		
3CG21B							≥25	
3CG21C	视预放						≥40	
3CG21D	同步						≥55	
3CG21E							≥70	
3CG21F	分离						≥85	
3CG21G							≥100	
3CG23A	高放	700	150	40～200	≤0.5	≤1	≥15	⑬
3CG23B							≥25	
3CG23C							≥40	
3CG23D	振荡						≥55	
3CG23E							≥70	
3CG23F							≥85	
3CG23G							≥100	

注：△ 指BU_{CBO}；**指BU_{CER}；*指h_{FE}；
▲ 指h_{fe}。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-14 常用低频大功率晶体三极管的主要特性

型号	用途	直流参数：集-基反向截止电流 I_{CBO}（微安）	直流参数：共发射极电流(直)放大系数 h_{FE}	极限参数：集-基反向击穿电压 BU_{CBO}（伏）	极限参数：集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	极限参数：集电极最大容许电流 I_{CM}（安）	极限参数：集电极最大容许耗散功率 P_{CM}（瓦）	电极位置图
3AD1	低频功率放大及直流电压变换	≤400	≥20	45		1.5	1瓦	①
3AD2		≤400	≥40	45		1.5	加120×120	
3AD3		≤400	≥60	45		1.5	×3毫米	
3AD4		≤400	≥20	70		1.5	散热片	
3AD5		≤400		70		1.5	10瓦	
3AD6A		≤400	≥12	50	18	2	1瓦加120×	②
3AD6B		≤300	≥12	60	24	2	120×4毫米	
3AD6C		≤300	≥12	70	30	2	散热片10瓦	
3AD11		≤500	≥5	60		5		①
3AD12		≤400	15～40	70		5	加200×200	
3AD13		≤400	10～40	40		5	×4毫米	
3AD14		≤400	15～40	60		5	散热片	
3AD15		≤400	≥30	60		5		
3AD16		≤400	≥30	40		5	20瓦	
3AD17		≤400	≥30	40		5		
3AD18A		≤1000	≥25	80	40	15	$P_{CM}=\frac{90-T}{R_t}$	③
3AD18B		≤1000	≥15	50	20	15	T—壳温	
3AD18C		≤1000	≥15	80	60	15	R_t—热阻	
3AD18D		≤1000	≥25	120	60	15	=1℃/瓦	
3AD30A		≤500	12～100	50	12	4	2瓦加200×	②
3AD30B		≤500	12～100	60	18	4	200×4毫米	
3AD30C		≤500	12～100	70	24	4	散热片20瓦	
3AD31A		≤500	≥20	45	20	6	1瓦加120×	
3AD31B		≤500	≥20	60	30	6	120×4毫米	
3AD31C		≤400	≥20	90	40	6		
3AD31D		≤400	≥20	120	50	6	散热片10瓦	

www.789pdf.com 789书库网

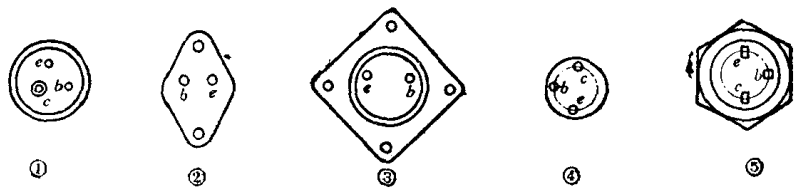
www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	用途	直流参数：集-基反向截止电流 I_{CBO}（微安）	直流参数：共发射极电流(直)放大系数 h_{FE}	极限参数：集-基反向击穿电压 BU_{CBO}（伏）	极限参数：集-射反向击穿电压 BU_{CEO}（伏）	极限参数：集电极最大容许电流 I_{CM}（安）	极限参数：集电极最大容许耗散功率 P_{CM}（瓦）	电极位置图
3AD35A	低频功率放大及直流电压变换	≤400	≥20	60	20	15	2瓦加300×300×4毫米散热片50瓦	⑤
3AD35B		≤300	≥20	80	40	15		
3AD35C		≤200	≥20	100	60	15		
3DD1A		<15	≥12	≥35	≥15	0.3	加散热片1瓦	④
3DD1B		<15	12～25	≥35	≥30	0.3		
3DD1C		<15	25～35	≥35	≥30	0.3		
3DD1D		<15	≥35	≥35	≥30	0.3		
3DD1E		<15	≥20	≥35	≥30	0.3		
3DD2		≤50	≥10	F:100	A:20 B:30 C:45 D:60 E:80 F:100 G:120	0.5	3	②
3DD3		≤100	≥10			0.75	5	
3DD4		≤100	≥10			1.5	10	
3DD5		≤300	≥10			2.5	25.5	
3DD6A		≤500	≥10		30	5	50	⑤
3DD6B		≤500	≥10		45	5	50	
3DD6C		≤500	≥10		60	5	50	
3DD6D		≤500	≥10		80	5	50	
3DD6E		≤500	≥10		100	5	50	
3DD7A		100	10～20	50	40	6	75	⑤
3DD7B		100	10～20	70	60	6	75	
3DD7C		100	>20	120	100	6	75	
3DD8A		100	10～20	60	50	7.5	100	⑤
3DD8B		100	10～20	70	60	7.5	100	
3DD8C		100	>20	120	100	7.5	100	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



3. 晶体三极管电流放大系数的分档和色标

为了生产和使用的方便，电子工业部规定将三极管共发射极直流电流放大系数 h_{FE}(或 β)的大小实行统一分档，并在管壳上注以统一色标，用以区别档次。各档次及色标见表 9-15。

表 9-15 晶体三极管 h_{FE} 统一分档及色标

h_{FE} 分 档	0～15	15～25	25～40	40～55	55～80
色 标	棕	红	橙	黄	绿
h_{FE} 分 档	80～120	120～180	180～270	270～400	400以上
色 标	兰	紫	灰	白	黑

9-5 单结晶体管

单结晶体管是由一个 PN 结和两个电阻接触电极组成的半导体器件，因为它有两个基极，所以又称双基极二极管。它是一种

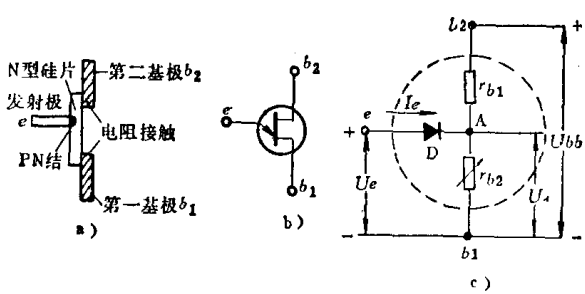


图 9-7 单结晶体管的结构、符号和等效电路
a)结构 b)符号 c)等效电路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

负阻器件，特点是峰值电流大，热稳定性好。单结晶体管的结构、符号和等效电路见图 9—7。

9-5.1 单结晶体管的特性及简易测试

单结晶体管的伏安特性曲线见图 9-8。

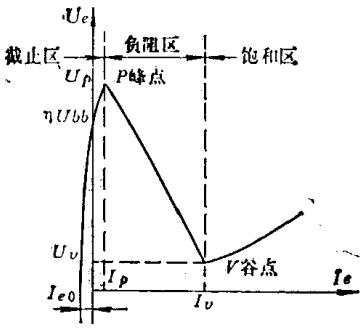


图 9-8 单结晶体管的伏安特性曲线

在两基极 b_2、b_1 间加上电压 U_{bb} 时(参看等效电路)，A 点电压为

$$U_A=\frac{r_{b1}}{r_{b1}+r_{b2}}U_{bb}=\frac{r_{b1}}{r_{bb}}U_{bb}$$

$$=\eta U_{bb}$$

式中 η 称为分压比，是单结晶体管内部结构所决定的常数，其值一般在 0.3～0.9 之间。

当 $U_e<\eta U_{bb}$ 时，PN 结处于反向偏置，管子截止，发射极只有很小的漏电流。

当 $U_e\geqslant\eta U_{bb}+U_D$($U_D$ 为二极管正向压降 约 0.7 伏)，PN 结正向导通，I_e 显著增加，r_{b1} 阻值迅速减少，U_e 相应下降。这种电压随电流增加反而下降的特性称为负阻特性。管子由截止区进入负阻区的临界点称为峰点，与其对应的发射极电压和电流分别称为峰点电压 U_P 和峰点电流 I_P。显然 $U_P\approx\eta U_{bb}$。

随着发射极电流 I_e 不断上升，U_e 不断下降，降到某一点后就不再下降了，以后特性便进入饱和区，这点称为谷点，与其对应的发射极电压和电流分别称为谷点电压 U_v 和谷点电流 I_v。显然 U_v 是维持单结晶体管导通的最小发射极电压，只要 $U_e<U_v$，管子重新截止。

特性进入饱和区后，发射极与第一基极间的电流达到饱和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

状态，所以 U_e 继续增加时，I_e 增加不多。

单结晶体管的三个电极，可用万用表的欧姆档进行判别。

1. 确定发射极 e　因为发射极 e 对第一基极 b_1 和第二基极 b_2 相当于二极管的正向接法，用万用表测 e 对 b_1 或 b_2 间的正反向阻值相差是很大的，而 b_1 和 b_2 间相当于一个固定电阻，用万用表测得的正反向阻值应是一样的，利用上述原理可找到发射极 e。

2. 确定基极 b_1 和 b_2　因为 e 靠近 b_2，故测得的 e 对 b_2 间的正向阻值 r_{eb2} 比 e 对 b_1 间的正向阻值 r_{eb1} 要小，由此可区分基极 b_1 和 b_2。表 9-16 为几种单结晶体管极间电阻的实测值。需要指出的是，这些阻值是用中心阻值为 12 欧、表内电池为 .5 伏的万用表测得的，如用其他类型的表，测得的阻值可能略有区别。

表 9-16　几种单结晶体管极间电阻实测数值表

型　号	接法 / 档次	e 接⊕ b_1 接⊖	e 接⊕ b_2 接⊖	e 接⊖ b_1 接⊕ (千欧)	e 接⊖ b_2 接⊕ (千欧)	b_1 接⊕ b_2 接⊖ (千欧)	b_1 接⊖ b_2 接⊕ (千欧)
BT31B	$R\times10$ $R\times1k$	约为∞	约为∞	0.32 8.5	0.36 10	7 6.2	7 6.2
BT32B	$R\times10$ $R\times1k$	约为∞	约为∞	1.8 13	0.7 7.5	8 8	8 8
BT33B	$R\times10$ $R\times1k$	约为∞	约为∞	1 13	0.9 8.7	10 8.2	10 8.2

9-5.2　单结晶体管的应用

利用单结晶体管的负阻特性，可以组成多种振荡及定时脉冲电路。图 9-9 是最基本的单结晶体管振荡电路，称为弛张振荡器，它是由一个单结晶体管和 RC 充放电路等组成的。这种振荡器线路简单，频率调节范围大，受温度影响小，因此应用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

甚广。

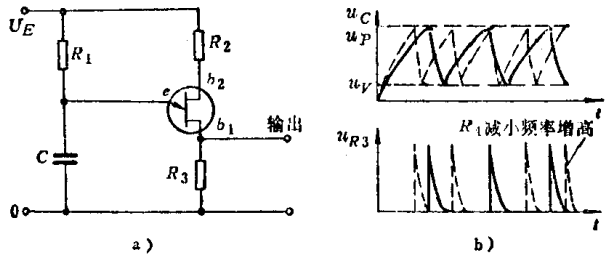


图 9-9　弛张振荡器

a)电路　b)波形

电路中各元件的作用及取值范围见表 9-17。

表 9-17　弛张振荡器各元件作用及取值范围

参　数	取　值　范　围	作　用
R_1(欧)	$\frac{U_E-U_P}{I_P}>R_1>\frac{U_E-U_V}{I_V}$ 10 千欧～3 兆欧	如过大，单结管达不到峰点电压；如过小，单结管电流大于谷点电流，不能截止，电路均不能振荡，无脉冲输出
R_2(欧)	200～600	用作温度补偿
R_3(欧)	50～1000	影响输出脉冲幅度和宽度
C(微法)	0.047～0.5	影响振荡频率和输出脉冲宽度

输出频率可改变 R_1 或 C 的数值，R_1 和 C 越小，振荡频率越高。

振荡周期 T 可用下式近似计算：

$$T=R_1C\ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)$$

式中　ln——自然对数；

η——分压比。

输出脉冲幅度约为：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$U_{K3n} \approx \eta U_E$$

式中 U_E——电源电压。

9-5.3 常用单结晶体管的型号及主要参数

1. 单结晶体管的主要参数说明

(1) 基极间电阻 R_{bb} 发射极开路时，基极 b_1、b_2 之间的电阻，一般为2～10千欧，其值随温度上升而增大。

(2) 分压比 η 由管子内部结构决定的常数，一般为0.3～0.85。

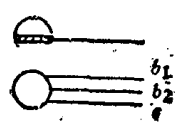
(3) eb_1 间反向电压 U_{eb1} b_2 开路，在额定反向电流时，b_1 与 e 极之间的反向耐压。

(4) 发射极饱和压降 U_{es} 当发射极电流为额定时，eb_1 极间的压降。

(5) 峰点电流 I_P 单结晶体管刚开始导通时，发射极电压为峰点电压时的发射极电流。

2. 常用的单结晶体管型号及主要参数见表9-18。

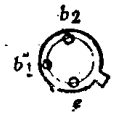
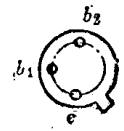
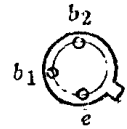
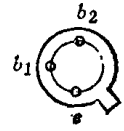
表9-18 常用的单结晶体管型号及主要参数

型号	分压比 η	基极间电阻 R_{bb} (千欧)	发射极与基极间反向电压 U_{ebo} (伏)	发射极饱和压降 U_{es} (伏)	峰点电流 I_P (微安)	基极 b_2 耗散功率 P_{b2M} (毫瓦)	管脚
BT31A	0.3～0.55	3～6	≥60	≤5	≤2	300	
BT31B	0.3～0.55	5～10	≥60	≤5	≤2	300	
BT31C	0.45～0.75	3～6	≥60	≤5	≤2	300	
BT31D	0.45～0.75	5～10	≥60	≤5	≤2	300	
BT31E	0.65～0.85	3～6	≥60	≤5	≤2	300	
BT31F	0.65～0.85	5～10	≥60	≤5	≤2	300	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号	分压比 η	基极间电阻 R_{bb} (千欧)	发射极与基极间反向电压 U_{ebo} (伏)	发射极饱和压降 U_{es} (伏)	峰点电流 I_P (微安)	基极 b_2 耗散功率 P_{b2M} (毫瓦)	管脚
BT32A	0.3～0.55	3～6	≤60	≤5	≤2	300	
BT32B	0.3～0.55	5～10	≤60	≤5	≤2	300	
BT32C	0.45～0.75	3～6	≤60	≤5	≤2	300	
BT32D	0.45～0.75	5～10	≤60	≤5	≤2	300	
BT32E	0.65～0.85	3～6	≤60	≤5	≤2	300	
BT32F	0.65～0.85	5～10	≤60	≤5	≤2	300	
BT33A	0.3～0.55	3～6	≥60	≤5	≤2	500	
BT33B	0.3～0.55	5～10	≥60	≤5	≤2	500	
BT33C	0.45～0.75	3～6	≥60	≤5	≤2	500	
BT33D	0.45～0.75	5～10	≥60	≤5	≤2	500	
BT33E	0.65～0.85	3～6	≥60	≤5	≤2	500	
BT33F	0.65～0.85	5～10	≥60	≤5	≤2	500	
BT33A	0.3～0.4	≥2	≥30	<4	<4	300	
BT33B	>0.4～0.5	≥2	≥60	<4	<4	300	
BT33C	>0.5～0.65	≥2	≥30	<4.5	<4	300	
BT33D	>0.65	≥2	≥60	<4.5	<4	300	
BT35A	0.3～0.4	≥2	≥30	<4	<4	500	
BT35B	>0.4～0.5	≥2	≥60	<4	<4	500	
BT35C	>0.5～0.65	≥2	≥30	<4.5	<4	500	
BT35D	>0.65	≥2	≥60	<4.5	<4	500	

注：BT33型单结晶体管有两种外形，因而也有两种参数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-6 场效应管

场效应管也是由PN结组成的半导体器件，它有三个电极：栅极G、漏极D和源极S，分别与晶体三极管的基极、集电极和发射极相对应，外形与三极管也很相似，但是工作原理却有本质的不同。从控制作用来说，三极管是电流控制元件，即在一定条件下集电极电流只取决于基极电流的大小；而场效应管则是电压控制元件，即在一定的条件下它的漏极电流只取决于栅极电压，而不取决于电流。因此场效应管的输入电阻非常高，可达10^9～10^{15}欧，另外它还具有噪声低、动态变化范围大和温度系数低等优点，因此被广泛应用于各种电子线路中。

9-6.1 场效应管的结构和特性

1. 结构

场效应管有结型和绝缘栅两种结构形式，每种结构又有N型和P型两种导电沟道。

(1) 结型场效应管结构

在一块N型硅棒两端引出电极，分别称为漏极D和源极S，又在硅棒的两个侧面各制作一个P区形成PN结，引出电极并连接起来称为栅极G，这就构成了

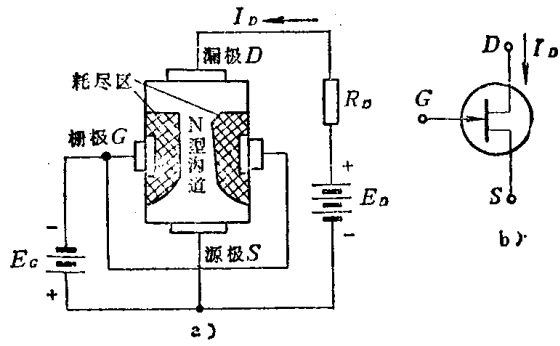


图9-10 N沟道结型场效应管的结构及符号
a)结构示意图 b)符号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一个N型沟道结型场效应管。它的结构和各极所加的电压及代表符号见图 9-10。

(2) 绝缘栅场效应管的结构

在一块P型硅片上，制作两个相距很近而浓度又很高的N型扩散区(N^+区)，引出电极，分别称为源极S和漏极D，隔离两个N型区的间隙表面覆盖着绝缘层二氧化硅，从它上面用铝再引出一个电极称为栅极G，栅极G与其他电极是绝缘的，所以称为绝缘栅场效应管。它的结构和各极所加的工作电压及代表符号见图 9-11。由于它是由金属、氧化物和半导体所组成，所以又称为金属-氧化物-半导体场效应管，简称MOS场效应管。

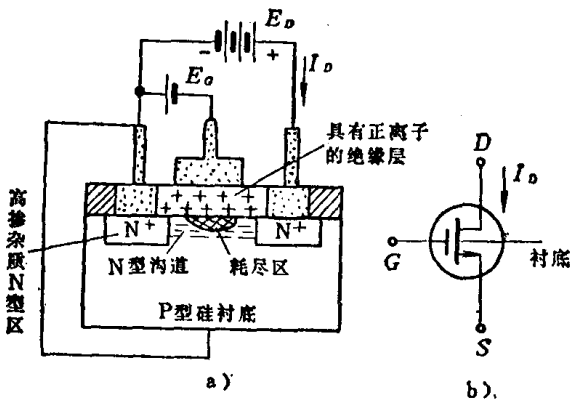


图 9-11 N沟道(耗尽型)绝缘栅场效应管结构及符号

a)结构示意图 b)符号

2. 特性

场效应管的工作情况也可用特性曲线来表示。栅极电压U_{GS}与漏极电流I_D(U_{DS}一定时)之间的关系曲线称为转移特性，它反映栅极电压对漏极电流的控制能力；漏极电压U_{DS}与漏极电流I_D(U_{GS}一定时)的关系曲线称为漏极特性，它反映漏极的工作能力。

(1) 结型场效应管的转移特性

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

结型场效应管的转移特性见图 9-12a。由图可见栅极电压 $U_{GS}=0$ 时漏极电流最大，称为饱和漏电流，用 I_{DSS} 表示。U_{GS} 变负时，I_D 逐渐减小，当 I_D 接近于零时，对应的栅极电压称为夹断电压，用 U_P 表示。

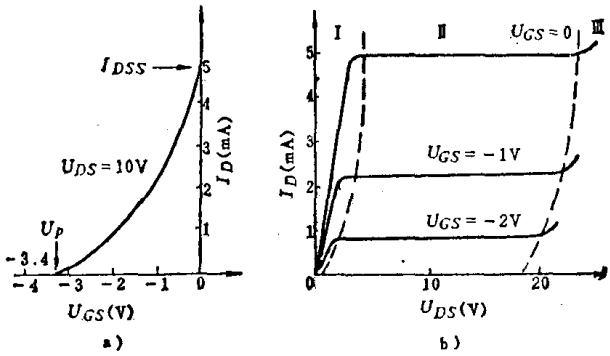


图 9-12 结型场效应管的特性曲线

a)转移特性 b)漏极特性

(2) 结型场效应管的漏极特性

结型场效应管的漏极特性见图 9-12b。由图可见特性分成三个区域。

① 可变电阻区(Ⅰ区) 这个区域里 U_{DS} 比较小，沟道电阻随栅压 U_{GS} 而改变，故称可变电阻区。栅压 U_{GS} 一定时，沟道电阻也一定，I_D 随 U_{DS} 增加而增大。在漏极电压 U_{DS} 一定时，只要 $U_{GS}<U_P$，场效应管漏源极被"夹断"，漏源极间电阻很大，可认为"不导通"；当 $U_{GS}=0$ 时，漏源极间电阻很小，可认为"导通"，这就是场效应管的开关作用。所以场效应管作开关器件使用时就工作在这个区域里。

② 饱和区(Ⅱ区) 当漏极电压 U_{DS} 增大到 $U_{DS}>|U_P|$ 时，漏极电流 I_D 达到了饱和值，以后基本保持不变，故称饱和区或恒流区。在这个区域里，对于不同的 U_{GS}，漏极特性曲线近似平行，即 I_D 与 U_{GS} 成线性关系。所以在这个区域里场效应管起线性放大作用。

③ 击穿区(Ⅲ区) 如果 U_{DS} 继续增加，使 PN 结超过它所能承受的电压极限而被击穿，栅极 I_D 会很快增加，若不加

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

以限制，管子会损坏。

其他各种类型场效应管的符号和特性见表 9-19。

9-6.2 场效应管的应用及注意事项

场效应管可以在放大和开关两种状态下工作，因此和晶体三极管一样被广泛应用于放大、调制、振荡及开关等电子线路中，但场效应管的输入阻抗很高，又具有动态变化范围大，低噪声和低温度系数等特点，因此它更适用于要求输入阻抗高、噪声低的放大器及具有强辐射的场合。另外，有些场效应管的漏极和源极是可以互换的，耗尽型绝缘栅场效应管工作时，栅极电压可正可负，灵活性比三极管要大，这是它得到广泛应用的另一个原因。

由于绝缘栅场效应管的输入阻抗非常高，在栅极上感应出来的电荷很难泄放，电荷的累积使电压升高，易使管子尚未使用就已击穿。因此绝缘栅场效应管在使用时必须注意下列几点：

1. 防止栅极感应击穿的关键在于避免栅极悬空，通常在栅源两极间跨接一个数千欧的电阻，使累积电荷不致过多。

2. 在保存时，应使三个电极短路，把管子焊到电路上或取下时，应先将各极短路。

3. 安装测试时所用的烙铁、仪器及线路本身要有良好的接地，最好拔掉电烙铁的电源再进行焊接，并先焊接源极。

4. 对有特殊要求的线路，如阻抗变换器等，必须采取严格防潮措施，以免由于潮湿的影响，而使阻抗显著降低。

9-6.3 常用场效应管的型号及主要参数

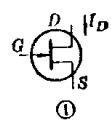
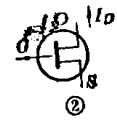
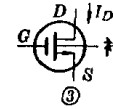
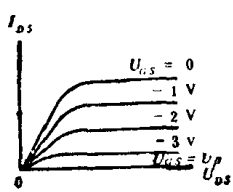
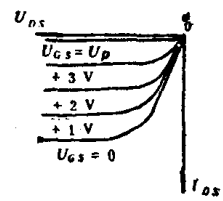
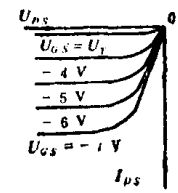
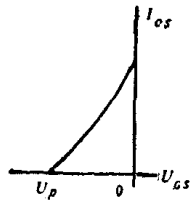
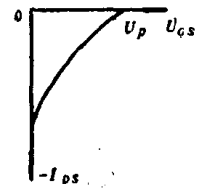
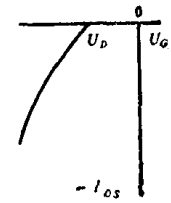
1. 场效应管主要参数说明

(1) 夹断电压 U_p　当 U_{DS} 为某一固定数值时，使 I_{DS} 等于某一微小电流(如 1～10 微安)时，栅极上所加的偏压 U_{GS} 就

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

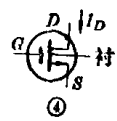
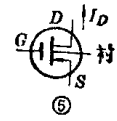
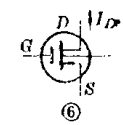
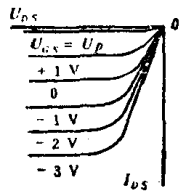
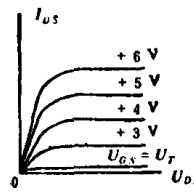
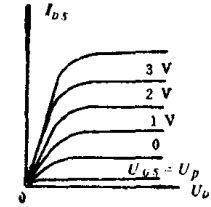
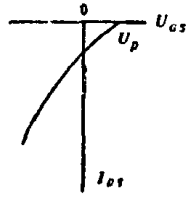
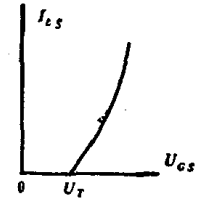
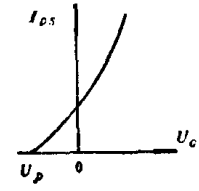
表 9-19 场 效 应 管

结构	结型		绝缘
类型	N 沟道	P 沟道	P 沟
工作方式	耗尽型		增强型
符号			
电压极性 U_{GS}	−	+	−
电压极性 U_{DS}	+	−	−
漏极特性 $I_{DS}\sim U_{DS}$			
转移特性 $I_{DS}\sim U_{GS}$			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的 分 类 和 特 性

缘 栅 型 (MOS)		
道	N 沟	道
耗 尽 型	增 强 型	耗 尽 型
 ④	 ⑤	 ⑥
+、0或−	+	−、0或+
−	+	+
		
		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是夹断电压 U_p。

(2) 饱和漏电流 I_{DSS}　在源极栅极短路条件下，漏源间所加的电压大于 U_p 时的漏极电流称为 I_{DSS}。

(3) 击穿电压 BU_{DS}　漏源极间所能承受的最大电压，即漏极饱和电流开始上升进入击穿区时的 U_{DS}。

(4) 直流输入电阻 R_{GS}　在一定的栅源电压下，栅源之间的直流电阻。这一特性有时以流过栅极的电流来表示。

(5) 低频跨导 g_m　漏极电流的微变量与引起这个变化的栅源电压微变量之比，称为跨导。即

$$g_m=\frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

它是衡量场效应管栅源电压对漏极电流控制能力大小的参数。此参数常以栅源电压变化1伏时，漏极相应变化多少微安(μA/V)或毫安(mA/V)来表示。

2. 常用的场效应管型号及主要参数见表9-20。

表 9-20-1　常用场效应管部分型号及参数(一)

参数名称	饱和漏电流	夹断电压	栅源直流输入电阻	共源小信号低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率
	I_{DSS} (毫安)	U_p (伏)	R_{GS} (欧)	g_m (微安/伏)	BU_{DS} (伏)	BU_{GS} (伏)	I_{DSM} (毫安)	P_{DM} (毫瓦)
测试条件	$U_{DS}=10$ 伏 $U_{GS}=0$	$U_{DS}=10$伏 $I_{DS}=50$ 微安	$U_{DS}=0$ $U_{GS}=10$伏	$U_{DS}=10$伏 $I_{DS}=3$ 毫安				
3DJ2D 3DJ2E 3DJ2F 3DJ2G	≤0.3 ≥0.3～1 ≥1～3 ≥3～10	≤|-9|	$\leqslant 10^7$	≥1500	20	20	20	100

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

参数名称	饱和漏电流 I_{DSS} (毫安)	夹断电压 U_p (伏)	栅源直流输入电阻 R_{GS} (欧)	共源小信号低频跨导 g_m (微安/伏)	最大漏源电压 BU_{DS} (伏)	最大栅源电压 BU_{GS} (伏)	最大漏源电流 I_{DSM} (毫安)	最大耗散功率 P_{DM} (毫瓦)
测试条件	$U_{DS}=10$伏 $U_{GS}=0$	$U_{DS}=$10伏 $I_{DS}=50$微安	$U_{DS}=0$ $U_{GS}=$10伏	$U_{DS}=$10伏 $I_{DS}=3$毫安				
3DJ6D	≤0.3	≤|-9|	≥10^7	≥1000	20	20	15	100
3DJ6E	≥0.5～1							
3DJ6F	≥1～3							
3DJ6G	≥3～10							
3DJ7F	1～3.5	≤|-9|	≥10^7	≥3000	20	20	15	100
3DJ7G	3～11							
3DJ7H	10～19							
3DJ7I	17～25							
3DJ7J	24～35							
3DO4D	≤0.3	≤|-9|	≥10^9	≥2000	20	20	15	100
3DO4E	≥0.3～1							
3DO4F	≥1～3							
3DO4G	≥3～10							
3DO1D	≤0.3	<|-1.5|	≥10^9	≥1000	20	20	15	100
3DO1E	≥0.3～1	<|-3|						
3DO1F	≥1～3	<|-5|						
3DO1G	≥3～10	<|-9|						

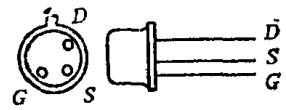
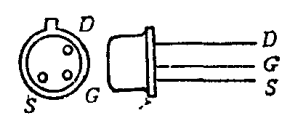
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-20-2 常用场效应管部分型号及参数(二)

参数名称	开启电压 U_t (伏)	漏源电流 I_{DSS} (微微安)	栅源直流绝缘电阻 R_{GS} (欧)	跨导 g_m (微安/伏)	导通电阻 R_{on} (千欧)	最大漏源电压 BU_{DS} (伏)	最大栅源电压 BU_{GS} (伏)	最大耗散功率 P_{DM} (毫瓦)
测试条件	$U_{DS}=10$伏 $I_{DS}=I_{DSO}+1$微安	$U_{DS}=10$伏 $U_{GS}=0$	$U_{DS}=0$ $U_{GS}=10$伏	$U_{DS}=10$伏 $I_{DS}=3$毫安	$U_{DS}=10$伏 $U_{GS}=10$伏			
3CO1A	$-2\sim-4$	1000	$>10^9$	$\geqslant 1000$	$\leqslant 2$	20	50	100
3CO1B	$-4\sim-8$							

表 9-20 的 说 明:

类别	结型场效应管			MOS 场效应管		增强型 MOS 管
	3DJ2	3DJ6	3DJ7	3DO1	3DO4	3CO1
特点及用途	用于高频、线性放大和斩波电路等	具有低噪声、稳定性高的优点，适用于低频、低噪声线性放大器	具有高输入阻抗、高跨导、低噪声和稳定性高等优点	具有高输入阻抗、低噪声、动态范围大的特点，适用于直流放大、阻抗变换和斩波器	工作频率较高，大于100兆赫，可作电台、雷达中线性高频放大或混频放大	具有高输入阻抗，零栅压下接近截止状态，用于开关、小信号放大、工业及通信用
管脚	 图 ①			 图 ②		

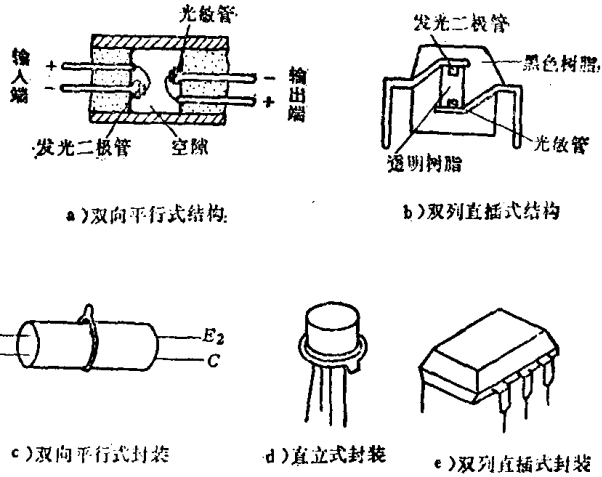
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-7 光电耦合器

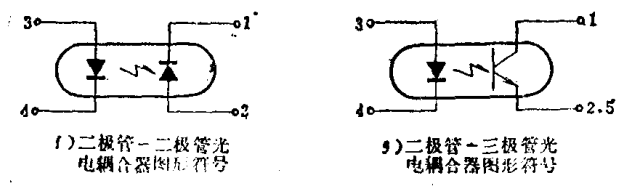
光电耦合器是将发光元件和受光元件组合在同一管壳内，以光为媒介来实现电信号传输的半导体器件。由于它的输入端与输出端在电气上是绝缘的，因此它是一种抗干扰能力强、隔离性能好、响应速度快的新型耦合器件。

根据要求可由不同种类的发光元件和受光元件组合成许多系列的光电耦合器。目前常用的有发光二极管与光敏二极管组合的光电耦合器(简称二极管-二极管光电耦合器)和发光二极



a)双向平行式结构　b)双列直插式结构

c)双向平行式封装　d)直立式封装　e)双列直插式封装



f)二极管-二极管光电耦合器图形符号　g)二极管-三极管光电耦合器图形符号

图 9-13　光电耦合器的结构、封装和图形符号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

管与光敏三极管组合的光电耦合器(简称二极管-三极管光电耦合器)。它们的内部结构、封装方法和图形符号见图 9-13。

9-7.1 光电耦合器的特性

光电耦合器的工作情况可用输入特性、输出特性和传输特性来表示。

1. 输入特性

光电耦合器的输入端是发光二极管，因此它的输入特性可用发光二极管的伏安特性来表示，见图 9-14a。由图可见，它与普通晶体二极管的伏安特性基本上一样，但有两点不同：一是正向死区较大，即正向管压降较大，可达 0.9～1.1 伏，只

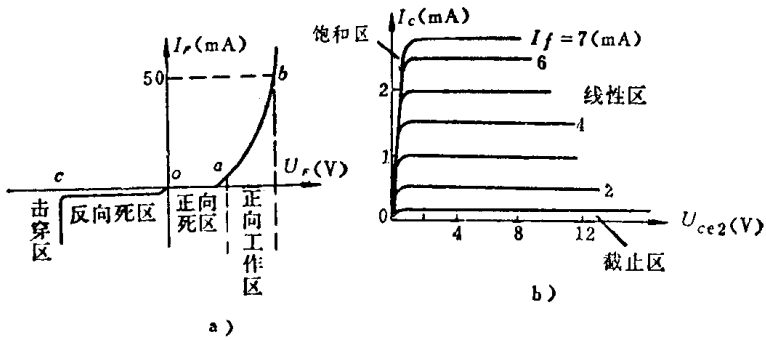


图 9-14 光电耦合器的特性曲线

a)输入特性 b)输出特性

有当外加电压大于这个数值时，二极管才能发光；二是反向击穿电压很小，只有 6 伏左右，比普通二极管的反向击穿电压要小得多。因此在使用时要特别注意输入端的反向电压不能大于 6 伏。

2. 输出特性

光电耦合器的输出端是光敏三极管，因此光敏三极管的伏安特性就是它的输出特性，见图 9-14b。由图可见它与普通晶

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

体三极管的伏安特性曲线是相似的，也分饱和、线性和截止三个区，不同之处在于它是以发光二极管的注入电流 I_f 为参变量的。正常情况下，管子工作在线性区，即在一定的 I_f 下，所对应的集电极电流 I_c 基本上与加在集射极间的电压 U_{ce2} 无关，当 I_f 变化时，I_c 跟着作线性变化。

3. 传输特性

当光电耦合器工作在线性区时(参看输出特性)输入电流 I_f 与输出电流 I_c 成线性对应关系，这种线性关系常用电流传输比 β 来表示，即

$$\beta=\frac{I_c}{I_f}\times 100\%$$

显然 β 值的大小反映光电耦合器电信号传输能力的大小。从表面上看光电耦合器的电流传输比与晶体三极管的电流放大倍数是一样的，都是表示输出与输入电流之比值。但是三极管的 $\beta=I_c/I_b$ 总是大于 1 的，所以把三极管的 β 称为电流放大倍数；而光电耦合器(不加复合放大管时)的 $\beta=I_c/I_f$ 总是小于 1 的，通常用百分数来表示，这就是光电耦合器与晶体三极管在传输电信号能力上的区别。

9-7.2 光电耦合器的应用

光电耦合器具有抗干扰、隔噪声、响应快、功率小和寿命长等特点，用它来代替变压器耦合电信号时，具有失真小、工作频率高的优点；代替继电器使用时，没有机械接点疲劳问题，具有很高的可靠性；它还能完成电平匹配、电位隔离等职能；在长线传输中用它作终端负载，可以大大提高信噪比。因此，光电耦合器在电子线路中有广泛的用途。

下面是光电耦合器实际应用的典型电路。

1. 光电耦合器组成的线性电路，见图 9-15。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

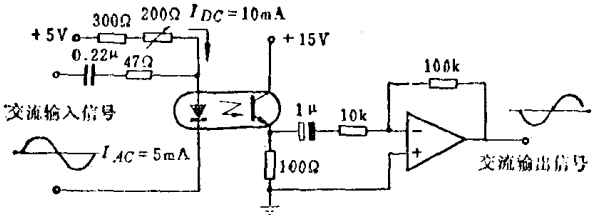


图 9-15　光电耦合器组成的线性电路

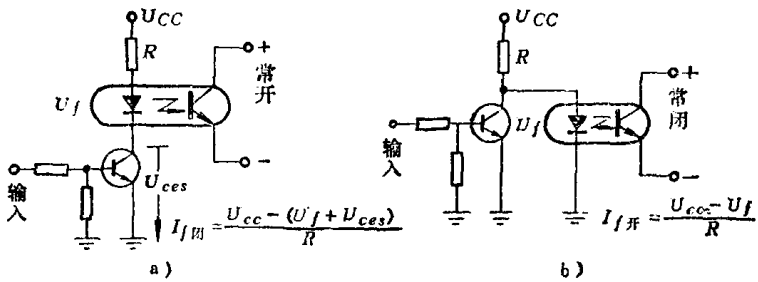


图 9-16　光电耦合器组成的开关电路

a) 常开　　b) 常闭

图中光电耦合器工作在线性区，它不仅可以耦合交流信号，还起到了对输入、输出回路的电位隔离和电平匹配的作用。

2．光电耦合器组成的开关电路，见图 9-16。

这种开关电路的特点是控制灵敏，电路功耗小。

9-7.3　常用光电耦合器的型号及主要参数

1．光电耦合器主要参数说明

光电耦合器的主要参数有十多项，其中许多参数（如：最大工作电流、正向压降、反向耐压、反向漏流及饱和压降等）与一般晶体二极管、三极管的意义是一样的，因此不再说明。现将光电耦合器特有的参数说明如下：

（1）暗电流 I_d　当发光二极管注入电流 $I_f=0$ 时二极管不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

发光，当光敏三极管 c-e 极间加以正向电压 U_{ce} 时，由于热运动就有很少的电流流过集电极，称为暗电流 I_d。它比普通硅晶体三极管的穿透电流要小得多，一般在 0.1 微安以下。

(2) 电流传输比 β　在直流工作状态下，光敏管输出电流 I_c 与发光二极管注入电流 I_f 的比值，称为电流传输比 β。如果传输特性线性度较好，则电流传输比 β 可用 $\beta = I_c / I_f \times 100\%$ 来求得。二极管-二极管光电耦合器传输效率很低，β 值一般在百分之几以下。二极管-三极管光电耦合器的 β 值较高，可达 10～80%左右。

(3) 隔离阻抗 R_g　是指发光二极管与光敏管之间的绝缘电阻，一般在 10^9～10^{11} 欧之间。

(4) 极间耐压 U_g　是指发光二极管与光敏管之间的绝缘电压，一般都在 500 伏以上。

需要指出的是，光电耦合器的大多数参数受温度的影响较大，在使用时要注意环境温度的变化。

2. 常用的光电耦合器型号及主要参数，见表 9-21 和表 9-22。

9-8 可控硅元件

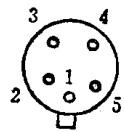
“可控硅”是硅可控整流元件的简称，它能以毫安级的电流控制很大的整流功率，而且具有响应速度快、效率高、体积小等优点，是一种新型的大功率半导体整流元件，目前已广泛应用于可控整流、无触点开关、变频等电力线路及控制系统中。

可控硅元件的外形有螺旋式和平板式两种，但其管芯结构都是一样的，即在一块硅片上交迭地制出 P_1、N_1、P_2、N_2 区，因此形成三个 PN 结 J_1，J_2 和 J_3。由两边最外层的 P_1 和 N_2 分别引出两个电极，称为阳极 A 和阴极 C，由中间的 P_2 层引出的

www.789pdf.com 789书库网

表 9-21　光电耦合器 GD210 系列部分型号及参数规范表

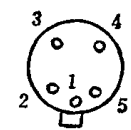
参数	输入特性				输出特性			传输特性			管脚
符号	最大工作电流 $I_{f\max}$（毫安）	正向压降 U_f（伏）	反向耐压 U_r（伏）	反向漏电流 I_r（微安）	暗电流 I_d（微安）	光电流 I_l（微安）	最高工作电压 $U_{\max}$（伏）	电流传输比 β（%）	隔离阻抗 R_g（欧）	极间耐压 U_g（伏）	
测试条件		$I_f=10$ 毫安	I_r ≤100 微安	U_r ≤3伏	$I_f=0$ $U_l=10$ 伏	$I_f=10$ 毫安	在 I_d 下	$I_f=10$ 毫安			
GD211A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	25～50	30	0.25～0.5	10^{11}	>500	
GD211	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	50～75	30	0.5～0.75	10^{11}	>500	
GD212	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	75～100	30	0.75～1.0	10^{11}	>500	
GD213	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	100～150	30	1.0～2.0	10^{11}	>500	
GD214	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	150～200	30	2.0～2.5	10^{11}	>500	
GD215	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	200～300	30	2.5～3.0	10^{11}	>500	



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

表 9-22 光电耦合器 GD310 系列部分型号及参数规范表

参数	输入特性				输出特性			传输特性			管脚
符号	最大工作电流 $I_{f\max}$（毫安）	正向压降 U_f（伏）	反向耐压 U_r（伏）	反向漏电流 I_r（微安）	暗电流 I_d（微安）	光电流 I_l（毫安）	饱和压降 U_{ces}（伏）	电流传输比 β（%）	隔离阻抗 R_g（欧）	极间耐压 U_g（伏）	
测试条件		I_f=10毫安	I_r=100微安	U_r=3伏	I_f=0 U_{ce}=20伏	I_f=10毫安 R_l=500欧 U_{ce}=10伏	I_f=20毫安 U_l=10伏 I_l=2毫安	I_f=10毫安 U_{ce}=20伏			
GD311A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	1～2	≤2.5	10～20	10^{11}	>500	
GD312A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	2～4	≤2.5	20～40	10^{11}	>500	
GD313A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	4～6	≤2.5	40～60	10^{11}	>500	
GD314A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	6～8	≤2.5	60～80	10^{11}	>500	
GD315A	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	8～10	≤2.5	80～100	10^{11}	>500	
GD311	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	1～2	≤3	10～20	10^{11}	>500	
GD312	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	2～4	≤3	20～40	10^{11}	>500	
GD313	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	4～6	≤3	40～60	10^{11}	>500	
GD314	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	6～8	≤3	60～80	10^{11}	>500	
GD315	50	1.1	≥5	≤50	≤0.1	8～10	≤3	80～100	10^{11}	>500	
最大容许功耗	P_{fm}=50毫瓦				P_{cm}=125毫瓦						



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

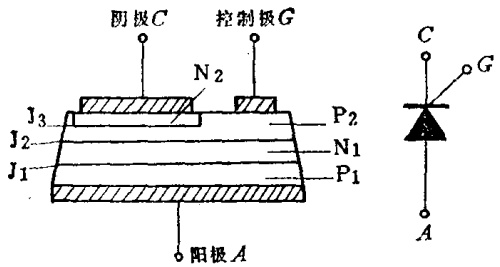


图 9-17　可控硅元件的结构和符号

电极称为控制极 G。其内部结构和符号见图 9-17。

9-8.1　可控硅元件的特性及简易测试方法

1．可控硅元件的特性

可控硅属整流元件类，因此只有“导通”和“关断”两种工作状态，这两种工作状态互相转化的条件见表 9-23。

由表 9-23 可见可控硅两种工作状态是随着阳极电压、电流和控制极电流等条件而相互转化的，这种转化的过程常用可控硅阳极伏安特性曲线来表示，见图 9-18。由图可见特性曲线分为三部分：

表 9-23　可控硅元件“导通”与“关断”相互转化条件

从关断转化为导通的条件	维持导通的条件	从导通转化为关断的条件
(1) 阳极电位比阴极电位高 (2) 控制极有足够的正向电压和电流	(1) 阳极电位比阴极电位高 (2) 阳极电流大于维持电流	(1) 阳极电流小于维持电流 (2) 阳极电位比阴极电位低
以上两条件必须同时具备	以上两条件必须同时具备	具备其中一个条件就可以

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(1) 正向阻断特性(曲线Ⅰ) 当控制极无信号时，阳极上虽加有较大的正向电压，可控硅仍不导通(实际有很小的正向漏电流)。但阳极正向电压达到某一定值时，可控硅由关断状态突然转化为导通状态，这个电压称为正向转折电压，用U_{BO}表示。

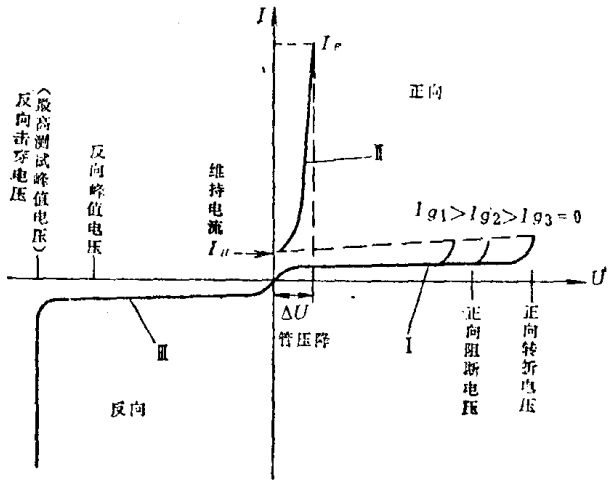


图 9-18 可控硅的阳极伏安特性曲线

当控制极加正向电流I_g时，可控硅就会在较低的正向阳极电压下导通，由图可见，转折电压随控制极电流的增大而减小，当控制极电流大到一定程度，就不再出现正向阻断状态了。

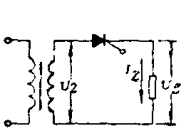
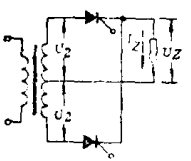
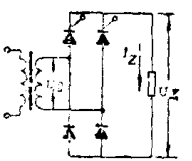
(2) 导通工作特性(曲线Ⅱ) 可控硅导通后内阻很小，压降很低，外加电压几乎全部降在外电路负载上，并流过较大的负载电流，因此特性曲线陡直。

若阳极电压减小或负载电阻增加，至使阳极电流小于某一定值时，可控硅便从导通状态转化为关断状态。特性曲线从Ⅱ回到Ⅰ。

(3) 反向阻断特性(曲线Ⅲ) 当可控硅阳极加以反向电压

www.789pdf.com 789书库网

表 9-24　常用可控硅整流电路的基本电量关系

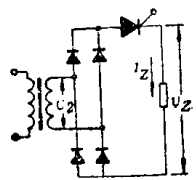
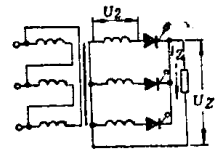
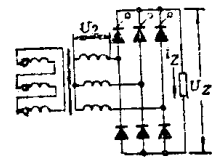
整流电路名称		单相半波	单相全波	单相半控桥
电路图		 图 ①	 图 ②	 图 ③
直流输出电压(空载)	全导通($\alpha=0$)U_{zo}	$0.45U_2$	$0.9U_2$	$0.9U_2$
	某一移相角α时U_z（电阻负载或带续流二极管电感负载）	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$
	某一移相角α时U_z（无续流二极管电感负载）	—	$\cos\alpha U_{zo}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$
元件最大正向电压和最大反向电压峰值U_m		$1.41U_2(3.14U_{zo})$	$2.83U_2(3.14U_{zo})$	$1.41U_2(1.57U_{zo})$

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

移相范围	电阻负载或带续流二极管的电感负载	0～180°	0～180°	0～180°
	无续流二极管的电感负载	—	0～90° （$\alpha>90°$转入逆变状态）	
元件最大导通角		180°	180°	180°
输出电压最低脉动频率		$1f$	$2f$	$2f$
流过可控硅的电流（电阻负载全导通）	平均值	$1I_z$	$0.5I_z$	$0.5I_z$
	有效值	$1.57I_z$	$0.785I_z$	$0.785I_z$
	波形系数$=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$	1.57	1.57	1.57
流过可控硅的电流（电感负载全导通）	平均值	$0.5I_z$	$0.5I_z$	$0.5I_z$
	有效值	$0.707I_z$	$0.707I_z$	$0.707I_z$
	波形系数$=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$	1.41	1.41	1.41

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

续表

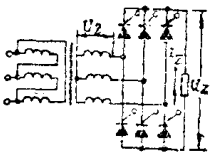
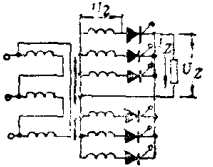
整流电路名称		可控硅作开关管的单相桥	三相半波	三相半控桥
电路图		 图 ④	 图 ⑤	 图 ⑥
直流输出电压（空载）	全导通（$\alpha=0$）U_{zo}	$0.9U_2$	$1.17U_2$	$2.34U_2$
	某一移相角 α 时 U_z（电阻负载或带续流二极管电感负载）	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$	$\cos\alpha U_{zo}$（$0\leqslant\alpha\leqslant30°$） $0.557[1+\cos(\alpha+30°)]U_{zo}$ （$30°\leqslant\alpha\leqslant150°$）	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$
	某一移相角 α 时 U_z（无续流二极管电感负载）	—	$\cos\alpha U_{zo}$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}U_{zo}$
元件最大正向电压和最大反向电压峰值 U_m		$1.41U_2(1.57U_{zo})$ 可控硅不受反向电压	$2.45U_2(2.09U_{zo})$	$2.45U_2(1.05U_{zo})$

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

移相范围	电阻负载或带续流二极管的电感负载	0～180°	0～150°	0～180°
	无续流二极管的电感负载	—	0～90° (α＞90°转入逆变状态)	0～180°
元件最大导通角		360°	120°	120°
输出电压最低脉动频率		$2f$	$3f$	$6f$
流过可控硅的电流（电阻负载全导通）	平均值	$1I_z$	$0.333I_z$	$0.333I_z$
	有效值	$1.11I_z$	$0.587I_z$	$0.587I_z$
	波形系数 $=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$	1.11	1.76	1.76
流过可控硅的电流（电感负载全导通）	平均值	$1I_z$	$0.333I_z$	$0.333I_z$
	有效值	$1I_z$	$0.577I_z$	$0.577I_z$
	波形系数 $=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$	1		

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

续表

整流电路名称		三相全控桥	双反星形带平衡电抗器
电路图		 图 ⑦	 图 ⑧
直流输出电压(空载)	全导通($\alpha=0$)U_{zo}	$2.34U_2$	$1.17U_2$
	某一移相角α时U_z(电阻负载或带续流二极管电感负载)	$\cos\alpha U_{zo}$ $(0°\leqslant\alpha\leqslant60°)$ $[1+\cos(\alpha+60°)]U_{zo}$ $(60°\leqslant\alpha\leqslant120°)$	$\cos\alpha U_{zo}$ $(0°\leqslant\alpha\leqslant60°)$ $[1+\cos(\alpha+60°)]U_{zo}$ $(60°\leqslant\alpha\leqslant120°)$
	某一移相角α时U_z(无续流二极管电感负载)	$\cos\alpha U_{zo}$	$\cos\alpha U_{zo}$
元件最大正向电压和最大反向电压峰值U_m		$2.45U_2(1.05U_{zo})$	$2.45U_2(2.09U_{zo})$

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

移相范围	电阻负载或带续流二极管的电感负载	0～120°	0～120°
	无续流二极管的电感负载	0～90° （$\alpha>90°$转入逆变状态）	0～90° （$\alpha>90°$转入逆变状态）
元件最大导通角		120°	120°
输出电压最低脉动频率		$6f$	$6f$
流过可控硅的电流（电阻负载全导通）	平均值	$0.333I_z$	$0.167I_z$
	有效值	$0.587I_z$	$0.289I_z$
	波形系数$=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$	1.76	1.73
流过可控硅的电流（电感负载全导通）	平均值	$0.333I_z$	$0.167I_z$
	有效值	$0.577I_z$	$0.289I_z$
	波形系数$=\frac{\text{有效值}}{\text{平均值}}$		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

时，虽电压较大，但元件不会导通，处于反向阻断状态（实际有很小的反向漏电流）。

当反向阳极电压高到某一定值时，反向漏电流迅速增加，元件就反向击穿了。正常工作时，不允许超过这个电压值的。

2. 可控硅元件的简易测试

(1) 万用表判别法

用 $R\times1k$ 的电阻档测阳极与阴极间的正反向电阻，若阻值都相当大(表针只动一点)说明阴阳极间是正常的；如果阻值不大(小于 500 千欧)或为零，说明元件性能不好或内部短路。

用 $R\times1\Omega$ 档测控制极与阴极间的电阻，正反向阻值一般为数十欧时，说明情况正常；若阻值为零或无穷大，说明控制极与阴极已短路或断路。

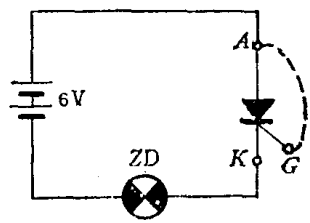


图 9-19 可控硅示灯判别法

(2) 示灯判别法

用示灯判别可控硅元件好坏的原理见图 9-19。

按图接好电路后，A、G 点不短接，指示灯 ZD 就发光，则元件是坏的，若不发光，将 A、G 点短接一下后，ZD 一直发光，则元件是好的。如果 A、G 短接一下后 ZD 仍不发光，或只有在 A、G 短接时才发光，A、G 断开后 ZD 又立即熄灭，说明元件是坏的。

9-8.2 可控硅整流电路

用可控硅元件可以组成各种可控硅整流电路，能把交流电变成大小可调的直流电。由于整流电路、负载性质及元件导电角度等不同，因而整流输出的电量具有不同的特点。现将常用可控硅整流电路的基本电量关系，列于表 9-24 中。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在实际应用中，应根据负载的特点、现有元件的情况及整个装置的经济性全面均衡，合理选择整流电路的类型。现将常用可控硅整流电路的特点作一比较，列于表 9-25 中。

表 9-25　常用可控硅整流电路的比较

（以可控硅全导通、纯电阻负载情况为例）

整流电路	元件数量	可控硅两端电压的峰值/输出整流电压U_{zo}	可控硅电流的有效值/输出整流电流I_z	变压器利用系数	输出电压脉动系数	适用场合
单相半波	一个可控硅（最少）	3.14（最大）	1.57（最大）	$\frac{1}{3.09}=32.3\%$（最小）	1.57（最大）	对电压波形要求不高的低电压、小功率的负载
单相全波	二个可控硅（较少）	3.14（最大）	0.785（一般）	$\frac{1}{1.48}=67.5\%$（较小）	0.667（一般）	与单相桥相比缺点多，而且必须用有中点抽头的变压器，所以应用不多
单相半控桥	二个可控硅，二个二极管（一般）	1.57（较小）	0.785（一般）	$\frac{1}{1.23}=81\%$（较大）	0.667（一般）	各项指标较好，小功率负载应用较多
可控硅作开关管的单相桥	一个可控硅，四个二极管（较少）	1.57（较小）	1.11（较大）	$\frac{1}{1.23}=81\%$（较大）	0.667（一般）	仅用一个可控硅，而指标又较好，因此应用较多
三相半波	三个可控硅（一般）	2.09（一般）	0.587（较小）	$\frac{1}{1.35}=74\%$（一般）	0.25（较小）	元件承受电压比三相桥要大一倍，其他指标也比三相桥要差，较少采用

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

整流电路	元件数量	可控硅两端电压的峰值/输出整流电压U_{zo}	可控硅电流的有效值/输出整流电流I_z	变压器利用系数	输出电压脉动系数	适用场合
三相半控桥	三个可控硅，三个二极管（较多）	1.05（最小）	0.587（较小）	$\frac{1}{1.05}=95\%$（最大）	0.057（最小）	各项指标较好，适用于较大功率高电压负载
三相全控桥	六个可控硅（最多）	1.05（最小）	0.587（较小）	$\frac{1}{1.05}\approx95\%$（最大）	0.057（最小）	可控硅元件多，触发系统复杂，仅在需要逆变的电路中应用
带平衡电抗器的双反星形	六个可控硅（最多）	2.09（一般）	0.289（最小）	$\frac{1}{1.26}\approx80\%$（较大）	0.057（最小）	该电路所选用元件的电流等级最低，而且仅考虑一个元件的压降，特别适合于低电压大电流负载
说明	元件少，相应的触发系统简单，因而设备投资少，调整维护方便	输出同样整流电压，元件两端电压越小，就可以选用电压等级较低的元件，这对高电压比较有利，可以避免	输出同样整流电流，元件电流有效值越小，可以选用电流等级较低的元件，这对大电流特别有利，可避免不	变压器利用系数越大，说明输出同样的整流功率，变压器计算容量越小，因而变压器最经济，对大容量影响更显著	脉动率越小，说明交流成分少，所需滤波器要求就低	应根据负载情况选用整流电路。如小功率负载，可用单相半控桥；大功率电动机负载，可用三相桥式全控电路；低压大电流负载，可用双反星形带平衡电抗器的整流电路等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

整流电路	元件数量	可控硅两端电压的峰值/输出整流电压U_{zo}	可控硅电流的有效值/输出整流电流I_z	变压器利用系数	输出电压脉动系数	适用场合
说明		不必要的元件串联	必要的元件，并联使用			

注：变压器利用系数$=\frac{\text{整流器输出功率}}{\text{变压器计算容量}}$。

可控整流电路的类型选定后，还应根据不同的负载和使用条件，正确地选择可控硅元件的规格，其中最主要的是正反向阻断峰值电压和额定正向平均电流。

1. 正反向阻断峰值电压的选择

$$PFU(PRU)=K_{VA}\frac{U_m}{K_V n}(\text{伏})$$

式中 $PFU(PRU)$——可控硅正反向阻断峰值电压；

U_m——可控硅在线路中承受的峰值电压；

n——可控硅元件串联数；

K_V——均压系数，一般取$K_V=0.8\sim0.9$，若元件不串联时，取$K_V=1$；

K_{VA}——电压安全系数，一般取2，可根据元件的质量及负载短时容许过载情况，适当减小或加大。

2. 额定正向平均电流的选择

$$I_F=K_{LA}\frac{K_Z I_z}{K_i m}(\text{安})$$

式中 I_F——可控硅额定正向平均电流；

K_Z——电路系数，见表9-26；

m——可控硅元件并联支路数；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

K_j——均流系数，一般取0.8～0.9，若元件不并联时，取$K_j=1$；

I_Z——整流装置的最大负载电流；

K_{LA}——电流安全系数，一般取1.5～2，可根据负载情况增减。

表 9-26 电路系数 K_z

整流线路	单相全波 单相桥式	三相半波	三相桥式	带平衡电抗器的双反星形
电感或电动机负载	0.45	0.367	0.367	0.184
纯电阻负载	0.5	0.372	0.368	0.185

3. 选择元件容量还应考虑以下因素：

(1) 周围环境的影响。元件额定正向平均电流 I_F 是指环境温度为40℃的情况，超过40℃时，元件的容量要降低些。

(2) 冷却方式的影响。50安以上的元件必须采取强迫风冷(或水冷)。若风速低于标准要求，或采用自然冷却时，容量必须降低。

(3) 对于电阻性负载的影响。当元件导通角减小时，容许输出的整流电流比全导通时要相应地减少，即元件的电流容量要降低使用。

9-8.3 *可控硅元件的保护*

可控硅是半导体元件，承受过电压、过电流的能力较低，为了使元件能可靠地长期运行，必须采取适当的保护措施。

1. 过电流保护

(1) 设置电流截止环节或闭锁环节，当过电流时，把触发脉冲后移或封锁脉冲，使整流输出电压减小或下降到零，这只适

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用于过载或短路电流不大的情况。

(2) 装设快速开关及过流继电器，在发生过载或短路时，能迅速把直流通路切断。由于快速开关和过流继电器动作需要一定时间，短路电流较大时，用这种方法保护元件虽不是很有效的，但为了整个装置的安全，仍有必要。

(3) 采用快速熔断器(简称快熔)作短路保护。由于"快熔"动作迅速，是保护可控硅元件的有效器件，但只能一次性使用，很不经济。所以它常与快速开关配合使用，将快速开关动作值整定小些，作前级短路保护，"快熔"作最后一级保护。

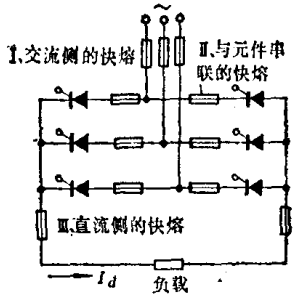


图 9-20 快熔在整流电路中的位置

"快熔"在整流电路中安放的位置不同，额定电流的选择方法也不同。图9-20是"快熔"安放的各种位置，其容量的选择方法如下：

① 交流侧"快熔"选择

$$I_{RD}=K_{12}I_d$$

② 与元件串联的"快熔"可按表 9-28 所示的方法选择。

③ 直流侧"快熔"的选择

$$I_{RD}\geqslant I_d$$

式中 I_{RD}——熔体的额定电流；

I_d——最大的整流电流；

K_{12}——系数(交流侧线电流 I_A 与直流侧电流 I_d 的比值)见表 9-27。

表 9-27 K_{12} 系 数 表

整流线路	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	双T形带平衡电抗器
K_{12}	0.707	1	0.577	0.816	0.289

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-28　与元件串联时快熔的选择

元　件　型　号	并　联　路　数	选　择“快　熔”
3CT50	1	80安
3CT100	1	150安
3CT200	1	300安
3CT500	1	600安
3CT500	2	500安
3CT500	3路以上	400安

“快熔”电压的选择，一般与所在线路电压的等级相近即可。

国产快速熔断器的规格，见表 9-29。

表 9-29　国产快速熔断器部分规格表

系　列	额定电压（伏）	熔体额定电流（安）	安秒特性（秒）	分断电流（千安）
RS3 汇流排式，可装辅助开关	500	10,15,30,50,80,100,	$3.5I_e$，小于0.06	25（100安以下） 50（100安以上）
		150,200,250,300	$4I_e$，小于0.02	
	250	10,15,20,25,30,40,50,80	$3.5I_e$，小于0.06（100安以下）	25
	500	100,150,200,250,300	$4.5I_e$，小于0.02（100安以上）	50
	750	200,300	$4I_e$，小于0.02	50
RLS 螺旋式，有烧断指示器	500伏以下	3,5,10	$3I_e$，小于0.3	40
		15,20,25,30,40,50	$3.5I_e$，小于0.12	
		60,80,100	$4I_e$，小于0.06 $4.5I_e$，小于0.22	
		15,20,25,30,40,50	$1.75I_e$，小于60 $4I_e$，小于0.2 $6I_e$，小于0.2	80

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 过电压保护

可控硅整流装置产生过电压的原因主要有操作过电压、换相过电压和事故过电压。对于不同的原因可采用不同的保护方法。

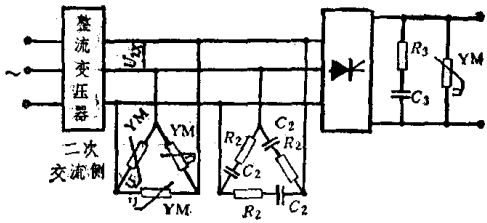


图 9-21 可控硅整流器操作过电压保护电路

(1) 操作过电压保护可在整流变压器二次侧或直流输出端接入阻容保护或压敏电阻保护，见图9-21。它们的参数可查表9-30、表9-31和表9-32。

表 9-30 小容量整流器交流侧阻容保护参数估算法

阻容所放位置	电路形式	电容 C_2 (微法)	电阻 R (欧)	变压器连接	K
整流变压器二次侧	单相 200伏安以下	$700\times\frac{P_S}{(PRU)^2}$	$100\sqrt{\frac{U_z}{I_zC\sqrt{f}}}$	Y/Y一次侧中点不接地	150
	单相 200伏安以上	$400\times\frac{P_S}{(PRU)^2}$	或$37.5\sqrt{\frac{U_z}{I_zC}}$	Y/△一次侧中点不接地	300
	三相5000伏安以下	$K\frac{P_S}{(PRU)^2}$	($f=50$ 赫)	其他接法	900

注：P_s——整流变压器容量(伏安)；
PRU——整流元件反向峰值电压(伏)；
U_z——输出整流电压(伏)；
I_z——输出整流电流(安)；
f——电源频率(赫)；
K——系数，与整流变压器接法有关，可按表9-30右边所示的值选取。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-31　大容量整流器交流侧阻容保护参数估算法

电路形式	整流变压器二次侧	
	电容 C_2（微法）	电阻 R_2（欧）
单相桥式	$29000\left(\frac{I_{02}}{fU_2}\right)$	$0.3\times\frac{U_2}{I_{02}}$
三相桥式	$10000\left(\frac{I_{02}}{fU_{2x}}\right)$	$0.3\times\frac{U_{2x}}{I_{02}}$
三相半波	$8000\left(\frac{I_{02}}{fU_{2x}}\right)$	$0.36\times\frac{U_{2x}}{I_{02}}$
六相半波，双反星形带平衡电抗器	$7000\left(\frac{I_{02}}{fU_{2x}}\right)$	$0.42\times\frac{U_{2x}}{I_{02}}$

注：I_{02}——折算到整流变压器二次侧的空载相电流(安)；
U_2——单相变压器二次侧电压(伏)；
U_{2x}——三相变压器二次侧线电压(伏)。

表 9-32　直流侧阻容保护参数估算法

阻容所放位置	电路形式	电容 C_3（微法）	电阻 R_3（欧）
直流输出端	单相桥式	$12\times10^4\times\left(\frac{I_{02}}{fU_2}\right)$	$0.25\times\frac{U_2}{I_{02}}$
	三相桥式	$12\times10^4\times\left(\frac{I_{02}}{fU_{2x}}\right)$	$0.058\times\frac{U_{2x}}{I_{02}}$
	三相半波	$4\times10^4\times\left(\frac{I_{02}}{fU_{2x}}\right)$	$0.173\times\frac{U_{2x}}{I_{02}}$

注：符号含义同表 9-31。电容 C_3 可用电解电容。

(2) 换向过电压保护在可控硅元件侧并联阻容保护，见图 9-22。其参数一般按表 9-33 选取。

上述各种阻容保护中电阻的功率可按下式估算：

$$P>\frac{RU^2}{R^2+X_C^2}(瓦)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-33　可控硅元件侧阻容保护参数选择

整流元件额定正向电流(安)	C_4(微法)	R_4(欧)
500	0.5～1	10～20
200	0.5	10
100	0.25	20
50	0.2	40
20	0.1	100

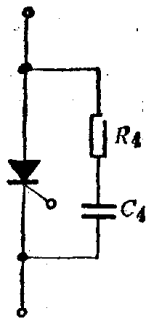


图 9-22　可控硅元件换相过电压保护

式中　U——阻容保护电路两端电压的有效值，若接在直流侧应为整流电压中交流分量的有效值(伏)；

X_C——阻容保护的电容容抗 $X_C=\dfrac{1}{2\pi f_C}$(欧)；

R——阻容保护中的电阻(欧)。

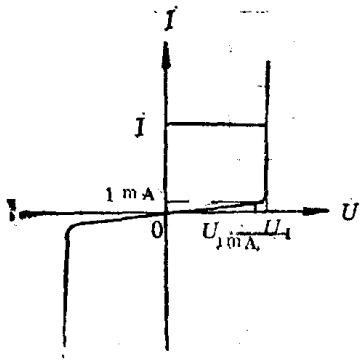


图 9-23　压敏电阻的伏安特性

(3) 事故过电压保护。近年来出现一种新型的过电压保护元件——金属氧化物压敏电阻（简称压敏电阻)，其伏安特性类似两个反向对接的硒堆，但比硒堆特性更陡直，见图9-23。它抑制过电压能力强，能承受大的浪涌电流冲击，但在正常工作时只有很小的漏电流通过，几乎没有损耗，因此它代替硒堆作事故过电压和操作过电压保护更具有优越性。

压敏电阻主要参数有：①标称电压U_{1mA}——漏电流为 1 毫

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

安时元件两端的电压值；②通流容量——在规定的波形下允许通过的浪涌峰值电流；③残压比——放电电流达到允许值 I 时的电压 U_I 与 U_{1mA} 的比值。

压敏电阻的选择方法如下：

标称电压 U_{1mA} 的选择：

U_{1mA} 的下限由下式决定：

$U_{1mA} \geqslant 1.8 \sim 2U_{DC}$ 或 $U_{1mA} \geqslant 2 \sim 2.5U_{AC}$

式中 U_{DC}——直流电压；

U_{AC}——交流电压(有效值)。

U_{1mA}的上限是由被保护设备的耐压决定的，应使压敏电阻在吸收过电压时，残压抑制在设备的耐压以下。

通流容量的选择：

选择的原则是按实际产生的过电压能量来确定压敏电阻的通流容量，但实际计算很困难，一般按过电压类型去确定：①操作过电压保护可选 3～5kA，大容量设备的保护应选10kA；②熄灭火花应选择 3kA 以下；③防雷保护可选 10～20kA。

压敏电阻部分型号及主要参数，见表9-34。

表 9-34 压敏电阻部分型号及主要参数

型号规格	标称电压 (伏)	容许偏差 (%)	通流容量 (千安)	残压比 $\frac{U_{1.0mA}}{U_{1mA}}$	残压比 $\frac{U_{3KA}}{U_{1mA}}$
MY31-33/0.5 MY31-33/1	33	±10	0.5 1	≤3.5	
MY31-47/0.5 MY31-47/1	47	±10	0.5 1	≤3.5	
MY31-68/1 MY31-68/3	68	±10	1 3	≤3	≤3.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号规格	标称电压（伏）	容许偏差（%）	通流容量（千安）	残压比 $\frac{U_{100A}}{U_{1mA}}$	残压比 $\frac{U_{8KA}}{U_{1mA}}$
MY31-100/1	100	±10	1	≤2.2	≤3
MY31-100/3			3		
MY31-150/1	150	±10	1	≤2.2	≤3
MY31-150/3			3		
MY31-220/1	220	± 5	1	≤2	≤2.5
MY31-220/3			3		
MY31-300/1	300	± 5	1	≤2	≤2.5
MY31-300/3			3		
MY31-470/1	470	± 5	1	≤1.8	≤2.2
MY31-470/3			3		
MY31-470/5			5		
MY31-470/10			10		
MY31-560/1	560	± 5	1	≤1.8	≤2.2
MY31-560/3			3		
MY31-560/5			5		
MY31-560/10			10		
MY31-680/1	680	± 5	1	≤1.8	≤2.2
MY31-680/3			3		
MY31-680/5			5		
MY31-680/10			10		
MY31-750/1	750	± 5	1	≤1.8	≤2.2
MY31-750/3			3		
MY31-750/5			5		
MY31-750/10			10		
MY31-910/3	910	± 5	3	≤1.8	≤2.2
MY31-910/5			5		
MY31-910/10			10		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号规格	标称电压 (伏)	容许偏差 (%)	通流容量 (千安)	残压比 $\frac{U_{100A}}{U_{1mA}}$	残压比 $\frac{U_{3KA}}{U_{1mA}}$
MY31-1100/3	1100	±5	3	≤1.8	≤2.2
MY31-1100/5			5		
MY31-1100/10			10		
MY31-1300/3	1300	±5	3	≤1.8	≤2.2
MY31-1300/5			5		
MY31-1300/10			10		
MY31-1600/3	1600	±5	3	≤1.8	≤2.2
MY31-1600/5			5		
MY31-1600/10			10		

3. 可控硅元件串并联时均压和均流措施

在大容量的整流电路中，可控硅元件往往要串并联使用，由于元件的特性差异，在串联使用时，可能使某一元件承受较多的外加电压而被击穿；在并联使用时，有可能使某一元件先导通，结果全部桥臂电流流过这个元件而使它损坏。因此可控硅元件在串并联使用时，除应尽量选用特性相近的同一规格元件外，还要采取均压和均流措施。

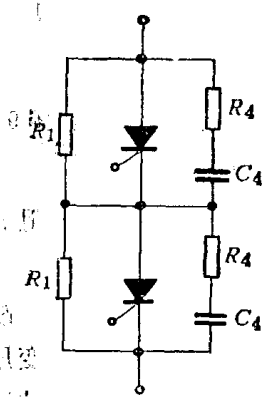


图 9-24 可控硅元件串联均压措施

(1) 均压措施。采用同时并联电阻和阻容的方法，见图9-24。

参数可按下式估算：

$$R_1=0.2\times\frac{PRU}{I_R}(\text{欧})$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$P \geqslant 1.5 \times \frac{K_P (PRU)^2}{R_1} (瓦)$$

式中 PRU——元件反向阻断峰值电压(伏)；

I_R——反向平均漏电流(安)；

P——电阻 R_1 的功率(瓦)；

K_P——系数：单相 0.25；三相 0.4；直流 1 。

R_4、C_4 的选择参看表 9-33。

(2) 均流措施。采用串联电阻、空心电抗器或均流电抗器的方法，见图9-25。

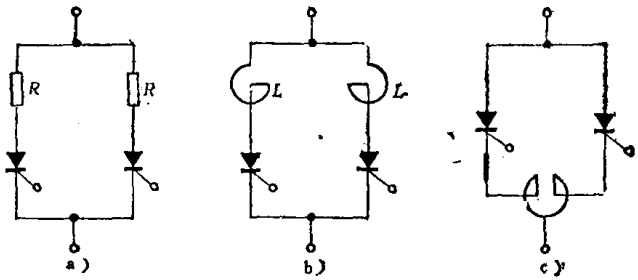


图 9-25 可控硅元件并联均流措施

参数选择：

① 均流电阻 R 选择原则，应使元件正向电流在这电阻上产生的压降为 0.5～1 伏为宜，即 $R=0.5\sim1/I_F$(欧)。由于串联电阻损耗较大，故一般用长线均流，即各并联支路用相同长度的导线直接与变压器二次侧相联，导线长度大于 30 米即可。

② 空心电抗器 L 取40微亨左右，其效果可使电流不均匀度降到 5% 以下。

③ 均流电抗器属特殊用途变压器，它的计算方法可参阅有关资料。

需要指出的是：可控硅元件的各种保护不限于上述几种，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

各种参数的计算方法极不统一，计算出来的数据也不是很严格的，应根据实际情况进行校正。

9-8.4 可控硅元件对触发电路的要求

为了使整流电压根据要求加以控制和保证可控硅元件可靠地导通，对触发脉冲提出以下要求：

1. 触发脉冲应与加在可控硅上的电源电压同步。

2. 触发脉冲的移相范围要足够宽，应能满足整流电路的要求。

3. 触发脉冲的品质要达到下列要求：

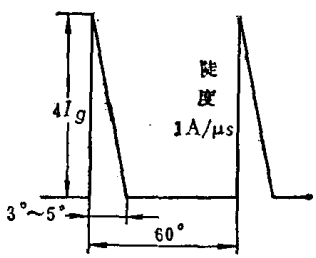


图 9-26 触发脉冲的品质

(1) 脉冲幅值要足够大，一般为控制极触发电流的四倍，即 $4I_g$。

(2) 脉冲宽度应随电路形式及负载性质来确定，如单相桥式电路脉冲宽度应大于3°电角度，而三相桥式电路脉冲宽度应大于 60°电角度。有时为了减小触发器功率，常用双窄脉冲代替 60° 的宽脉冲，见图 9-26。对于电感性负载，窄脉冲的宽度也应大于 5° 电角度。在可逆系统中，窄脉冲的宽度大于 10° 电角度为宜。

(3) 在有可控硅串并联时，为保证各元件同时触发导通，脉冲前沿应有足够的陡度，一般希望达到 0.5～1安/1 微秒。脉冲形状可以是三角波或矩形波等。

9-8.5 可控硅元件的型号及主要参数

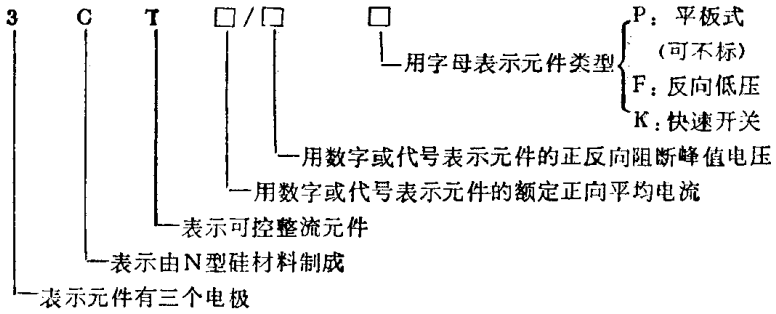
1. 国产可控硅元件型号命名方法

国产可控硅型号命名方法尚不统一，分别介绍如下。

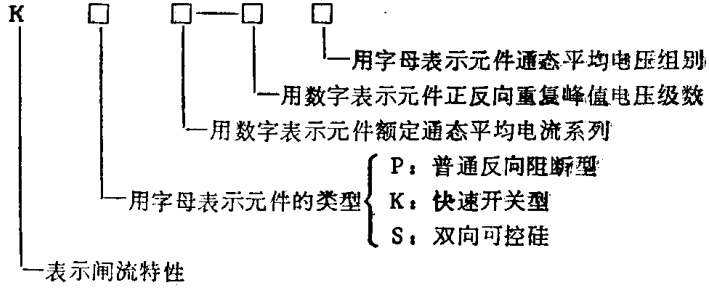
普遍采用的可控硅型号命名方法：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



有些部门颁布的可控硅型号命名方法如下：



示例：

（1）3CT500/1200表示正反向阻断峰值电压为1200伏，额定正向平均电流为500安的普通平板式可控硅元件。

（2）KP400-16C表示正反向重复峰值电压为1600伏，额定通态平均电流为400安的普通可控硅元件。

2．可控硅元件的主要参数说明

（1）正向阻断峰值电压 *PFU*——在控制极断路及正向阻断条件下，可以重复加在元件上的正向峰值电压。此电压规定为正向转折电压的80%。

（2）反向阻断峰值电压 *PRU*——在控制极断路和额定结温下，可以重复加在元件上的反向峰值电压。此电压规定为最高反向测试电压的80%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 额定正向平均电流I_F——在环境温度为+40℃、标准散热及元件导通条件下，元件可连续通过的工频正弦半波（导通角>170°）电流的平均值。

(4) 正向平均压降U_F——在规定的条件下，元件通以额定正向平均电流时，在阳阴极间的电压降的平均值。

(5) 维持电流I_H——在控制极断路，规定环境温度和元件导通条件下，保持元件能处于导通状态所必须的最小正向电流。

(6) 控制极触发电流I_g——阳、阴极间加直流6伏电压时，使元件完全开通所必须的最小控制极直流电流。

(7) 控制极触发电压U_g——对应于触发电流时的控制极上所加的直流电压。

3. 普通型可控硅型号及主要参数见表9-35。

表 9-35 普通型可控硅主要参数

参数 / 系列	额定正向平均电流 (安)	正向阻断峰值电压 (伏)	反向阻断峰值电压 (伏)	最大正向平均压降 (伏)	维持电流 (毫安)	控制极触发电压 (伏)	控制极触发电流 (毫安)	控制极最大容许正向电压 (伏)	一个周波过载倍数	冷却方式
3CT 1	1	30～3000	30～3000	1.2	< 20	<2.5	< 20	10	5	空气自冷
3CT 5	5	30～3000	30～3000	1.2	< 40	<3.5	< 50	10	5	
3CT10	10	30～3000	30～3000	1.2	< 60	<3.5	< 70	10	5	
3CT20	20	30～3000	30～3000	1.2	< 60	<3.5	< 70	10	5	
3CT50	50	30～3000	30～3000	1.2	< 60	<3.5	<100	10	5	强迫风冷（风速不小于5米/秒）
3CT100	100	30～3000	30～3000	1.2	< 80	<4	<150	10	4	
3CT200	200	30～3000	30～3000	1.2	<100	<4	<200	10	4	
3CT300	300	30～3000	30～3000	1.2	<100	<4	<250	10		
3CT500	500	30～3000	30～3000	1.2	<100	<4	<250	10		各种冷却方式均要加散热器
3CT800	800	30～3000	30～3000	1.2	<120	<4	<300	10		
3CT1000	1000	30～3000	30～3000	1.2	<150	<4	<300	10		

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-9 常用的半导体集成电路

半导体集成电路是利用平面工艺将晶体三极管、二极管、电阻和电容等电路元件制作在同一基片上，并按要求连接起来使其成为具有一定功能的电路。这种电路具有体积小、功耗低、性能好及成本低等优点，因此在自动控制系统、计算机技术以及家用电器等方面都得到广泛的应用。

半导体集成电路的分类见表9-36。

表 9-36 集成电路的分类

按功能分类	数字集成电路	门电路	“与”门、“或”门、“非”门、“与非”门、“或非”门、“与或非”门、“异或”门等
		触发器	R-S触发器、J-K触发器、D-触发器、锁定触发器等
		存储器	随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、移位寄存器等
		功能部件	译码器、数据选择器、磁心驱动器、半加器、全加器、奇偶校验器等
		微处理器	
	模拟集成电路	线性电路	直流运算放大器、通用运算放大器、音频放大器、宽频带放大器、高频放大器等
		非线性电路	电压比较器、直流稳压电源、读出放大器、模/数(数/模)变换器、模拟乘法器、可控硅触发器等
按有源器件分类	双极型		DTL：二极管-晶体管逻辑电路 TTL：晶体管-晶体管逻辑电路 HTL：高抗干扰逻辑电路 ECL：射极耦合逻辑电路(又称CML) I^2L：集成注入逻辑电路(又称合并晶体管逻辑电路MTL)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

按有源器件分类	MOS 型	PMOS：P沟道增强型绝缘栅场效应管集成电路 NMOS：N沟道增强型绝缘栅场效应管集成电路 CMOS：互补对称型绝缘栅场效应管集成电路
按集成度分类	小规模 (SSI)	1～10个等效门/片，10～100个元件/片
	中规模 (MSI)	10～100个等效门/片，10^3～10^5个元件/片
	大规模 (LSI)	大于10^3个等效门/片，元件数在10^5个以上/片
	超大规模 (VLSI)	元件数超过10万个以上(ECL超过两万以上)/片

9-9.1 半导体集成电路的型号命名和外形识别

1. 半导体集成电路的型号由四个部分组成，各组成部分的符号及意义见表 9-37。

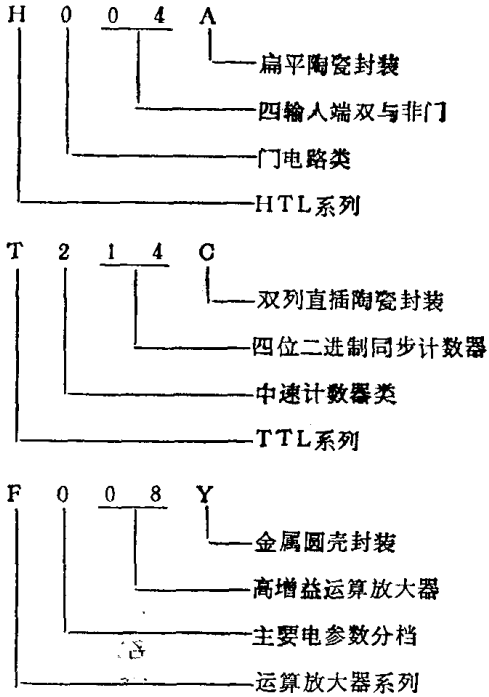
表 9-37 半导体集成电路型号命名方法

型号组成部分	第一部分		第二部分	第三部分	第四部分	
内容	用汉语拼音字母表示电路系列		用阿拉伯数字表示电路分档	用两位阿拉伯数字表示电路品种	用汉语拼音字母表示封装形式	
说明	字母	意义	用0～9表示品种的主要分档，例如HTL电路中“0”表示门电路和触发器；“1”表示计数器；“2”表示译码器；“3”表示寄存器，等	用00～99表示具体品种功能，例如HTL电路中“05”表示4输入端双与非门；“13”表示带J-K触发器；“70”表示二-十译码器等	字母	意义
	T	TTL			A	扁平陶瓷
	H	HTL			B	扁平塑料
	I	I^2L			C	双列陶瓷
	P	P-MOS			D	双列塑料
	N	N-MOS			Y	金属圆壳
	C	CMOS			F	F型
	M	EDMOS				
	F	运算放大器				
	W	集成稳压器				
	D	电视机系列				
	X	通信系列				
			这两部分数码组合较多，使用时要参考“半导体集成电路系列品种代号表”或产品说明书		这部分只在手册及说明书上给出，而在产品外壳上省略	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

示例：



2. 集成电路的封装外壳大致有三种：金属圆壳型、扁平型(陶瓷或塑料封装)和双列直插型(陶瓷或塑料封装)。各封装型式的外形和尺寸见图9-27。

金属圆壳型出脚分3、8、10和12条等引线，面向管脚正视，由锁口按顺时针方向数起，依次为1、2、3……。双列直插型和扁平型出脚分14、16、18、24和28条等引线(双列直插型还有8、10和12条引线)，面向厂标正视，由左下角逆时针数起，依次为1、2、3……。由于各种电路的管脚用途不同，使用时一定要参照制造厂家产品说明书去配接电源和外电路。

9-9.2 双极型数字集成电路

数字集成电路是传输"0"与"1"两种信息状态并作逻辑运算

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

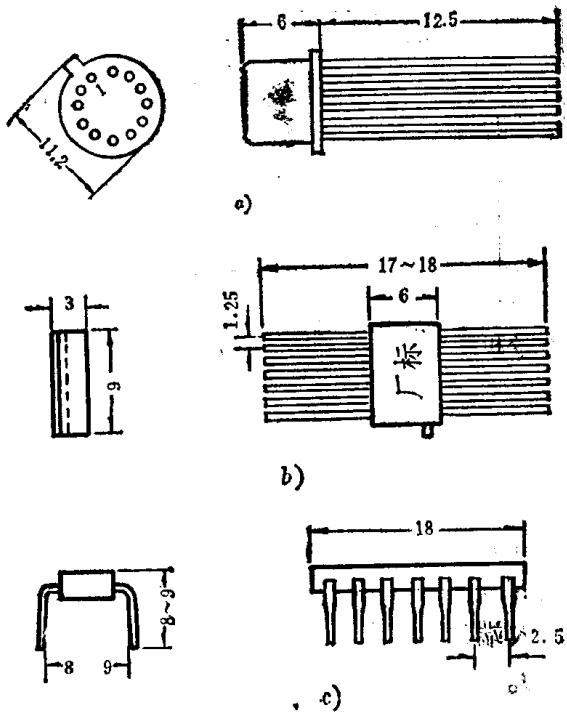


图 9-27　集成电路封装型式及外形尺寸

a)金属圆壳型，b)扁平型，c)双列直插型

的电路，它们是由各种基本逻辑门电路组合而成的。

逻辑门电路的输入或输出状态，通常用高、低电平来区别“1”和“0”态。如果用高电平代表“1”，低电平代表“0”，便是正逻辑电路，反之则为负逻辑电路。在双极型电路中，由于电源电压均为正，故逻辑关系均为正逻辑。

1．基本逻辑门电路

(1)“与”门

逻辑功能：所有输入端全为“1”时，输出端才为“1”，输入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

端只要有一个为“0”时，输出端即为“0”。其逻辑符号和真值表见图9-28。

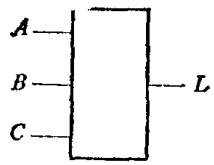


图 9-28 “与”门逻辑符号和真值表

真 值 表

A	B	C	L
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

逻辑公式：$L=A\cdot B\cdot C$

(2) “或”门

逻辑功能：所有输入端只要有一个为“1”时，输出端即为“1”；全部输入端都为“0”时，输出才为“0”。其逻辑符号和真值表见图9-29。

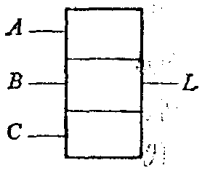


图 9-29 “或”门逻辑符号和真值表

真 值 表

A	B	C	L
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

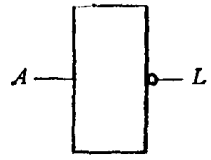
逻辑公式：$L=A+B+C$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) “非”门

逻辑功能：输入为“1”时，输出为“0”；输入为“0”时，输出为“1”。其逻辑符号和真值表见图 9-30。



真 值 表

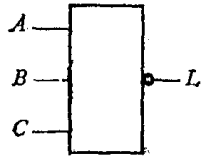
A	L
0	1
1	0

图 9-30 “非”门逻辑符号和真值表

逻辑公式：$L=\overline{A}$

(4) “与非”门

逻辑功能：所有输入端全为“1”时，输出端为“0”；只要有一个输入端为“0”时，输出端即为“1”。其逻辑符号和真值表见图 9-31。



真 值 表

A	B	C	L
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

图 9-31 “与非”门逻辑符号和真值表

逻辑公式：$L=\overline{A\cdot B\cdot C}$

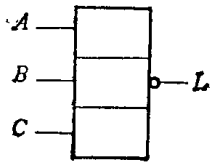
(5) “或非”门

逻辑功能：输入端中只要有一个为“1”时，输出端即为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

“0”；全部输入端都为“0”时，输出端才为“1”。其逻辑符号和真值表见图 9-32。



真　值　表

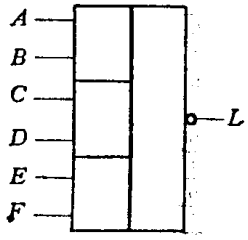
A	B	C	L
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

图 9-32　“或非”门逻辑符号和真值表

逻辑公式：$L=\overline{A+B+C}$

(6) “与或非”门

逻辑功能：只要任意一组或几组“与”输入端全为“1”时，输出端即为“0”；其他情况输出端均为“1”。其逻辑符号和真值表见图 9-33。



真　值　表

AB	CD	EF	L
11	任意	任意	0
任意	11	任意	0
任意	任意	11	0
11	11	任意	0
任意	11	11	0
11	任意	11	0
11	11	11	0
其他所有状态			1

图 9-33　“与或非”门逻辑符号和真值表

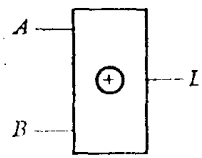
逻辑公式：$L=\overline{(A\cdot B)+(C\cdot D)+(E\cdot F)}$

(7) “异或”门

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

逻辑功能：两个输入端同时为“1”或同时为“0”时，输出端为“0”；两个输入端信号不同时，输出端为“1”。其逻辑符号和真值表见图9-34。



真 值 表

A	B	L
0	1	1
1	0	1
1	1	0
0	0	0

图 9-34 “异或”门逻辑符号和真值表

逻辑公式：

$$L = A\cdot\bar{B} + \bar{A}\cdot B$$
$$= A \oplus B$$

2. 双极型数字电路

(1) 二极管-晶体管逻辑电路，简称DTL。

典型的DTL“与非”门电路见图9-35。图中D_1～D_5构成五输入端“与”门，BG_1为射极跟随器，起隔离作用，BG_2是反相器。因此整个电路的逻辑关系为 $L=\overline{A\cdot B\cdot C\cdot D\cdot E}$。

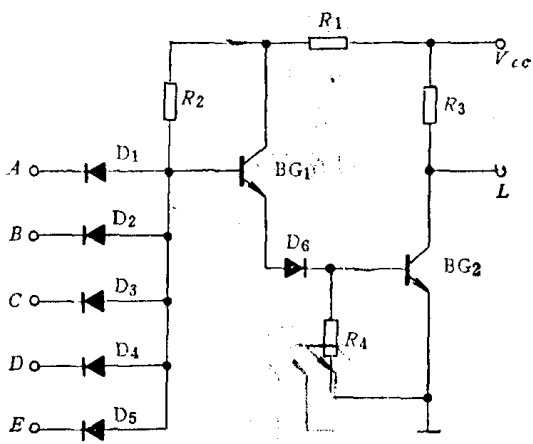


图 9-35 DTL“与非”门电路

DTL电路简单，制造容易，成本低廉，DTL供电电源$V_{cc}=+5$伏，输出高低电平差为4伏左右，平均延迟时间在100毫微秒，单门功耗小于20毫瓦。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 高抗干扰数字电路，简称HTL。

典型的HTL“与非”门电路见图9-36。它的电路形式基本上和DTL相同，仅将DTL中的电平转移二极管D_6换成齐纳二极管，击穿电压为6伏。由于这一差别，使HTL电路具有14伏左右的逻辑摆幅，直流抗干扰度为6伏，但速度较DTL慢，平均延迟时间200毫微秒，单门功耗约50毫瓦，供电电源V_{cc}＝＋15伏。

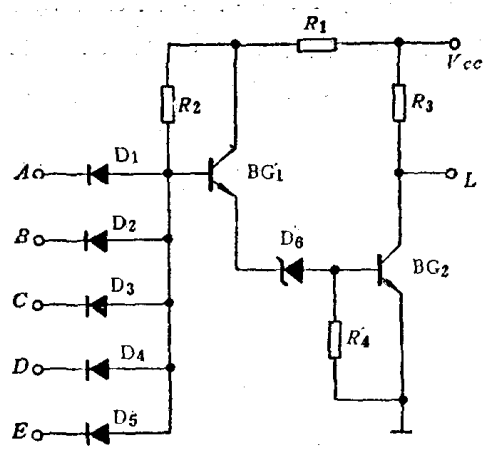


图9-36 HTL“与非”门电路

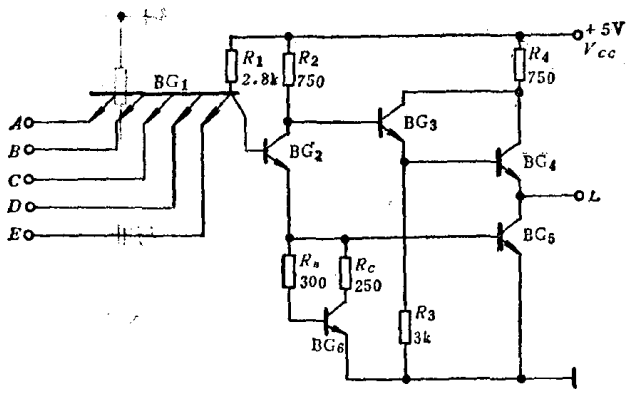


图9-37 TTL“与非”门电路

(3) 晶体管-晶体管逻辑电路，简称TTL。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

典型的TTL“与非”门电路见图9-37。图中BG_1为多射极管，起“与”门作用，BG_2为反相器，“与非”门的基本功能由这两级实现。BG_3、BG_4、BG_5为输出级，具有较强的扇出能力，BG_6、R_B、R_C组成分流抗饱和网络，用以提高电路的工作速度，提高低电平抗干扰能力。

TTL供电电源$V_{CC}=+5$伏，输出高低电平差约为3.5伏，单门功耗不大于50毫瓦，平均延迟时间为30毫微秒，扇出系数≥8，并能推动较大的容性负载。

(4) 射极耦合逻辑电路，简称ECL，又称电流开关逻辑电路(简称CML)。

基本的ECL倒相器电路见图9-38。从形式上看，它很像一个射极耦合差分放大环节，但BG_1、BG_2不是工作在放大区，而是处在导通和截止状态。

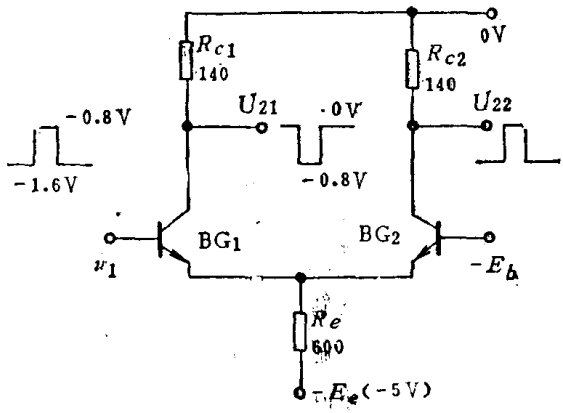


图9-38 ECL倒相器电路

ECL电路工作速度较快，平均延迟时间为几个毫微秒，它的供电电源为−5伏，因此，负逻辑输出，高电平为−0.8伏，低电平为−1.6伏。它还具有扇出能力大、输出阻抗低、输入阻抗高等优点，但它功耗较大，直流噪声抗扰度低，仅为300毫伏。

(5) 集成注入逻辑电路，简称I^2L，又称合并晶体管逻辑电路(简称MTL)。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

基本的 I^2L 逻辑电路见图 9-39。它把一个双极门简化成一个简单的互补晶体管对，即由一个反相运用的多集电极 NPN 晶体管和一个横向 PNP 晶体管组成，其中 BG_1 为恒流源，BG_2 为反相门，逻辑关系为 $L_i=\overline{A}$ $(i=1、2、3\cdots)$。

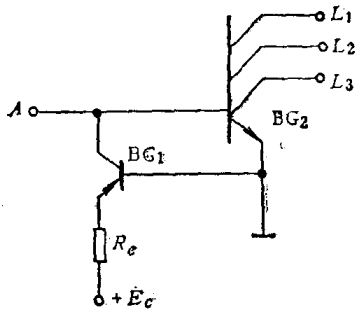


图 9-39　I^2L 逻辑电路

这种电路结构简单，不要隔离，集成度高，功耗低，工作速度快(门延迟时间小于 30 毫微秒)，但高低逻辑电平差较小，仅为 0.6 伏。

3．触发器

触发器是数字电路中重要的基本部件之一，按其结构可分为用集成"与非"门接成的触发器和集成触发器两种。

(1) 单稳态触发器　这类触发器只有一个稳定状态，当外加触发信号时，触发器翻到另一种状态，但不能保持，经过一段延时后，又翻回到原来状态。按工作原理，单稳态触发器可分为微分型和积分型两种。

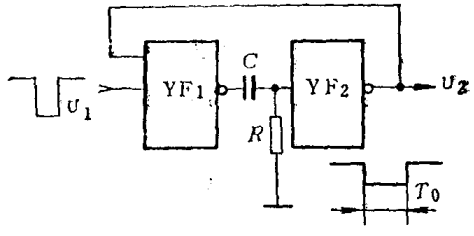


图 9-40　微分型单稳态触发器

图 9-40 为微分型单稳态触发器的典型电路。该电路稳定状态为 $U_1=$"1"，$U_2=$"1"，当 U_1 输入一个负脉冲时，电路进入暂稳态，暂稳停留时间由 RC 值决定，即输出脉冲宽度 $T_0=(0.7\sim1.2)RC$，电阻 R 的值不能太

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

大。一般取$R<800$欧。

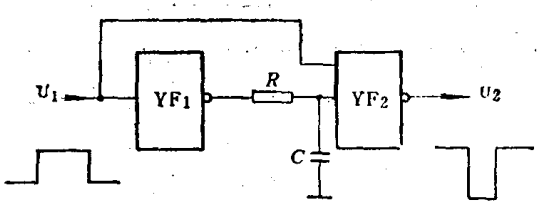
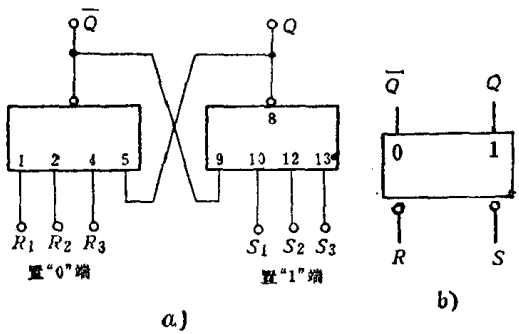


图 9-41 积分型单稳态触发器

图 9-41 为积分型单稳态触发器的典型电路。该电路的稳定状态为U_1="0"，U_2="1"，当U_1输入一个正脉冲时，电路进入暂稳态，输出脉冲宽度$T_0=(0.7\sim1.2)RC$，一般取$R<900$欧。但触发脉冲(高电平)的宽度必须大于输出脉冲的宽度。

(2) 双稳态触发器 这类触发器有两种稳定状态。外加一个触发信号后，触发器由一种稳态翻转到另一种稳态，并保持下来。只有再来一个触发信号，它才由另一种稳态翻回到原来的状态。按功能大小可分为 R-S 触发器、J-K 触发器、D型触发器和施密特触发器等。

① R-S 触发器 将两个"与非"门的输出、输入端交叉连接就构成 R-S 触发器，见图 9-42。



真值表		
R	S	Q_{n+1}
0	1	0
1	0	1
1	1	Q_n
0	0	不定

图 9-42 R-S 触发器

a)逻辑电路图 b)逻辑符号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

R-S触发器是负脉冲进行置“1”和置“0”的双稳态触发器，具有“记忆”功能，可用于寄存器和开关控制电路。

② D触发器 它是一种非对称型的维持阻塞触发器，也称延迟触发器。在时钟脉冲 CP 的正跳变沿作用下，将加在 D 输入端的信息经过两级门的延迟时间后，送到输出端。D触发器的逻辑电路及逻辑符号见图 9-43。图中 D 为数据输入端，CP 为时钟输入端，Q、$\overline{Q}$ 为互补输出端，R、S 分别为置“0”置“1”端。

真 值 表

t_n	t_{n+1}	
D	Q	$\overline{Q}$
0	0	1
1	1	0

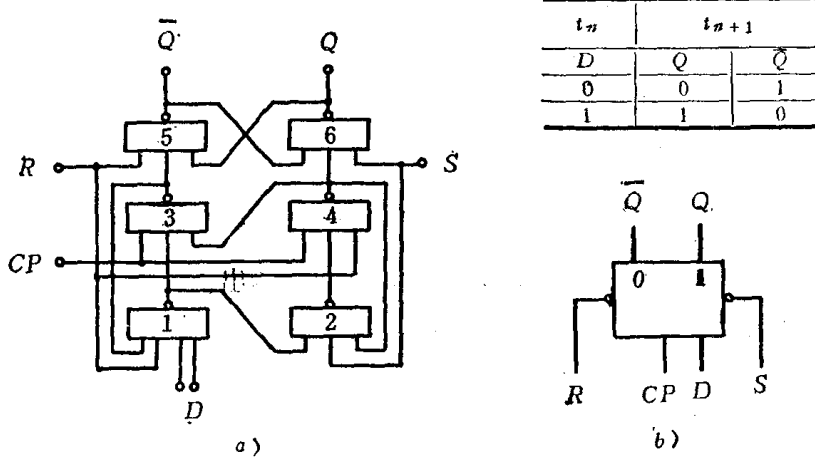


图 9-43 D型触发器

a)逻辑电路图 b)逻辑符号

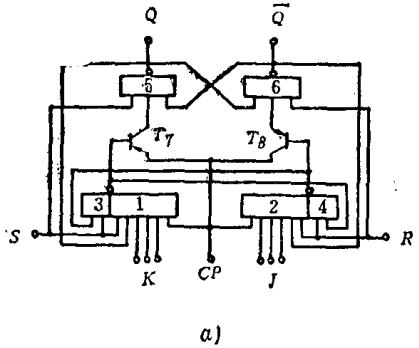
D触发器是一种应用很广的触发器，可以构成数码寄存器、移位寄存器和各种计数器。

③ J-K触发器 J-K触发器是一种功能较多，应用广泛的触发器，可以很容易地改成其他类型的触发器(如D、T型)使用。J-K触发器主要用于各种计数器、移位寄存器和其他控

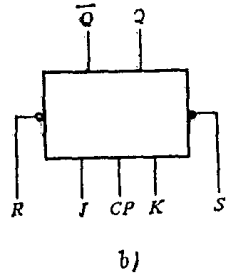
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制电路中。图 9-44 为典型的集成 J-K 触发器逻辑电路及逻辑符号图。



a)



b)

真值表

t_n		t_{n+1}
J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q}_n$

条件：$R=S=1$

图 9-44　J-K 触发器
a)逻辑电路　　b)图逻辑符号

J-K 触发器的逻辑结构有多种形式，但基本上都是按“主-从方式”工作的。图中“与非”门 5、6 构成从触发器，“与或非”门 1、3 和 2、4 构成主触发器。主从两个触发器通过导引管 T_7、T_8 联系。它的工作过程可分为两个阶段：$CP=1$ 时为存储准备阶段，将触发器状态暂存于主触发器中；$CP=0$ 时为触发器翻转阶段，即 J-K 触发器是在时钟脉冲 CP 下跳变沿时翻转的。

将 J、K 端接高电平或浮空，J-K触发器便构成计数状态，R、S 分别为置“0”和置“1”端。

④ 施密特触发器　它是双稳态触发器的变种，因为它也具有两个稳定状态。只要外加信号足够大，就可以从一种状态翻转到另一种状态，但电路能否维持在翻转后的稳定状态，将取决于外加信号的幅度。所以它可用于波形的整形和鉴幅等方面。其线路和工作原理见图 9-45。若输入信号为正弦波，N 点电位按 R_1、D 和 R_2 分压比例随 V_{in} 而上升，当 N 点电位上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

升到与非门1开门电平时，电路由“0”翻到“1”，对应的V_{sr}为上门槛电压，当M点电位下降到与非门1关门电平时，电路由“1”翻回到“0”。调节R_1、R_2的比值可改变上门槛电平。R_1、R_2的值为几百欧～几千欧。

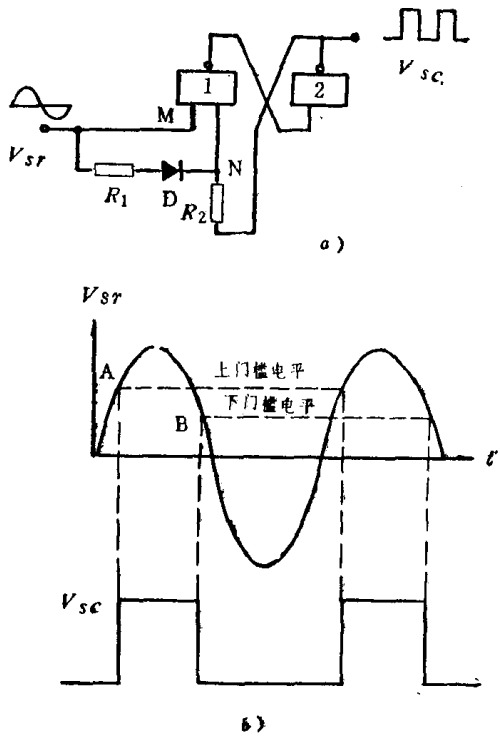


图9-45 施密特触发器

a)线路图 b)工作波形图

9-9.3 MOS型数字集成电路

MOS型数字集成电路是由绝缘栅场效应管作为有源器件组成的数字集成电路，其导电沟道和工作类型与分立元件的MOS场效应管一样，不再赘述。

MOS型数字集成电路可以组成各种基本逻辑门电路和触发器，又具有制造工艺简单，集成度高，功耗低和抗干扰能力强等优点，因此在电子计算机、数控及自动控制系统等方面得到广泛的应用。

MOS型集成电路的主要缺点是速度低，工作频率一般在1兆赫左右，因此只适用于工作频率较低的场合。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. PMOS集成电路

PMOS集成电路是由P沟道增强型绝缘栅场效应管组成的。这种电路有两种供电形式：

(1) $V_{DD}=-22$伏±2伏 {“1”电平：-3伏；“0”电平：-12伏}

(2) $V_{DD}=-12$伏，$V_{SS}=+10$伏±2伏 {“1”电平：$+9$伏；“0”电平：0伏}

典型的PMOS“与非”门电路见图9-46。这种电路的上升时间小于1微秒，下降时间小于10微秒，传输时间小于1.2微秒，单门功耗小于20毫瓦，扇出系数大于10。

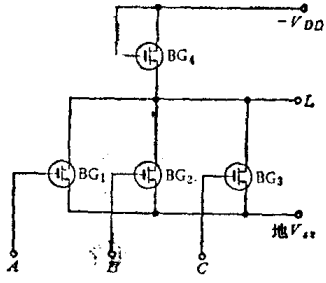


图9-46 PMOS“与非”门电路

使用PMOS数字集成电路时应注意下列几点：

① PMOS输入阻抗很高，是电压控制器件，输入电流几乎为零。

② 电流负载能力差，输出高电平时，“拉”电流负载约在0.3～0.8毫安；输出低电平时，“灌”电流负载能力更差，一般不超过100微安。

③ 电容性负载将大大降低电路工作速度。

2. CMOS集成电路

CMOS集成电路是一种互补对称型MOS集成电路。所谓互补对称，是指将PMOS型电路中的负载管用一个n沟道增强型场效应管代替，成为完全对称的互为负载的互补输出电路。最基本的CMOS反相电路见图9-47。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在这个电路中，A为0伏(即“0”)时，BG_1导通，BG_2截止，输出L为高电平，接近V_{DD}。当A为高电平时(即“1”)，BG_1截止，BG_2导通，L为低电平接近0伏。可见，电路无论在“1”态还是“0”态，都是一个管子导通，另一个管子截止。因此工作电流很小，仅为管子的漏电流，电源电压利用率高（高、低电平差接近于电源电压V_{DD}），上升和下降时间都较快，负载能力强。

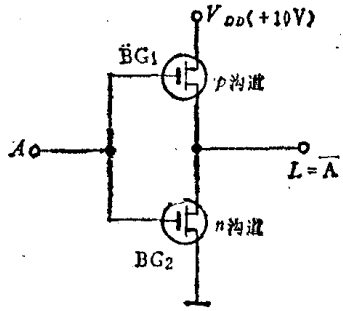


图9-47　CMOS反相电路

CMOS电路的特点：

(1) 功耗低，CMOS电路的工作电流为管子的漏电流（1微安以下），功耗在微瓦数量级，适用于要求供电电源微型化的场合。

(2) 电源电压容许变动范围大，可在3～15伏内工作，使电路设计灵活性大，并容易与TTL、HTL等电路连接。

(3) 抗干扰能力强，抗干扰电平约为电源电压的45%。

(4) 由于采用互补对称输出，脉冲的前后沿都较快，一般小于50毫微秒，因此工作频率高，接近于中速TTL电路。

(5) 扇出系数大，一般可比TTL电路大4～5倍。

9-9.4　线性集成电路

线性集成电路是指输出量随输入信号呈线性变化关系的集成器件，以它为核心可以作成各种运算放大器，对模拟信号进行加、减、乘、除、微分和积分等各种数学运算，还可以对信号进行放大、变换和处理。集成运算放大器已作为一种基本的电子器件广泛应用于仪器、仪表、工业控制机和自动化装置中。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 集成运算放大器的基本特性

运算放大器实质上是一个有深度负反馈的高增益直流放大器。在实际应用中常用图 9-48a 中的三角形符号来表示，通常只画出它的一对差动输入端，标“+”号的为同相输入端，标“−”号为反相输入端，以及输出端。其他引入端为正负电源端、调零端及频率补偿端等，对基本特性影响不大，在线路中一般都不标出。不同型号的运算放大器，各引入端的作用是不同的，使用时必须按产品说明书连接。

运算放大器基本上有两种连接方式，即反相输入和同相输入。此外信号也可以同时从反相端和同相端输入，称为差动输入方式。

(1) 反相输入

运算放大器反相输入见图 9-48。其中 FD 可认为是“理想放大器”，R_1、R_3 分别为反相端和同相端的输入电阻，R_2 为反馈电阻。为了保证放大器处于负反馈状态，无论信号是由反相端输入，还是由同相端输入，输出电压总是通过反馈电阻加到反相输入端。

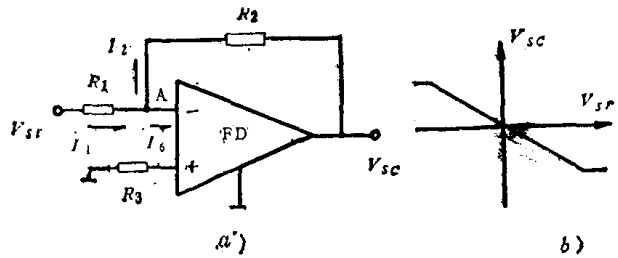


图 9-48 运算放大器反相输入

a) 接线图　　b) 特性曲线

“理想放大器”的基本特点是输入阻抗 r_0 认为无穷大；放

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

大倍数 K_0 认为无穷大。因此流入放大器内部的电流 I_b 可认为是零(因 r_0 为无穷大)，放大器输入端－的电位 V_A 可认为是零(因 $V_A=-V_{sc}/K_0$ 当 K_0 无穷大时，V_A 就接近于零)，称为“虚地”。由此可推出：

$$V_{sc}/V_{sr}=-R_2/R_1=-K$$

这就是反相输入运算放大器的输出-输入电压关系式，其特性见图 9-48b。

由上面分析，可得出反相输入运算放大器的特点如下：

① 运算放大器的传输系数 K 只与 R_2/R_1 的比值有关，而与放大器本身的放大倍数 K_0 无关。式中负号表示 V_{sc} 与 V_{sr} 相位相反。

② 放大器的输入端“－”和“＋”的电位接近于零，即 A 点可看作是“虚地”，这使得运算放大器能够实现信号的组合和运算。

③ 运算放大器的输入电阻 $R_{sr}\approx R_1$。

(2) 同相输入

运算放大器的同相输入接线方法见图 9-49。它有以下特点：

① 运算放大器的传输系数 $K=\dfrac{V_{sc}}{V_{sr}}=\dfrac{R_1+R_2}{R_1}$，可见 K 总是大于或等于 1，而不能获得小于 1 的系数。

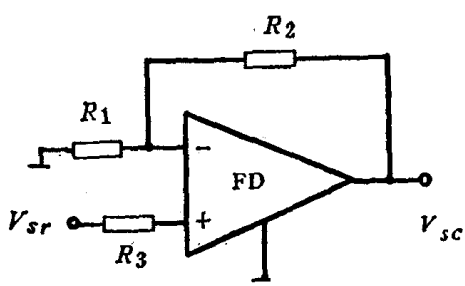


图 9-49 运算放大器同相输入接线图

② 放大器输入端“－”和“＋”的电位为 U_1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$\approx U_2 \approx U_{sr}$，即放大器输入端引入的是共模电压 U_{sr}，使用时，U_{sr} 不能超过共模电压的容许值，否则放大器工作就不正常了。

③ 运算放大器的输入电阻 $R_{sr}=R_3+(1+K_0K)r_{sr0}$（$r_{sr0}$ 为输入端"－"和"＋"之间的开环输入电阻），利用这个特点可以获得高输入阻抗的放大器。

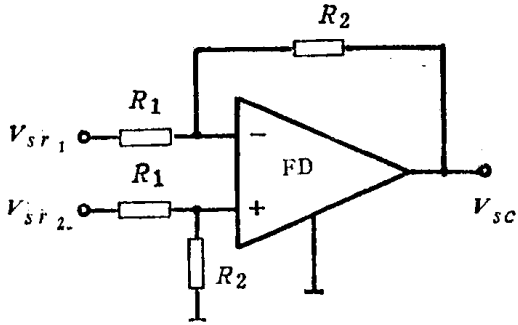


图 9-50 运算放大器差动输入

(3) 差动输入

运算放大器差动输入时，输出电压与输入电压存在以下关系：

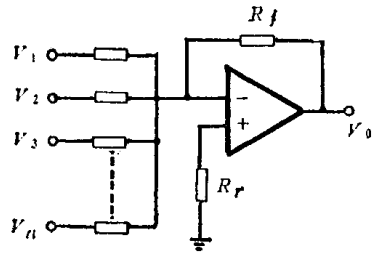
$$V_{sc}=-\frac{R_2}{R_1}(V_{sr1}-V_{sr2})$$

此外，在使用具有两个输入端的运算放大器时，为了保持差动式电路输入回路的对称性，消除输入电流引起的附加漂移，应使两个输入端的电阻尽可能相等，如图 9-48 和图 9-49 中，要使 $R_3=\frac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}$。

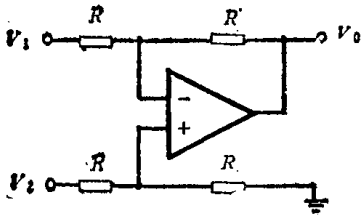
2. 常用运算放大器的基本电路结构见图9-51。

www.789pdf.com 789书库网

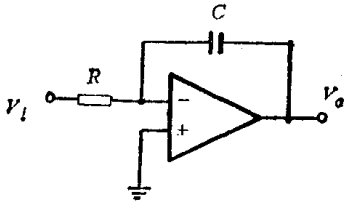
www.789pdf.com 789书库网



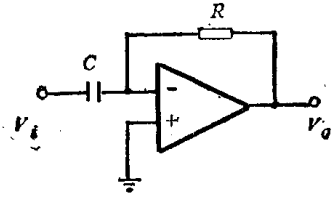
a)



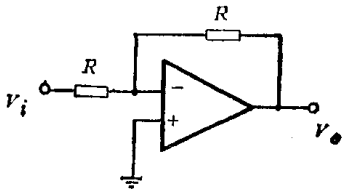
b)



c)



d)



e)

图 9-51　常用运算放大器的基本电路结构

a)　加法器 $V_0 = -R_f \sum_i^n \cdot \frac{V_i}{R_i}$　　b)　减法器 $V_0 = V_2 - V_1$

c)　积分器 $V_0 = -\frac{1}{RC}\int V i dt$　　d)　微分器 $V_0 = -RC\frac{dV_i}{dt}$

e)　反号器 $V_0 = -V_i$

9-9.5　常用集成电路的型号及主要技术参数

1. HTL 数字集成电路型号及参数见表 9-38。

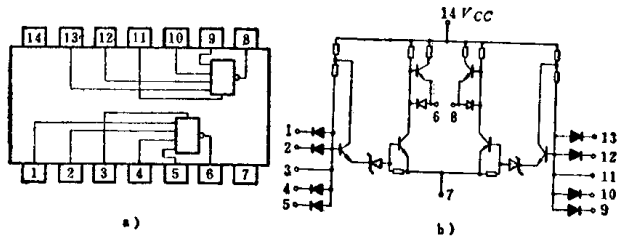
www.789pdf.com 789书库网

表 9-38 常用HTL数字集成电路的型号及主要技术参数

参数名称	导通功耗电流 I_{CCL}	输入短路电流 I_{SE}	输出高电平 V_{OH}	输出低电平 V_{OL}	逻辑线路图
单位	(毫安)	(毫安)	(伏)	(伏)	
测试条件 / 名称及型号	V_{CC}=15伏	V_{CC}=16.5伏 V_{IN}=1.5伏	V_{CC}=13.5伏 V_{IN}=6.5伏 I_0=−200微安	V_{CC}=13.5伏 V_{IN}=9伏 I_0=12毫安	
四输入端双与非门(有源)H004	≤12	≤1.5	≥11.5	≤1.5	A
二输入端四与非门 H006	≤24	≤1.6	≥11.5	≤1.5	B
4-3-3输入端与或非门 H011	≤8	≤1.6	≥11.5	≤1.5	C
单 J-K触发器H013	≤15	J,K,R_D, S_D≤1.6 CP≤3.2	≥11.5	≤1.5	D
2-5进制计数器 H150	35	CP≤1.16 R_{D2}≤2.2	≥11.5	≤1.5	E

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

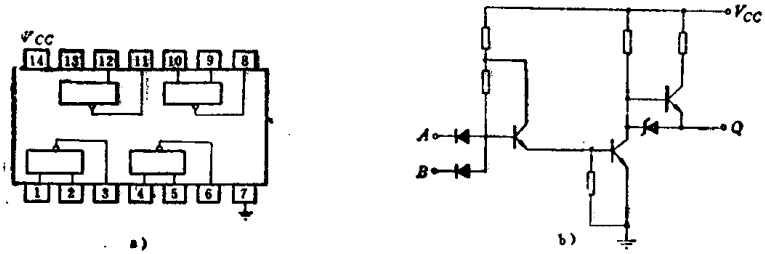
www.789pdf.com 789书库网



逻辑线路图A　H004

a)逻辑图　　b)线路图

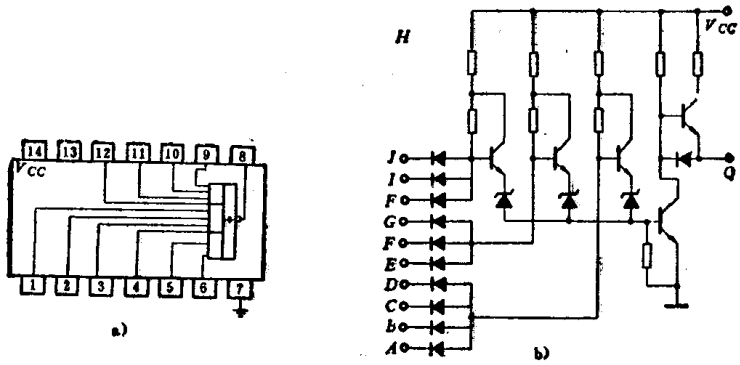
逻辑方程：　$6=\overline{1\cdot2\cdot4\cdot5\cdot(3)}$　　$8=\overline{9\cdot10\cdot12\cdot13\cdot(11)}$



逻辑线路图B　H006

a)逻辑图　　b)线路图

逻辑方程：　$3=\overline{1\cdot2}$　　$6=\overline{4\cdot5}$　　$8=\overline{9\cdot10}$　　$11=\overline{12\cdot13}$



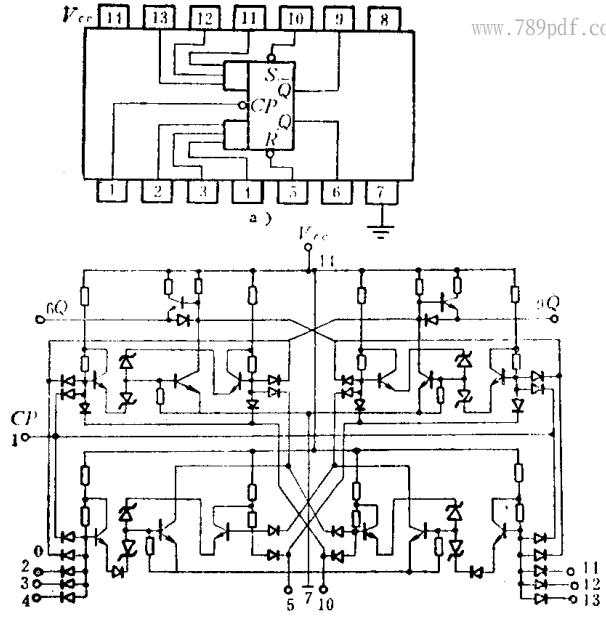
逻辑线路图C　H011

a)逻辑图　　b)线路图

逻辑方程：　$8=\overline{(1\cdot2\cdot3)+(4\cdot5\cdot6)+(9\cdot10\cdot11\cdot12)}$

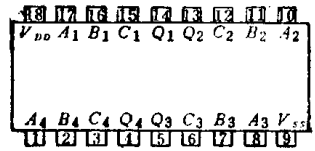
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



逻辑线路图D　H013

a)逻辑图　　b)线路图

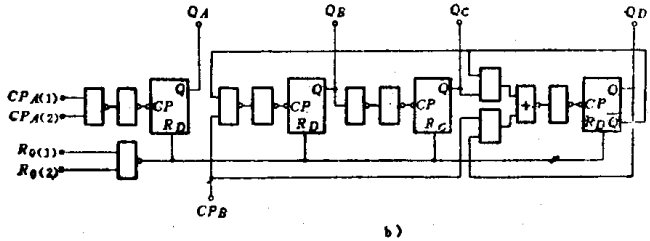


a)

H013 真值表

$J-K$		
t_n		t_{n+1}
J	K	Q
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q}_n$

$J = J_1 \cdot J_2 \cdot J_3$　$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$



逻辑线路图E　H150

a)逻辑图　　b)线路图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

H150 真值表 I (8421码)

计数	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Q_A 和 CP_B 在外部连接

H150 真值表 II (5421码)

计数	Q_A	Q_D	Q_C	Q_B
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	1
7	1	0	1	0
8	1	0	1	1
9	1	1	0	0

Q_D 和 CP_A 在外部连接

2. TTL 数字集成电路型号及参数见表 9-39。

表 9-39 常用TTL数字集成电路型号及主要参数

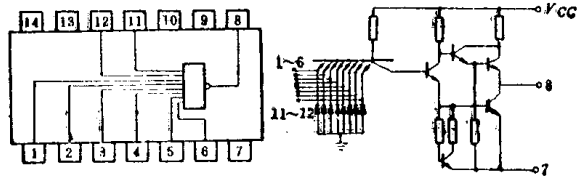
电路型号			T060	T063	T067	T065	T086
电路名称			中速八输入端单与非门	中速四输入端双与非门	中速四输入端双与非功率门	中速二输入端四与非门	5-4输入端与或非门
参数名称	符号	单位					
导通电源电流	I_{CCL}	毫安	≤7	≤14	≤25	≤28	≤8
截止电源电流	I_{CCH}	毫安	≤3.5	≤7	≤10	≤14	≤5.5
输入短路电流	I_{SE}	毫安	≤1.6	≤1.6	≤3.2	≤1.6	≤1.6
输出短路电流	I_{OS}	毫安	20～80	20～80	130	20～80	20～80
输出高电平	V_{OH}	伏	≥2.4	≥2.4	≥2.4	≥2.4	≥2.4
输出低电平	V_{OL}	伏	≤0.4	≤0.4	≤0.4	≤0.4	≤0.4
扇出	N_0	毫微	≥8	≥8	≥30	≥8	≥8
平均传输延迟时间	t_{pd}	秒	20～40	20～40	30～50	20～40	25～50
逻辑线路图			A	B	B	C	F

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电路型号			T077	T078	T210
电路名称			中速双 D 触发器	中速单 J-K 触发器	2-5 进制计数器
参数名称	符号	单位			
导通电源电流	I_{CCL}	毫安	≤30	≤15	≤55
截止电源电流	I_{CCH}	毫安	≤30	≤15	≤55
输入短路电流	I_{SE}	毫安	≤1.6	≤1.6	≤1.6
输出短路电流	I_{OS}	毫安	20～80	20～80	15～80
输出高电平	V_{OH}	伏	≥2.4	≥2.4	≥2.4
输出低电平	V_{OL}	伏	≤0.4	≤0.4	≤0.4
扇出	N_0		≥8	≥8	
平均传输延迟时间	t_{pd}	毫微秒	50～100		60～150
逻辑线路图			D	E	G



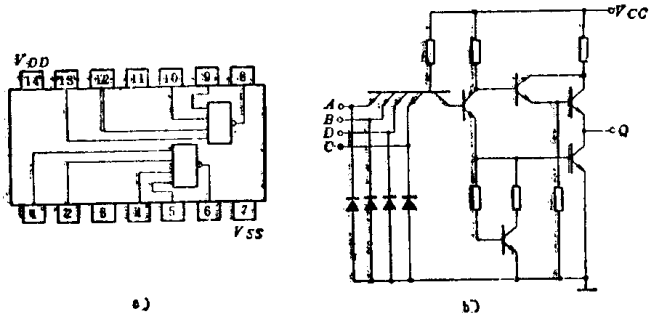
a) b)

逻辑线路图A T060

a)逻辑图 b)线路图

逻辑方程：

$$8=\overline{1\cdot2\cdot3\cdot4\cdot5\cdot6\cdot11\cdot12}$$



a) b)

逻辑线路图B T063，T067

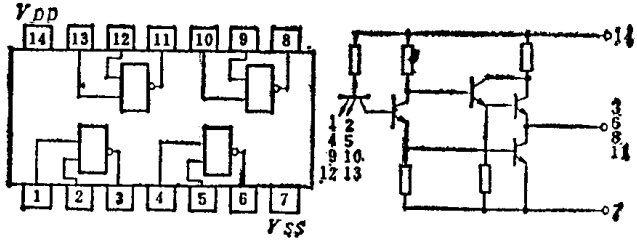
a)逻辑图 b)线路图

逻辑方程：

$6=\overline{1\cdot2\cdot4\cdot5}$ $8=\overline{9\cdot10\cdot12\cdot13}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

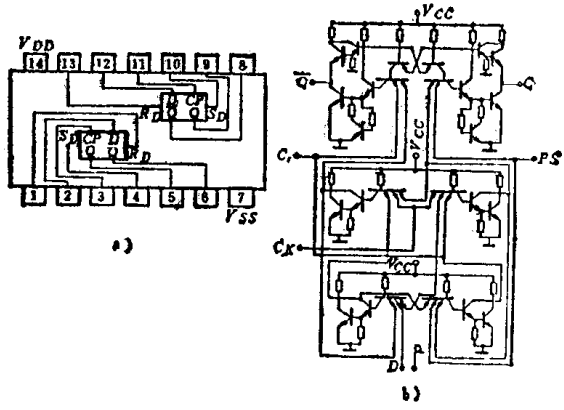


a) b)

逻辑线路图C T065

a)逻辑图 b)线路图

逻辑方程： $3=\overline{1\cdot 2}$ $6=\overline{4\cdot 5}$ $8=\overline{9\cdot 10}$ $11=\overline{12\cdot 13}$



a) b)

逻辑线路图D T077

a)逻辑图 b)线路图

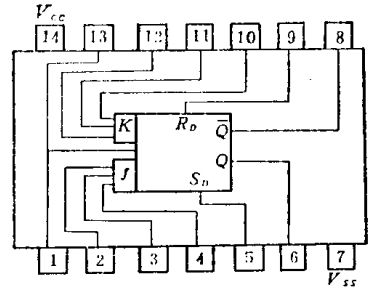
T077 真 值 表

输入				输出	
$\overline{R_D}$	$\overline{S_D}$	CP	D	Q	$\overline{Q}$
1	0	Φ	Φ	1	0
0	1	Φ	Φ	0	1
1	1	Ω	1	1	0
1	1	Ω	0	0	1
0	0	Φ	Φ	不 定	不 定

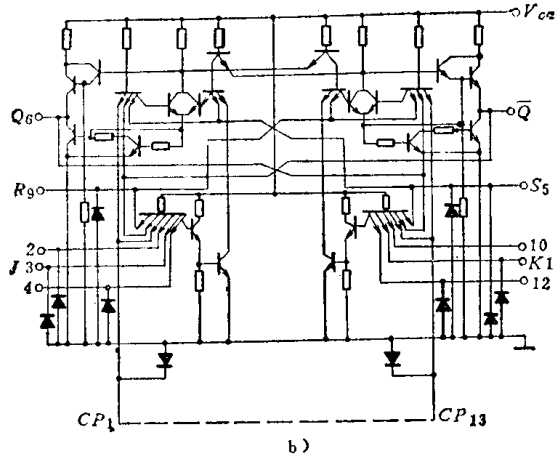
Φ表示任意

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



a)



b)

逻辑线路图 E　T078

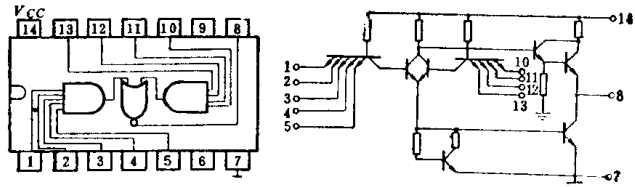
a) 逻辑图　　b) 线路图

T078 真 值 表

t_n		t_{n+1}
J	K	Q
0	0	Q_n
1	0	1
0	1	0
1	1	$\overline{Q}_n$

www.789pdf.com 789书库网

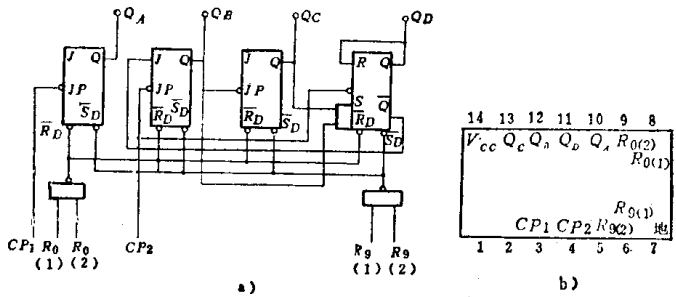
www.789pdf.com 789书库网



逻辑线路图 F　T086

a) 逻辑图　　b) 线路图

逻辑方程：　$8=\overline{(1\cdot2\cdot3\cdot4\cdot5)+(10\cdot11\cdot12\cdot13)}$



逻辑线路图 G　T210

a) 逻辑图　　b) 管脚图

T210 真 值 表

8421码计数

计数	输出 Q_A	Q_B	Q_C	Q_D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

外部Q_A和CP_2连接

5421码计数

计数	输出 Q_A	Q_B	Q_C	Q_D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	1
7	1	0	0	1
8	1	0	1	0
9	1	1	0	0

外部Q_C和CP_1连接

复"0"、置"9"及计数功能

输入 $R_0(1)$	$R_0(2)$	$R_9(1)$	$R_9(2)$	输出 Q_A	Q_B	Q_C	Q_D
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	Φ	Φ	0	0	0	1
1	Φ	1	1	1	0	0	1
Φ	0	Φ	0	计数			
0	Φ	0	Φ	计数			
0	Φ	Φ	0	计数			
Φ	0	0	Φ	计数			

Φ表示任意

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. PMOS集成电路主要参数见表9-40；常用电路的逻辑图及管脚图见表9-41。

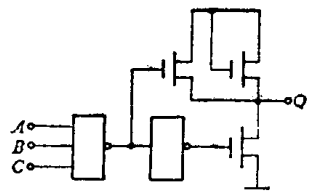
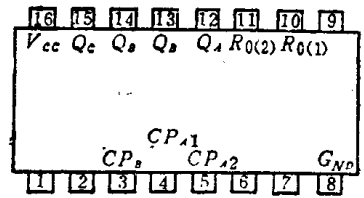
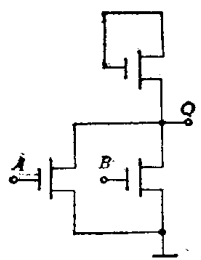
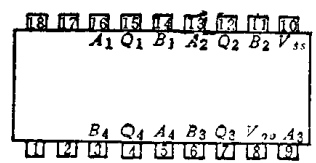
表9-40 PMOS集成电路主要参数

参数名称	符号	单位	测试条件	规范		
				最小值	典型值	最大值
电源电压①	V_{DD}	伏			-24	-20
工作温度	T_A	度	$V_{DD}=-24V$	-10		+70
输入信号高电平	V_{IH}	伏	$V_{DD}=-24V$	-3		+0.3
输入信号低电平	V_{IL}	伏	$V_{DD}=-24V$	-24		-11
动态功耗	P_A	毫瓦	$V_{DD}=-24V$	见各品种技术条件		
输出信号高电平	V_{OH}	伏	$V_{DD}=-24V$ $V_{IH}=-3V$ $V_{IL}=-11V$ $R_0=1M\Omega$② 开漏输出R_L $=100k\Omega$③	-2.5	-1～-2	
输出信号低电平	V_{OL}	伏			-14	-12
开漏输出信号低电平	V_{OL}	伏			-22	-20

① 基准电平(地线)$V_{ss}=0V$。
② R_0为输出端至地线间的负载电阻。
③ R_L为输出端(开漏器件)至V_{DD}间外接电阻。

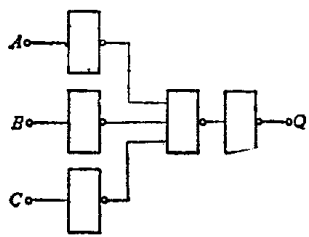
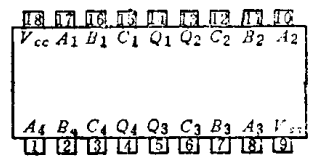
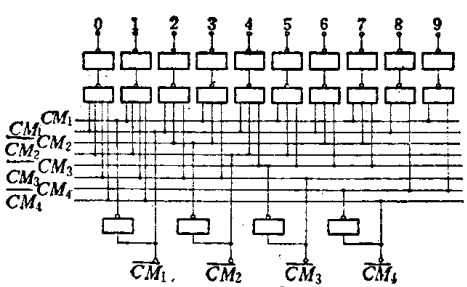
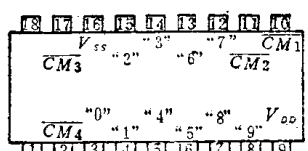
www.789pdf.com 789书库网

表 9-41　常用 PMOS 集成电路逻辑图及管脚图

型号名称	逻辑图	管脚图
XCM-14 ×3 与非门	 逻辑式 $Q=\overline{A\cdot B\cdot C}$	
MOS-QA, MOS-QB, 4×2 与非门	 逻辑式 $Q=\overline{A\cdot B}$	

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号名称	逻辑图	管脚图
XCM-2 4×3 或非门	 逻辑式 $Q=\overline{A+B+C}$	
MOS-Y 译码器 (反码输入)	 	

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

续表

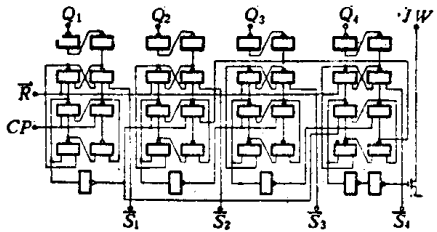
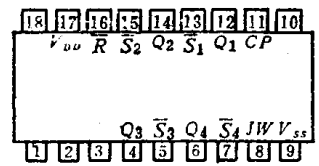
型号名称	逻辑图	管脚图
MMJ-4 2-10进制计数器		

表 9-42 CMOS集成电路的主要参数

电路型号分类			I类			II类			III类		
参数名称	符号	单位	A	B	C	A	B	C	A	B	C
静态器件电流	I_I	(微安)	≤5	≤1	≤0.1	≤5	≤1	≤0.1	≤30	≤5	≤3
输出高电平	V_{OH}	(伏)	≥9.9	≥9.9	≥9.9	≥9.9	9.9	9.99	≥9.9	≥9.9	≥9.99
输出低电平	V_{OL}	(伏)	≤0.1	≤0.1	≤0.01	0.1	0.1	0.01	≤1	≤0.1	≤0.01
输入电流	I_{in}	(毫微安)	$\leqslant 10^3$	$\leqslant 10^2$	≤10	$\leqslant 10^3$	$\leqslant 10^2$	≤10	$\leqslant 10^3$	$\leqslant 10^2$	≤10
输入噪声容限	V_{NL}	(伏)	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
	V_{NH}	(伏)	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3	≥3
最大容许电压	$V_{DD\max}$	(伏)	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
输出驱动电流	I_{DN}	(毫安)	≥0.3	≥0.3	≥1	≥0.3	≥0.3	≥1	≥0.3	≥0.3	≥1
	I_{DP}	(毫安)	≥0.3	≥0.3	≥1	≥0.3	≥0.3	≥1	≥0.3	≥0.3	≥1

I类包括型号：C001 C002 C004 C005 C006 C007 C008 C009 C010 C011 C030 C031 C032 C034 C035 C036 C037 C038 C039 C040 C041 C060

II类包括型号：C003 C033 C012 C042

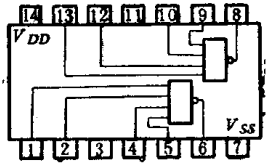
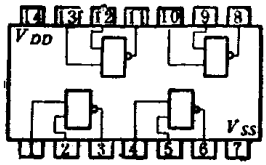
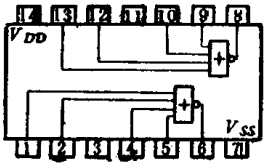
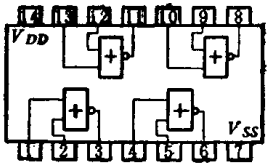
III类包括型号：C013 C014 C274 C391 C631 C043 C044 C304 C420 C421 C661

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. CMOS集成电路主要参数见表9-42，常用电路的逻辑图见表9-43。

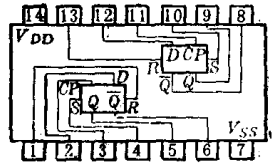
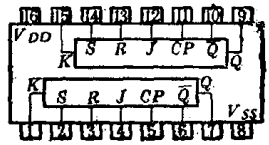
表9-43 常用CMOS集成电路逻辑图

型号名称		电压范围(伏)	逻辑图
四输入端双与非门	C004	8～12	 逻辑式 $Q=\overline{A\cdot B\cdot C\cdot D}$
	C034	7～15	
二输入端四与非门	C006	8～12	 逻辑式 $Q=\overline{A\cdot B}$
	C036	7～15	
四输入端双或非门	C007	8～12	 逻辑式 $Q=\overline{A+B+C+D}$
	C037	7～15	
二输入端四或非门	C009	8～12	 逻辑式 $Q=\overline{A+B}$
	C039	7～15	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

型号名称		电压范围(伏)	逻辑图
双D触发器	C013	8～12	
	C043	7～15	
双J-K触发器	C014	8～12	
	C044	7～15	

真值表 (C013)

输入				输出	
CP	D	R	S	Q	$\bar{Q}$
	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	0
	Φ	0	0	Q	$\bar{Q}$
Φ	Φ	1	0	0	1
Φ	Φ	0	1	1	0
Φ	Φ	1	1	不定	不定

真值表 (C014)

CP的作用($R=S=0$)

t_n		t_{n+1}
J	K	Q
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$

R与S的作用

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	?

www.789pdf.com 789书库网

5. 线性集成电路主要参数及常用型号见表 9-44。

表 9-44 常用线性集成电路的型号及主要参数

参数范围：$V_+=15$伏，$V_-=-15$伏，$R_B=100$千欧，$R_C=50$千欧，$T_A=25\pm2$(℃)

名称		输入失调电压	输入失调电流	输出电压幅度	开环增益	共模抑制比	共模电压范围	最大输出电流	最大电源电压	最大差动输入电压	典型接线图和管脚排列图
符号		V_{IO} (毫伏)	I_{IO} (微安)	V_{OPP} (伏)	A_{VD} (分贝)	$\overline{CM-RR}$ (分贝)	V_{ICR} (伏)	I_{OM} (毫安)	$V_{\pm M}$ (伏)	V_{idM} (伏)	
测试条件		R_b=50欧	R_s=50千欧	R_L=10千欧	f=20赫 R_L、R_b同前	R_b、R_L同前	R_B=100千欧 R_C=50千欧				
BG305	A	≤15	≤300	≥±10	≥94	≥60	≥±2	≥±3			
	B	≤10	≤200	≥±12	≥100	≥70	≥±5	≥±3	≥±18	≥14	
	C	≤10	≤50	≥±12	≥100	≥70	≥±5	≥±3			

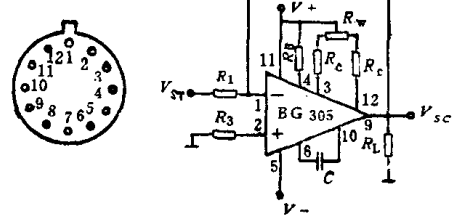


图 ①

www.789pdf.com 789书库网

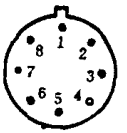
续表

名称		输入失调电压	输入失调电流	输出电压幅度	开环增益	共模抑制比	共模电压范围	最大输出电流	最大电源电压	最大差动输入电压	典型接线图和管脚排列图
符号		V_{IO} (毫伏)	I_{IO} (微安)	V_{OPP} (伏)	A_{VD} (分贝)	$CMRR$ (分贝)	V_{ICR} (伏)	I_{OM} (毫安)	$V_{\pm M}$ (伏)	V_{idM} (伏)	
测试条件		R_b = 50 欧	R_s = 50 千欧	R_L = 10 千欧	f = 20 赫 R_L R_b 同前	R_b、R_L 同前	R_B = 100千欧 R_C = 50千欧				
F006	A	≤10	≤300	≥±10	≥86	≥70					图 ②
	B	≤5	≤200	≥±10	≥94	≥80	≥±12		≥±18	≥±30	
	C	≤2	≤100	≥±12	≥94	≥80					
F007	A	≤10	≤300	≥±10	≥86	≥70					图 ③
	B	≤5	≤200	≥±10	≥94	≥80	≥±12		≥±18	≥±30	
	C	≤2	≤100	≥±12	≥94	≥80					

www.789pdf.com 789书库网

续表

名称	输入失调电压	输入失调电流	输出电压幅度	开环增益	共模抑制比	共模电压范围	最大输出电流	最大电源电压	最大差动输入电压	典型接线图和管脚排列图
符号	V_{IO} (毫伏)	I_{IO} (微安)	V_{OPP} (伏)	A_{VD} (分贝)	$\overline{CM-RR}$ (分贝)	V_{ICR} (伏)	I_{OM} (毫安)	$V_{\pm M}$ (伏)	V_{idM} (伏)	
测试条件	R_b = 50 欧	R_s = 50 千欧	R_L = 10 千欧	f = 20 赫 R_L、R_b 同前	R_b、R_L 同前	R_B = 100千欧 R_C = 50 千欧				
F008 A	10	300	±10	86	80	±6				
F008 B	5	200	±10	96	90	±12		±18	±30	
F008 C	2	100	±12	100	90	±12				



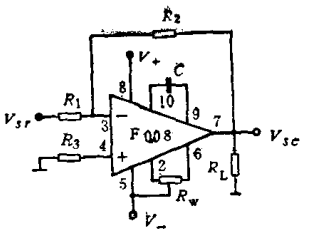


图 ④

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9-10 国产电子管命名方法及其特性参数

1. 国产电子管命名方法：国产电子管的型号由四个部分组成，考虑到过去的习惯，大致可分为两大类：一类是以数字为起首，用于收信、放大、调谐指示和小型整流管等的命名；另一类是以字母为起首，用于发射、稳压、闸流和高压整流管等的命名。现将这两类命名方法各部分所代表的意义摘录于表9-45和表9-46中。

表9-45 用于收信、放大、调谐指示和小型整流管的电子管型号命名方法

类别	型号组成部分			
收信、放大管、调谐指示管和小功率整流二极管	第一部分 用数字表示灯丝电压的整数部分	第二部分 用字母表示电子管的结构	第三部分 用数字区别同类型管的序号	第四部分 用字母表示电子管的外型
二极管	表示灯丝电压的数字(V)如有小数时取其整数部分 例如：6.3伏只取整数6来表示	D	1,2,3,…… 分别为同一类型管子的不同序号	P：普通玻璃管
双二极管		H		K：陶瓷管
双二极-三极管		G		J："橡实"管
双二极-五极管		B		S：锁式管
三极管		C		D：盘封管
双三极管		N		（灯塔管）
四极管		S		超小型管 ϕ_{max}（毫米） G：大于11 B：11～8 A：8以下～4以上 R：4和4以下
锐截止五极管及锐截止束射四极管		J		
遥截止五极管		K		
输出五极管及输出束射四极管		P		
变频管		A		
三极-六极管 三极-七极管 三极-八极管		U		小型管 ϕ19和22.5 无代号

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

类　　别	型　　号　　组　　成　　部　　分			
收信、放大管、调谐指示管和小功率整流二极管	第一部分 用数字表示灯丝电压的整数部分	第二部分 用字母表示电子管的结构	第三部分 用数字区别同类型管的序号	第四部分 用字母表示电子管的外型
横向偏转射线管 调谐指示管 小功率整流二极管		L E Z		

示例：

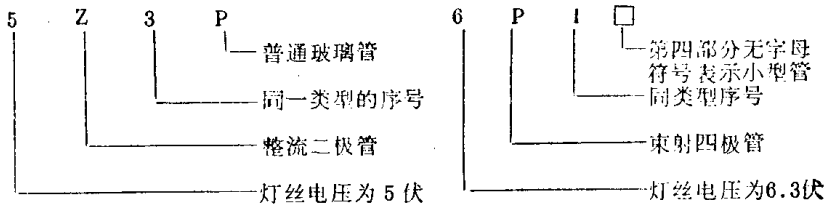


表 9-46　用于发射、稳定、引燃、闸流、光电等电子管的型号命名方法

类　　别	型　　号　　组　　成　　部　　分			
	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分
	用字母表示管子的类别			
发射管 (1) 长波和短波 (2) 超短波 (3) 脉冲	 FD FU FM	—	用数字表示类型的序号	用字母表示强制冷却的方式 S-水冷式 F-风冷式 Z-蒸发式
稳定管 (1) 稳压 (2) 稳流	 WY WL	用数字表示类型的序号	用字母表示结构形式（同表 9-45 中第	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

类别	型号组成部分			
	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分
	用字母表示管子的类别			
			四部分）	
引燃管 充气整流二极管 充汞整流二极管 高压整流二极管 充气闸流管 充汞闸流管	Y EQ EG E ZQ ZG	用数字表示类型的序号	—	以分数形式表示，分子为电流平均值(安)，分母为反向电压峰值(伏)
光电管 十进位计数管	GD OQ	—	用数字表示类型的序号	—

注：1. 电子管型号没有代号的部分(除型号的最后一部分外)均以“-”号表示。

2. 在属于收信、放大管、小功率整流二极管、闸流管和稳压管的基本型号后面，可附加特性代号。如：Q-高可靠性与高机械强度管；S-长寿命管；M-脉冲电子管。

2. 常用电子管、管脚接线及特性说明，见表9-47。

常用电子管符号说明：

S ——跨导，毫安/伏；

S_n——变频跨导，毫安/伏；

S_r——振荡部分跨导，毫安/伏；

R_i——内阻，千欧；

μ ——放大因数；

R_a——负载电阻，千欧；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$P_{出}$——输出功率，瓦；

$P_{出}^{*}$——最大信号时的输出功率，瓦；

P_a——屏极最大容许消耗功率，瓦；

P_{g2}——第二栅极最大容许消耗功率，瓦；

$P_{g2入}$——第二栅极输入功率，瓦；

U_{fK}——灯丝、阴极间最大耐压，伏；

U_g——扇形阴影角不大于5°时的栅极电压，伏；

$U_{反}$——屏、阴极间最大反峰电压，伏；

I_m——每个屏极最大峰值电流，毫安；

I_B——最大直流输出电流，毫安；

$I_{均}$——屏极最大平均电流，毫安；

U_Z——着火电压，伏；

$U_{降}$——管内电压降，伏；

U_{cm}——稳定电压(燃烧电压)，伏；

I_{cm}——通过稳压管的电流(燃烧电流)，毫安；

ΔU_{cm}——I_{cm} 在一定范围内变化时 U_{cm} 的变化，伏；

$I_{漏}$——屏、阴极间加50伏直流电压时的漏电流，微安；

t——环境温度、℃；

I_K——阴极最大容许电流，毫安；

f——工作频率，兆赫；

$C_{入}C_{出}$、$C_{通}$——输入电容、输出电容、过渡电容，微微法；

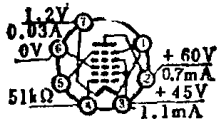
D_1D_2、D_3D_4——垂直轴偏转板、水平轴偏转板。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

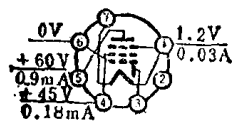
表 9-47 常用电子管管脚接线、特性说明

1A2	七极变频管
变　　频	



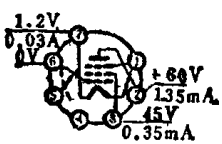
$S_{变}$	S_1	P_a	I_K
0.24	0.82	0.3	3

1B2	二极五极管
检波和低频前级电压放大	



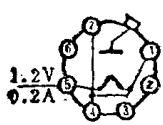
S	R_i	P_a	I_K
0.55	1000	0.15	2

1K2	高频遥截止五极管
高频电压放大	



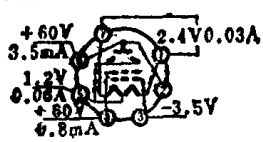
S	R_i	P_a	I_K
0.7	1500	0.3	3.5

1Z11	高压二极整流管
高压脉冲整流	



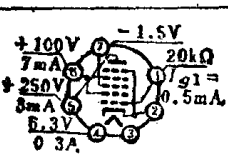
$U_{反}$	I_{in}	I_B
20000	2	0.3

2P2	输出束射四极管
低频功率放大	



S	R_i	R_a	P_a	I_K
1.1	120	20	0.4	7.0

6A2	七极变频管
变　　频	



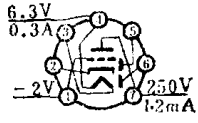
$S_{变}$	S_1	P_a	I_K
0.3	45	1.1	14

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

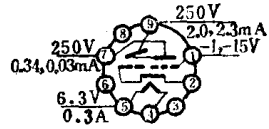
续表

6G2	双二极三极管
检波和低频电压放大	



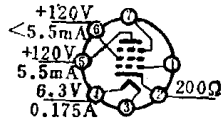
S	μ	R_i	P_a	I_K
1.6	100	62.5	0.5	5

6E1	调谐指示管
调谐指示	



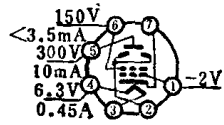
R_a	P_a	I_K
500	0.2	3

6J2	高频锐截止五极管
宽频带高频放大和变频	



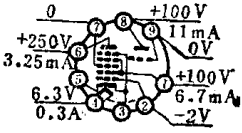
S	P_a	I_K
3.7	1.8	20

6J5	高频锐截止四极管
宽频带高频电压放大	



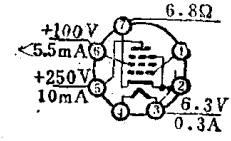
S	R_i	P_a	P_{g_2}
9.0	>240	3.6	0.5

6U1	三极七极变频管
变频	



μ	P_a	I_K
(七) —	1.7	12.5
(三)2.5	0.8	6.5

6K4	高频遥截止五极管
高频电压放大	



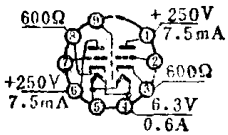
S	R_i	P_a	P_{g_2}	I_K
4.4	8.50	3.0	0.6	20

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

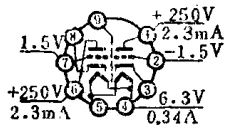
续表

6N1	中μ双三极管
低频电压放大	



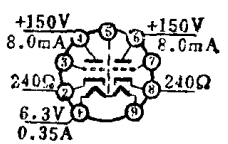
S	μ	P_a	I_K
4.35	35	2.2	25

6N2	高μ双三极管
低频电压放大	



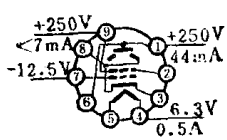
S	μ	P_a	I_K
2.1	97.5	1	10

6N3	高频双三极管
电压放大和高频振荡	



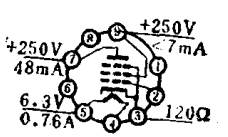
S	μ	P_a	I_K
4.8	35	1.5	18

6P1	输出集射四极管
低频功率放大	



S	R_i	R_a	$P_{出}$	I_K
4.9	42.5	5	3.8	70

6P14	输出五极管
低频功率放大	



S	R_i	R_a	$P_{出}$	I_K
11.3	20	5.2	4.2	65

6P15	视频输出五极管
宽频带高频功率放大	

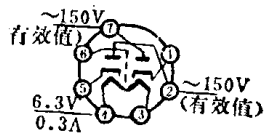
S	R_i	P_a	P_{g_2}	I_K
14.7	100	12	1.5	65

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

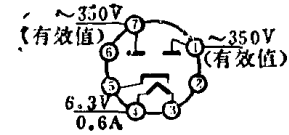
续表

6H2	双二极检波管
检 波 和 整 流	



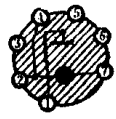
I_m	I_B
90	20

6Z4	双二极整流管
整 流	



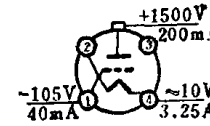
I_m	I_B
300	75

WY2	充 气 稳 压 管
稳 压	



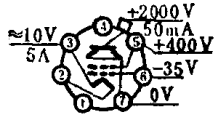
U_{cm}	I_{cm}	t
108±4	5～30	-60/+90

FU-5	发 射 三 极 管
大 功 率 放 大	



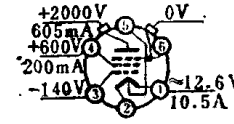
$C_{入}$	$C_{出}$	$C_{晶}$	f
7.6	9	6	30

FU-13	束射四极发射管
大 功 率 放 大	



S	$C_{入}$	$C_{出}$	f
4	16.25	14	30

FU-80	发 射 五 极 管
大 功 率 放 大	



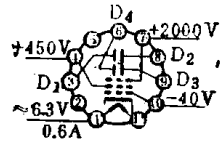
S	$C_{入}$	$C_{出}$	f
5.5	26.5	22.5	12

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

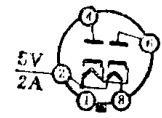
续表

5BP1	阴极示波管
示	波



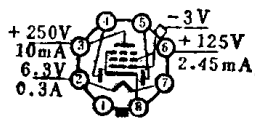
偏转板灵敏度	
$D_1-D_2=0.3$	$D_3-D_4=0.33$

5Z3P	双二极整流管	
整	流	



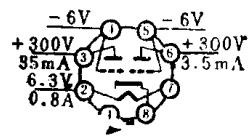
$U_{反}$	I_m	I_B
1550	675	225

6B8P	高频双二极五极管	
检波和高低频电压放大		



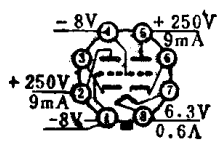
S	U_{HK}
1.34	100

6N7P	输出双三极管	
低频功率放大		



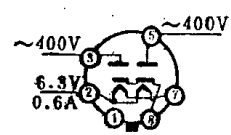
S	μ	$P_{出}$
1.6	35	≥4.2

6N8P	双三极管	
倒相和低频电压放大		



S	μ	U_{HK}
2.6	20	100

6Z5P	双二极整流管	
整	流	



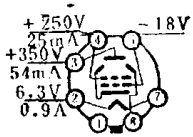
$U_{反}$	I_m	I_B	U_{HK}
1250	210	70	450

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

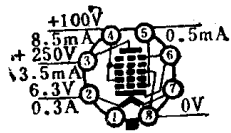
续表

6L6P	输出集射四极管
低频功率放大	



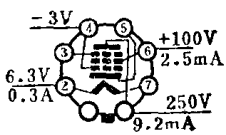
S	R_a	$P_{出}$	U_{HK}
5.2	4.2	≤8.5	100

6A7P	七极变频管
变频	



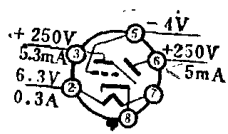
S_n	U_{HK}
0.45	100

6K3P	高频遥截止五极管
高中频电压放大	



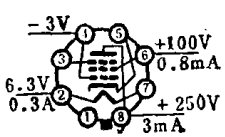
S	U_{HK}
2.0	100

6E5P	调谐指示管
调谐指示	



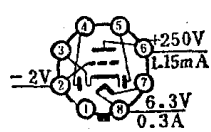
S	μ	U_g
12	24	-8.25

6J8P	高频五极管
高中频电压放大	



S	U_{HK}
1.65	100

6G2P	双二极三极管
检波和低频电压放大	



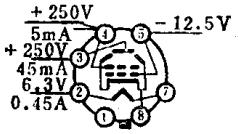
S	μ	R_i	U_{HK}
1.1	100	91	100

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

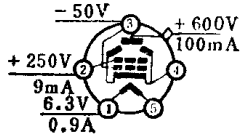
续表

6P6P	输出集射四极管
低 频 功 率 放 大	



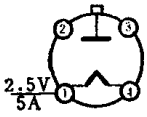
S	R_a	$P_{出}$	P_a	P_{g_2}	U_{HK}
4.1	5	3.8	12	2	100

FU-7	集 射 四 极 管
振荡和低频功率放大	



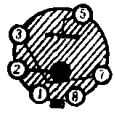
S	$P_{出}$	U_{HK}
6	25	100

E61-025/10	汞气二极整流管
高 压 整 流	



$U_{反}$	I_m	$U_{降}$
10.000	1000	≈15

WY4P	充 气 稳 压 管
稳 压	



U_z	U_{cm}	I_{cm}	$I_{漏}$
⩽180	143～157	5～30	⩽10

9-11 电阻器、电位器、电容器型号命名，标称值及性能比较

9-11.1 电阻器、电位器、电容器型号命名方法

电阻器、电位器和电容器的型号一般由四个部分组成，各部分的符号及意义见表 9-48。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表9-48 电阻器、电位器和电容器型号组成、符号及意义

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征		第四部分
符号	意义	符号	意义	符号	意义	序号
R	电阻器	T	碳膜			用数字1、2、3……表示 说明：对主称、材料、特征相同，仅尺寸、性能指标略有差别，但基本上不影响互换的产品，则标同一序号
		P	硼碳膜			
		U	硅碳膜			
		H	合成膜			
		J	金属膜			
		Y	氧化膜			
		X	线绕			
		S	实心(包括有机和无机)			
		M	压敏			
		G	光敏			
R	电阻器	R	热敏	B	温度补偿用	
				C	温度测量用	
				G	功率测量用	
				P	旁热式	
				W	稳压用	
				Z	正温度系数	
C	电容器	C	瓷介	T	铁电	
				W	微调	
		Y	云母	W	微调	
		I	玻璃釉			
		O	玻璃(膜)	W	微调	
		B	聚苯乙烯	J	金属化	
		F	聚四氟乙烯			
		L	涤纶	M	密封	
		S	聚碳酸酯	X	小型、微调	
		Q	漆膜	G	管型	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征		第四部分
符号	意义	符号	意义	符号	意义	序号
C	电容器	Z	纸质	T	筒型	
		H	混合介质	L	立式矩型	
		D	(铝)电解	W	卧式矩型	
		A	钽	Y	圆型	
		N	铌			
		T	钛			
		M	压敏			
W	电位器	H	合成碳膜			
		J	金属膜	W	微调	
		Y	氧化膜			
		X	线绕	W	微调	
		S	实心（包括有机和无机）			
		D	导电塑料			

9-11.2 标称值

1. 普通电阻器标称阻值

普通电阻器的标称阻值系列和相应的容许偏差见表9-49，表列数值可乘以 10^n，其中 n 为正整数或负整数。

表 9-49 电阻器标称阻值

容许偏差±5%	容许偏差±10%	容许偏差±20%	容许偏差±5%	容许偏差±10%	容许偏差±20%
E24	E12	E6	1.8	1.8	
1.0	1.0	1.0	2.0		
1.1			2.2	2.2	2.2
1.2	1.2		2.4		
1.3			2.7	2.7	
1.5	1.5	1.5	3.0		
1.6					

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

容许偏差±5%	容许偏差±10%	容许偏差±20%	容许偏差±5%	容许偏差±10%	容许偏差±20%
3.3	3.3	3.3	5.6	5.6	
3.6			6.2		
3.9	3.9		6.8	6.8	6.8
4.3			7.5		
4.7	4.7	4.7	8.2	8.2	
5.1			9.1		

2. 电阻器的阻值色码表示法

表 9-50 电阻器色码表示

颜色	代表数值	误差 %
黑	0	—
棕	1	—
红	2	—
橙	3	—
黄	4	—
绿	5	—
蓝	6	—
紫	7	—
灰	8	—
白	9	—
金	—	5
银	—	10
无色	—	20

色码表示法即用不同颜色的圆环标在电阻器上，以示电阻器的阻值，见表9-50。一般用四个色环表示阻值及误差，其中前二环依次表示电阻的第一位与第二位数值，第三环表示应加零的个数，第四环表示电阻值的误差，如无此环即表示误差为20%。例如第一环为黄色，第二环为紫色，第三环为红色，第

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四环为银色，则该电阻器的数值为4700欧，误差为±10%。

3. 固定式电容器标称容量

电容器的电容量除了少数特殊和精密的产品对电容量有特殊要求外，一般均按照优选系列进行生产。固定式电容器标称容量系列见表9-51。

表9-51 固定式电容器标称容量系列

项目	E24系列	E12系列	E6系列
数列	$\sqrt[24]{10^n}=\lg^{-1}\frac{n}{24}$ 其中 $n=1,2,3\cdots\cdots24$	$\sqrt[12]{10^n}=\lg^{-1}\frac{n}{12}$ 其中 $n=1,2,3\cdots\cdots12$	$\sqrt[6]{10^n}=\lg^{-1}\frac{n}{6}$ 其中 $n=1,2,3\cdots\cdots6$
对应数值	10、11、12、13、15、16、18、20、22、24、27、30、33、36、39、43、47、51、56、62、68、75、82、91	10、12、15、18、22、27、33、39、47、56、68、82	10、15、22、33、47、68
容许偏差	±5%(Ⅰ级)	±10%(Ⅱ级)	±20%(Ⅲ级)

注：对应的数值可乘以10^n(n为正整数或负整数)

4. 电位器的标称阻值

电位器的标称阻值是按表9-49中E12或E6系列选用，此阻值是指电位器1(始端)、3(末端)间的阻值。

9-11.3 各种电阻体、电位器的性能比较和电容器的选择

1. 各种电阻体的性能比较见表9-52。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-52 各种电阻体的性能比较

性能	合成碳膜	合成碳实芯	热分解碳膜	金属氧化膜	金属膜	金属玻璃釉	块金属膜	电阻合金线
阻值范围	中～很高	中～高	中～高	低～中	低～高	中～很高	低～中	低～高
电阻温度系数	尚可	尚可	中	良	优	良～优	极优	优～极优
非线性、噪声	尚可	尚可	良	良～优	优	中	极优	极优
高频、快速响应	良	尚可	优	优	极优	良	极优	差～尚可
比功率	低	中	中	中～高	中～高	高	中	中～高
脉冲负荷	良	优	良	优	中	良	良	良～优
储存稳定性	中	中	良	良	良～优	良～优	优	优
工作稳定性	中	良	良	良	优	良优	极优	极优
耐潮性	中	中	良	良	良～优	良～优	良～优	良～优
可靠性		优	中	良～优	良～优	良～优	良～优	

2. 各种电位器的性能比较见表 9-53。

表 9-53 各种电位器性能比较

性能	电阻合金线	块金属膜	合成实心	合成碳膜	金属玻璃釉	导电塑料	金属膜
阻值范围	4.7欧～56千欧	2欧～5千欧	100欧～4.7兆欧	100欧～4.7兆欧	100欧～100兆欧	50欧～100兆欧	100欧～100千欧
线性精度	＞±0.1%			＞±0.2	＜±10	＞±0.05	
额定功率	0.25～25瓦	0.5瓦	0.25～2瓦	0.25～2瓦	0.25～2瓦	0.5～5瓦	
分辨力	中～良	极优	良	优	优	极优	优
零位电阻	低	低	低～中	低～中	低～中	低～中	低～中
耐潮性	良	良	差	差	优	差	优
耐磨寿命	良	良	优	良	优	优	良
负荷寿命	优良	优良	良	良	优良	良	优

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 根据用途来选择固定电容器参照表 9-54。

表 9-54 根据用途来选择固定电容器参考表

用途	电容器种类	电容器型式	电容量	工作电压(V)
高频旁路	陶瓷(Ⅰ型)	圆片、穿心	8.2～1000pF	500
	云母	钮式、热压	51～4700pF	500
	玻璃膜	矩形	100～3300pF	500
	涤纶	叠片	100～3300pF	400
	玻璃釉	矩形	10～3300pF	100
低频旁路	纸介	卷绕	0.001～0.5μF	500
	陶瓷(Ⅱ型)	片型、穿心型	0.001～0.047μF	<500
	铝电解	密封	10～1000μF	25～450
	涤纶	卷绕	0.001～0.047μF	400
滤波	铝电解	密封	10～3300μF	25～450
	纸介	密封	0.01～10μF	1000
	复合纸介	密封	0.01～10μF	2000
	液体钽	密封	220～3300μF	16～125
滤波器	陶瓷	片型、管型	100～4700pF	500
	聚苯乙烯	热塑无感	100～4700pF	500
	云母	钮式热塑压	51～4700pF	
调谐	陶瓷(Ⅰ型)	片型、管型	1～1000pF	500
	云母	钮式、热压塑	51～1000pF	500
	玻璃膜	矩形、叠片	51～1000pF	500
	聚苯乙烯	热塑	51～1000pF	<1600
高频耦合	云母	钮式、塑压	470～6800pF	500
	聚苯乙烯	无感热塑	470～6800pF	400
	陶瓷(Ⅰ型)	片型、管型	10～6800pF	500
低频耦合	纸介	密封	0.001～0.1μF	630
	铝电解	密封	1～47μF	<450
	陶瓷(Ⅱ型)	圆片、叠片	0.001～0.047μF	<500
	涤纶	密封	0.001～0.1μF	<400
	固体钽电解	密封	0.33～470μF	<63

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

用　　途	电容器种类	电容器型式	电　　容　　量	工作电压(V)
电源输入抗高频干扰	纸　介	密封、穿心式	0.001～0.22μF	＜1000
	陶瓷(Ⅱ型)	圆片、穿心式	0.001～0.047μF	＜500
	云　母	压　塑	0.001～0.047μF	500
	涤　纶	密封或穿心式	0.001～0.1μF	＜1000
储　　能	纸　介	密　封	10～50μF	1～30kV
	复合纸介	密　封	10～50μF	1～30kV
	铝电解	串、并联式	100～3300μF	1～5kV
计算机电源	铝电解	密　封	1000～100000μF	25～100V
高频高压	陶瓷(Ⅰ型)	瓶、筒、鼓、片	470～6800pF	＜12kV
	聚苯乙烯		180～4000pF	＜30kV
	云　母	叠片、压塑	330～20000pF	＜10kV
晶体管电路小型电　容　器	金属化纸介	小型密封	0.001～10μF	＜160
	陶瓷(Ⅰ型)	片　型	1～500pF	＜160
	陶瓷(Ⅱ型)	片　型	680pF～0.047μF	63
	云　母	被银小型	4.7～10000pF	100
	铝电解	小型密封	1～3300μF	6.3～50
	钽电解	烧　结	1～3300μF	6.3～63
	聚苯乙烯	热　塑	0.00047～0.47μF	＜50～100
	玻璃釉	矩　形	10～3300pF	＜63
	金属化涤纶	密　封	0.1～1μF	63
	聚丙烯	包　封	0.01～0.47μF	63～160

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十章　常用电气设备的维修

10-1　机床电气设备的一般维修

机床电气设备一般由电动机、操作机构、电气仪表、电器柜(包括接触器、继电器、自动调整装置和保护装置)及连接导线等组成。机床电气设备的一般维修可分为保养与大修两种。电动机及电气仪表的维修参看本手册有关章节。

10-1.1　机床电气设备的保养项目

1．电器柜

(1) 经常清扫电器柜内部，并保持柜内无油污、无粉屑和无灰尘。

(2) 检查所有电气器件和接线端子，处理已松动、损坏的螺栓和器件。

(3) 检查柜内的器件和导线是否有油浸或绝缘破损现象，并进行必要的处理。

2．熔断器及各种保护装置

(1) 检查熔断器是否已熔断，各种保护装置有无故障，并进行适当处理。

(2) 检查管状熔断器夹片接触情况。

3．接触器、继电器、切换开关和按钮

(1) 清扫器件上的灰尘，擦净油泥，紧固所有螺栓。

(2) 修整各种触头，使其压力、间隙合适，接触良好。

(3) 检查所有附件是否完好，调整有关部件使之正常工作。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 起动及调节用电阻器

(1) 清扫电阻器内的粉尘，擦净需要接触的部分。

(2) 检查电阻元件，有无瓷管断裂和电阻丝短路、开断现象，并进行处理。

(3) 检查滑动触头的接触情况，调整压紧弹簧，使其接触良好。

5. 电磁铁

(1) 检查衔铁的接触面是否打坏，短路环是否完好。

(2) 测量线圈对地绝缘电阻(一般不应小于1兆欧)。处理绝缘已损坏的线圈和出口引线。

10-1.2 机床电气设备的大修项目

1. 电器柜

(1) 更换所有已损坏的器件和连接导线，配齐原有器件，紧固抗震和防松装置。

(2) 整理柜内线路，修整箱体和防尘设施，箱门应能严密关闭。

(3) 测量导电部分对地绝缘电阻，一般不应小于1兆欧。

2. 熔断器及保护继电器

(1) 作各种继电保护(热继电器、过流继电器、过压和欠压继电器等)的动作试验，整定动作值。

(2) 整修各种熔断器夹片、卡口接触部位，使其保持良好的接触。

3. 接触器和继电器

(1) 修理动、静触点烧损部分，调整触点的压力和间隙，保证其接触良好。

(2) 清扫铁心接触面，检查短路环是否完好，并检查衔铁在滑道上有无卡住现象。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(3) 更换已破损的灭弧装置和励磁线圈。

4. 各种切换开关和按钮

(1) 全部拆开，彻底清扫，修理或更换已烧损的触点。

(2) 调整切换开关触点的压力和间隙，调整行程开关碰头角度和碰铁位置。

(3) 测量导电部分对地绝缘电阻。

5. 起动及调节用电阻器

(1) 更换已损坏的电阻和失效的绝缘垫片、瓷管及连接片。

(2) 清扫内部，紧固所有螺栓和接线端子。

(3) 用电桥测量各段电阻值，测量对地绝缘电阻是否符合要求。

6. 电磁铁

(1) 更换绝缘不良引线和线圈，若线圈数据失落或烧焦可按下式近似计算：

$$W=4.5\times10^{5}\frac{U}{BS}$$

式中 W——线圈匝数；

U——工作电压(伏)；

B——铁心磁通密度(一般可取 7000～7500 高斯)；

S——铁心截面(厘米^2)。

(2) 修理导磁体接触面及滑道铜板。

(3) 测量对地绝缘电阻（一般不应小于 1 兆欧)。

10-2 C620-1 普通车床的电气维修

C620-1 普通车床控制电路见图 10-1；控制电路的电器元件见表 10-1。

C620-1 普通车床主轴由一台交流电动机拖动，其正反向

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

运转由机械装置来实现。控制回路是由具有热继电器保护的单向起动控制环节和照明等电路组成。还有一台交流电动机用来拖动冷却泵，冷却泵电机亦有热继电器保护。

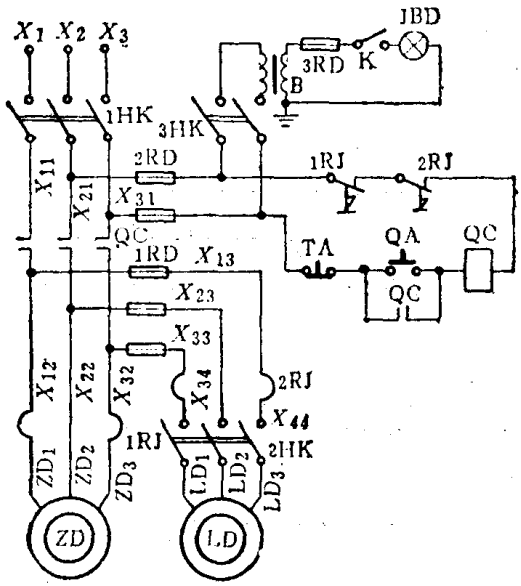


图 10-1　C620-1 普通车床控制电路图

表 10-1　C620-1 普通车床控制电路电器元件

代　号	名　称	型　号	规　格	数量
ZD	主轴电动机	J52-4	7千瓦，1440转/分	1
LD	冷却电动机	JCB-22	0.125千瓦，2790转/分	1
QC	交流接触器	CJO-20	线圈电压380伏	1
1RJ	热继电器	JR2-1	热元件电流14.5安	1
2RJ	热继电器	JR2-1	热元件电流0.43安	1
1HK	三相转换开关	HZ2-25/3	25　安	1
2HK	三相转换开关	HZ2-10/3	10　安	1
3HK	二相转换开关	HZ2-10/2	10　安	1
1RD	熔断器	RL1-15	4　安	2
2RD	熔断器	RL1-15	4　安	3

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

代　号	名　称	型　号	规　格	数量
3RD	熔断器	RL1-15	4　安	1
B	照明变压器	BK-50	50伏安、380/36伏	1
JBD	照明灯具	JC6-1	短三节式	1
TA、QA	双联按钮	LA4-22K	5　安	1
K	照明灯开关			1

C620-1 普通车床常见故障及排除方法见表 10-2。

表 10-2　C620-1 普通车床常见故障及排除方法

故障现象	可能产生原因	排除方法
主轴电机不起动	1. 电源部分故障： 三相电源不正常； 转换开关 1HK 接触不良 2. 控制回路故障： 2RD 熔断； TA 和 QA 按钮接触不好 3. 热继电器 1RJ 动作	1. 检查X_1、X_2、X_3三相电压是否正常； 检查 1HK 开关是否松动 2. 更换 2RD 熔体； 清擦 TA、QA 按钮接点 3. 排除电机过热原因，如传动部分是否机械卡住，机床是否频繁起动或工作超负荷等
主轴电机工作时突然停下	1. 接触器 QC 自锁触头接触不良 2. 保险 2RD 管芯松动或熔断 3. 控制回路某处接线头松动	1. 清理自锁触头油污，调整触头压力 2. 拧紧 2RD 管芯，若已熔断，更换新熔体 3. 沿控制回路逐点检查，拧紧各接线螺钉
按下"停止"按钮后，电机不能立即停车	1. 接触器 QC 机械卡住或主触头焊住 2. 接触器 QC 有剩磁或铁心有油污粘合使 QC 不释放	1. 清理衔铁滑道，修整触头 2. 拆开接触器，清理铁心，并作去磁处理

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能产生的原因	排除方法
冷却泵不起动	1RD保险器熔断；2HK接触不良或热继电器2RJ动作	更换1RD熔体，若是2RJ经常动作，应使LD电机停机一会

10-3 Z37摇臂钻床的电气维修

Z37摇臂钻床控制电路见图10-2；控制电路的电器元件见表10-3。

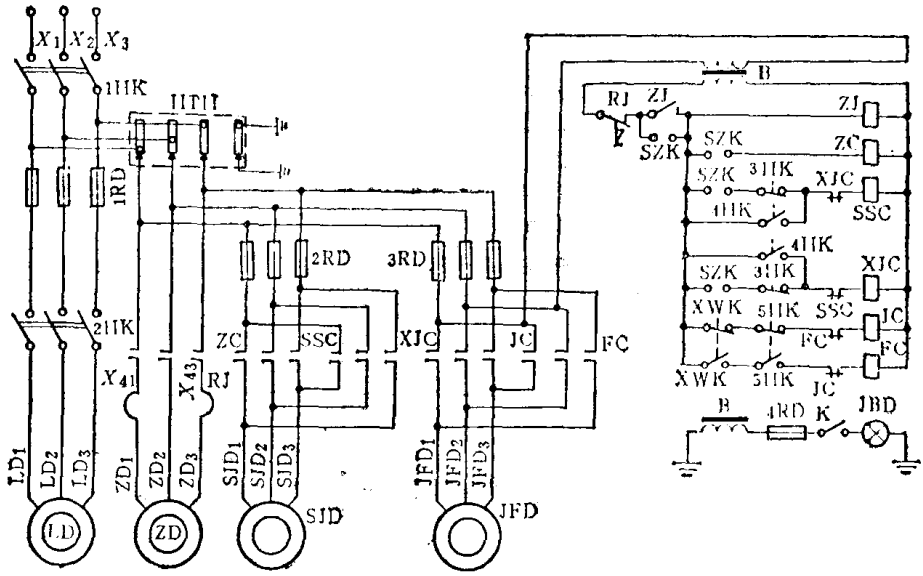


图10-2 Z37摇臂钻床控制电路图

Z37摇臂钻床主轴的变速和正反向运转由机械装置实现，主轴电机的控制与带有热继电器保护的单向起动控制环节相似，不同的是以十字开关SZK的触点代替了按钮。摇臂的移

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

动、夹紧和放松由可逆控制环节与微动开关XWK和组合开关3HK、4HK、5HK相配合而实现，并由十字开关SZK来操作。十字开关有四对触点，在任何时间内只能有一对接通，使摇臂与主轴电动机不能同时运转。

表10-3 Z37摇臂钻床控制电路电器元件

代号	名称	型号	规格	数量
1HK	总电源开关	HZ1-25/3	三相25安	1
2HK	冷却泵开关	HZ1-10/3	三相10安	1
1RD	熔断器	RL1-15/2	2安	3
2RD	熔断器	RL1-15/15	15安	3
3RD	熔断器	RL1-15/4	4安	3
4RD	熔断器	RL1-15/2	2安	1
ZC	主轴电动机接触器	CJ10-20	127伏20安	1
SSC	升降电动机上升接触器	CJ10-20	127伏20安	1
XJC	升降电动机下降接触器	CJ10-20	127伏20安	1
FC	摇臂电动机放松接触器	CJ10-10	127伏10安	1
JC	摇臂电动机夹紧接触器	CJ10-10	127伏10安	1
RJ	热继电器	JR2-1	14.5安	1
ZD	主轴电动机	JOF-52-4	4极7千瓦	1
SJD	升降电动机	JOF-42-4	4极2.8千瓦	1
JFD	立柱夹紧放松电动机	JOF-31-4	4极0.6千瓦	1
LD	冷却泵电动机	JCB-22	2极0.125千瓦	1
B	变压器	BK-150	380/127、36伏	1
ZJ	中间继电器	JZ7-44	127伏	1
SZK	十字开关	LS1		1
3HK	组合开关	HZ4-22	自动复位	1
4HK	组合开关	HZ4-21	手动复位	1
5HK	组合开关	HZ4-22	自动复位	1
XWK	微动开关	LX5-11		1
K、JBD	照明灯具			1
HTH	回转体汇流环	自制		1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

由于这个机床的工作都是通过十字开关SZK操作的，为了避免十字开关手柄扳在任何工作位置时接通电源而产生误动作，本控制电路设有零压保护环节。要使机床工作，十字开关必须先扳向零压保护，使ZJ吸合并自锁，然后扳向工作位置才能工作。

Z37摇臂钻床常见故障及排除方法见表10-4。

表10-4 Z37摇臂钻床常见故障及排除方法

故障现象	可能产生的原因	排除方法
该机床所有电机都不能正常起动	1. 电源开关1HK或汇流环HTH接触不良 2. 熔断器3RD熔断 3. 控制变压器B次级电压不正常 4. 十字开关SZK接触不良	1. 检修1HK或HTH 2. 更换3RD熔体 3. 变压器B的接头要拧紧，若B的线圈有损坏，要更换 4. 清理SZK接触头
主轴电机ZD不起动	1～4项同前 5. 接触器ZC吸合时主触点接触不好 6. 热继电器RJ动作	1～4项同前 5. 清理ZC主触点和铁心滑道 6. 查明电机过载原因
十字开关SZK移至中间位置时主轴电机仍停止不了	1. 十字开关SZK断不开 2. 接触器ZC有剩磁、触头粘住或铁心卡住等	1. 修理或更换十字开关 2. 拆开ZC，清理触头和滑道，并作去磁处理
摇臂上升与下降都不能动作或只能单向动作	1. 升降电机SJD控制系统有故障 2. 十字开关SZK和组合开关3HK、4HK接触不良 3. 上升、下降接触器SSC或XJC接触不良	1、2. 沿控制回路检查触头、接点和接线头是否良好，着重检查3HK、4HK的常闭联锁触点XJC 3. 清理接触器触点和铁心滑道

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能产生的原因	排除方法
摇臂在升降后无锁紧动作或锁紧不充分	1. 组合开关4HK接点接触不好或动触点位置偏移 2. 组合开关4HK位置与机械丝母不协调	1. 修理触头，调整动触头位置 2. 调整4HK起始位置和夹紧位置与机械丝母动作协调

10-4 X62W万能铣床的电气维修

X62W万能铣床的控制电路见图10-3；控制电路的电器元件见表10-5。

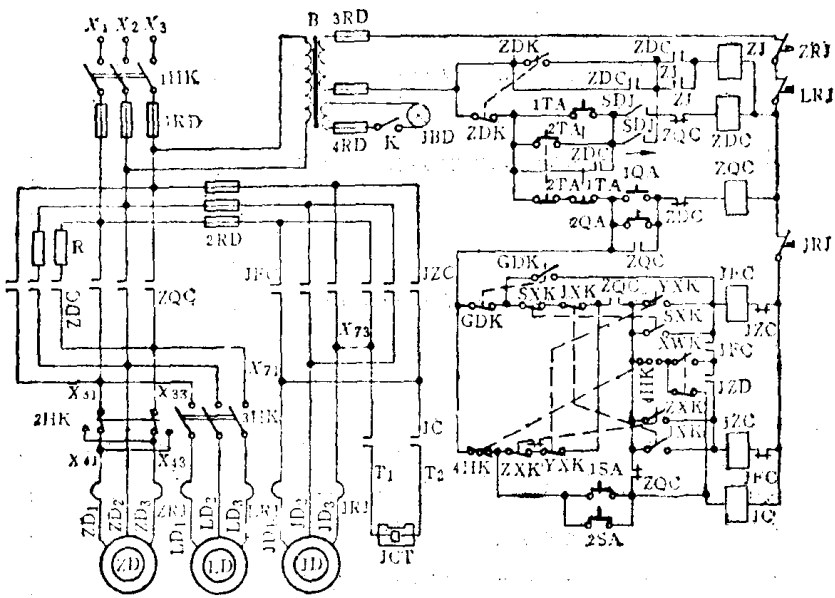


图 10-3 X62W万能铣床控制电路图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-5 X62W 万能铣床控制电路电器元件

代号	名称	型号	规格	数量
1HK	总电源开关	HZ1-60/3	三相60安	1
2HK	主轴正反转开关	HZ3-131	倒 顺	1
3HK	冷却泵开关	HZ1-10/3	三相10安	1
1RD	熔断器	RL1-60/40	40安	3
2RD	熔断器	RL1-15/10	10安	3
3RD	熔断器	RL1-15/4	4安	2
4RD	熔断器	RL1-15/2	2安	1
R	电阻器(反接制动用)		1安0.45欧	2
ZRJ	主轴电动机热继电器	JR10-10	35安	1
LRJ	冷却泵电动机热继电器	JR10-10	0.45安	1
JRJ	进给电动机热继电器	JR2-1	14.2～14.8安	1
ZDC	主轴制动接触器	CJ10-40	127伏40安	1
ZQC	主轴起动接触器	CJ10-40	127伏40安	1
JZC	进给正转接触器	CJ10-20	127伏20安	1
JFC	进给反转接触器	CJ10-20	127伏20安	1
JC	电磁铁接触器	JZ7-44	127伏	1
JCT	牵引电磁铁		380伏15公斤	1
ZD	主轴电动机	JOF-52/4	4极7千瓦	1
LD	冷却泵电动机	JCB-22	0.125千瓦	1
JD	进给电动机	JOF-41/4	1.7千瓦	1
B	变压器	BK-150	380/127、36伏	1
4HK	转换开关	HZ1-10/2	二极10安	1
1QA、2QA	主轴起动按钮	LA2		各1
1TA、2TA	主轴停止、反接按钮	LA2		各1
1SA、2SA	进给快速按钮	LA2		各1
ZDK	主轴点动开关	LX-11K		1
GDK	工作台点动开关	LX-11K		1
YXK	工作台向右移动	LX3-11H		1
ZXK	工作台向左移动	LX3-11H		1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

代　号	名　　称	型　　号	规　　格	数量
JXK	工作台上升(或向前)移动	LX2-111		1
SXK	工作台下降(或向后)移动	LX2-111		1
SDJ	速度继电器	PKC 型		1
K、JBD	照明灯具	JC6-1		
ZJ	中间继电器	JZ7-44		1

X62W 万能铣床主轴的正反转由转换开关 2HK 决定，变速由机械装置来实现。由于机械性能上的要求，需要主轴电机迅速停止，因此设有反接制动环节。

工作台与台面的运行是由电动机 JD 作正反向运转来达到的，该部分的控制线路受触点 ZQC 联锁，只有在主轴电机运转后才能工作。

工作台的上下前后运行方向是通过机械操作手柄扳到相应的位置上而实现的。同时工作台或台面还可以用按钮 1SA 或 2SA 作快速运行。

台面的自动控制是由台面前侧上的 1～5 号撞块及操作手柄支点处的八齿爪轮分别推动限位开关 XWK、YXK 和 ZXK 来完成的，可以实现台面单向自动控制、自动往复控制和自动往复循环控制。

X62W万能铣床常见故障及排除方法见表 10-6。

表 10-6　X62W 万能铣床常见故障及排除方法

故障现象	可能产生的原因	排除方法
全部电机都不能起动	1. 总电源开关 1HK 接触不良 2. 保险器 1RD、3RD 熔断	1. 检查三相电源是否正常，检修 1HK 2. 更换熔断器熔体

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能产生的原因	排除方法
全部电机都不能起动	3. 冲动开关 ZDK 常闭触点接触不良	3. 检修 ZDK 的常闭触点
主轴电动机不起动	除上述原因外，还可能有： 1. 主轴正反向开关 2HK 接触不良，或接触器 ZQC 接触不良 2. 停止按钮 1TA、2TA 或常闭触点 ZDK 接触不好 3. 机械顶销没有恢复原位	1. 检修 2HK、ZQC 触点 2. 检修 1TA、2TA 或 ZDK 的常闭触点 3. 检修顶销使其灵活
主轴变速时无冲动过程	1. 冲动开关 ZDK 闭合不好 2. 机械顶销不动作或未碰上开关	1. 检修 ZDK 开关 2. 检修机械顶销，使其动作正常
主轴电机停车时没有制动作用	1. 速度继电器SDJ未闭合 2. SDJ中推动触点的摆杆断裂 3. 起动接触器 ZQC 的常闭触点接触不良	1. 检修 SDJ 及联动机构，使其动作正常 2. 更换新摆杆 3. 检修 ZQC 的常闭触点
按下QA时，不能自锁，或按下1TA、2TA时不能停车	1. ZQC 的自保触点接触不良 2. ZQC 主触点或自保触点粘住	1、2. 检修 ZQC 的自保触点和主触点
进给电机不能起动或没有冲动过程	1. 进给冲动开关 GDK 接触不良 2. 进给电机控制回路有故障	1. 检修 GDK 接点 2. 检修方向选择开关 SXK～YXK 及 ZQC 的联锁触点

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能产生的原因	排除方法
	3. 热继电器 JRJ 动作	3. 查清电机过热原因
实现不了快速进给或只能一个方向快速进给	1. 快速进给接触器 JC 不动作或接触不好	1. 检查 JC 控制回路有无断线或接线头松动；清理主触点及方向选择开关，使其接触良好
	2. 牵引电磁铁 JCT 损坏，不能动作	2. 检查 JCT 线圈是否断路、过热烧坏或活动铁心超行程及机械卡住等现象，采取相应措施
	3. 方向选择开关 YXK～SXK 有接触不好的地方	3. 检查选择开关触点

10-5 M7130 卧轴平面磨床的电气维修

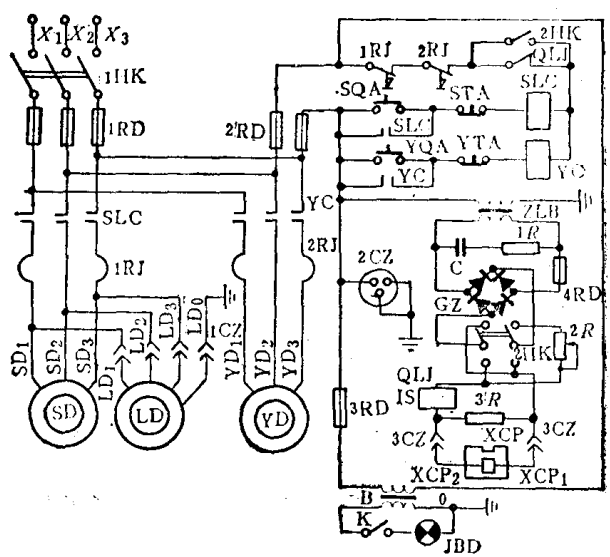


图 10-4 M7130 卧轴平面磨床控制线路图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

M7130卧轴平面磨床控制线路见图10-4；控制电路的电器元件见表10-7。

表10-7 M7130卧轴平面磨床控制电路电器元件

代号	名称	规格	数量
LD	冷却泵电动机	JCB-22 125瓦	1
YD	液压泵电动机	JO42-4 2.8千瓦	1
ZLB	整流变压器	BK-400 220/145伏	1
B	照明变压器	BK-50 380/36伏	1
QLJ	欠电流继电器	JT3-11L 1.5安	1
SQA	按钮(砂轮起动)	LA2	1
STA	按钮(砂轮停止)	LA2	1
YQA	按钮(液压泵起动)	LA2	1
YTA	按钮(液压泵停止)	LA2	1
1CZ	插销(冷却泵)	CYO-36	1
2CZ	插销(退磁器)	三足插座5安	1
3CZ	插销(电磁吸盘)	CYO-35	1
XCP	平面(电磁吸盘)	110伏1.45安	1
GZ	硅整流器	GZH1/200	4
1R	电阻	GF型50瓦500欧	1
2R	电阻	6瓦125欧	1
3R	电阻	GF型50瓦1000欧	1
C	电容	600伏5微法	1
JBD	工作台照明灯		1
K	工作台照明灯开关		
附件	退磁器	TCTTHH	1
1HK	转换开关	HZ1-25/3	1
2HK	转换开关	HZ1-10P/3	1
1RD	熔断器	RL1-60/30	3
2RD	熔断器	RL1-15/5	2
3RD	熔断器	小型管式1安	1
4RD	熔断器	RL1-15/2	1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

代　号	名　　称	规　　格	数　量
SLC	接触器(砂轮电机用)	CJ10-10	1
YC	接触器(液压泵用)	CJ10-10	1
1RJ	热继电器	JR10-10　9.5 安	1
2RJ	热继电器	JR10-10　6.1 安	1
SD	砂轮电动机	4.5kW 4 极装入式电动机	1

M7130 卧轴平面磨床主回路有三台交流电动机 SD、LD 和 YD，分别拖动砂轮、冷却泵和液压泵。控制回路除具有热继电器保护的单向起动控制环节外，还有电磁吸盘供电电路、工件退磁及照明电路等。控制回路中还设置了欠电流继电器 QLJ，从而保证了电磁吸盘吸住被加工工件后才进行磨削。

M7130 卧轴平面磨床常见故障及排除方法见表 10-8。

表 10-8　M7130 卧轴平面磨床常见故障及排除方法

故障现象	可能产生的原因	排除方法
所有电机不能起动	1. 转换开关 1HK 接触不良，或熔断器 1RD、2RD 熔断	1. 检查三相电源是否正常，检修开关 1HK 或更换 1RD、2RD 熔体
	2. 转换开关 2HK 位置不对，或接触不良	2. 检查 2HK 开关是否放在“吸”位置上；清理触头
	3. 插销3CZ松动，接触不良	3. 检修3CZ插销，必要时更换新的
	4. 欠流继电器 QLJ 不吸合	4. 检查QLJ是否卡住，或重新整定吸合电流
	5. 接触器 SLC或YC虽动作，但主触点接触不好	5. 检修 SLC或YC的主触点，并清理铁心滑道

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能产生的原因	排除方法
磨床在正常工作时突然全部停车	1. 电磁盘插销3CZ松动接触不好 2. 欠流继电器QLJ动作 3. 热继电器1RJ、2RJ动作	1. 检查更换3CZ插销，拧紧引出线的接线头 2. 查明欠电流原因，如系误动作，应更换QLJ或重新整定释放电流值 3. 查明过热原因，采取措施
当开关2HK置“放松”位置时，起动电机正常，而置“吸”位置时，电机不能起动	1. 电磁盘XCP断线 2. 插销3CZ断线 3. 欠流继电器QLJ不吸合	1. 检修电磁盘的接线 2. 检修3CZ插销，处理断线部分 3. 查明QLJ不吸合原因如系QLJ机械卡住，应清理铁心滑道，其他情况相应处理
当开关2HK置“吸”位置时，一切正常，但置“放松”位置时，电机不能起动	转换开关2HK常开触点接触不好	修理或更换2HK的常开触点

10-6 电焊机的电气维修

电焊机的种类很多，一般厂矿常用的是焊接变压器，即交流电焊机。现以常用的BX2系列和BX1-135、330、500型的焊接变压器为例来说明一般交流电焊机的维护、常见故障及处理方法。交流电焊机的技术参数详见第四章。

1. 常用的交流电焊机的结构和技术性能

(1) BX2系列交流电焊机

这种电焊机是带有电抗器的单相变压器，电抗器铁心与变

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压器铁心装在一起，有一共同的铁轭，见图 10-5a。

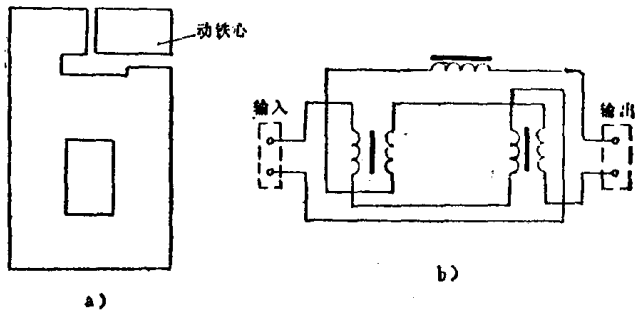


图 10-5　BX2 系列交流电焊机铁心结构和线圈接线图

a)铁心结构　b)线圈接线图

初级与次级线圈绕成两个筒形，装在下面两个铁心柱上，电抗器线圈在上部。电抗器的动铁心可用手柄移动，动铁心移出时，空气隙增加，阻抗减小，焊接电流增大，它的接线见图 10-5b。

(2) BX1-135、BX1-330 和 BX1-500 型交流电焊机

这类电焊机是有三个铁心柱的单相变压器，中间的铁心柱是可以移动的，见图 10-6a。

初级线圈、次级线圈和电抗线圈均绕在左右两侧的固定铁心柱上。初级为一筒形线圈，绕在一个铁心柱上；次级分为两部分，一部分绕在初级线圈外面，另一部分兼作电抗线圈，单独绕在另一个主铁心柱上，两者串联，其接线见图 10-6b。

调换次级线圈接线端子板上连接片的位置，可以对焊接电流作粗调节。摇动与铁心相连的手柄，改变动铁心的位置，可以均匀地调节焊接电流。动铁心移出时，漏磁通减小，漏感抗变小，焊接电流增大。反之电流减小。

2. 交流电焊机的维护

(1) 在使用前必须检查初级线圈的额定电压是否和电源电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压相符，并检查接线端子板上的接线是否正确。如果是第一次投入运行或长期停用的交流电焊机，则应用500伏的兆欧表测量各绕组对铁心和绕组间的绝缘电阻，它们不应低于0.5兆欧。

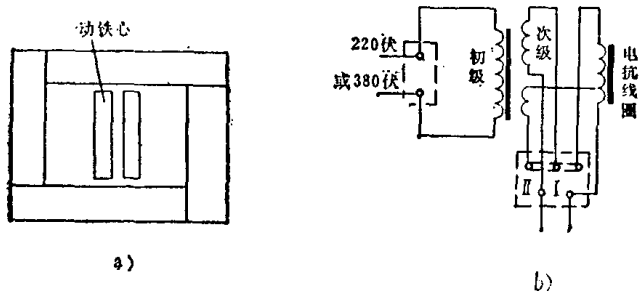


图 10-6　BX1-135、330、500 型交流电焊机铁心结构和线圈接线图

a)铁心结构图　b)线圈接线图

(2) 接线板上的螺帽、铜接线片和导线的接触必须紧密可靠，如果接触不好，会使螺杆、螺帽和接线片烧坏。因此，在交流电焊机运行一个时期以后应用砂布将各接触面的氧化层擦净，再将螺帽紧固。

(3) 由交流电焊机初级到电源的接线可用 BVR 型的塑料绝缘铜芯软电线，焊接用电缆则可用 YH 或 YHL 型电焊机软电缆，其截面可按表 10-9 选择。

表 10-9　交流电焊机电源接线及焊接电缆截面的选择

型号		BX-500	BX1-135	BX1-330	BX1-500
电源线	220伏	35	10	16	—
(毫米²)	380伏	25	6	10	25
焊接用电缆(毫米²)		95	25	50	95

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(4) 交流电焊机不可过载，以免线圈过热烧坏。在室外运行，应避免雨水浸入。

3. 交流电焊机的故障处理

交流电焊机常见的故障及其处理方法见表 10-10。

表 10-10 交流电焊机常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
焊机不起弧	1. 电源没有电压	1. 检查电源电压、刀闸开关和熔断器的接通情况
	2. 焊机接线错误	2. 检查初、次级的接线是否正确
	3. 焊机绕组有短路或断路	3. 检查线圈情况
	4. 电源电压过低	4. 调整电源电压
	5. 电源线截面太小或焊接电缆截面太小	5. 按表 10-9 选用截面足够的电线
焊机线圈过热	1. 焊机过载	1. 按规定的暂载率下的焊接电流值使用
	2. 焊机线圈短路	2. 重绕线圈，更换绝缘
焊机铁心过热	1. 电源电压超过额定电压	1. 用电压表检查电源电压值并与焊机铭牌上的规定值相对照
	2. 铁心硅钢片短路	2. 清洗硅钢片，并重刷绝缘漆
	3. 铁心夹紧螺杆及夹件的绝缘损坏	3. 更换绝缘材料
	4. 重绕初级线圈后，线圈匝数不足	4. 检查线圈匝数，并验算各项电气技术数据
熔断丝经常熔断	1. 电源线有短路或接地	1. 检查电源线的情况
	2. 初级或次级线圈短路	2. 检查线圈情况，更换绝缘，重绕线圈

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	处理方法
焊机外壳麻电	1. 线圈接地 2. 电源引线或焊接电缆碰外壳	1. 用兆欧表检查各线圈绝缘电阻 2. 检查电源引线和焊接电缆与接线端子板的连接情况
焊机振动及响声过大	1. 动铁心上的螺杆和拉紧弹簧松动或脱落 2. 传动动铁心或动线圈的机构有故障 3. 线圈短路	1. 加固动铁心及拉紧弹簧 2. 检修传动机构如手柄、螺杆、齿轮等 3. 更换绝缘，重绕线圈
焊接电流不能调节	1. 传动动铁心或动线圈的机构有故障 2. 重绕电抗器线圈后，匝数不足，焊接电流不能调节得较小	1. 检修传动机构 2. 适当增加电抗器线圈匝数
调节手柄不动，或动铁心不能移动	1. 调节机构上油垢太多或已锈住 2. 移动路线上有障碍 3. 调节机构已磨损	1. 清洗除锈 2. 清除障碍物 3. 检修更换磨损的零件
焊机绕组绝缘太低	1. 线圈受潮 2. 线圈长期过热，绝缘老化	1. 在100～110°C的烘干炉中烘干 2. 更换绝缘，重绕线圈

10-7 手电钻的电气维护

常用的手电钻都是单相供电的。单相电钻主要由交直流两用串励式电动机、减速箱、快速切断自动复位手揿式开关和钻轧头等部分组成，其结构见图 10-7。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

单相串励电动机有很大的起动转矩和软的机械特性，因此，当负载增加时，转速随即下降，而转矩增大。由于单相串励电机的空载转速非常高，所以电钻修复后一般不可拆下减速机构试车，以防飞车而损坏电枢绕组。

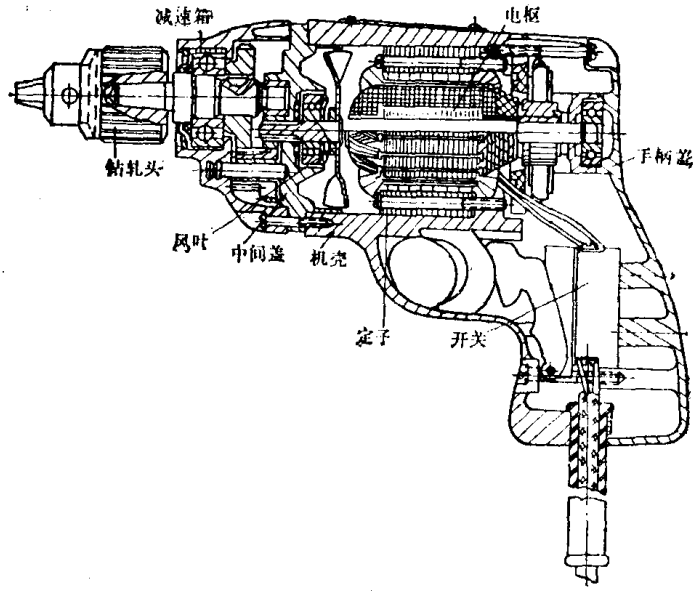


图 10-7　JIZ 型电钻结构图

1．单相电钻常见故障及处理方法见表 10-11。

表 10-11　单相电钻常见故障及处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
电钻不能起动	1．电源线断路	1．用万用表或校验灯检查，如断线，调换电源线
	2．开关损坏	2．用万用表、校验灯检查，修理或调换开关

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	处理方法
电钻不能起动	3. 电刷和整流子不接触	3. 调整电刷压力及改善接触面
	4. 定子绕组断路	4. 如断在出线处，可重焊后使用。否则要重绕
	5. 转子绕组严重断路	5. 重绕绕组
	6. 减速齿轮轧住或损坏	6. 修理或调换齿轮
电钻转速慢	1. 转子绕组短路或断路	1. 电钻转速慢、力矩也小，整流子与电刷间产生很大火花，火花呈红色。停车后： ① 用短路侦察器检查，如绕组短路，重绕绕组 ② 用万用表检查整流子与绕组连接处，如发现少量断路或脱焊，应连接重焊
	2. 定子绕组通地或短路	2. 用兆欧表、校验灯检查定子绕组对地绝缘或用电压降法检查各个绕组。如发现短路绕组，须加以修复或重绕
	3. 轴承磨损或减速齿轮损坏	3. 调换轴承或齿轮
整流子与电刷间火花较大	1. 定、转子绕组短路或断路	1. 参考本表第二项中1、2点处理方法
	2. 电刷和整流子接触不良	2. 增加电刷压力；若电刷太短，应更换电刷或改善接触面
	3. 电刷规格不符	3. 调换电刷
转子在某一位置上能起动，在另一位置上不能起动	整流子与转子绕组连接处有两处以上断头	重焊
整流子发热	1. 电刷压力过大	1. 调整到适当压力
	2. 电刷规格不符	2. 更换电刷

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10-8 铅蓄电池的使用与维护

铅蓄电池的使用寿命，除制造工艺和化学成分等因素外，还有使用方面的因素。从使用的角度看，影响铅蓄电池寿命的主要原因是：电液比重的选择、初充电的状况、运行时充放电的情况、日常的维护和故障的处理。下面着重介绍3-Q型和6-Q型供汽车、拖拉机和内燃机等起动照明用的铅蓄电池的正确使用与维护。

1. 电液比重的大小将影响蓄电池的容量、电阻和使用寿命，通常比重在1.230时容量最大，比重为1.190时电阻最小。虽然比重大可以提高蓄电池的电动势，防止冬季结冰，但比重大的电液会加速极板和隔板的腐蚀，缩短电池的寿命。因此，电液的比重不能随便选择。

电液的比重受温度影响较大，目前规定30℃为电液比重的标准温度，如果是在其他温度下测得的比重，还应换算为30℃时电液比重，其换算公式如下：

$$\gamma_{30}=\gamma_t+0.0007(t-30)$$

式中 γ_{30}——30℃时的比重；

γ_t——测量的比重；

0.0007——电液比重的温度换算系数；

t——测量电液比重时，所测量的电液温度，零下为“－”，零上为“＋”。

电液的比重最好按各型号电池的具体要求进行选择，也可参照表10-13去选择。

2. 蓄电池在新装或大修后的第一次充电叫初充电，初充电是否良好，对电池的寿命影响很大。因此，初充电必须严格按充电规程进行。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 常用的220伏电钻技术数据见表10-12。

表10-12 220伏(单相串励

规格	输出功率(瓦)	额定电流(安)	额定转速 电机/钻头(转/分)	负载持续率(%)	定子 线径(毫米)	定子 每极匝数	定子 绕组尺寸图 A	B	a	b	C
6毫米	80.3	0.9	12000/870	40	0.38	244	45.5	52	35.5	42	6
	80.3	0.9	12000/870	40	0.31	256	46	55	31	41	6
10毫米	130	1.2	10800/540	40	0.38	198	58	61	43	46	7
	140	1.4	11500/570	40	0.44	170	48.5	55	36.5	43	6
13毫米	180	1.9	9750/390	40	0.51	180	63	74	43	54	8
	185	1.8	10000/400	40	0.51	150	60	70	44	52	8
13毫米	204	2.2	8500/442	60	0.51	140	51	56	—	—	9
16毫米	240	2.5	8500/333	60	0.62	140	51	62	—	—	9

注：转子绕组型式均为双层叠绕

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电动机)电钻技术数据

转子					整流子片数	电刷
槽数	线径（毫米）	每槽导线根数	每绕组匝数	绕组节距		牌号
9	0.23	252	42	1～5	27	DS-74B
9	0.23	252	42	1～5	27	DS-8
12	0.27	156	26	1～6	36	DS-8
13	0.29	144	24	1～7	39	DS-8
12	0.38	132	22	1～6	36	DS-8
12	0.35	138	23	1～6	36	DS-8
13	0.35	120	20	1～7	39	DS-8或DS-14
13	0.41	102	17	1～7	39	DS-8或DS-14

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-13　起动型铅蓄电池电液比重选择参照表

地　　区	冬季最低温度在0°C以上	冬季最低温度在0°C～－15°C	冬季最低温度在－15°C以下
选用比重	1.220～1.240	1.220～1.260	1.240～1.280
备　　注	夏季靠下限，冬季靠上限		

（1）将配好比重的电液装入电池内，液面要高出防护板10～15毫米。静置8小时后，才能进行初充电。

（2）初充电的电流和时间见表10-14。

表 10-14　部分起动型铅蓄电池性能表

蓄电池型号	单体电池极板数（片）	额定电压（伏）	额定容量（安时）	初充电时间（小时）	初充电电流（安）	普通充电电流（安）	普通充电时间（小时）	单体电池终止电压（伏）	起动放电电流（安）
3-Q-70	11	6	70	60左右	5	7	12～16	1.7	210
3-Q-84	13		84		6	8.4			250
3-Q-98	15		98		7	9.8			295
3-Q-112	17		112		8	11.2			335
3-Q-126	19		126		9	12.6			380
3-Q-140	21		140		10	14.0			420
3-Q-154	23		154		11	15.4			460
3-Q-168	25		168		12	16.8			505
3-Q-182	27		182		13	18.2			545
6-Q-56	9	12	56	60左右	4	5.6	12～16	1.7	170
6-Q-70	11		70		5	7.0			210
6-Q-84	13		84		6	8.4			250
6-Q-98	15		98		7	9.8			295
6-Q-112	17		112		8	11.2			335
6-Q-126	19		126		9	12.6			380
6-Q-140	21		140		10	14.0			420
6-Q-154	23		154		11	15.4			460
6-Q-168	25		168		12	16.8			505
6-Q-182	27		182		13	18.2			545

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在整个充电过程中，电液温度接近45℃时，要将充电电流减半；超过45℃时，要暂停充电。

(3) 在初充电的后期要经常测量电池的端电压及电液的比重，等到电液内有大量气体发生，端电压及比重在2～3小时内不改变时，即为初充电完毕。

(4) 初充电完毕，电液比重如不在规定范围内，可用比重为1.4的稀硫酸或蒸馏水调整，并使液面高出电池内的防护板10～15毫米，继续充电1小时，如此调整2～3次。

3. 在起动发动机的过程中，蓄电池的放电电流一般为300～600安，这样大的放电电流对蓄电池的寿命危害极大，因此起动时间一定要严格控制，每次不得超过3～5秒，连续两次起动时要间隔5～10秒钟。

蓄电池的电液比重低于1.150，单体端电压不足1.7伏时，就要进行普通充电。普通充电有定电流充电和定电压充电两种。定电流充电就是在室内用充电机进行充电，充电的时间和电流见表10-14。充电时的温度及后期的操作与初充电时的要求相同。

在汽车上，由于蓄电池和发电机是并联连接的。当发电机正常运转时，就要向蓄电池进行定电压充电。充电电压过高，会出现过充电现象，使正极板氧化；充电电压过低，会使电池长期处于亏电状态，使电池硫化。因此，发电机的端电压要调节得合适，对于硅整流发电机额定电压在半载时的调整一般为：12伏电系的标准充电电压为13.8～14.5伏；24伏电系的标准充电电压为27.6～29伏。

4. 铅蓄电池日常维护和故障处理

(1) 保持电池加水帽气孔畅通，严禁杂物落入电池内，经常检查电液比重和液面高低，定期补加蒸馏水。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 为防止极柱生长硫酸铅，应经常涂些凡士林油，并保持电池清洁。

(3) 放过电的电池或搁置不用的电池，应按普通充电要求充足电保存起来，以后每月补充一次。放置地点应干燥通风，无阳光直接照射，环境温度保持在0～40℃之间。

(4) 铅蓄电池常见故障及处理方法见表10-15。

表10-15 铅蓄电池常见故障及处理方法

现象	故障特征	发生原因	处理方法
极板短路	1. 充电或放电时电压比较低(有时为零) 2. 充电过程中电液比重不能升高 3. 充电时冒气泡少而且气泡发生晚	1. 极板上活性物质脱落，卡在极板间 2. 沉淀物过多，将极板下部短路 3. 极板弯曲，致使隔板破坏	1. 更换隔离板 2. 清除沉淀物
极板硫化	1. 充电时冒气泡过早或一开始充电即冒气泡 2. 充电时电压过高，放电时电压降落很快，且电液比重低于正常值 3. 正极板呈浅褐色，还有白点	1. 经常充电不足 2. 充放电电流过大 3. 放电后未及时充电 4. 电液不纯 5. 电液比重过高 6. 电液液面低落以致极板上部硫化	1. 采用过充电以恢复活性物质 2. 调整电液比重 3. 以小电流反复充电 4. 采用水处理法
极板弯曲	1. 极板弯曲 2. 极板龟裂	1. 充放电电流过大 2. 长期过放电	1. 更换电液 2. 用木板插入校正极板

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

现象	故障特征	发生原因	处理方法
极板弯曲	3. 阴极板铅绵肿起并成苔状瘤子	3. 长期过充电 4. 充电温度过高 5. 电液不纯	3. 更换极板
沉淀物过多	1. 电池容器下部有大量沉淀物 2. 电池容量降低，充放电时电压低 3. 极板有短路现象	1. 充放电电流过大 2. 电液不纯 3. 充电时电液温度过高	1. 用硝酸银对电液作定性检查，是否有氯根 2. 注意掌握充放电电流 3. 消除沉淀物
容器破损	1. 电液漏出 2. 绝缘电阻低 3. 电压降低	1. 安装不正确 2. 容器质量不好 3. 铅木箱铅层氧化 4. 局部发热	1. 短接故障电池 2. 更换容器

10-9 家用电风扇的使用与维护

家庭常用的电扇大多是台式电扇，这种电扇多采用单相交流电容式或罩极式电动机运转。电容式电动机具有起动性能好、运转可靠、效率高和运转时声音低等优点，但结构比罩极式稍复杂。罩极式电动机具有结构简单、经济耐用的优点，但起动转矩很小，耗电量较大。如250毫米的台扇，风量基本相同，电容式电扇耗电为32瓦，而罩极式电扇耗电却为45瓦。

1. 台式电风扇的分类和主要技术性能

交流台式电风扇一般分为三类：①简易型风扇：没有摇头装置，不能调速；②普通型风扇：带有摇头装置，可以调速；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

②高级型风扇：带有控制摇头角度装置、能多级调速和定时控制，有的还带有感应停转和温控装置等。交流台式电风扇的主要技术性能如下：

(1) 常用台扇的风量、使用值和耗用功率见表 10-16。

表 10-16 常用台扇的风量、使用值和耗用功率表

项目 \ 台扇规格(毫米)	罩极式			电容式			
	200(8英寸)	230(9英寸)	250(10英寸)	250(10英寸)	300(12英寸)	350(14英寸)	400(16英寸)
风量(米³/分)	16	20	24	24	34	46	60
耗用功率(瓦)	32	38	45	32	46	54	66
使用值(米³/分·瓦)	0.50	0.53	0.55	0.70	0.75	0.85	0.90
风速为1米/秒时离风扇的距离(下限为低速，上限为高速)	2～3米		2.4～3.4米	2.4～3.4米	2.7～3.8米	3～4.4米	3.6～5.2米

在炎热的夏天，正常人在1米/秒的风速下才感到凉爽，所以有人以风速的大小来选择风扇的尺寸和容量。但1米/秒的风速与离开风扇的距离及风扇的规格有关，表10-16中的数据，可供选用风扇尺寸时参考。

(2) 绝缘性能

电动机绕组对机壳的绝缘，应能承受频率为50赫、1500伏(对单相电机)的耐压试验，历时1分钟，不发生击穿或闪络现象为合格。

风扇在130%额定电压下空载运转5分钟后，其匝间绝缘不应发生击穿或短路现象。

(3) 风扇各部分的容许温升，见表10-17。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-17　风扇各部分的容许温升

测量部位	最高容许温升(以环境温度40°C为基准)°C		测量方法
	A 级 绝 缘	E 级 绝 缘	
绕　组	55	70	电 阻 法
铁　心	45	60	温 度 计 法
机壳表面	30	30	温 度 计 法

(4) 易损零件寿命

风扇的轴承和传动齿轮的使用寿命不应低于5000小时。风扇调速开关在额定电压下，加以最大负载电流，经5000次操作试验后应仍能正常使用。

(5) 噪声要求

台扇的噪声应在60分贝以下。

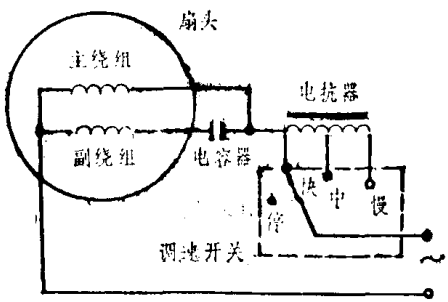


图 10-8　电容式电扇调速原理

交流台式风扇的调速方法，分为电抗器法和抽头法，但电抗器法应用较广泛。电抗器法就是通过电抗器的不同抽头与调速开关相接，用改变电动机端电压的办法来达到调速的目的，原理见图10-8。

2. 电风扇的使用和维护

(1) 为确保安全，电扇在使用前应检验铭牌上的电压等级是否与使用电源相符。并认真检查电源线有无断线，绝缘有无损坏处，特别要注意相线与接地线的插头不能接错。最好用500伏兆欧表检查电机绕组是否接外壳，绝缘电阻应大于0.5兆欧方可使用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 检查螺钉是否拧紧，风叶及防护罩是否装好，与其他部分有无碰擦，调速开关是否灵活等，使用前应在轴承加油孔中加数滴缝纫机油。

(3) 电扇在正常情况下可连续运转，但要注意温升，如果手感很烫，说明电机过热，应停止使用。

(4) 为了保持风扇外表的整洁美观，可用沾湿肥皂水的软布擦净，然后用干的软布擦干，切勿用汽油、苯或酒精等溶剂擦拭，以免损伤油漆，失去光泽。

3. 台式电风扇常见故障及排除方法，见表 10-18。

表 10-18 台式电风扇常见故障及排除方法

故障现象	可能原因	排除方法
电扇不能起动	1. 电源线损坏，电源开关、调速开关及定时开关接触不良或连接线断开	1. 更换或修理电源线和各种开关，焊牢断开的连接线
	2. 电机定子线圈损坏	2. 更换新线圈，处理故障点
	3. 电机轴承缺油或油污严重	3. 清洗电机轴承，重新加油
	4. 轴承孔太松，引起定、转子相擦	4. 更换轴承
	5. 电容器损坏	5. 更换同规格的电容器
电扇摇头失灵	1. 与摇头机构连接的横担损坏，或连杆开口销脱落	1. 更换连杆横担或重配开口销
	2. 离合器弹簧断裂或齿轮损坏	2. 更换弹簧或齿轮
	3. 离合器上下端不啮合	3. 重新调整离合器
	4. 摇头传动部分不灵活	4. 清洗、加油，重新调整传动机构

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	排除方法
电扇运转时有杂声	1. 风叶止动螺钉松动 2. 风叶变形或不平衡 3. 轴向移动大(前后伸缩) 4. 轴承松动或损坏 5. 定、转子空隙间有杂物 6. 调速绕组铁片松动	1. 拧紧止动螺钉 2. 校正和平衡风叶 3. 适当垫纸箔垫圈 4. 更换轴承 5. 清除杂物 6. 拧紧铁片，夹紧螺钉
电扇运转时振颤	1. 风叶变形，引起不平衡 2. 风叶套筒与转轴公差大 3. 转轴伸头弯曲	1. 矫正变形的风叶 2. 镶套筒或更换风叶 3. 矫直或更换转轴
电扇外壳带电(麻手)	1. 连接线或引出线破裂 2. 电容器漏电（一端与外壳相连） 3. 电机绕组绝缘老化或烧坏	1. 更换连接线或引出线 2. 更换电容器，处理好绝缘 3. 重绕绕组
电扇琴键开关拨下后不通电，或任何两档被同时扣住	1. 导线与开关脱焊 2. 通电簧变形与通电片接触不好 3. 自锁片脱落或失去作用	1. 重新焊好 2. 拆下开关，修理通电簧片 3. 重新修配
电扇在起动或运转中冒火花	1. 电机绕组受潮 2. 绕组绝缘损坏，时而碰外壳	1. 干燥后浸漆 2. 更换绕组，损坏不严重时，可浸漆加强绝缘
电扇在运行中冒烟	1. 绕组线圈匝间短路 2. 调速电抗器线圈短路	1. 更换绕组线圈 2. 更换电抗器
合上电源开关，指示灯不亮	1. 指示灯座松动 2. 指示灯损坏 3. 电阻或感应线圈损坏	1. 拧紧指示灯座 2. 更换指示灯 3. 更换电阻或感应线圈

www.789pdf.com 789书库网

4. 常用台扇电动机主要数据见表 10-19 和表 10-20。

表 10-19 电容式台扇电动机的主要技术数据(220V,50Hz)

序号		1	2	3	4	5	6	7	8
规格(毫米)		250	250	300	300	350	350	400	400
极数		4	4	4	4	4	4	4	4
定子铁心	外径(毫米)	Φ88	Φ88	Φ88	Φ78	Φ88.5	Φ88.5	Φ88.5	Φ88.4
	内径(毫米)	Φ44.7	Φ44.7	Φ44.7	Φ44.5	Φ49	Φ49	Φ49	Φ49
	长度(毫米)	20	20	26	24	25	25	35	32
	槽数	8	8	8	16	16	16	16	16
转子	外径(毫米)	Φ44	Φ44	Φ44	Φ43.8	Φ48.3	Φ48.3	Φ48.3	Φ48.3
	槽数	17	17	17	22	22	22	22	22
主绕组	线规(毫米)	Φ0.17	Φ0.17	Φ0.17	Φ0.17	Φ0.21	Φ0.19	Φ0.23	Φ0.21

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

主绕组	每槽匝数×线圈只数	935×4	850×4	634×4	800×4	720×4	760×3+(650+110)	570×4	550×4
副绕组	线规(毫米)	Φ0.15	Φ0.15	Φ0.19	Φ0.15	Φ0.17	Φ0.19	Φ0.19	Φ0.19
	每槽匝数×线圈只数	1020×4	1020×4+(500+300)×2	620×4	(500+500)×4	930×4	(480+480)×4	720×4	(350+350)×4
电容器	容量(微法)	1	1	1.5	1	1.2	1.2	1.2	1.2
	工作电压(伏)	500	500	400	400	500	400	500	400
调速方法		电抗	抽头	电抗	抽头	电抗	抽头	电抗	抽头
线模尺寸(毫米)(长×宽×厚)		34×35×4.5	34×35×4.5	34×41×4.5	主32×32×7 副34×36×7	主39×37×8 副35×37×8	35×40×7	主39×44×8 副35×44×8	35×40×7
线圈跨距		1～3	1～3	1～3	1～4	1～4	1～4	1～4	1～4
绕组型式		双层链式	双层链式 LII 型	双层链式	单层链式 LII 型	单层链式	单层T型	单层链式	单层链式 LII 型

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-20　罩极式台扇电动机的主要技术数据(220V、50Hz)

序号		1	2	3	4
规格(毫米)		200	200	300	400
极数		2	2	4	4
定子铁心	外径(毫米)	Φ60	Φ59	Φ88	Φ108/95.7
	内径(毫米)	Φ30	Φ28	Φ44.7	Φ51
	长度(毫米)	25	32	32	32
转子槽数		15	15	17	22
绕组	线规(毫米)	Φ0.17	Φ0.19	Φ0.27	Φ0.47
	每极匝数×线圈只数	1270×2	(800+500)×2	510×4	450×4
	线模尺寸(毫米)(长×宽×厚)	34×34×7	42×30×5	40×27×6	40×31×10
调速方法		电抗	抽头	电抗	电抗

10-10　家用洗衣机的使用与维护

1．洗衣机的分类

家用洗衣机一般按照结构原理和自动化程度进行分类。

(1) 按结构原理分，洗衣机可分为波轮式、滚筒式和搅拌式。目前国产小型家用洗衣机主要是波轮式。

(2) 按自动化程度分，洗衣机可分为普通型、半自动型和全自动型。

① 普通型洗衣机的特点是结构简单，搬动容易。这类洗衣机多数装有定时器，可按衣服脏污程度来选定洗涤、漂洗时间。一到预定时间洗衣机即自动停机。但它一般无脱水装置，需人工拧干再去晾晒。这种洗衣机的电气原理见图 10-9。

② 半自动洗衣机由洗衣和脱水两部分组成，可以在洗衣桶中按预定程序自动完成洗涤和漂洗过程，但不能自动脱水。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

脱水时要由人工把衣服从洗衣桶中取出再放入脱水桶中进行脱水。

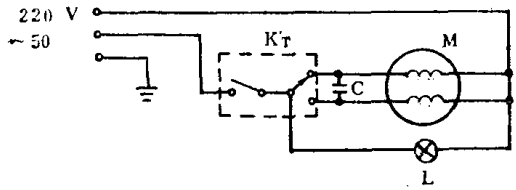


图 10-9　普通型洗衣机电气原理图

M-洗涤电动机　C-运转电容　K_T-定时换向开关　L-指示灯

③　全自动洗衣机只要选定所需的工作程序，把控制旋钮调到适当位置，不需要人控制，就可以自动进水、排水、自动完成洗涤、漂洗和脱水过程。

2．洗衣机的主要技术性能

洗衣机的技术性能内容较多，现仅将电气部分的技术性能列于表 10-21 中。

表 10-21　洗衣机的主要技术性能(电气部分)

项目		技术性能和指标	
定时电器及阀门开关	要求动作准确，调定时间与刻度值基本一致		
	开关位置	动作要求	
		滚筒式	波轮式
	洗涤漂洗	在水位不低于水位线时，滚筒能以“正转”、“停”、“反转”、“停”为一周期运转	能以“正转”、“停”、“反转”、“停”为一周期运转
	排水	停电，排水	停电，排水
	脱水	滚筒高速旋转，排水管排水	脱水桶运转，波轮同时单向旋转，排水管排水

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

项　　目	技　术　性　能　和　指　标
电气安全性能	洗衣机的金属外壳应有接地装置，接地电阻应不大于0.2欧，整机线路应能承受1500伏、一分钟的耐压试验而无击穿或闪络现象。电动机的绕组绝缘电阻不得低于0.5兆欧；电机的温升和噪声等技术性能应符合微型驱动电动机的有关规定

3．洗衣机的使用和维护

洗衣机的使用涉及到洗涤对象、洗涤时间、洗涤用水量和洗涤剂等多种方面，这里仅从电气维护的角度来介绍如何正确使用洗衣机。

(1) 首先要检查洗衣机铭牌上的电压是否与使用电压等级一致，并接好地线以保安全。

(2) 洗涤前应仔细检查衣服口袋，取出硬币、别针、钥匙等金属物和硬件，以免洗涤时卡住波轮盘，使电动机过载而烧坏。

(3) 洗涤时应按规定重量放置干衣和加水量，不要过量，这可延长电机使用时间，否则长期过载会损坏电动机。

(4) 不能反拧定时器

(5) 洗衣机的电气设备多采用双重绝缘，但洗衣机长期处在潮湿的环境中，绝缘易损坏，因此要经常检查电气设备的绝缘情况和保护装置是否可靠。

(6) 洗衣机的电动机轴、波轮轴等旋转处的含油轴承，每隔2～3月左右要注些润滑油，以防机械磨损，使电机过载而损坏。

4．洗衣机常见故障和排除方法见表10-22。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-22　普通型洗衣机常见故障和排除方法

故障现象	可能原因	排除方法
电动机无声，波轮不转	1. 电源插头接触不良，或熔丝烧断 2. 定时器不良，或电容损坏 3. 电机绕组断线或烧坏	1. 检修电源插销，更换熔丝 2. 检修定时器，更换电容 3. 参照本手册，电动机维护与检修一节，进行检修
电动机有"哼哼"声，波轮不转	1. 波轮被异物卡住 2. 电源电压过低 3. 电动机本身损坏	1. 拆下波轮取出异物 2. 等待电源电压回升 3. 修电动机
电动机运转正常，而波轮运转不良	1. 传动皮带松脱 2. 皮带轮松脱	1. 调整皮带轮位，张紧皮带 2. 检修传动键或传动螺钉
电动机及波轮不按正常周期工作	1. 定时器损坏 2. 传动部件损坏	1. 检修定时器 2. 检修传动部件
声音异常	1. 装配不良，机件松动 2. 润滑不良 3. 电动机发生故障 4. 传动皮带损坏开裂 5. 传动机构部件脱落	1. 重新调整紧固 2. 在需要润滑处适量加油 3. 检修电动机 4. 检修或更换皮带 5. 检修装好的部件
洗衣机运转时振动和摇晃	1. 安装不正 2. 传动系统的减震装置松脱	1. 找平摆正 2. 检修传动系统，使减震装置完好
电动机只能朝一个方向转动	1. 定时开关触点粘接 2. 电容器损坏或开路	1. 清擦定时开关触点 2. 更换电容器，或焊牢断开点
电动机过热，运转中停转	1. 洗衣过多，造成过载 2. 传动系统卡住	1. 减少洗衣量 2. 检修传动系统

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	排除方法
	3. 电动机本身质量不好	3. 检修或更换电动机
“麻手”触电	1. 未接好地线，静电积累	1. 接好地线
	2. 电机、电容、导线等电气部件受潮后绝缘不良	2. 认真检查和处理电气部件的绝缘，接好地线
洗涤效果不好	1. 洗涤方法不当	1. 参考洗衣机说明书及有关资料，改进操作和洗涤方法
	2. 传动系统和波轮转动不正常	2. 检修和调整传动系统及波轮
漏水	1. 排水软管安装不良	1. 检修排水管加强密封
	2. 排水软管有漏洞	2. 用粘合剂粘补或换新管
	3. 洗涤水量过多而外溢	3. 适当减少水量
	4. 波轮轴密封圈损坏	4. 更换新的密封圈

10-11 家用电冰箱的使用与维护

家用电冰箱的种类较多，按照制冷方式可分为压缩式、吸收式、半导体制冷式和电磁振荡式等四种。按结构型式可分为普通冰箱(冷藏温度为0～8℃的单门冰箱)；双温冰箱(具有独立的冷藏室和冷冻室，冷藏室温度范围为0～8℃，冷冻室温度范围为－6～－18℃)。家庭常用冰箱的容积系列和基本参数见表10-23。

对于家用双温电冰箱的冷冻室温度等级，国际上常用“星级”来划分，见表10-24。

1. 压缩式冰箱的制冷原理和电气控制系统

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-23　家庭常用冰箱的容积和基本参数

制冷方式	容　积　(升)	名义制冷量(千卡/时)	输入功率(瓦)
电动机压缩式	100	100	100～150
	120	125	150～180
	150	125	150～180
	200	160	180～200
	250	200	200～250
	300	250	250～300
	400	350～400	350～400
吸收式	20	15～20	100
	50	30～40	150
	100	50～60	190
	150	70～80	220
	200	100	300

表 10-24　家用双温电冰箱冷冻室温度分级

标　准	分级名称	符　号	冷冻室温度	冻结食品大约保存时间
ISO（国际标准化组织）	一星级	*	－6℃以下	0.4个月(BS)
BS（英国标准）	二星级	**	－12℃以下	1个月(BS)
DIN（西德标准）	三星级	***	－18℃以下	3个月(BS)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

标　　准	分级名称	符　　号	冷冻室温度	冻结食品大约保存时间
JIS（日本标准）	二星级	**	-12°C以下	1个月
	高二星级	**	-15°C以下	1.8个月
	三星级	***	-18°C以下	3个月

压缩式冰箱的制冷系统主要由蒸发器、毛细管、冷凝器和压缩机等部分组成，这些设备之间用管道依次连接形成一个封闭系统，见图10-10。

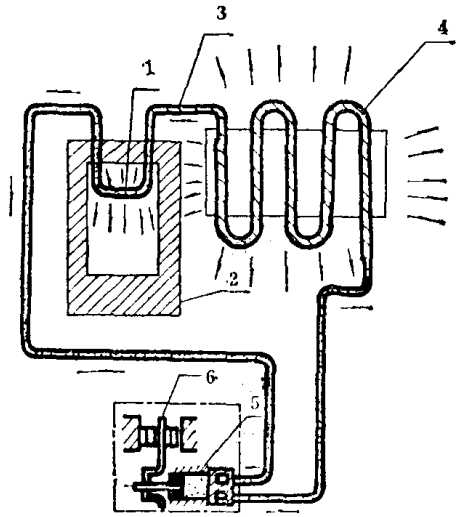


图10-10　压缩式电冰箱制冷示意图

1-蒸发器　2-箱体　3-毛细管　4-冷凝器　5-压缩机　6-电动机

蒸发器内的液态制冷剂吸收冰箱内的大量热量后变成气态。压缩机将气态制冷剂吸入汽缸，经压缩变成高温高压的蒸气送往冷凝器。较高温度的蒸气在冷凝器中与温度较低的周围空气进行热交换，使蒸气冷凝为液态，再经过毛细管节流，降低压力后进入蒸发器。液态的制冷剂又在蒸发器内吸热气化。如此周

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

而复始，不断地将冰箱内的温度降低。

压缩式冰箱的电气控制系统主要由温度控制器、压缩机电动机、起动继电器和保护继电器等组成，见图10-11。由图可见，

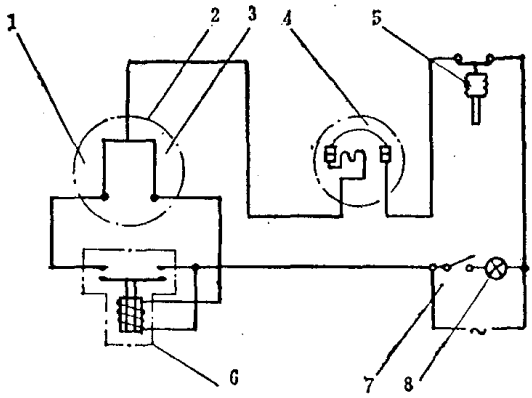


图 10-11　压缩式电冰箱电气控制系统图

1-起动绕组　2-压缩机电动机　3-工作绕组　4-保护继电器　5-温度控制器　6-起动继电器　7-门灯开关　8-照明灯

温度控制器接点、保护继电器接点都与压缩机电动机工作绕组串联，而起动继电器的接点与电动机起动绕组串联。当冰箱内温度高于调节温度时，温度控制器动作，接通电路，因电动机起动电流较大，起动继电器动作，接通接点，起动绕组中流过电流；当电动机正常运转时，电流减小，起动接点断开，只有工作绕组流过电流，维持电动机运转。

2．电冰箱的使用和维护

使用电冰箱涉及到的内容很多，这里着重从电气维护的角度介绍如何正确使用电冰箱。

(1) 电冰箱铭牌上所标的额定电压应与使用电压等级相符，接好地线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(2) 电冰箱应安装在阴凉通风的地方，附近不能有火炉、暖气等热源，也不要与墙壁靠得太近(不得小于10厘米)，以免冷凝器通风散热不好，使电机负荷过大而烧坏。

(3) 温度控制器上所标的0、1、2、3、4等数字，并不代表某一特定温度，但数字越大，温度越低。顺时针旋动温控旋钮，温度下降，但不可一次调得过低，而应渐次降低，每次调整后要等温控器自动开停多次(约2小时左右)箱内温度才可稳定。

(4) 使用冰箱时应注意开门次数不能太多，开门时间不可太长，更不能将热的物品直接放入冰箱，否则会增加电动机负荷时间，不仅费电，还会使电机长期运转而易损坏。

(5) 应经常保持冰箱内外的清洁，箱体内外胆壳可用软布沾中性洗净剂擦净，但严禁使用热开水，汽油或有机溶剂擦洗，对裸露在箱体后部的冷凝器和压缩机等机件应经常扫去表面灰尘。

3. 电冰箱常见故障及排除方法见表10-25。

表10-25 电冰箱常见故障及排除方法

故障现象	可能原因	排除方法
压缩机不运转	1. 电压低。我国某些地区在用电高峰时，电网电压常达不到额定电压的80%，造成压缩机只"嗡嗡"响而不转动 2. 温控器失灵。温控器封闭空间漏气，这样即使箱温升高仍无法使压缩机起动 3. 热保护元件失控。双金属片失效或调节螺丝调节失灵 4. 起动继电器故障。起动触点不能自动接触，电动机发出	1. 用万用表测量输入电压，确定是否电压过低，如是电压过低，则在用电高峰时停机或加调压器 2. 对温控器检漏并补焊，重新充气，或更换新温控器 3. 更换双金属片，将调节螺丝调到正确位置 4. 检修起动继电器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

故障现象	可能原因	排除方法
压缩机不运转	“嗡嗡”响声而不转动 5. 电动机故障，或线圈烧坏	5. 检修或更换电动机
蒸发器不降温或降温极慢	1. 制冷剂泄漏，往往因制冷系统的管路接头外有裂纹、开焊或腐蚀点 2. 毛细管冻堵。制冷剂中残留水分超过百万分之二十(20 ppm)就将产生冻堵	1. 补焊而后检漏，再添加制冷剂 2. 用热毛巾敷裹毛细管以解冻，并加适量甲醇作抗冻剂
压缩机长期运行，尽管箱温已很低，却不能自动停车	温控器触点粘接	断电后将温控器旋钮旋至“停”点，再旋回原定点，重新通电后应正常，如仍不正常应予更换
压缩机虽长期运行，但箱内温度始终降不下来	1. 制冷剂泄漏 2. 冰箱负荷超载：如冰箱内盛物过多，有的物品温度过高或开门时间过长，次数过频	1. 补焊、检漏，补加制冷剂 2. 适当减少盛物量，并集中取放，以减少开门次数

10-12 电熨斗的使用与维护

电熨斗分为普通型和调温型两种。

普通型电熨斗无调温装置，温度的高低靠人为拔插电源插销来控制。

调温型电熨斗有自动调温装置，一般可把温度控制在60～230℃之间。

一般家庭以选用普通型200～300瓦或调温型300瓦的电熨斗为宜。

调温电熨斗的电路主要由发热元件、调温元件和指示灯等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

组成，其原理见图 10-12。

电熨斗调温电路的工作原理如下：当熨斗刚接通电源时，动触点的双金属片平直，动触点与静触点接通，指示灯亮，电路中有电流，底板开始发热。随着底板温度的升高，双金属片开始弯曲，当温度达到规定值时，双金属片弯曲更大，使动、静触点分离，指示灯熄灭，电路被断开。当温度低于规定值时，双金属片恢复平直，使动、静触点接通，电路又开始工作，底板温度上升。这样反复循环，电熨斗底板的温度便被控制在选定的温度范围内。

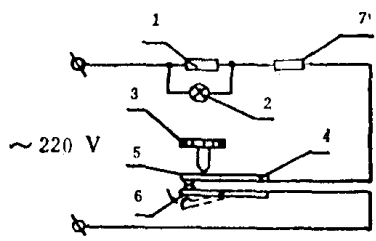


图 10-12 调温电熨斗电路原理图

1-降压电阻 2-指示灯 3-调温旋钮 4-金属片 5-静触点 6-动触点 7-发热元件

1. 电熨斗电气性能主要要求

(1) 绝缘性能 与一般电气设备绝缘性能要求相同，请参阅“家用电风扇的使用与维护”一节中有关绝缘性能部分。

(2) 发热时间 当周围空气温度不高于 20℃，在额定电压下，底板加热到 200℃ 所需的时间是：300 瓦的小于 12 分钟；500 瓦的小于 10 分钟；750～1000 瓦的小于 8 分钟。

(3) 调温器的要求 调温器上刻有被熨织物名称的各档标记，在任一档位置上，底板温度的波动幅度应不大于20℃。调温器的触点在额定电压下应能可靠操作一万次。

(4) 寿命在额定电压下，使用寿命不少于 500 小时。

2. 电熨斗的使用和维护

(1) 电熨斗是电热器具，在家庭中是一种耗电较大的电气设备。使用前要认真检查电源线、接线头和插头座是否有损坏

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

和松动的地方，最好用万用表检查发热元件是否断路或短路。

(2) 使用时应注意电熨斗铭牌上的额定电压是否与使用电压等级相符。一般电熨斗有三根引出线(有的只有二根引线)，其中一根是接地线，切勿接错。

(3) 对于自动调温电熨斗使用前应先将调温旋钮对准所熨织物标志，用完后把旋钮复位到"关"或"冷"处。

(4) 在熨烫时，如暂时不用，应将熨斗竖起搁置，切勿平放在工作台上。

(5) 熨烫结束时，断开电源，等底板温度降至室温后，再将熨斗放在干燥处，切勿受潮。

3. 电熨斗电热元件技术数据见表 10-26。

表 10-26 电熨斗电热元件技术数据

型 式	功率(瓦)	电压(伏)	电热元件结构	电热材料 Cr15Ni60(毫米)	冷态电阻(欧)
普通型	300	220	云母支架	0.4×0.1或Φ0.21	148
	500			0.8×0.08	89
	700			0.8×0.14	59.3
调温型	300	220	云母支架	0.4×0.1或Φ0.21	148
	500		管状元件Φ8×1	Φ0.45	89
	750		云母支架	0.8×0.14	59.3
	1000		管状元件Φ10×1	Φ0.27	44.5

10-13 电吹风机的主要性能及维护

电吹风机是一种结构较简单的整容器具，主要由微型电扇、电热元件和控制开关等组成。电吹风的风扇由微型电动机直接带动，空气从进风口吸入，经电热元件加热，热风从出风口吹出。电吹风按送风方式可分为轴流式和离心式两种；按电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

动机型式可分为单相交流感应式、交直流两用串励式和永磁直流式三种。

1. 电吹风机的主要性能和一般技术要求

(1) 主要性能指标

电吹风在额定电压和频率下工作时，距出风口平面中心60毫米处的风速和热风温升应符合表10-27的规定。

表10-27 电吹风的热风温升和风速参考表

额定功率(瓦)	热风温升 ℃		
	感应式	串励式	永磁直流式
250	60～85	35～60	
350	90～115	50～70	
450	120～145	65～85	
550	150～175	80～100	
风速(米/分)	390～450	520～600	800～1000

(2) 一般技术要求

起动性能 电吹风应能在85%额定电压下顺利起动。

功率容差 在额定电压下的实际消耗功率与额定功率的偏差不应大于±7.5%。

绝缘电阻 热态绝缘电阻应不低于1兆欧。

绝缘介电强度 应能承受下列试验电压，历时1分钟而不发生击穿或闪络现象：

额定电压	试验电压
220伏	1500伏
110伏	1200伏
24伏	750伏

元件寿命 电吹风发热元件使用寿命不低于1000小时，开

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

关操作寿命不低于1万次。

防潮性能　在温度为40±2℃，相对湿度95±3%的恒温恒湿箱内，连续放置48小时后，绝缘电阻不低于0.5兆欧，泄漏电流不大于1毫安，并能承受1000伏1分钟的绝缘介电强度试验。

2．电吹风的维护

电吹风的日常维护较简单，主要的工作是清扫电机内外的污垢，在轴承上加几滴油，检查电热元件是否损坏等。

如果电源电压正常，开关接触良好，电吹风机不吹风，则是电动机故障，可参照"电动机维护与检修"一节进行修理。若是电机运转正常，而无热风，则是电热元件损坏，应更换同规格的电热元件。

3．常用电吹风的主要技术数据见表10-28。

表10-28　几种电吹风的主要技术数据

额定电压、额定频率		220伏（交流）50赫			20伏(直流)
规格(瓦)		550	450	450	550
电流(安)		2.3	1.9	2.1	2.3
电动机	型式	638型2极罩极式电机	642型两极罩极式电机	636型交流串励式换向器电机	782型直流串励式电动机
	输入功率(瓦)	24	25	29	6
	电流(安)	0.26	0.16	0.15	0.3
	转速(转/分)	2500	2500	3500	5000
	轴承	5804球形铜基含油轴承			
	轴伸(毫米)	Φ4×20	Φ4×20	Φ4×14	Φ2.5×10
	气隙(毫米)	0.3	0.3	0.3	0.35
	绝缘等级	A	E	E	E

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

电动机	定子	绕组	线径（毫米）	油基漆包线 φ0.21	QZ φ0.15	QZ φ0.11	
			匝数×线圈数	2300×1	1600×2串联	1300×2串联	永磁(700～800GS)
		罩极铜棒		φ2.3×53.5	φ2.34(二根)	—	—
		铁心长度		18	19	24	14
	转子	线规		φ2.34	φ2.64	QE φ0.09	QE φ0.13
		匝数×线圈数		—	—	300×8(1－4)	510×3(串)
		端环		0.75×2紫铜板			
		斜槽数		1	1	—	—
	碳刷			—	—	DS8.3×4.5	2.5×2×2.5
镍铬电热线	线径(毫米)			0.31	0.27	0.27	0.31
	电阻(欧)			98	105	105	98
	螺距(毫米)			1.5～1.8	1.5	1.5	1.5
	总重(公斤)			0.95	0.71	0.7	0.45

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十一章 安全用电

11-1 安全用电的意义

在工作中、生活中，如果我们认识和掌握了“电”的性能和它的规律，那么，便可利用“电能”来为我们造福。如果使用不合理，安装不当，维修不及时或违反电气操作规程，则不仅将造成停电、停产、损坏设备、引起火灾等事故，甚至会造成人身伤亡，因此，搞好安全用电，应该引起极大重视。

11-2 触电的几种形式

11-2.1 单相触电

单相触电分两种情况：一种为中线接地的单相触电，见图11-1；另一种是中线不接地的单相触电，见图11-2。这两类触电，人体均承受相电压。

11-2.2 双相触电

不管电网的中性点是否接地，人体同时和两相火线接触，就形成两相触电，这时人体承受线电压，最危险，见图11-3。

11-2.3 跨步电压触电

当架空线路的一根带电导线断落在地上时，落地点的电位就是导线的电位，电流就会从落地点流入地中。如果人站在距离电线落地点8～10米范围以内，可能发生触电事故。这种触电叫做跨步电压触电。如发现跨步电压情况，应赶快把双脚并在一起或赶快用一条腿跳着脱离危险区。

11-2.4 接触电压触电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

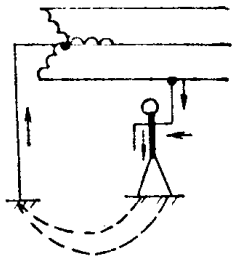


图 11-1 中线接地的单相触电

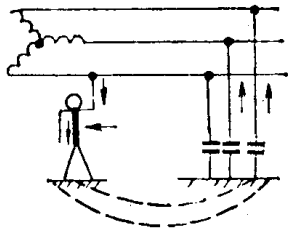


图 11-2 中线不接地的单相触电

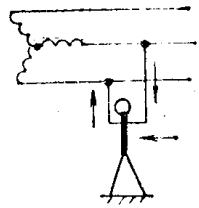


图 11-3 双相触电

导线接地后，不但会产生跨步电压触电，也会产生接触电压触电。这种触电形式主要表现在各设备公用同一接地线所致。这种触电对人体同样有危险。

11-3 发生触电事故的原因及预防措施

11-3.1 发生触电事故的原因

1. 电气设备安装不合格，维修不及时；
2. 电气设备受潮或绝缘受到损坏；
3. 电气线路布线不合理；
4. 工作中注意安全不够；
5. 普及安全用电常识不够。

11-3.2 预 防

为了防止触电事故的发生，必须采取防护措施，一般应注意以下几点：

1. 使用各种电气设备时，应严格遵守使用规程。
2. 根据生产现场情况，使用 12～36 伏的安全电压。
3. 正确安装电气设备，加装保护接地装置。带电的部分应当有防护罩或者放在不易接触之处或采用联锁装置。例如，刀开关要加护匣，当取下电磁起动器的护盖时，在结构上应保

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

证使它无法起动电动机等。

4. 尽量不带电工作。在危险场所，应严禁带电工作。必须带电工作时，应采用各种安全工具，如绝缘手套、绝缘鞋、绝缘棒、绝缘钳和必要的仪器仪表等。

5. 在易受潮或露天使用场合，可加装漏电保护开关。

6. 各种电气设备应定期检查，如发现漏电和其他故障时，应及时修理。

7. 加强安全用电常识的宣传教育工作。

11-4 常用电气安全工具

1. 绝缘棒 绝缘棒俗称令克棒，是用来操作隔离开关和进行其他带电工作的电气工具。它包括三个部分：工作部分、绝缘部分和手柄部分。绝缘棒有室内用和室外用两种，两者应分别保管，不能搞错。

2. 绝缘鞋和手套 绝缘手套用特种橡胶制成，绝缘强度和机械强度都很好。在高压操作时，绝对不允许用化学用的或医用的橡胶手套。这些手套没有足够的绝缘强度。绝缘鞋也是特制的。操作高压电气设备时，禁止用其他用途的胶皮鞋和防雨套鞋代替。穿绝缘鞋还可防止跨步电压的危险。

3. 绝缘垫 其主要作用和绝缘鞋相同，可以在任何电压下作为辅助安全用具。最小尺寸应不小于 75×75 厘米，但也不宜大于 150×100 厘米。其厚度为 5～7 毫米。决不允许用橡皮车胎剖开当绝缘垫使用。

4. 低压验电笔 低压验电笔是用来检查低压设备上是否带电的一种工具。验电笔须定期用摇表来校验，如果它的绝缘电阻小于 1 兆欧，则应禁止使用。低压验电笔严禁在高压电气设备上使用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11-5 触电紧急救护

1. 迅速而正确地解脱电源

触电者的生命能否得救，在绝大多数情况下，决定于能否迅速脱离电源和正确地施行人工呼吸。因此，电气工作人员必须掌握触电救护方法。发现有人触电时，首先应尽快采取正确的方法断开电源，见图 11-4。如不能立即断开电源时，救护人员可以用绝缘物作为工具，使触电者与电源分开。严禁用金属或潮湿物件作为工具。如果在高压设备上，发现有人触电时，应立即穿上绝缘鞋，戴上绝缘手套，并使用适合于该电压等级的绝缘棒或有绝缘把手的钳子作为工具，使触电者脱离带电设备。如果高空作业者触电时，要防止断电后触电人从高处摔下来的危险。

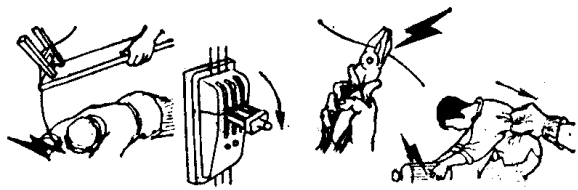


图 11-4 正确解脱电源的方法

2. 人工呼吸和心脏按摩

触电者脱离电源后，必须立即对触电的人首先进行呼吸和心跳的诊断，见图 11-5。如果触电人未失去知觉，仅因触电时间较长，或在触电过程中，曾一度昏迷，则必须让其保持安静。如果触电者已失去知觉，但呼吸尚存在，应将触电者安静地放到空气流通的地方，静卧休息。如发现触电者呼吸、脉膊及心脏跳动都已停止，此时仍然不能认为已经死去，一般称这

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 11-5　呼吸和心跳的诊断

种现象为"假死"现象。这时必须进行人工呼吸和心脏按摩方法解救。

(1) 人工呼吸

人工呼吸法是触电急救行之有效的科学方法。施行人工呼吸之前，应迅速解开触电者衣领、裤带等，并速将触电者口中的食物、假牙、血块、粘液等取出，使呼吸道畅通，然后使触电者的嘴张开，即可开始进行人工呼吸，方法如下：

对于尚有心跳而呼吸停止或呼吸不正常的触电者，用人工呼吸法。救护者站在触电者的一边，使触电者头部后仰，用一只手紧捏触电者的鼻孔，另一只手掰开触电者的嘴巴，准备吹气，见图 11-6a。救护者自己作深呼吸，然后紧贴触电者的嘴巴大口吹气，见图 11-6b，使触电者胸部扩张。吹气完毕，立即放松触电者的口、鼻，让其胸部自然地回缩，以达到呼气或排气，见图 11-6c。

图 11-6　人工呼吸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

按照以上步骤，连续不断地进行操作，每分钟约12次。对幼、小孩施行此法，不必捏鼻；如果开口困难，可以紧闭其嘴唇，对准鼻孔吹气(即口对鼻人工呼吸法)，效果相似。

(2) 心脏按摩法

除人工呼吸法外，还有一种心脏按摩法，即用人工的方法挤压心脏，代替心脏跳动，以达到血液循环的目的。凡是心脏停止或只有不规则的颤动时(大动脉摸不到跳动或左胸听不到心音)，应立即进行此法。具体操作步骤如下：

1) 触电者伸直仰卧，姿势与人工呼吸法相同，但后背着地处须结实(如硬地、木板之类)。

2) 救护者位于触电者一边，最好能骑跨在触电者的腰部。

3) 救护者将一手的掌根按置于触电者胸骨下端，中指指尖置于其颈部凹陷的边缘，掌根所在的地位即为正确压区，见图11-7。然后将另一只手叠于其上，自上向下均衡地用力挤压胸骨下端，使其下陷3～4厘米左右。

4) 然后突然放松挤压(要注意，手掌不能离胸壁)，依靠

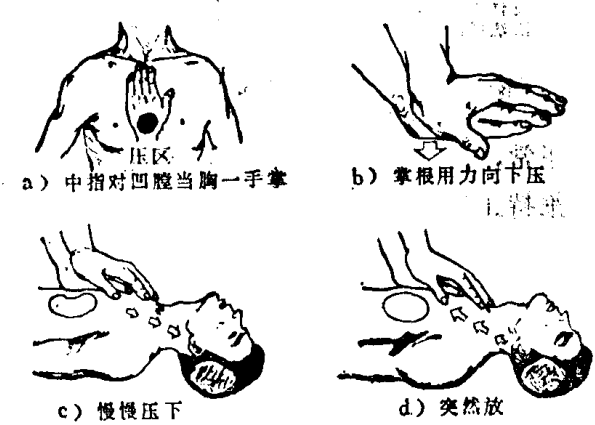


图11-7 心脏按摩法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

胸部的弹性自动恢复原状。

按照上述步骤，连续不断地进行操作，每分钟约60次，即每秒钟1次。挤压时定位须准确，压力要适当(对小孩用一手挤压就可以)。

以上两法可对症使用。如果心跳、呼吸同时停止，两法可同时进行。如果仅有一人救护时，两法可交替进行，先吹气2次，再心脏挤压15次，如此反复进行，见图11-8。

进行这样的抢救往往时间较长，不能中断休息。在抢救过程中，经过适当时间后，如果触电者面色好转，瞳孔缩小，心

图11-8 人工呼吸和按摩结合

跳和呼吸恢复正常，四肢可以活动，则可以暂停数秒钟进行观察。如果不能维持正常心跳和呼吸，必须立即继续进行抢救，决不能中断。

11-6 接地和接零装置

11-6.1 为什么要接地与接零

为了保证电气设备在正常和发生事故的情况下，能可靠地

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

运行，防止人体触及带电设备而触电，多采用将电气设备的金属外壳和外壳相连的金属物架与大地作电气上的连接，例如三相变压器中性点的接地、三相发电机中性点接地和防雷接地等，都叫做工作接地。为防止人体触及带电外壳导致触电，而将电动机、电器的金属外壳，例如发电机、电动机、变压器的外壳接地，电流互感器的铁心及副边线圈接地等，称为保护接地，其作用见图 11-9。当电气设备的绝缘损坏时，外壳便带电。其线路就与大地形成一个电容，如果人体触及设备外壳，便形成电流回路，电流便流过人体而触电。在装有接地装置的电气设备，当其绝缘损坏时，便形成两个电流回路：一个回路是经过接地体到电气设备；另一回路经过人体到电气设备。这是一个并联回路，通过每一个回路的电流与其电阻成反比。人体的电阻一般为 500～2000 欧，如果接地体的电阻很小（一般不大于 4 欧，当容量在 100 千伏安以下时可放宽不大于 10 欧），则通过人体的电流就很小，而绝大部分电流都通过接地体，从而保证了人身安全。

有时将电器、电动机的外壳与中性点直接接地系统中的零线相接，称为接零。接零只能在中性点接地的三相四线制系统中采用。

11-6.2　接地体及接地线的选择

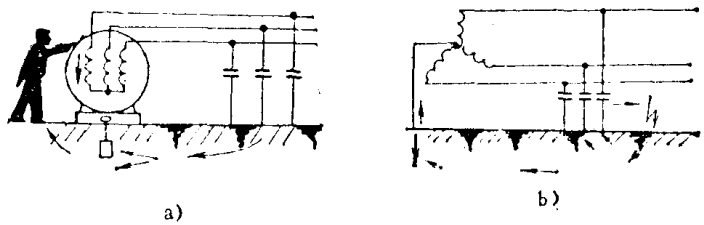


图 11-9　接地示意图

a) 有接地装置的电气设备　　b) 中性点接地线路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 接地体材料的选择

接地体的材料通常采用钢管、圆钢、角钢、扁钢等。接地体在地中可以垂直埋设，也可以水平埋设。接地体的直径对接地电阻的影响很小，但应有一定机械强度。垂直埋设时，钢管壁厚不得小于3.5毫米，管径应在25～50毫米间，以40毫米的为最常用；圆钢的直径不得小于19毫米；角钢不得小于30×30×4毫米，而以50×50×5毫米应用最广泛。水平埋设时，扁钢不应小于12×4毫米，圆钢直径不应小于6毫米。

接地体的接地电阻与入地深度有关。入地较深，则接地电阻较小，但是超过2.5米时，电阻减少很小，故垂直接地体的长度应在2～3米之间，通常采用2.5米。

2. 接地线的选择

表11-1 接地线的最小、最大截面

接地线类别		最小截面（毫米²）	最大截面（毫米²）
铜	移动电具引线的接地铜线	生活用0.2	25
		生产用1.0	
	绝缘铜线	1.5	
	裸铜线	4.0	
铝	绝缘铝线	2.5	35
	裸铝线	6.0	
扁钢	户内：厚度不小于3毫米	24.0	100
	户外：厚度不小于4毫米	48.0	
圆钢	户内：直径不小于5毫米	相当于19.6	100
	户外：直径不小于6毫米	相当于28.3	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

接地线包括连接多根接地体的连接线和接到电气设备的引出线。接地线的最小、最大截面见表 11-1。

11-6.3 接地装置的安装

1. 对安装的一般要求

(1) 所有电气设备应该接地的部分，都应直接与接地装置或与它的接地干线相连接，不许把几个接地的部分用接地线串联起来再与接地装置连接。

(2) 接地线必须用整线，中间不许有接头。

(3) 避雷器的接地线，应选择最短距离接到接地体，尽量避免弯曲。

(4) 在中心点接地系统中，不可以一部分保护接地，一部分保护接零，要求全部保护接零。如果各部分既保护接零，又同时保护接地，则更好。但不能只保护接地，不保护接零。在中心点不接地系统中，只允许保护接地，不准保护接零。

(5) 不论所需要的接地电阻是多少，接地体不能少于两根。

(6) 接地装置各接地体的连接，要用电焊或气焊焊接牢固，不允许用锡焊。在焊接不便时，可用螺丝、铆钉、线夹等连接。

(7) 接地体应尽量埋在大地冰冻层以下潮湿的土壤中。

(8) 若土壤电阻系数较大，不能满足接地电阻值的要求，可在接地体附近放置食盐、木炭等并加水，来降低土壤电阻系数。

(9) 为了减少相邻接地体的屏蔽作用，接地体之间的距离不应小于 2.5 米。

(10) 接地或接零的明线部分最好涂上黑漆。

2. 安装

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

接地装置包括接地体和接地线两部分。接地体又分自然接地体和人工接地体。自然接地体是利用与大地有可靠连接的金属管道和建筑物的金属结构等作为接地体。人工接地体是利用钢材制成不同形状的钢条，打入地下而成的。在可能的情况下，应尽量利用自然接地体。

接地体应由两根以上的钢管或角钢组成，以提高可靠性。比较常用的是几根钢管或角钢埋设成一排或一圈，并在其上端用扁钢或圆钢连接一个整体，见图 11-10。接地体各部分之间一般都用焊接，扁钢搭焊的长度应为宽度的 2 倍、圆钢搭焊长

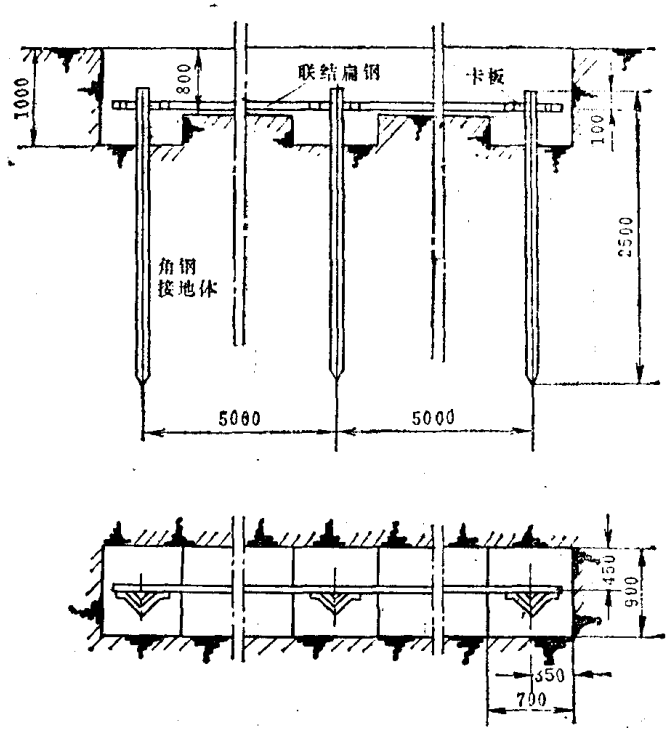


图 11-10　三根角钢组成的接地体

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度应为直径的6倍。为了可靠，有时需加焊卡板，见图11-11。

接地体在地中部分不应涂漆。

接地体和接地线安装结束后，应对其电阻值进行测量。测量结果应符合规程中所规定的电阻值，见表11-2。

接地装置的工频接地电阻简易计算式和土壤电阻率数值，见表11-3和11-4。

表11-2 电力设备接地装置的接地电阻容许值(欧)

接地装置种类			工频接地电阻容许值	备注
1000伏以上的高压设备	大接地短路电流系统($I\geqslant 500$安)	一般情况	$R\leqslant\frac{2000}{I}$	高土壤电阻系数地区，接地电阻容许提高，但不应超过5欧
		$I>4000$安时	可取$R\leqslant 0.5$	
	小接地短路电流系统($I<500$安)	高低压设备共用的接地装置	$R\leqslant\frac{120}{I}$，一般不应大于10	高土壤电阻系数地区，R容许提高，但不应超过：发、变电所15欧；其余30欧
		高压设备单独用的接地装置	$R\leqslant\frac{250}{I}$，一般不应大于10	
1000伏以下的低压设备	中性点直接接地系统	发电机或变压器的工作接地	$R\leqslant 4$	高土壤电阻系数地区，R容许提高，但不应超过30欧
		零线上的重复接地	$R\leqslant 10$	
	中性点不接地系统	一般情况	$R\leqslant 4$	
		发电机或变压器容量小于100千伏安时	可取$R\leqslant 10$	
利用大地作导线的电力设备	永久性工作接地		$R\leqslant 50/I$	低压电网禁止使用大地作导线
	临时性工作接地		$R\leqslant 100/I$	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 11-3　人工接地体工频接地电阻(欧)简易计算式

接地体型式	简易计算式	备注
垂直式	$R\approx 0.3\rho$/米	长度3米左右的接地体
单根水平式	$R\approx 0.03\rho$/米	长度60米左右的接地体
复合式 (接地网)	$R\approx 0.5\frac{\rho}{\sqrt{S}}=0.28\frac{\rho}{r}$ 或 $R\approx\frac{\sqrt{\pi}}{4}\cdot\frac{\rho}{\sqrt{S}}+\frac{\rho}{L}$ $=\frac{\rho}{4r}+\frac{\rho}{L}$	S——大于100平方米的闭合接地网 r——为与接地网面积S等值的圆的半径(米) L——接地体的总长度(米) ρ——土壤电阻率(欧·米)

表 11-4　土壤电阻率数值表

类别	名称	电阻率近似值(欧·米)	不同情况下电阻率的变化范围(欧·米)		
			较湿时(一般地区、多雷区)	较干时(少雨区、沙漠区)	地下水含盐碱时
土	陶粘土	10	5～20	10～100	3～10
	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	10～30	50～300	3～30
	黑土、园田土、陶土	50	30～100	50～300	10～30
	粘土	60	30～100	50～300	10～30
	砂质粘土	100	30～300	80～1000	10～30
	黄土	200	100～200	250	30
	含砂粘土、砂土	300	100～1000	1000以上	30～100
	多石土壤	400	—	—	—
砂土	砂、砂砾	1000	250～1000	1000～2500	—
	砾石、碎石	5000	—	—	—
	多岩地区	5000	—	—	—
	花岗石	200000	—	—	—
混凝土	在水中	40～55	—	—	—
	在湿土中	100～200	—	—	—
	在干土中	500～1300	—	—	—
	在干燥的大地中	12000～18000	—	—	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11-6.4 接地电阻的简易测量

接地装置的质量是很重要的，因为它直接影响着人的生命和设备的安全。接地装置是否发挥效用，主要决定于它的接地电阻是否合乎要求。安装时要测量，而且在运行后也要定期进行测量和检查。

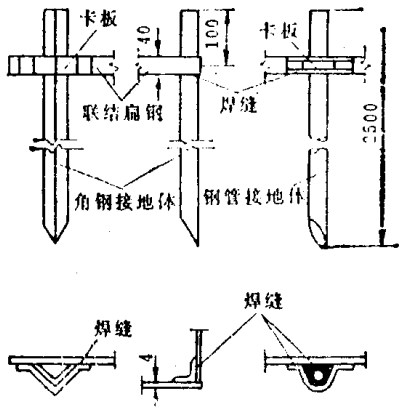


图 11-11 接地体的焊接

测量电阻最简单的方法是用接地电阻测定器来测量，但一般单位很少备有这种仪器，这里介绍一种采用万用表测量接地电阻的方法，此法比较简单，但测量结果误差较大，对接地装置的接地电阻要求不高的地方，还是可行的。

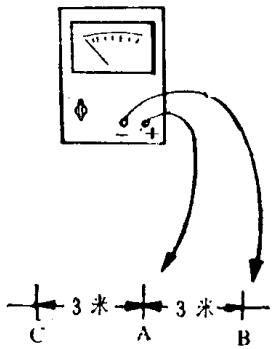


图 11-12 用万用表测量接地电阻方法

测量时，在离接地装置 A 点 3 米处加装两个临时接地体 B 和 C，见图 11-12。用万用表的欧姆档，分别测出 AB、BC、CA 间的电阻值 R_{AB}、R_{BC}、R_{CA}，即

$$R_{AB}=R_A+R_B$$

$$R_{BC}=R_B+R_C$$

$$R_{CA}=R_C+R_A$$

解以上三联立方程式，可得

$$R_A=\frac{1}{2}(R_{AB}+R_{CA}-R_{BC})$$

例如测得 $R_{AB}=8$ 欧，$R_{CA}=6$ 欧，$R_{BC}=10$ 欧，则

$$R_A=\frac{1}{2}(8+6-10)=2 \text{ 欧}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

11-7 防雷保护

根据多年测量的数值，雷云的电位大约为一万到十万千伏，雷电流的幅值为数千安和数百千安(最大可达三千千安)。虽然雷电放电的持续时间只有几十微秒，但具有很大的破坏力。因此，必须采取有效措施，防止或减少雷害事故的发生。目前，防止直击雷比较有效的措施是采用避雷针、避雷线和避雷器。避雷针主要用于保护露天配电装置、易燃建筑物、烟囱和冷水塔等。避雷线多用于保护输电线路。避雷针就其本身而言是引雷针。由于避雷针高出被保护的建筑物和一些设备很多，因而，它首先将空中的雷电引向自身，并通过接地装置流入大地，从而保护了该物体不受雷击。

避雷针由接闪器(常用 1～2 米尖端的钢管或铁棍)、支持

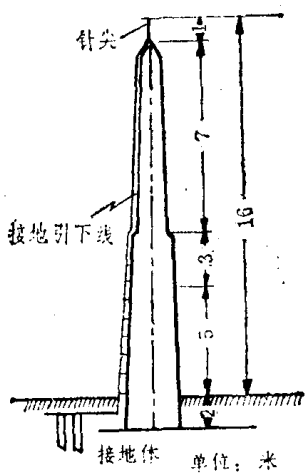


图 11-13 木杆避雷针组装示意图

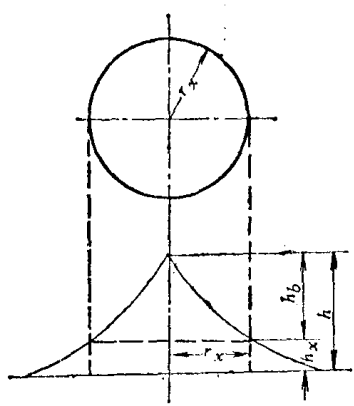


图 11-14 单支避雷针的保护区域

h—避雷针高度 h_x—被保护物的高度
h_b—避雷针的有效高度 r_x—保护半径

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

物、接地引下线及接地体组成。图 11-13 为木杆避雷器组装示意图。避雷针的保护范围是有限的，保护半径与其避雷针的高度有关。单支避雷针保护范围见图 11-14。避雷针在地面上的保护半径为 $1.5h$。下式给出保护半径 r_x 的经验公式：

当 $h_x \geqslant \frac{h}{2}$ 时，$r_x=(h-h_x)P=h_bP$

当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时，$r_x=(1.5h-2h_x)P$

式中，当 $h \leqslant 30$ 米时，$P=1$；当 $h>30$ 米时，

$$P=\frac{5.5}{\sqrt{h}}。$$

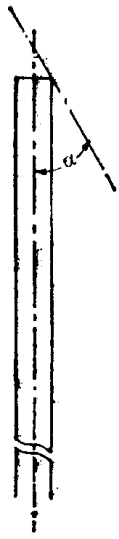


图 11-15　避雷线的保护角

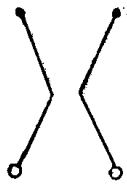


图 11-16　羊角间隙避雷器

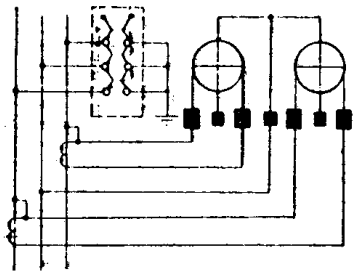


图 11-17　羊角间隙避雷器接线图

避雷线也叫架空地线，其作用和避雷针一样，它的保护范围通常用保护角来表示，是指通过避雷线中心对大地的垂直线和避雷线到导线中心连线之间的夹角，见图 11-15。保护角愈

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

小，保护效果愈好。一般取 α 为 20°～30°。

为了防止输电线路上的感应雷击过电压，可采用接在导线上的阀型避雷器、管型避雷器及放电间隙等设备。FS 型和 FZ 型阀型避雷器的技术数据见表 11-5。

下面介绍一种结构简单、经济、安装容易，保护效果较好的羊角间隙避雷器。一般采用直径为 0.7 毫米的铜线，弯成羊角形状，留有一定间隙，其间隙一般调整在 1～3 毫米范围内，铜线长度不限，见图 11-16。

羊角间隙避雷器，一般装在屋内低压进线处，避雷器或羊角间隙的上桩头与进线端相接，下桩头与接地线连接，见图 11-17。

表 11-5　FS型和FZ型阀型避雷器技术数据

型　号	额定电压（千伏）	最大容许工作电压（千伏）	击穿电压(千伏)		3000安下残压不大于(千伏峰值)	使用范围
			工频下	冲击峰值不大于		
FS-3	3	3.8	8.5	25	16	小容量配电装置
FS-6	6	7.6	16	30	28	
FS-10	10	12.8	25	50	47	
FZ-6	6	7.6	8.5			大容量配电装置
FZ-10	10	12.8	25			
FZ-35	35	4.2	80			

www.789pdf.com 789书库网

附　录

附表1　常用长度换算表

公里 (km)	米 (m)	分米 (dm)	厘米 (cm)	毫米 (mm)	微米 (μm)	埃 (Å)	密耳 (mil)	码 (yd)	英尺 (ft)	英寸 (in)	尺
1	10^3	10^4	10^5	10^6	10^9	10^{13}	3.94×10^7	1.093613×10^3	3.280839×10^3	3.9370068×10^4	3×10^3
10^{-3}	1	10	10^2	10^3	10^6	10^{10}	3.94×10^4	1.093613	3.280839	39.370068	3
10^{-5}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^4	10^8	3.94×10^2	1.093613×10^{-2}	3.280839×10^{-2}	0.394	3×10^{-2}
10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	0.1	1	10^3	10^7	39.4	1.093613×10^{-3}	3.280839×10^{-3}	3.94×10^{-2}	3×10^{-3}
10^{-9}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	1	10^4	3.94×10^{-2}	1.093613×10^{-6}	3.280839×10^{-6}	3.94×10^{-5}	3×10^{-6}
10^{-13}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	1	3.94×10^{-6}	1.093613×10^{-10}	3.280839×10^{-10}	3.94×10^{-9}	3×10^{-10}
2.54×10^{-8}	2.54×10^{-5}	2.54×10^{-4}	2.54×10^{-3}	2.54×10^{-2}	25.40	2.540×10^8	1	2.77778×10^{-5}	8.33333×10^{-5}	10^{-3}	7.62×10^{-5}
9.1440×10^{-4}	0.9144	9.1440	91.440	9.1440×10^2	9.1440×10^5	9.1440×10^9	3.64×10^4	1	3.000	36000	2.74320
3.0480×10^{-4}	0.3048	3.0480	30.480	3.0480×10^2	3.0480×10^5	3.0480×10^9	1.2×10^4	0.333333	1	12	0.91440
2.54×10^{-5}	2.540×10^{-2}	2.540×10^{-1}	2.540	25.40	2.540×10^4	$2.540\times\times10^8$	10^3	2.77778×10^{-2}	8.33333×10^{-2}	1	7.62×10^{-2}
3.333×10^{-4}	0.3333	3.333	33.33	333.3	3.333×10^5	3.333×10^9	1.312×10^4	0.3630	1.092	13.11	1

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

附表2 面 积 换 算 表

毫米² (mm^2)	厘米² (cm^2)	分米² (dm^2)	米² (m^2)	码² (yd^2)	英尺² (ft^2)	英寸² (in^2)	尺²	其他单位
1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	1.19599×10^{-6}	1.07639×10^{-5}	1.55000×10^{-3}	9×10^{-6}	1亩 $=666.6667米^2$
100	1	10^{-2}	10^{-4}	1.19599×10^{-4}	0.001076391	0.155000	9×10^{-4}	
10^4	100	1	10^{-2}	1.19599×10^{-2}	0.1076391	15.5000	9×10^{-2}	
10^6	10^4	100	1	1.195989	10.76391	1550.00	9	
836127.36	8361.2736	83.612736	0.83612736	1	9.0000	1296.0	7.52514624	
92903.04	929.0304	9.290304	9.290304×10^{-2}	0.111111	1	144.0	0.83612736	
645.1621	6.451621	6.451621×10^{-2}	6.451621×10^{-4}	7.715617×10^{-4}	0.006944444	1	5.8064589×10^{-3}	
1112×10^2	1112	11.12	1.112×10^{-1}	1.329×10^{-1}	1.197	172.5	1	

www.789pdf.com 789书库网

附表3 体 积 换 算 表

厘米³ (cm^3)	分米³ (dm^3)	米³ (m^3)	英尺³ (ft^3)	尺³	加伦（英） (UKgal)	加伦（美） (USgal)	其他单位
1	10^{-3}	10^{-6}	3.531464×10^{-5}	2.7×10^{-5}	2.199692×10^{-3}	2.641705×10^{-4}	1英寸³=16.3871厘米³
10^3	1	10^{-3}	0.03531464	2.7×10^{-2}	0.2199692	0.2641705	1码³=764.555分米³
10^6	10^3	1	35.31464	27	219.9692	264.1705	
28316.85	28.31685	0.02831685	1	0.7635	6.228835	7.480476	
37150	37.15	3715×10^{-3}	1.311	1	8.170	9.810	
4546.090	4.546090	4.546090×10^{-3}	0.1605435	0.1227	1	1.200943	
37854.34	3.785434	3.785434×10^{-3}	0.1336812	0.1022	0.8326789	1	

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

www.789pdf.com 789书库网

附表4 角度换算表

弧度 (rad)	圆周度	度 (°)	分 (′)	秒 (″)
1	0.159	57.3	3.44×10^{3}	2.06×10^{5}
6.28	1	360	2.16×10^{4}	1.3×10^{6}
1.75×10^{-2}	2.78×10^{-3}	1	60	3.6×10^{3}
2.91×10^{-4}	4.63×10^{-5}	1.67×10^{-2}	1	60
4.85×10^{-6}	7.72×10^{-7}	2.78×10^{-4}	1.67×10^{-2}	1

附表5 速度换算表

米/秒 (m/s)	米/分 (m/min)	米/时 (m/h)	千米/时 (km/h)	英尺/秒 (ft/s)	英尺/分 (ft/min)	密耳/时 (mil/h)
1	60	36000	3.6	3.2808	196.85	2.2369
0.01667	1	60	0.06	0.0547	3.281	0.03728
2.778×10^{-4}	0.01667	1	0.001	9.114×10^{-4}	5.468×10^{-2}	6.214×10^{-4}
0.2778	16.67	1000	1	0.9114	54.682	0.6214
0.3048	18.287	1097.25	1.0973	1	60	0.68182
5.080×10^{-3}	0.3048	18.287	1.8287×10^{-3}	1.667×10^{-2}	1	1.136×10^{-2}
0.4470	26.821	1609.3	1.6093	1.4667	88	1

www.789pdf.com 789书库网

附表6 压 力 换 算 表

托 (Torr)	毫米汞柱 (mmHg)	达因/厘米^2 (dyn/cm^2)	毫 巴 (mbar)	公斤力/米^2 (kgf/m^2)	大 气 压 (atm)	磅力/英寸^2 (lbf/in^2)	微米汞柱 (μmHg)
1	1	1.33322×10^3	1.33322	13.5951	1.31579×10^{-3}	1.9337×10^{-2}	10^3
1	1	1.33322×10^3	1.33322	13.5951	1.31579×10^{-3}	1.9337×10^{-2}	10^3
0.75006×10^{-3}	0.75006×10^{-3}	1	10^{-3}	1.01972×10^{-2}	0.98692×10^{-6}	1.4503×10^{-5}	0.75006
0.75006	0.75006	10^3	1	10.19722	0.98692×10^{-3}	1.4503×10^{-2}	0.75006×10^3
0.73556×10^{-1}	0.73556×10^{-1}	0.980665×10^2	0.980665×10^{-1}	1	0.96784×10^{-4}	1.4223×10^{-3}	0.73556×10^2
760	760	1.01325×10^6	1.01325×10^2	1.03323×10^4	1	14.695	0.760×10^6
51.715	51.715	0.68948×10^5	0.68948×10^2	0.70307×10^3	6.8046×10^{-2}	1	5.1715×10^4

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

www.789pdf.com 789书库网

附表7　功与功率换算表

功：

尔　格 (erg)	焦　耳 (J)	千焦耳 (kJ)	公斤力·米 (kgf·m)	瓦·时 (W·h)	卡 (cal)	千　卡 (kcal)
1	10^{-7}	10^{-10}	1.02×10^{-8}	2.78×10^{-11}	2.39×10^{-8}	2.39×10^{-11}
10^{7}	1	10^{-3}	0.102	2.78×10^{-4}	0.239	2.39×10^{-4}
10^{10}	10^{3}	1	102	0.278	239	0.239
9.81×10^{7}	9.81	9.81×10^{-3}	1	2.72×10^{-3}	2.34	2.34×10^{-3}
3.6×10^{10}	3.6×10^{3}	3.6	367	1	861	0.861
4.18×10^{7}	4.18	4.18×10^{-3}	0.427	1.16×10^{-3}	1	10^{-3}
4.18×10^{10}	4.18×10^{3}	4.18	427	1.16	10^{3}	1

功　率：

尔格/秒 (erg/s)	瓦 (W)	千　瓦 (kW)	公斤力·米/秒 (kgf·m/s)	马　力 (HP)	卡/秒 (cal/s)	千卡/秒 (kcal/s)
1	10^{-7}	10^{-10}	1.02×10^{-8}	1.36×10^{-10}	2.39×10^{-8}	8.61×10^{-8}
10^{7}	1	10^{-3}	0.102	1.36×10^{-3}	0.239	0.861
10^{10}	10^{3}	1	102	1.36	239	861
9.8×10^{7}	9.81	9.81×10^{-3}	1	1.33×10^{-2}	2.34	8.45
7.36×10^{9}	736	0.736	75	1	176	633
4.18×10^{7}	4.18	4.18×10^{-3}	0.427	5.69×10^{-3}	1	3.6
1.16×10^{7}	1.16	1.16×10^{-3}	0.118	1.58×10^{-3}	0.278	1

www.789pdf.com 789书库网

附表8 质量换算表

毫克 (mg)	克 (g)	千克 (kg)	斤	磅 (lb)	吨 (ton)	长吨 (long ton)	短吨 (short ton)	其他单位
1	10^{-3}	10^{-6}	2×10^{-6}	2.2046223×10^{-6}	10^{-9}	9.8420643×10^{-10}	1.102311×10^{-9}	1格令(gr)=$\frac{1}{7000}$磅
1000	1	10^{-3}	2×10^{-3}	2.2046223×10^{-3}	10^{-6}	9.8420643×10^{-7}	1.102311×10^{-6}	=64.7989毫克
10^{6}	1000	1	2	2.2046223	10^{-3}	9.8420643×10^{-4}	1.102311×10^{-3}	1盎司(oz)=$\frac{1}{16}$磅
5×10^{5}	500	0.5	1	1.1023112	5×10^{-4}	4.9210322×10^{-4}	5.51156×10^{-4}	=28.349克
453592.43	453.59243	0.45359243	0.90718486	1	4.535924×10^{-4}	4.4642858×10^{-4}	4.999999×10^{-4}	
10^{9}	10^{6}	10^{3}	2×10^{3}	2204.6223	1	0.98420643	1.1023111	
1.016047×10^{9}	1016047.0	1016.047	2032.097	2240.0	1.016047	1	1.1199999	
907184860	907184.86	907.18486	1814.36972	2000.0	0.90718486	0.89285717	1	

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

www.789pdf.com 789书库网

附表 9　常用温度刻度表

刻度	冰的熔点	水的沸点	相隔之度数
	度		数
摄　氏(℃)	0	100	100
华　氏(°F)	32	212	180
绝对温度(K)	273.16	373.16	100

说明：单位刻度的相互关系

$$1°F=0.5556\text{或}\left(\frac{5}{9}\right)℃$$

$$1℃=1.800°F$$

绝对温度：

绝对零度是在摄氏零度以下 273.16℃，在华氏零度以下 459.6°F，工程上计算公式是：

$$T°K=t℃+273.2$$

$$T°K=\frac{5}{9}t°F+255.2$$

温度互换方程式：

如果以t℃、和t°F表示同一热量状态，则

$$t℃=\frac{5}{9}(t°F-32)=t°K-273.16$$

$$t°F=\frac{9}{5}t℃+32$$

$$=\frac{9}{5}(t°K-273.16)+32$$

$$t°K=t℃+273.16=\frac{5}{9}(t°F-32)+273.16$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附表10 空气湿度表

t°C 干温度计读数	(t−t₁)°C干湿度计读数和湿度计读数之差											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	%											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	21
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	71	65	59	52	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

说明：空气的相对湿度(百分数表出)表示干温度计读数(t°C)，同干温度计读数和湿度计读数 (t_1°C)之差间的关系。如温度计的读数介于表中所读数之间者，则其相对湿度以线性内插法求出。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附表11 常用的物理量

名　　称	符号	数　　值
光在真空中的速度	c	2.99776×10^{10}厘米秒$^{-1}$
万有引力常数	G	6.67×10^{-8}达因厘米$^{-2}$克^{2}
重力加速度(标准)	g_0	980.665厘米秒$^{-2}$
在45°纬度	g_1	980.616厘米·秒$^{-2}$
标准大气压	A_0	1.013246×10^{6}达因厘米$^{-2}$工业气压$^{-1}$
1克分子理想气体在标准状况时的体积	V_0	22.4146×10^{3}厘米^{3}工业气压·克分子$^{-1}$
气体常数	R_0	8.314×10^{7}尔格度$^{-1}$克分子$^{-1}$
		1.9865卡度$^{-1}$克分子$^{-1}$
与1小卡(15°)等值的能量	i_{15}	4.185×10^{7}尔格
		4.268×10^{-1}公斤(力)米
法拉第常数	F	0.9649×10^{5}库仑
阿伏珈德罗数	N_0	6.02×10^{23}厘米摩尔$^{-1}$
洛喜密脱数	n_0	2.687×10^{19}厘米$^{-3}$
氢原子的质量	m_H	1.673×10^{-24}克
α质点的质量	m_α	6.644×10^{-24}克
根据玻耳计算的氢原子第一层电子轨道半径	r_1	0.5305×10^{-8}厘米
玻耳兹曼常数	k	1.38×10^{-16}尔格度$^{-1}$
电子的电荷	e	1.601×10^{-19}库仑
		4.802×10^{-10}GSE单位
电子的荷质比	e/m_0	1.759×10^{8}库仑克$^{-1}$
电子的质量	m_0	9.1066×10^{-28}克
1电子伏特的能量	eV	1.602×10^{-12}尔格
普朗克常数	h	6.62×10^{-27}尔格秒
绝对零度		−273.16°C

www.789pdf.com 789书库网

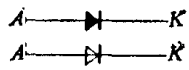
www.789pdf.com 789书库网

附表 12　国外常用电路图形符号

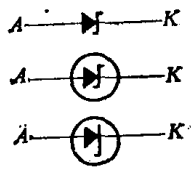
半　　导　　体

二　极　管

整流(结)二极管



齐纳(单向击穿)二极管



双向击穿二极管

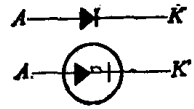
恒流(场效应)二极管

隧道二极管

隧道二极管整流器(反向二极管)

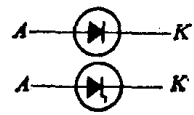
肖特基(热载流子二极管)

P-1-N二极管

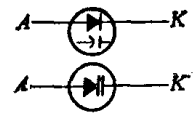


耿氏二极管或崩越二极管

阶跃恢复(电荷存储)二极管

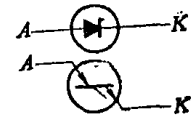


变容二极管

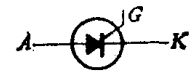


闸流晶体管

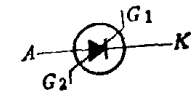
四层(PNPN，肖克莱)二极管



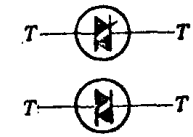
可控硅整流器(SCR)



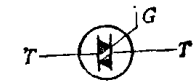
可控硅开关(SCS)



二端双向开关(diac)



三端双向开关(triac)



www.789pdf.com 789书库网

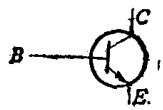
www.789pdf.com 789书库网

续表

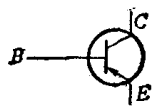
半　　导　　体

晶　体　管

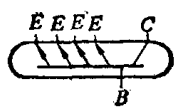
NPN晶体管



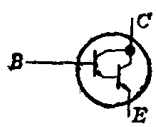
PNP晶体管



多发射极NPN晶体管

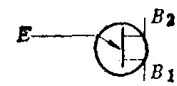


NPN达林顿晶体管



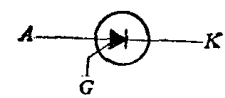
NPN肖特基晶体管

N型基极单结晶体管(UJT)



P型基极单结晶体管(UJT)

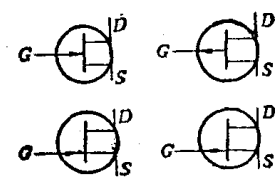
可编程单结晶体管(PUT)或带N型控制极的可控硅整流器



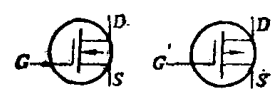
场效应晶体管(FET)

结型场效应晶体管(JFET)

N沟道　　P沟道



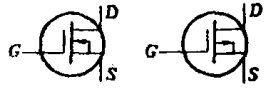
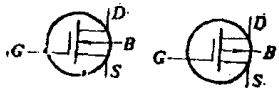
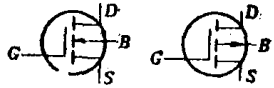
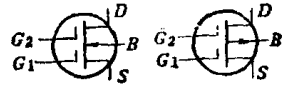
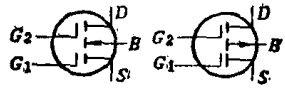
三端耗尽型绝缘栅场效应晶体管(IGFET)



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

半　　导　　体	
三端耗尽型IGFET(衬底接源)  四端耗尽型IGFET  四端增强型IGFET  	五端双栅耗尽型IGFET  五端双栅增强型IGFET 
光　　电　　器　　件	
二 极 管 发光二极管(LED) 光电二极管 	NPN双向光电二极管 PNP双向光电二极管

www.789pdf.com 789书库网

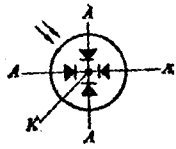
www.789pdf.com 789书库网

续表

光	电	器	件

PNP两节光电二极管(共阴极)

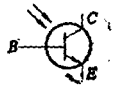
PNP四象限光电二极管(共阴极)



晶 体 管

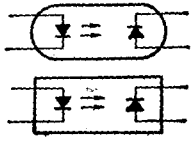
NPN光电晶体管(无基极连线)

NPN光电晶体管(有基极连线)

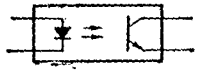


光耦合隔离器

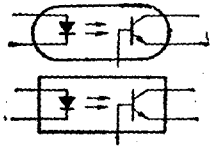
光电二极管输出



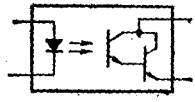
光电晶体管输出(无基极连线)



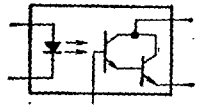
光电晶体管输出(有基极连线)



光电达林顿晶体管输出(无基极连线)



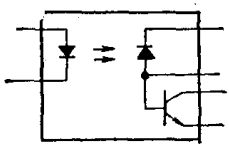
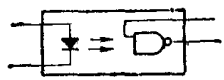
光电达林顿晶体管输出(有基极连线)

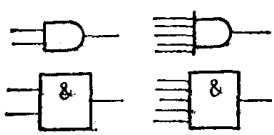
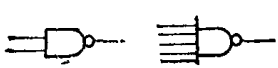
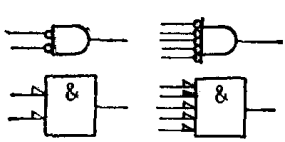
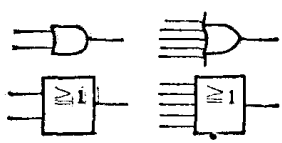
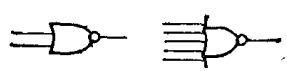
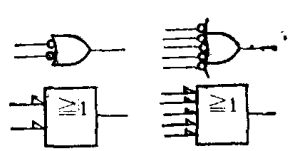


www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

光　　电　　器　　件	
光电二极管和晶体管放大输出 	与非门-光电检测器输出 

双　　态　　逻　　辑　　器　　件	
门 电 路 双输入端　　多输入端 与 门  与非门　　非输出  与非门　　非输入 	或 门  或非门　　非输出  或非门　　非输入 

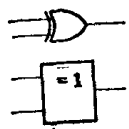
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

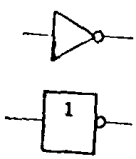
续表

双　态　逻　辑　器　件

异或门

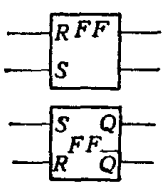


反相门

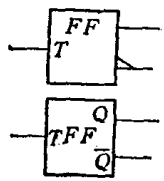


双稳态触发器

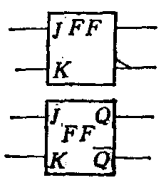
R-S触发器



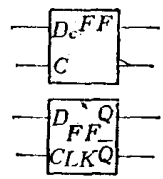
T触发器



J-K触发器

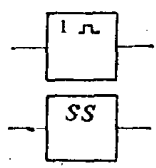


D触发器



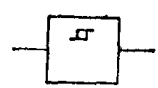
单稳态触发器

冲息触发器



施密特触发器

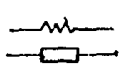
一般



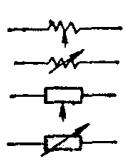
基　本　电　路　元　件

电　阻　器

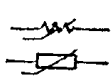
固定电阻



可变电阻



压敏电阻



www.789pdf.com 789书库网

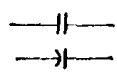
www.789pdf.com 789书库网

续表

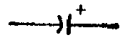
基　本　电　路　元　件

电　容　器

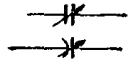
固定电容器



电解电容器



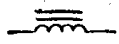
可变电容器



电感线圈

固定电感线圈

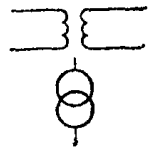
固定磁心电感线圈



可变电感线圈

变　压　器

一般变压器

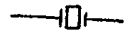


磁心变压器

屏蔽磁心变压器

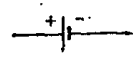
晶　体

压电晶体

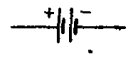


电　池

单节电池



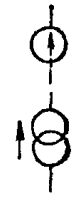
多节电池



源

恒压源

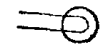
恒流源



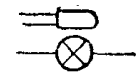
振荡交流源

灯

白炽灯



信号灯



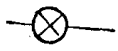
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

基　本　电　路　元　件

闪光信号灯



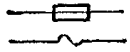
直流氖灯

交流氖灯

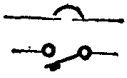
二端荧光灯

电路保护器

熔　丝



断路器



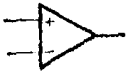
音频元件

扬声器

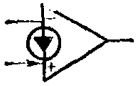
放大器

单端放大器

差分放大器(或比较器)



诺尔顿(电流)放大器



接　点　开　关　及　继　电　器

接　点

固定继电器接点

固定开关接点

锁式滑动接点

非锁式滑动接点

闭合接点

开路接点

先合后断接点组合

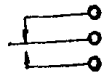
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

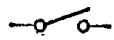
接 点 开 关 及 继 电 器

先断后合接点组合

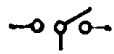


开 关

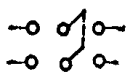
单刀单掷开关



单刀双掷开关

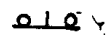


双刀双掷开关

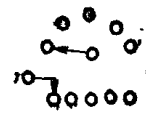


常开按钮开关

常闭按钮开关

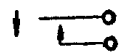


多位开关



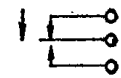
继电器接点结构(粗箭头表示动作方向)

A 常开单刀单掷开关(闭合)

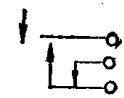


B 常闭单刀单掷开关(断开)

C 单刀双掷开关(断开、闭合)



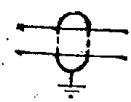
D 单刀双掷开关(闭合、断开)



传 输 线

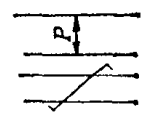
电 缆

屏蔽接地的双芯电缆



屏蔽接地的同轴电缆

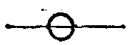
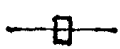
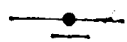
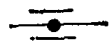
扭绞二线电缆

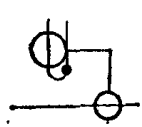
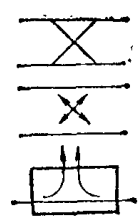


www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

续表

传　　输　　线		
波　导 圆波导  矩形波导  软波导 	扭波导 **带　状　线** 不平衡带状线  平衡带状线 	**地** 接　地 接机架

微　　波　　电　　路		
耦　合 利用耦合环实现与空间耦合 利用耦合环实现与传输线耦合 	利用耦合环实现从同轴线到圆波导的耦合(直流接地) 	**定向耦合器** 双向耦合器 

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

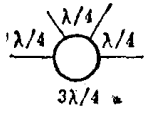
续表

微　　波　　电　　路

混接接头

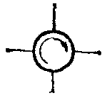
波导混接

带状线混接



环　行　器

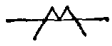
固定方向环行器



方向可逆环行器

波型抑制

同轴线及波导传输



滤　波　器

波型滤波器

带通滤波器

低通滤波器

高通滤波器

带阻滤波器

移　相　器

匹配移相器

www.789pdf.com 789书库网