

# 电工技术常用公式与数据手册

# 目 录

<b>第一章 常用数据和资料</b> .....	(1)
<b>一、量和单位</b> .....	(1)
1. 法定计量单位 .....	(1)
2. 常用物理量及其单位 .....	(4)
3. 常用法定计量单位及其换算 .....	(10)
<b>二、物理数据表</b> .....	(17)
1. 常用元素的物理性能 .....	(17)
2. 常用物理常数 .....	(26)
<b>三、常用数学公式</b> .....	(20)
1. 代数 .....	(20)
2. 三角函数 .....	(23)
3. 复数 .....	(24)
<b>第二章 电工标准</b> .....	(26)
<b>一、标准概述</b> .....	(26)
1. 中国标准代号 .....	(26)
2. 国际标准和国外标准代号和名称 .....	(27)
<b>二、常用电工标准</b> .....	(28)
1. 常用电工标准目录 .....	(28)
2. 额定电压 .....	(29)
3. 中频设备额定电压 .....	(31)
4. 安全电压 .....	(33)

5. 电气设备额定电流 .....	(34)
6. 电气设备额定频率 .....	(35)
7. 电气设备常用基本文字符号 .....	(36)
8. 常用电气图用图形符号 .....	(41)
<b>第三章 电工基础 .....</b>	<b>(58)</b>
<b>一、电磁场 .....</b>	<b>(58)</b>
1. 表征电磁场特性的物理量 .....	(58)
2. 电磁场的基本定律 .....	(62)
3. 电容与电感 .....	(64)
4. 电磁场中的能量、力及损耗 .....	(67)
<b>二、电路 .....</b>	<b>(69)</b>
1. 电阻 .....	(69)
2. 电路定律 .....	(69)
3. 正弦交流电路 .....	(72)
4. 三相正弦交流电路 .....	(76)
5. 非正弦电路 .....	(82)
6. 线性动态电路 .....	(83)
<b>三、磁路 .....</b>	<b>(85)</b>
1. 磁路的物理量与参数 .....	(85)
2. 磁路定律 .....	(85)
<b>第四章 电子技术 .....</b>	<b>(87)</b>
<b>一、半导体器件 .....</b>	<b>(87)</b>
1. 半导体分立器件型号命名方法 .....	(87)
2. 晶体二极管 .....	(89)
3. 稳压二极管 .....	(95)
4. 晶体三极管 .....	(100)
5. 场效应晶体管 .....	(116)

6. 单结晶体管 .....	(121)
<b>二、集成电路 .....</b>	<b>(125)</b>
1. 半导体集成电路型号命名方法 .....	(123)
2. 数字集成电路 .....	(124)
3. 模拟集成电路 .....	(124)
<b>三、放大器 .....</b>	<b>(126)</b>
1. 放大器的主要技术指标 .....	(126)
2. 晶体三极管基本放大电路 .....	(127)
3. 场效应管放大电路 .....	(131)
4. 放大电路中的反馈 .....	(133)
5. 放大器的耦合 .....	(136)
6. 直流放大器 .....	(136)
7. 集成运算放大器 .....	(140)
8. 低频功率放大器 .....	(141)
<b>四、常用模拟信号处理电路 .....</b>	<b>(145)</b>
1. 模拟信号的运算 .....	(145)
2. 滤波电路 .....	(148)
<b>五、数字电路 .....</b>	<b>(149)</b>
1. 基本逻辑门 .....	(149)
2. 布尔代数 .....	(150)
3. 触发器 .....	(151)
<b>六、电源电路 .....</b>	<b>(152)</b>
1. 单相电容滤波整流电路 .....	(152)
2. 单相电感滤波整流电路 .....	(155)
3. 倍压整流电路 .....	(156)
<b>第五章 电气仪表与测量 .....</b>	<b>(157)</b>
一、电气仪表与测量的基础知识 .....	(157)

1. 仪表的误差和准确度 .....	(157)
2. 常用电测量指示仪表和附件的符号 .....	(158)
3. 基准器和标准器 .....	(161)
二、常用指示仪表 .....	(161)
1. 电测指示仪表特点与分类 .....	(161)
2. 常用电流表、电压表 .....	(163)
3. 常用万用表 .....	(165)
4. 常用兆欧表 .....	(169)
5. 常用功率表 .....	(171)
三、万用表的简单设计 .....	(172)
1. 表头灵敏度及内阻的测定 .....	(172)
2. 万用表直流电流档各分流电阻的计算 .....	(173)
3. 万用表直流电压档附加电阻的计算 .....	(173)
4. 万用表交流电压档附加电阻的计算 .....	(174)
5. 万用表测量电阻档各元件的计算 .....	(175)
四、电流和电压的测量 .....	(177)
1. 测量仪表的选择 .....	(177)
2. 中量值电流、电压的测量 .....	(178)
3. 分流器和倍压器 .....	(179)
五、功率和电能的测量 .....	(179)
1. 各种功率、电能测量仪器仪表 .....	(179)
2. 直流功率的测量 .....	(180)
3. 交流功率的测量 .....	(181)
4. 交流电能的测量 .....	(184)
六、电路参数的测量 .....	(189)
1. 直流电阻的测量 .....	(189)
2. 交流电参量的测量 .....	(190)

<b>第六章 自动控制理论基础</b> .....	(194)
<b>一、自动控制系统的数学模型</b> .....	(194)
1. 典型环节的传递函数及单位阶跃响应 .....	(194)
2. 简单电网络的传递函数 .....	(195)
3. 方框图的等效变换 .....	(196)
4. 典型环节的频率特性 .....	(198)
<b>二、自动控制系统分析</b> .....	(200)
1. 线性系统稳定性与特征方程根的关系 .....	(200)
2. 控制系统的稳态误差 .....	(201)
3. 二阶系统的瞬态响应性能指标 .....	(202)
<b>三、自动控制系统的校正</b> .....	(204)
1. 超前(微分)校正 .....	(204)
2. 滞后(积分)校正 .....	(205)
3. 滞后-超前校正 .....	(206)
4. 常用调节器线路图与传递函数 .....	(207)
<b>第七章 袖珍电子计算器与微型电子计算机</b> .....	(209)
<b>一、袖珍电子计算器</b> .....	(209)
1. 常用电子计算器类型、功能和部分型号 .....	(209)
2. 检验计算器是否正常工作的操作方法 .....	(210)
3. 常用函数型电子计算器规格 .....	(211)
<b>二、微处理器</b> .....	(211)
1. 通用微处理器性能 .....	(211)
2. 单片微型机性能 .....	(214)
<b>第八章 电工材料</b> .....	(215)
<b>一、常用导电材料</b> .....	(215)
1. 导电金属 .....	(215)
2. 电磁线 .....	(219)

二、常用软磁材料 .....	(225)
1. 电磁纯铁热轧厚板 .....	(225)
2. 电工用热轧硅钢薄钢板 .....	(226)
3. 冷轧电工钢带 .....	(229)
三、常用绝缘材料 .....	(230)
1. 绝缘材料的极限工作温度及其耐热等级 .....	(230)
2. 绝缘油 .....	(231)
3. 绝缘漆 .....	(233)
4. 绝缘纤维制品 .....	(238)
5. 浸渍纤维制品 .....	(241)
6. 层压制品 .....	(246)
7. 云母制品 .....	(250)
8. 薄膜、复合制品及粘带 .....	(256)
<b>第九章 电机 .....</b>	<b>(262)</b>
一、三相异步电动机 .....	(262)
1. 三相异步电动机的基本计算公式 .....	(262)
2. 三相异步电动机绕组的有关计算 .....	(265)
3. 三相异步电动机改做发电机的有关计算 .....	(265)
4. 电动机的选择 .....	(266)
5. 常用三相异步电动机的技术数据 .....	(267)
二、直流电机 .....	(279)
1. 直流电机基本计算公式 .....	(279)
2. 直流电动机的技术数据 .....	(281)
三、小功率电动机 .....	(283)
1. 常用小功率异步电动机的特性 .....	(283)
2. 常用小功率电动机特点及应用 .....	(284)
3. 常见的规定用途小功率电动机 .....	(286)

四、交流电动机绕组的有关计算 .....	(287)
1. 三相异步电动机绕组的基本计算 .....	(287)
2. 三相异步电动机改变绕组电压的计算 .....	(287)
3. 三相异步电动机改变绕组极数的计算 .....	(289)
4. 三相异步电动机空壳重绕的计算 .....	(290)
5. 确定电动机某些参数的简易算法 .....	(293)
6. 三相电动机改为单相电动机的计算 .....	(295)
<b>第十章 变压器、电容器 .....</b>	<b>(298)</b>
一、变压器的基本计算公式 .....	(298)
1. 电压比与电压、电流的关系 .....	(298)
2. 变压器的电压平衡方程和磁通势平衡方程 .....	(298)
3. 变压器的电压和磁通的关系 .....	(298)
4. 变压器的电压变化率 .....	(299)
5. 变压器的损耗和效率 .....	(299)
6. 变压器的特性阻抗 .....	(300)
二、电力变压器 .....	(302)
1. 电力变压器的基本数据 .....	(302)
2. 电力变压器的运行 .....	(304)
3. 常用电力变压器的技术数据 .....	(308)
三、小型变压器 .....	(312)
1. 小型单相变压器的计算 .....	(312)
2. 小功率变压器常用标准铁心每匝伏数 .....	(313)
3. 小型变压器铁心数据 .....	(316)
4. 小型三相变压器的计算 .....	(317)
5. 小型自耦变压器的计算 .....	(319)
6. 常用 E 型硅钢片规格 .....	(320)
四、电力电容器 .....	(321)



- 1. 电力电容器的主要用途及分类 ..... (321)
- 2. 并联电容器 ..... (322)
- 3. 电力电容器成套装置 ..... (326)

**第十一章 高压开关、避雷器与绝缘子 ..... (327)**

**一、高压开关概述 ..... (327)**

- 1. 高压开关的分类 ..... (327)
- 2. 高压开关的基本组成及其功能 ..... (327)
- 3. 高压开关的主要技术参数 ..... (328)
- 4. 高压开关设备型号编制办法 ..... (329)
- 5. 断路器、隔离开关、熔断器的选择 ..... (331)

**二、高压断路器 ..... (332)**

- 1. 高压断路器的分类 ..... (332)
- 2. 常用高压断路器技术数据 ..... (332)

**三、隔离开关 ..... (335)**

- 1. 隔离开关开断电流参考值 ..... (335)
- 2. 常用隔离开关的主要规格和特点 ..... (336)

**四、负荷开关 ..... (337)**

- 1. 负荷开关的分类和特点 ..... (337)
- 2. 常用负荷开关的技术数据 ..... (337)

**五、高压熔断器 ..... (338)**

- 1. 高压限流式熔断器主要技术数据 ..... (338)
- 2. 高压跌落式熔断器主要技术数据 ..... (339)
- 3. 高压跌落式熔断器消弧管尺寸推荐表 ..... (339)

**六、操动机构 ..... (340)**

- 1. 高压开关操动机构类型 ..... (340)
- 2. 常用直流电磁操动机构技术数据 ..... (341)

**七、高压成套开关装置 ..... (341)**

1. 接线方案 .....	(341)
2. 常用高压开关柜主要技术数据 .....	(342)
八、避雷器 .....	(344)
1. 避雷器的用途和分类 .....	(344)
2. 常用避雷器的主要技术数据 .....	(345)
九、绝缘子 .....	(348)
1. 常用高压绝缘子主要技术数据 .....	(348)
2. 常用低压线路绝缘子主要技术数据 .....	(350)
第十二章 低压电器 .....	(351)
一、概述 .....	(351)
1. 低压电器的分类和用类 .....	(351)
2. 低压电器产品的型号 .....	(352)
3. 低压电器产品正常使用的环境条件 .....	(354)
4. 常用低压电器的检修周期 .....	(355)
二、刀开关和转换开关 .....	(356)
1. 刀开关和转换开关的类型及使用场合 .....	(356)
2. 常用刀开关和转换开关的技术数据 .....	(357)
3. 刀开关和转换开关的选用要点 .....	(362)
三、熔断器 .....	(363)
1. 熔断器的类型及使用场合 .....	(363)
2. 常用熔断器技术数据 .....	(365)
3. 常用熔丝规格及技术数据 .....	(371)
4. 熔断器的选用要点 .....	(373)
四、断路器 .....	(375)
1. 断路器的类型及使用场合 .....	(375)
2. 常用断路器主要技术数据 .....	(376)
3. 断路器的选用要点 .....	(380)

五、接触器 .....	(381)
1. 接触器的类型及使用场合 .....	(381)
2. 常用接触器的主要技术数据 .....	(382)
3. 接触器的选用要点 .....	(386)
六、起动器 .....	(387)
1. 起动器的类型及使用场合 .....	(387)
2. 常用起动器的主要技术数据 .....	(389)
<b>第十三章 电力半导体变流设备 .....</b>	<b>(397)</b>
一、概述 .....	(397)
1. 电力半导体变流设备的组成 .....	(397)
2. 变流器的类别 .....	(397)
3. 电力半导体器件的种类和用途 .....	(398)
二、电力半导体器件的应用数据 .....	(401)
1. 电力半导体器件的额定值和特性参数定义 .....	(401)
2. 普通整流管的应用数据 .....	(403)
3. 普通晶闸管的应用数据 .....	(404)
4. 常用电力半导体电桥模块的应用数据 .....	(406)
三、电力半导体变流电路 .....	(408)
1. 常用整流电路的联结型式和电量关系 .....	(408)
2. 各种整流电路联结型式的特点和选择 .....	(412)
3. 常用逆变器的电路参数 .....	(413)
4. 常用的触发线路 .....	(415)
<b>第十四章 电线电缆 .....</b>	<b>(416)</b>
一、裸导线 .....	(416)
1. 常用裸导线的型号、特性和用途 .....	(416)
2. 常用单线技术数据 .....	(417)
3. 常用绞线的技术数据 .....	(418)

4. 常用型线的技术数据 .....	(420)
5. 架空导线的主要性能参数 .....	(421)
二、电力电缆 .....	(422)
1. 常用电力电缆的品种及型号 .....	(422)
2. 电力电缆的载流量 .....	(423)
三、电气装备用电线电缆 .....	(426)
1. 移动式通用橡套电缆 .....	(426)
2. 控制电缆 .....	(427)
3. 建筑安装用电线电缆 .....	(428)
4. 电机引接线 .....	(432)
<b>第十五章 发电</b> .....	(433)
一、水力发电 .....	(433)
1. 水力发电一般公式 .....	(433)
2. 小型水轮发电机组 .....	(438)
二、火力发电 .....	(444)
1. 火力发电一般公式 .....	(444)
2. 小型火力发电机组 .....	(446)
<b>第十六章 电力网络</b> .....	(449)
一、架空线路 .....	(449)
1. 架空线路的构成 .....	(449)
2. 架空线路电气参数计算 .....	(451)
3. 架空线路的设计 .....	(456)
二、电缆线路 .....	(464)
1. 电力电缆的选择 .....	(464)
2. 常用的电缆敷设方式 .....	(468)
三、变、配电所 .....	(471)
1. 高压电气设备的选择要点 .....	(471)

2. 6~10kV 变、配电所的典型结构与布置 .....	(473)
3. 配电装置安全净距 .....	(475)
<b>第十七章 工业与民用建筑供电 .....</b>	<b>(475)</b>
一、负荷计算 .....	(476)
1. 需要系数法 .....	(476)
2. 单位负荷法 .....	(480)
3. 无功功率补偿 .....	(482)
二、导线及电缆的选择 .....	(483)
1. 按使用环境及敷设方式选择 .....	(483)
2. 按载流量选择 .....	(484)
3. 按电压损失选择 .....	(484)
4. 按动、热稳定选择 .....	(485)
5. 按机械强度选择 .....	(486)
三、室内布线 .....	(486)
1. 接户线 .....	(486)
2. 导线及电缆明敷 .....	(487)
3. 导线及电缆穿管敷设 .....	(488)
<b>第十八章 电气照明 .....</b>	<b>(491)</b>
一、概述 .....	(491)
1. 光度量的定义和单位 .....	(491)
2. 照明的基本计算 .....	(492)
二、照明常用电光源 .....	(493)
1. 常用照明电光源的种类、特性和用途 .....	(493)
2. 白炽灯 .....	(495)
3. 卤钨灯 .....	(495)
4. 荧光灯 .....	(496)
5. 高强气体放电灯 .....	(497)

三、照明质量 .....	(499)
1. 生产车间工作面上的最低照度值 .....	(499)
2. 一般生产车间和工作场所工作面上的最低照度值 .....	(501)
3. 工业企业辅助建筑及露天工作场所的最低照度 .....	(504)
4. 一般住宅室内人工照明要求 .....	(505)
5. 照明灯具最低悬挂高度 .....	(505)
<b>第十九章 工业电加热 .....</b>	<b>(506)</b>
一、电加热概述 .....	(506)
1. 常用电加热方式、设备及用途 .....	(506)
2. 常用耐火材料性能 .....	(507)
3. 常用绝热材料性能 .....	(508)
二、常用电炉、电焊机的计算 .....	(509)
1. 电阻加热炉功率估算 .....	(509)
2. 常用电弧炉电气设备和导线的选用 .....	(509)
3. 感应炉连接导线 .....	(511)
4. 电焊机电源线路的选择 .....	(512)
<b>第二十章 电化学与电池 .....</b>	<b>(514)</b>
一、电化学 .....	(514)
1. 法拉第定律 .....	(514)
2. 电流效率 .....	(514)
3. 电极电位 .....	(515)
4. 电解 .....	(515)
二、电池 .....	(517)
1. 常用电池的分类、特点和用途 .....	(517)
2. 原电池 .....	(518)
3. 蓄电池 .....	(521)
<b>第二十一章 电气传动 .....</b>	<b>(529)</b>

一、传动电动机的选择 .....	(529)
1. 电气传动的方式 .....	(529)
2. 电气传动的基本计算公式 .....	(529)
3. 传动电动机类型的选择 .....	(534)
4. 传动电动机功率的选择 .....	(538)
二、电动机的起动 .....	(541)
1. 全压起动 .....	(541)
2. 减压起动 .....	(541)
3. 电阻分级起动 .....	(544)
三、电动机的制动 .....	(545)
1. 机械制动 .....	(545)
2. 能耗制动 .....	(546)
3. 回馈制动 .....	(548)
四、电动机的调速方式 .....	(548)
1. 直流电动机的调速 .....	(548)
2. 交流电动机的调速 .....	(550)
五、电动机的继电-接触器控制 .....	(553)
1. 主要电器元件的选择 .....	(553)
2. 常见的电动机保护线路 .....	(555)
3. 典型的继电-接触器控制线路 .....	(556)
<b>第二十二章 家用电器 .....</b>	<b>(559)</b>
一、家用电冰箱 .....	(559)
1. 概述 .....	(559)
2. 常见电冰箱的主要技术参数 .....	(560)
3. 电冰箱用电机的转矩和起动电流 .....	(565)
二、空气调节器 .....	(565)
1. 空气调节器的选用 .....	(565)

2. 空气调节器的电气控制系统 .....	(566)
三、洗衣机 .....	(566)
1. 家用洗衣机的类型、性能和特点 .....	(566)
2. 洗衣机的主要电气技术性能 .....	(567)
3. 洗衣机的电气控制系统 .....	(568)
4. XD 型洗衣机电动机的性能数据 .....	(568)
四、电风扇 .....	(569)
1. 电风扇的品种、规格及主要特征 .....	(569)
2. 电风扇调速 .....	(570)
<b>第二十三章 电气通信 .....</b>	<b>(572)</b>
一、概述 .....	(572)
1. 无线电波的波段 .....	(572)
2. 分贝 .....	(573)
二、通信天线 .....	(574)
1. 电视接收天线的选择 .....	(574)
2. 常用天线的结构 .....	(576)
三、电声 .....	(581)
1. 扩音机 .....	(581)
2. 输送变压器 .....	(582)
3. 末级配接 .....	(583)
四、共用天线电视系统 .....	(585)
1. 共用天线电视系统示意图 .....	(585)
2. 共用天线电视系统主要性能指标 .....	(586)
3. 电视机与用户盒的连接 .....	(586)
<b>第二十四章 电气安全 .....</b>	<b>(588)</b>
一、概述 .....	(588)
1. 人体电阻 .....	(588)



2. 安全电压 .....	(588)
二、绝缘、屏护和间距 .....	(589)
1. 绝缘电阻 .....	(589)
2. 屏护 .....	(589)
3. 间距 .....	(590)
三、系统及设备接地 .....	(590)
1. 接地电阻 .....	(590)
2. 按接地方式分类的电力系统 .....	(592)
3. 人工接地 .....	(592)
四、漏电保护器 .....	(593)
1. 漏电保护器主要技术性能参数 .....	(593)
2. 漏电保护器的安装 .....	(595)
五、防雷 .....	(596)
1. 防雷装置 .....	(596)
2. 避雷针和避雷线保护范围 .....	(597)
3. 防雷装置与被保护物的距离 .....	(599)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(601)</b>

# 第一章 常用数据和资料

## 一、量和单位

### 1. 法定计量单位

#### (1) 国际单位制的基本单位

表 1-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克、(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安〔培〕	A
热力学温度	开〔尔文〕	K
物质的量	摩〔尔〕	mol
发光强度	坎〔德拉〕	cd

注：〔〕内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字，下同。

( )内的字为前者的同义语，下同。

#### (2) 国际单位制的辅助单位

表 1-2 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
〔平面〕角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

#### (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位

表 1-3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示式例
频率	赫〔兹〕	Hz	$s^{-1}$
力、重力	牛〔顿〕	N	$kg \cdot m/s^2$
压力、压强、应力	帕〔斯卡〕	Pa	$N/m^2$

(续)

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示式例
能(量)、功、热量	焦[耳]	J	N·m
功率、辐(射能)通量	瓦[特]	W	J/s
电荷(量)	库[仑]	C	A·s
电压、电动势、电位、(电势)	伏[特]	V	W/A
电 容	法[拉]	F	C/V
电 阻	欧[姆]	$\Omega$	V/A
电 导	西[门子]	S	A/V
磁通(量)	韦[伯]	Wb	V·s
磁通(量)密度、磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m <sup>2</sup>
电 感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄 氏 度	°C	K
光 通 量	流[明]	lm	cd·sr
[光]照 度	勒[克斯]	lx	lm/m <sup>2</sup>
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	s <sup>-1</sup>
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

#### (4) 国家选定的非国际单位制单位

表 1-4 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	1min=60s
	[小]时	h	1h=60min=3600s
	日,(天)	d	1d=24h=86400s
[平面]角	[角]秒	( <sup>o</sup> )	1 <sup>o</sup> =( $\pi/648000$ )rad ( $\pi$ 为圆周率)
	[角]分	( <sup>'</sup> )	1 <sup>'</sup> =60 <sup>o</sup> =( $\pi/10800$ )rad
	度	( <sup>o</sup> )	1 <sup>o</sup> =60 <sup>'</sup> =( $\pi/180$ )rad
旋转速度	转每分	r/min	1r/min=(1/60)s <sup>-1</sup>
长 度	海 里	n mile	1n mile=1852 m (只用于航程)
速 度	节	kn	1kn=1 n mile/h =(1852/3600) m/s (只用于航行)
质 量	吨	t	1t=10 <sup>3</sup> kg
	原子质量单位	u	1u $\approx$ 1.6605655 $\times$ 10 <sup>-27</sup> kg

(续)

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
体积,容积	升	L,(l)	1L=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
能	电子伏	eV	1eV≈1.6021892×10 <sup>-19</sup> J
级差	分贝	dB	
线密度	特(克斯)	tex	1 tex=1g/km

注:1. 角度单位度、分、秒的符号不处于数字后时,用括弧。

2. r为“转”的符号。

3. 升的符号中,小写字母l为备用符号。

(5)由以上单位构成的组合形式的单位

(6)用于构成十进倍数和分数单位的词头

表 1-5 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10 <sup>18</sup>	艾[可萨]	E
10 <sup>15</sup>	拍[它]	P
10 <sup>12</sup>	太[拉]	T
10 <sup>9</sup>	吉[咖]	G
10 <sup>6</sup>	兆	M
10 <sup>3</sup>	千	k
10 <sup>2</sup>	百	h
10 <sup>1</sup>	十	da
10 <sup>-1</sup>	分	d
10 <sup>-2</sup>	厘	c
10 <sup>-3</sup>	毫	m
10 <sup>-6</sup>	微	μ
10 <sup>-9</sup>	纳[诺]	n
10 <sup>-12</sup>	皮[可]	p
10 <sup>-15</sup>	飞[母托]	f
10 <sup>-18</sup>	阿[托]	a

注:10<sup>4</sup>称为万,10<sup>8</sup>称为亿,10<sup>12</sup>称为万亿,这类数词的使用不受词头名称的影响,但不应与词头混淆。

## 2. 常用物理量及其单位

表 1 6 常用物理量及其单位(摘自 GB3102.1~10-86)

量的名称	量符号	单位名称	单位符号
<b>时间和空间</b>			
(平面)角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$ 等	弧度	rad
立体角	$\Omega$	球面度	sr
长度	$l, (L)$	米	m
宽	$b$	米	m
高	$h$	米	m
厚	$\delta, (d, t)$	米	m
半径	$r, R$	米	m
直径	$d, D$	米	m
程长, 距离	$s$	米	m
面积	$A, (S)$	平方米	$m^2$
体积, 容积	$V$	立方米	$m^3$
时间, 时间间隔, 持续时间	$t$	秒	s
角速度	$\omega$	弧度每秒	rad/s
角加速度	$\alpha$	弧度每二次方秒	rad/s <sup>2</sup>
速度	$v, u, w, c$	米每秒	m/s
加速度	$a$	米每二次方秒	m/s <sup>2</sup>
重力加速度, 自由 落体加速度	$g$	米每二次方秒	m/s <sup>2</sup>
<b>周期</b>			
周期	$T$	秒	s
时间常数	$\tau, (T)$	秒	s
频率	$f, (\nu)$	赫[兹]	Hz
转速	$n$	每 秒 转每分	$s^{-1}$ r/min
角频率	$\omega$	弧度每秒 每 秒	rad/s $s^{-1}$
<b>力学</b>			
质量	$m$	千 克	kg
密度	$\rho$	千克每立方米	kg/m <sup>3</sup>

(续)

量的名称	量符号	单位名称	单位符号
相对密度	$d$		
线密度	$\rho_l$	千克每米	kg/m
动量	$p$	千克米每秒	kg·m/s
动量矩,角动量	$L$	千克二次方米每秒	kg·m <sup>2</sup> /s
转动惯量	$I, (J)$	千克二次方米	kg·m <sup>2</sup>
力	$F$	牛[顿]	N
重力	$W, (P, G)$	牛[顿]	N
力矩	$M$	牛[顿]米	N·m
转矩,力偶矩	$T$	牛[顿]米	N·m
压力,压强	$p$	帕[斯卡]	Pa
弹性模量	$E$	帕[斯卡]	Pa
摩擦系数	$\mu, (f)$		
功	$W, (A)$	焦[耳]	J
能[量]	$E, (W)$	焦[耳]	J
势能,位能	$E_p, (V)$	焦[耳]	J
动能	$E_k, (T)$	焦[耳]	J
功率	$P$	瓦[特]	W
<b>热 学</b>			
热力学温度	$T, \theta$	开[尔文]	K
摄氏温度	$t, \theta$	摄氏度	°C
线(膨)胀系数	$\alpha_l$	每开尔文	K <sup>-1</sup>
热,热量	$Q$	焦[耳]	J
热流量	$\Phi$	瓦[特]	W
热导率,(导热系数)	$\lambda, k$	瓦[特]每米开[尔文]	W/(m·k)
传热系数	$h, \alpha$	瓦[特]每平方米开[尔文]	W/(m <sup>2</sup> ·k)
热容	$C$	焦[耳]每开[尔文]	J/K
比热容	$c$	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg·k)

(续)

量的名称	量符号	单位名称	单位符号
熵	$S$	焦[尔]每开[尔文]	J/K
比熵	$s$	焦[尔]每千克开 [尔文]	J/(kg·K)
内能	$U, (E)$	焦[尔]	J
焓	$H, (I)$	焦[尔]	J
比内能	$u, (e)$	焦[尔]每千克	J/kg
比焓	$h, (i)$	焦[尔]每千克	J/kg
<b>电学和磁学</b>			
电流	$I$	安[培]	A
电荷[量]	$Q, (q)$	库[仑]	C
电荷[体]密度	$\rho, (\eta)$	库[仑]每立方米	C/m <sup>3</sup>
电荷面密度	$\sigma$	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电场强度	$E, (K)$	伏特每米	V/m
电位、(电势)	$v, \varphi$	伏[特]	V
电位差、(电势 差)、电压	$U$	伏[特]	V
电动势	$E$	伏[特]	V
电通[量]密度、电 位移	$D$	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电通[量]、电位移 通量	$\Psi$	库[仑]	C
电容	$C$	法[拉]	F
介电常数、(电容 率)	$\epsilon, \epsilon$	法[拉]每米	F/m
真空介电常数、 (真空电容率)	$\epsilon_0, \epsilon_0$	法[拉]每米	F/m
电极化强度	$P$	库[仑]每平方米	C/m <sup>2</sup>
电偶极矩	$p, (p_e)$	库[仑]米	C·m
电流密度	$J, (S, \delta)$	安[培]每平方米	A/m <sup>2</sup>
电流线密度	$A, (a)$	安[培]每米	A/m

(续)

量的名称	惯符号	单位名称	单位符号
磁场强度	$H$	安[培]每米	A/m
磁位差,(磁势差)	$U_m$	安[培]	A
磁通势,(磁位势)	$F, F_m$	安[培]	A
磁通(量)密度,磁感应强度	$B$	特[斯拉]	T
磁通(量)	$\Phi$	韦[伯]	Wb
磁矢位,(磁矢势)	$A$	韦[伯]每米	Wb/m
自感	$L$	亨[利]	H
互感	$M, L_{12}$	亨[利]	H
磁导率	$\mu$	亨[利]每米	H/m
真空磁导率	$\mu_0$	亨[利]每米	H/m
[面]磁矩	$m$	安[培]平方米	A·m <sup>2</sup>
磁化强度	$H_i, M$	安[培]每米	A/m
磁极化强度	$B_i, J$	特[斯拉]	T
[直流]电阻	$R$	欧[姆]	$\Omega$
[直流]电导	$G$	西[门子]	S
电阻率	$\rho$	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$
电导率	$\gamma, \sigma, \kappa$	西[门子]每米	S/m
磁阻	$R_m$	每亨[利]	H <sup>-1</sup>
磁导	$\Lambda, (P)$	亨[利]	H
绕组的匝数	$N$		
相数	$m$		
极对数	$p$		
相[位]差,相[位]移	$\varphi$	弧度	rad
阻抗,(复数阻抗)	$Z$	欧[姆]	$\Omega$
阻抗模,(阻抗)	$ Z $	欧[姆]	$\Omega$
电抗	$X$	欧[姆]	$\Omega$
[交流]电阻	$R$	欧[姆]	$\Omega$
品质因数	$Q$		
导纳,(复数导纳)	$Y$	西[门子]	S



(续)

量的名称	量符号	单位名称	单位符号
导纳模,(导纳)	$Y$	西[门子]	S
电纳	$B$	西[门子]	S
[交流]电导	$G$	西[门子]	S
功率,有功功率	$P$	瓦[特]	W
无功功率	$Q, (P_q)$	乏	var
表观功率,视在功率	$S, (P_s)$	伏安	V·A
电能[量]	$W$	焦[耳]或千瓦[特] [小]时	J或kW·h
<b>光</b>			
发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd
光通量	$\Phi, (\Phi_v)$	流[明]	lm
光量	$Q, (Q_v)$	流[明]秒	lm·s
(光)亮度	$L, (L_v)$	坎[德拉]每平方米	cd/m <sup>2</sup>
光出射度	$M, (M_v)$	流[明]每平方米	lm/m <sup>2</sup>
(光)照度	$E, (E_v)$	勒[克斯]	lx
曝光量	$H$	勒[克斯]秒	lx·s
光视效能	$K$	流[明]每瓦[特]	lm/W
折射率	$n$		
<b>声学</b>			
波长	$\lambda$	米	m
声速	$c$	米每秒	m/s
声[源]功率	$W, P$	瓦[特]	W
声能通量	$\Phi$	瓦[特]	W
声强度	$I$	瓦[特]每平方米	W/m <sup>2</sup>
声阻抗率	$Z_s$	帕[斯卡]秒每米	Pa·s/m
(声)特性阻抗	$Z_c$	帕[斯卡]秒每米	Pa·s/m
声阻抗	$Z_a$	帕[斯卡]秒每立方 米	Pa·s/m <sup>3</sup>
声质量	$M_u$	千克每四次方米	kg/m <sup>4</sup>
声压级	$L_p, (L)$	分贝	dB

(续)

量的名称	量符号	单位名称	单位符号
声强级	$L_I$	分贝	dB
声功率级	$L_W$	分贝	dB
隔声量、传声损失	$R$	分贝	dB
吸声量	$A$	平方米	$m^2$
<b>物理化学和分子物理学</b>			
物质的量	$n, (\nu)$	摩[尔]	mol
摩尔质量	$M$	千克每摩[尔]	kg/mol
摩尔体积	$V_m$	立方米每摩[尔]	$m^3/mol$
摩尔内能	$U_m$	焦[耳]每摩[尔]	J/mol
扩散系数	$D$	平方米每秒	$m^2/s$
<b>原子物理学和核物理学</b>			
电子[静止]质量	$m_e$	克	kg
质子[静止]质量	$m_p$	克	kg
元电荷	$e$	库[仑]	C
波尔半径	$a_0$	米	m
核半径	$R$	米	m
[放射性]活度	$A$	贝可[勒尔]	Bq
衰变常数	$\lambda$	每秒	$s^{-1}$
半衰期	$T_{1/2}$	秒	s
<b>核反应和电离辐射</b>			
反应能	$Q$	焦[耳]	J
截面	$\sigma$	平方米	$m^2$
粒子注量	$\Phi$	每平方米	$m^{-2}$
吸收剂量	$D$	戈[瑞]	Gy
剂量当量	$H$	希[沃特]	Sv
比释动能	$K$	戈[瑞]	Gy
照射量	$X$	库[仑]每千克	C/kg

### 3. 常用法定计量单位及其换算

表 1-7 常用法定计量单位及其换算

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
长度	米	m	费密	Å	1 费密 = 1 fm = 10 <sup>-15</sup> m
	海里	n mile	英尺	ft	1 A = 0.1 nm = 10 <sup>-10</sup> m
			英寸	in	1 ft = 0.3048 m
			英里	mile	1 in = 0.0254 m
			海里	mil	1 mile = 1609.344 m
面积	平方米	m <sup>2</sup>	公顷	a	1 mil = 25.4 × 10 <sup>-6</sup> m
			公顷	ha	1 a = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
			平方英尺	ft <sup>2</sup>	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
			平方英寸	in <sup>2</sup>	1 ft <sup>2</sup> = 0.0929030 m <sup>2</sup>
			平方英里	mile <sup>2</sup>	1 in <sup>2</sup> = 6.4516 × 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
					1 mile <sup>2</sup> = 2.58999 × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
体积、容积	立方米	m <sup>3</sup>	立方英尺	ft <sup>3</sup>	1 ft <sup>3</sup> = 0.0283168 m <sup>3</sup>
	升	L, (l)	立方英寸	in <sup>3</sup>	1 in <sup>3</sup> = 1.63871 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>
			英加仑	UK gal	1 UK gal = 4.54609 dm <sup>3</sup>
			美加仑	US gal	1 US gal = 3.7851 dm <sup>3</sup>
质量	千克(公斤)	kg	磅	lb	1 lb = 0.45359237 kg
	吨	t	英担	cwt	1 cwt = 50.8023 kg
	原子质量单位	u	英吨	ton	1 ton = 1016.05 kg
			短吨	sh ton	1 sh ton = 907.185 kg

(续)

物理名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
温度	开(尔文)	K	盎司	oz	1 oz = 28.3495g
	摄氏温度	°C	磅 夸 米制克拉	lb qt qt 米制克拉	1 lb = 0.45359237 kg 1 qt = 12.7006 kg 1 米制克拉 = $2 \times 10^{-4}$ kg 表示温度差和温度间隔时: 1 °C = 1 K 表示温度的数值时: $t = T - 273.15$ 表示温度差和温度间隔时: 1 °F = $\frac{5}{9}$ °C 表示温度的数值时: $T = \frac{5}{9}(T_F + 459.67)$ $t = \frac{5}{9}(T_F - 32)$ 表示温度差和温度间隔时: 1 °R = $\frac{5}{9}$ K 表示温度数值时: $t = \frac{5}{9} T_R - 273.15$ 式中 $t$ —— 摄氏温度(°C) $T$ —— 热力学温度(K)
			华氏度	°F	
			华氏度	°R	

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
旋转速度	每秒钟 转每分	s <sup>-1</sup> r/min		rpm	$T_F$ ——华氏温度(°F) $T_R$ ——兰氏温度(°R)
力;重力	牛(顿)	N	达因 千克力 磅力 吨力	dyn kgf lbf tf	$1\text{rpm} = 1\text{r}/\text{min} = (1/60)\text{s}^{-1}$ $1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N}$ $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ $1\text{lbf} = 4.44822\text{N}$ $1\text{tf} = 9.80665 \times 10^3\text{N}$
压力;压强; 应力	帕(斯卡)	Pa	巴 千克力每平方厘米 毫米水柱 毫米汞柱 托 工程大气压 标准大气压 磅力每平方英尺 磅力每平方英寸	bar kgf/cm <sup>2</sup> mmH <sub>2</sub> O mmHg Torr at atm lbf/ft <sup>2</sup> lbf/in <sup>2</sup>	$1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$ $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.0980665\text{MPa}$ $1\text{mmHg} = 9.80665\text{Pa}$ $1\text{mmHg} = 133.322\text{Pa}$ $1\text{Torr} = 133.322\text{Pa}$ $1\text{at} = 98066.5\text{Pa} = 98.0665\text{kPa}$ $1\text{atm} = 101325\text{Pa} = 101.325\text{kPa}$ $1\text{lbf}/\text{ft}^2 = 47.8863\text{Pa}$ $1\text{lbf}/\text{in}^2 = 6894.76\text{Pa}$ $= 6.89476\text{kPa}$
能量;功;热	焦(耳) 电子伏 千瓦时	J eV kW·h	尔格 千克力米 英马力小时 卡	erg kgf·m hp·h cal	$1\text{erg} = 10^{-7}\text{J}$ $1\text{kgf} \cdot \text{m} = 9.80665\text{J}$ $1\text{hp} \cdot \text{h} = 2.68452\text{MJ}$ $1\text{cal} = 4.1868\text{J}$

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
功率、辐射通量			热化学卡	cal <sub>th</sub>	1 cal <sub>th</sub> = 4.184 J
			马力小时		1 马力小时 = 2.64779 MJ
			电工马力小时		1 电工马力小时 = 2.685 60 MJ
			英热单位	Btu	1 Btu = 1055.06 J = 1.05506 kJ
					1 kW · h = 3.6 MJ
			千克·米每秒	kgf · m/s	1 kgf · m/s = 9.806 65 W
			马力、米制马力	法 ch, CV, 德 PS, hp	1 ch = 735.499 W
			英马力		1 hp = 745.700 W
			电工马力		1 电工马力 = 746 W
			卡每秒	cal/s	1 cal/s = 4.1868 W
			千卡每小时	kcal/h	1 kcal/h = 1.163 W
			热化学卡每秒	cal <sub>th</sub> /s	1 cal <sub>th</sub> /s = 4.184 W
			伏安	VA	1 VA = 1 W
		乏	var	1 var = 1 W	
		英热单位每小时	Btu/h	1 Btu/h = 0.293071 W	
电导	西(门子)	S	姆欧	Ω	1 Ω = 1 S
磁通量	韦(伯)	Wb	麦克斯韦	Mx	1 Mx = 10 <sup>-8</sup> Wb
磁通量密度、磁感应强度	特(斯拉)	T	高斯	Gs, G	1 Gs = 10 <sup>-4</sup> T

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
光照度	勒(克斯)	lx	英尺烛光	lm/ft <sup>2</sup>	1lm/ft <sup>2</sup> = 10.76 lx
速度	米每秒	m/s	英尺每秒	ft/s	1ft/s = 0.3048m/s
	节	kn	英寸每秒	in/s	1in/s = 0.0254m/s
加速度	千米每小时	km/h	英里每小时	mile/h	1mile/h = 0.44704m/s
	米每分钟	m/min			1km/h = 0.277778m/s
	米每二次方秒	m/s <sup>2</sup>	英尺每二次方秒	ft/s <sup>2</sup>	1m/min = 0.0166667m/s 1ft/s <sup>2</sup> = 0.3048m/s <sup>2</sup>
线密度、纤度	千克每米	kg/m	伽	Gal	1Gal = 10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup>
	特(克斯)	tex	旦(尼尔)	den	1den = 0.1111112 × 10 <sup>-6</sup> kg/m
			磅每英尺	lb/ft	1lb/ft = 1.48816kg/m
密度	千克每立方米	kg/m <sup>3</sup>	磅每英寸	lb/in	1lb/in = 17.8580kg/m
	方米		磅每立方英尺	lb/ft <sup>3</sup>	1lb/ft <sup>3</sup> = 16.0185kg/m <sup>3</sup>
比容(比体积)	立方米每千克	m <sup>3</sup> /kg	磅每立方英寸	lb/in <sup>3</sup>	1lb/in <sup>3</sup> = 27679.9kg/m <sup>3</sup>
			立方英尺每磅	ft <sup>3</sup> /lb	1ft <sup>3</sup> /lb = 0.0624280m <sup>3</sup> /kg
质量流量	千克每秒	kg/s	立方英寸每磅	in <sup>3</sup> /lb	1in <sup>3</sup> /lb = 3.61273 × 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /kg
			磅每秒	lb/s	1lb/s = 0.453592kg/s

(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
体积流量	立方米每秒 升每秒	m <sup>3</sup> /s L/s	磅每小时 立方英尺每秒 立方英寸每小时	lb/h ft <sup>3</sup> /s in <sup>3</sup> /h	1lb/h=1.25998×10 <sup>-4</sup> kg/s 1ft <sup>3</sup> /s=0.0283168m <sup>3</sup> /s 1in <sup>3</sup> /h=4.55196×10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup> /s
转动惯量	千克二次方米 方米	kg·m <sup>2</sup>	磅二次方英尺 磅二次方英寸	lb·ft <sup>2</sup> lb·in <sup>2</sup>	1lb·ft <sup>2</sup> =0.0421401kg·m <sup>2</sup> 1lb·in <sup>2</sup> =2.92640×10 <sup>-4</sup> kg·m <sup>2</sup>
动量	千克米每秒	kg·m/s	磅英尺每秒	lb·ft/s	1lb·ft/s=0.138255kg·m/s
角动量	千克二次方米每秒	kg·m <sup>2</sup> /s	磅二次方英尺每秒	lb·ft <sup>2</sup> /s	1lb·ft <sup>2</sup> /s=0.0421401kg·m <sup>2</sup> /s
力矩	牛顿米	N·m	千克力米 磅力英尺 磅力英寸	kgf·m lbf·ft lbf·in	1kgf·m=9.80665N·m 1lbf·ft=1.35582N·m 1lbf·in=0.112985N·m
动力粘度	帕斯卡秒	Pa·s	泊 厘泊 千克力秒每平方米 磅力秒每平方米 磅力秒每平方英寸	P, Po cP kgf·s/m <sup>2</sup> lbf·s/ft <sup>2</sup> lbf·s/in <sup>2</sup>	1P=10 <sup>-1</sup> Pa·s 1cP=10 <sup>-3</sup> Pa·s 1kgf·s/m <sup>2</sup> =9.80665Pa·s 1lbf·s/ft <sup>2</sup> =47.8803Pa·s 1lbf·s/in <sup>2</sup> =6894.76Pa·s
运动粘度, 热扩散率	二次方米每秒	m <sup>2</sup> /s	斯〔托克斯〕 厘斯〔托克斯〕 二次方英尺每秒 二次方英寸每秒	St cSt ft <sup>2</sup> /s in <sup>2</sup> /s	1St=10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s 1cSt=10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s 1ft <sup>2</sup> /s=9.29030×10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s 1in <sup>2</sup> /s=6.4516×10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s



(续)

物理量名称	法定计量单位		非法定计量单位		单位换算
	单位名称	单位符号	单位名称	单位符号	
比能	焦耳每千克	J/kg	千卡每千克 热化学千卡每千克 英热单位每磅	kcal/kg kcal <sub>th</sub> /kg Btu/lb	1kcal/kg=4186.8J/kg 1kcal <sub>th</sub> /kg=4184J/kg 1Btu/lb=2326J/kg
	焦耳每千克 开尔文	J/(kg·K)	千卡每千克开尔文 热化学千卡每千克 开尔文 英热单位每磅华氏 度	kcal/(kg·K) kcal <sub>th</sub> /(kg·K) Btu/(lb·°F)	1kcal <sub>th</sub> /(kg·K)=4184J/(kg·K) 1Btu/(lb·°F)=4186.8J/(kg·K)
	瓦特每平方米 开尔文	W/(m <sup>2</sup> ·K)	卡每平方厘米秒 开尔文 千卡每平方米小时 开尔文 英热单位每平方英尺 小时华氏度	cal/(cm <sup>2</sup> ·s·K) kcal/ (m <sup>2</sup> ·h·K) Btu/(ft <sup>2</sup> ·h·°F)	1cal/(cm <sup>2</sup> ·s·K)= 41868W/(m <sup>2</sup> ·K) 1kcal/(m <sup>2</sup> ·h·K)= 1.163W/(m <sup>2</sup> ·K) 1Btu/(ft <sup>2</sup> ·h·°F)= 5.67826W/(m <sup>2</sup> ·K)
热导率	瓦特每米 开尔文	W/(m·K)	卡每厘米秒开尔文 千卡每米小时开尔 文 英热单位每英尺小 时华氏度	cal/(cm·s·K) kcal/(m·h·K) Btu/(ft·h·°F)	1cal/(cm·s·K)= 418.68W/(m·K) 1kcal/(m·h·K)= 1.163W/(m·K) 1Btu/(ft·h·°F)= 1.73073W/(m·K)

## 二、物理数据表

### 1. 常见元素的物理性能

表 1-8 常用元素的物理性能

符 号	名 称	密 度(20℃) (g/cm <sup>3</sup> )	熔 点 (101323Pa) (℃)	沸 点 (101323Pa) (℃)	导 热 系 数 (10 <sup>2</sup> W/(m·K))	线 胀 系 数 (0~100℃) (10 <sup>-6</sup> /℃)	电 阻 率 (0℃) (10 <sup>-8</sup> Ω·m)	电 阻 温 度 系 数 (0℃) (10 <sup>-3</sup> /℃)
Ag	银	10.49	960.8	2210	4.187	19.7	1.59	4.29
Al	铝	2.6984	660.1	2500	2.219	23.6	2.535	4.23
Ar	氩	1.784×10 <sup>-3</sup>	-189.2	-185.7	1.7×10 <sup>-4</sup>			
Au	金	19.32	1063	2966	2.973	14.2	2.065	3.5
B	硼	2.34	2300	2675		8.3(40℃)	1.8×10 <sup>12</sup>	
Ba	钡	3.5	710	1640		19.0	50	
Be	铍	1.81	1283	2970	1.465	11.6(20~60℃)	6.6	6.7
Br	溴	3.12(液态)	-7.1	58.4			6.7×10 <sup>9</sup>	
C	碳	2.25(石墨)	3727(高纯度)	1830	0.239	0.6~4.3	1375	0.6~1.2
Ca	钙	1.55	850	1440	1.256	22.3	3.6	3.33
Cd	镉	8.65	321.03	765	0.921	31.0	7.51	4.24
Cl	氯	3.214×10 <sup>-3</sup>	-101	-33.9	0.72×10 <sup>-4</sup>		10×10 <sup>9</sup>	
Co	钴	8.9	1492	2870	0.691	12.4	5.06(α)	6.6
Cr	铬	7.19	1903	2642	0.670	6.2	12.9	2.5
Cu	铜	8.96	1083	2580	3.936	17.0	1.67~1.68 (20℃)	4.3
F	氟	1.696×10 <sup>-3</sup>	-219.6	-188.2				

(续)

符 号	名 称	密 度(20℃) (g/cm <sup>3</sup> )	熔 点 (101323Pa) (℃)	沸 点 (101323Pa) (℃)	导热系数 (10 <sup>2</sup> W/(m·K))	线胀系数 (0~100℃) (10 <sup>-6</sup> /℃)	电阻率 (0℃) (10 <sup>-8</sup> Ω·m)	电阻温度系数 (0℃) (10 <sup>-3</sup> /℃)
Fe	铁	7.87	1537	2930	0.754	11.76	9.7(20℃)	6.0
Ga	镓	5.91	29.8	2269	0.233	13.3	13.7	3.9
Ce	铈	5.323	958	2880	0.586	5.92	0.86×10 <sup>6</sup> ~52×10 <sup>6</sup>	1.4
H	氢	0.0899×10 <sup>-3</sup>	-259.04	-252.61	17×10 <sup>-4</sup>			
Hg	汞	13.546(液)	-38.87	356.58	0.082	182	94.07	0.99
I	碘	4.93	113.3	183	0.4354×10 <sup>-4</sup>	93	1.3×10 <sup>16</sup>	
K	钾	0.87	63.2	765	1.005	83	6.55	5.4
Li	锂	0.531	180	1347	0.712	56	8.55	4.6
Mg	镁	1.74	650	1108	1.537	24.3	4.47	4.1
Mn	锰	7.43	1244	2150	0.05(-192℃)	37	185(20℃)	1.7
Mo	钼	10.22	2625	4800	1.424	4.9	5.17	4.71
N	氮	1.25×10 <sup>-3</sup>	-210	-195.8	25.12×10 <sup>-5</sup>			
Na	钠	0.9712	97.8	892	1.340	71	4.27	5.47
Ne	氖	0.8999×10 <sup>-3</sup>	-248.6	-246.0	0.00046			
Ni	镍	8.90	1453	2732	0.921	13.4	6.84	5.9~8.0
O	氧	1.429×10 <sup>-3</sup>	-218.83	-182.97	247.02×10 <sup>-6</sup>			
P	磷	1.83	44.1	280		125	1×10 <sup>17</sup>	-0.456
Pb	铅	11.34	327.3	1750	0.348	29.3	18.8	4.2

(续)

符 号	名 称	密 度 (20℃) (g/cm <sup>3</sup> )	熔 点 (101323Pa) (℃)	沸 点 (101323Pa) (℃)	导热系数 [10 <sup>2</sup> W/(m·K)]	线胀系数 (0~100℃) (10 <sup>-6</sup> /℃)	电阻率 (0℃) (10 <sup>-8</sup> Ω·m)	电阻温度系数 (0℃) (10 <sup>-3</sup> /℃)
Pt	铂	21.45	1765	4530	0.691	8.9	9.2~9.6	3.99
S	硫	2.07	115	444.6	26.42×10 <sup>-4</sup>	64	2×10 <sup>23</sup> (20℃)	
Sn	锡	6.68	630.5	1440	0.188	8.5~10.8	39.0	5.1
Se	硒	4.808	220	685	(29.3~76.6) ×10 <sup>-4</sup>	37	12	4.45
Si	硅	2.329	1412	3310	0.837	2.8~7.2	10	0.8~1.8
Sb	锑	7.298	231.91	2690	0.628	23	11.5	4.4
Ti	钛	4.508	1677	3260	0.151(α)	8.2	42.1~47.8	3.97
U	铀	19.05	1132	3930	0.297	6.8~14.1	79.0	1.95
V	钒	6.1	1910	3400	0.310	8.3	29.0	2.18~2.76
W	钨	19.3	3380	5900	1.662	4.6(20℃)	24.8~26	2.8
Xe	氙	5.495×10 <sup>-3</sup>	112	-108			5.1	4.82
Zn	锌	7.134(25℃)	419.505	907	1.130	39.5	5.75	4.2

注:1. 数据旁括号内的温度指该数据的特定温度。

2. 对液体元素,线胀系数的数据为体胀系数。

## 2. 常用物理常数

摩尔气体常数	$R = (8.31441 \pm 0.00026) \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
玻耳兹曼常数	$k = (1.380662 \pm 0.000044) \times 10^{-23} \text{ J/K}$
引力常数	$G = (6.6720 \pm 0.0041) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
标准重力加速度	$g_n = 9.80665 \text{ m/s}^2$
斯忒藩-玻耳兹曼常数	$\sigma = (5.67032 \pm 0.00071) \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
阿伏加德罗常数	$N_A = (6.022045 \pm 0.000031) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
普朗克常数	$h = (6.626176 \pm 0.000036) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
电磁波在真空中的传播速度	$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
真空介电常数	$\epsilon_0 = 8.854187818 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
真空磁通率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} = 12.5663706144 \times 10^{-7} \text{ H/m}$
元电荷	$e = (1.6021892 \pm 0.0000046) \times 10^{-19} \text{ C}$
电子〔静止〕质量	$m_e = (0.9109534 \pm 0.0000047) \times 10^{-30} \text{ kg}$
质子〔静止〕质量	$m_p = (1.6726485 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子〔静止〕质量	$m_n = (1.6749543 \pm 0.0000086) \times 10^{-27} \text{ kg}$
玻尔磁子	$\mu_B = (9.274078 \pm 0.000036) \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
法拉第常数	$F = (9.648456 \pm 0.000027) \times 10^4 \text{ C/mol}$
热力学温度	$T_0 = 273.15 \text{ K}$

## 三、常用数学公式

### 1. 代数

#### (1) 恒等式

$$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$$

$$x^2 + (a - b)x - ab = (x + a)(x - b)$$

$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$(a+b+c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca$$

$$a^3 + b^3 = (a+b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$$

### (2) 阶乘

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots (n-2)(n-1)n$$

$$(2n)!! = 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots (2n-2)(2n)$$

$$(2n+1)!! = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)(2n+1)$$

$$0! = 1 \quad 0!! = 0 \quad (-1)!! = 0$$

### (3) 二次方程

$ax^2 + bx + c = 0$   $a, b, c$  为实数, 且  $a \neq 0$  其两根为:

$$x_1, x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_1 + x_2 = -\frac{b}{a} \quad x_1 x_2 = \frac{c}{a}$$

设  $D = b^2 - 4ac$  (判别式) 则当

$D > 0$  时, 有不等两实根;

$D = 0$  时, 有相等两实根(重根);

$D < 0$  时, 有不等两虚根(共轭)。

### (4) 比例

(a) 若  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ , 则  $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$  或  $\frac{d}{b} = \frac{c}{a}$

(b) 若  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ , 则  $\frac{a \pm b}{b} = \frac{c \pm d}{d}$

(c)  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} = \cdots = \frac{a+c+e+\cdots}{b+d+f+\cdots}$

### (5) 幂的运算

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}$$

$$a^m \div a^n = a^{m-n} \quad (m=n \text{ 时}, a^0 = 1)$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

$$\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{ab}$$

$$\sqrt[m]{\sqrt[n]{a}} = \sqrt[mn]{a}$$

(6) 对数

$$\log_a xy = \log_a x + \log_a y$$

$$\log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$$

$$\log_a x^n = n \log_a x$$

$$\log_c a = \log_c b \cdot \log_b a$$

$$\log_a a = 1 \quad \log_a 1 = 0$$

$$\log_b a \cdot \log_a b = 1$$

$$\lg x = \log_{10} x$$

$$\ln x = \log_e x$$

$$e = 1 + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots + \frac{1}{n!} = 2.7182\dots$$

2. 三角函数

(1) 四个象限中的角的三角函数符号

表 1-9 四个象限中的角的三角函数符号

象 限	sin	cos	tg	ctg
I	+	+	+	+
II	+	-	-	-
III	-	-	+	+
IV	-	+	-	-

(2) 任意角的三角函数

表 1-10 任意角的三角函数

	$-\alpha$	$90^\circ \pm \alpha$	$180^\circ \pm \alpha$	$270^\circ \pm \alpha$	$360^\circ - \alpha$
sin	$-\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$
cos	$+\cos \alpha$	$\mp \sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\pm \sin \alpha$	$+\cos \alpha$
tg	$-\operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$\pm \operatorname{tg} \alpha$	$\mp \operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$
ctg	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$\pm \operatorname{ctg} \alpha$	$\mp \operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$

(3) 基本恒等式

$$\sin \alpha \operatorname{csc} \alpha = \cos \alpha \operatorname{sec} \alpha = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \alpha = 1$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\csc^2 \alpha - \operatorname{ctg}^2 \alpha = 1$$

$$\sec^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

(4) 和(差)角公式

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha + \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \operatorname{ctg} \beta \pm 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha}$$

(5) 倍角公式

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha$$

$$= 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad \operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha}$$

(6) 半角公式

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha}$$

(7) 斜三角形

正弦定理  $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$

余弦定理  $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$

三角形面积  $S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} = \frac{1}{2} ab \sin C$

其中  $s = \frac{1}{2}(a+b+c)$   $A+B+C = 180^\circ$



### 3. 复数

(1) 复数的表示法

直角坐标形式  $\dot{Z} = a + jb$  (图 1-1)

三角函数形式  $\dot{Z} = r(\cos\theta + j\sin\theta)$  (图 1-2)

极坐标形式  $\dot{Z} = \sqrt{a^2 + b^2} \angle \arctg \frac{b}{a} = r \angle \theta$

指数函数形式  $\dot{Z} = re^{j\theta}$

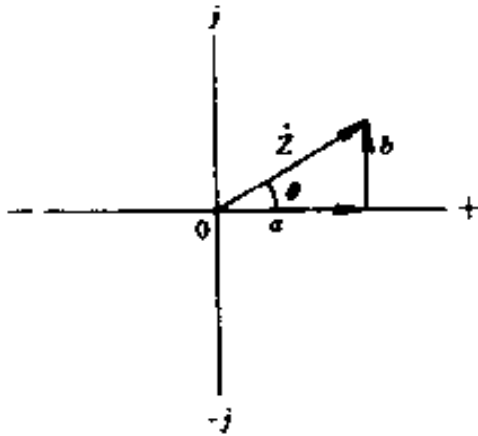


图 1-1 直角坐标形式

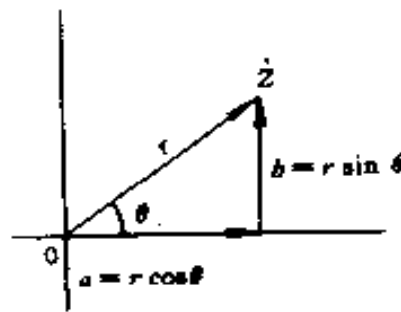


图 1-2 三角函数形式

(2) 复数的和与差

$$(a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$$

$$(a_1 + jb_1) - (a_2 + jb_2) = (a_1 - a_2) + j(b_1 - b_2)$$

(3) 复数的积与商

$$(a_1 + jb_1)(a_2 + jb_2) = (a_1a_2 - b_1b_2) + j(b_1a_2 + a_1b_2)$$

$$\frac{a_1 + jb_1}{a_2 + jb_2} = \frac{a_1a_2 + b_1b_2}{a_2^2 + b_2^2} + j \frac{b_1a_2 - a_1b_2}{a_2^2 + b_2^2}$$

(4) 复数的绝对值

$$1) A = a + jb, |A| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$2) B = a - jb, |B| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$3) C = \frac{a + jb}{c + jd}, |C| = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sqrt{c^2 + d^2}}$$

(5)复数的相位角

$\dot{Z}=a+jb$  的相位角为  $\theta$ ,  $\text{tg}\theta=\frac{b}{a}$  (图 1-1)。

(6)共轭复数

复数  $\dot{Z}=a+jb$  对应的共轭复数为  $Z=a-jb$ 。二者的积为  $\dot{Z}Z=(a+jb)(a-jb)=a^2+b^2$ 。



## 第二章 电工标准

### 一、标准概述

#### 1. 中国标准代号

表 2-1 中国标准代号

代 号	含 义
(1)	<b>国家标准及其他国家级标准</b>
GB	国家标准
GBn	国家标准(内部)
GBJ	国家工程建设标准
GJB	国家军用标准
(2)	<b>部标准及相当于部一级的标准</b>
CB	中国船舶工业总公司标准(原六机部部标准)
CB*	全国船舶标准化技术委员会专业标准
CBM	船舶工业外贸标准
CB/Z	中国船舶工业总公司指导性技术文件
CB*/Z	全国船舶标准化技术委员会指导性技术文件
FJ/Z	纺织工业部指导性技术文件
FZ	纺织工业部部标准
HG	化学工业部部标准
JB	原机械工业部部标准
JB/Z	原机械工业部指导性技术文件
JC	国家建筑材料工业局标准
JJ	原城乡建设环境保护部部标准
LY	林业部部标准
NJ	原机械工业部部标准(农机部分)(最初阶段为原农业机械部部标准)
NJ/Z	原机械工业部指导性技术文件(农机部分)(最初阶段为原农业机械部指导性技术文件)

(续)

代 号	含 义
QB	轻工业部部标准
SG	轻工业部部标准(最初阶段为原中央手工业管理总局标准)
SJ	原电子工业部部标准(最初阶段为原四机部部标准)
SJ/Z	原电子工业部指导性技术文件(最初阶段为原四机部指导性技术文件)
SY	原石油工业部部标准
WS	卫生部部标准(包括医疗器械标准)
YB	冶金工业部部标准
YB/Z	冶金工业部指导性技术文件
(3)	<b>专业标准</b>
ZB	专业标准(不分类)
ZB×××	专业标准(分类)
ZBY	仪器仪表专业标准
ZJB	专业军用标准

## 2. 国际标准和国外标准代号和名称

表 2 2 国际标准和国外标准代号和名称 (一部分)

标准代号	标准名称或发布组织
BIPM	国际计量局
CEC	欧洲共同体委员会
CEE	国际电气设备合格认证委员会
CENELEC	欧洲电气标准协调委员会
CISPR	国际无线电干扰特别委员会
IEC	国际电工委员会
ISO	国际标准化组织标准
NATO	北大西洋公约组织标准化机构标准
ANSI	美国国家标准
ASTM	美国试验与材料协会标准
BS	英国标准
DEF	英国国防标准
DIN	德国国家标准
EIA	美国电子工业协会标准

(续)

标准代号	标准名称或发布组织
IEEE	美国电气电子工程师学会标准
JEC	日本电气学会标准
JEM	日本电机工业会标准规格
JIS	日本工业标准
MIL	美国军用标准
NDS	日本防卫厅标准
NEMA	美国全国电气制造商协会标准
NF	法国国家标准
PN	波兰国家标准
SNV	瑞士标准协会标准
SIS	瑞典标准
TGL	原民主德国国家标准
UNI	意大利国家标准
UL	美国保险商实验室标准
UTE	法国电气技术联合会标准
VDE	德国电气工程师协会标准
VDI	德国工程师协会标准
ГОСТ	前苏联国家标准

## 二、常用电工标准

### 1. 常用电工标准目录

表 2-3 常用的电工标准名称、代号

标准号	标准名称
GB156-80	额定电压
GB311.1~6-83	高压输变电设备的绝缘配合及高压试验技术
GB762--80	电气设备额定电流
GB999-67	直流电力牵引电压系列
GB1498-79	电机、低压电器外壳防护等级
GB1980-80	电气设备额定频率

(续)

标准号	标准名称
GB2421~2424	电工电子产品环境试验规程
GB2900.1~48	电工名词术语
GB3102.5-86	电学和磁学的量和单位
GB3805-83	安全电压
GB3926-83	中频设备额定电压
GB4025-83	指示灯和按钮的颜色
GB4026-83	电器接线端子的识别和用字母、数字符号标志接线端子的通 则
GB4064-83	电气设备安全设计导则
GB4728.1~13-84、85	电气图用图形符号
GB5094-85	电气技术中的项目代号
GB5465.1-85	电气设备用图形符号编制通则
GB5465.2-85	电气设备用图形符号
GB6988.1~7-86	电气制图
GB7159-87	电气技术中的文字符号制定通则

## 2. 额定电压(GB 156-80)

适用范围:本标准所列额定电压适用于直流和 50Hz 交流的系统、电气设备和电子设备。

本标准不适用于下列设备,但不予限制:

- 1) 电气设备和电子设备内部的非通用供电电源及其连接器件和设备;
- 2) 铁路信号和自动闭塞装置;
- 3) 专用试验设备;
- 4) 汽车、拖拉机用电气设备;
- 5) 蓄电池供电的运输设备。

3kV 以下的设备与系统的额定电压见表 2-4。

三相交流 3kV 及以上的设备与系统的额定电压和与其对应的设备最高电压见表 2-5。

表 2 4 电气设备与系统的额定电压(3kV 以下) (V)

直 流		单相交流		三相交流	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
1.5	1.5				
2	2				
3	3				
6	6	6	6		
12	12	12	12		
24	24	21	24		
36	36	36	36	36	36
		42	42	42	42
48	48				
60	60				
72	72				
		100 <sup>+</sup>	100 <sup>+</sup>	100 <sup>+</sup>	100 <sup>+</sup>
110	115				
		127 <sup>*</sup>	133 <sup>*</sup>	127 <sup>*</sup>	133 <sup>*</sup>
220	230	220	230	220/380	230/400
400 <sup>▽</sup> , 440	400 <sup>▽</sup> , 460			380/660	400/690
800 <sup>▽</sup>	800 <sup>▽</sup>				
1000 <sup>▽</sup>	1000 <sup>▽</sup>				
				1140 <sup>**</sup>	1200 <sup>**</sup>

- 注：1. 受电设备的额定电压也是系统的额定电压。  
 2. 直流电压为平均值，交流电压为有效值。  
 3. 在三相交流栏中，斜线“/”之上为相电压，斜线之下为线电压，无斜线者都是线电压。  
 4. 带“+”号者为只用于电压互感器、继电器等控制系统的电压。带“▽”号者为使用于单台供电的电压。带“\*”号者只用于矿井下、热工仪表和机床控制系统的电压。带“\*\*”号者只限于煤矿井下及特殊场合使用的电压。

表 2-5 三相交流电气设备与系统的额定电压

(3kV 及以上)

(kV)

受设备与系统额定电压	供电设备额定电压	设备最高电压
3	3.15	3.5
6	6.3	6.9
10	10.5	11.5
	13.8*	
	15.75*	
	18*	
	20*	
35		40.5
63		69
110		126
220		252
330		363
500		550
750		

注：1. 对应于 750kV 的设备最高电压待定。

2. 带“\*”号者只用作发电机电压。

3. 与发电机配套的受设备的额定电压可采用供电设备额定电压，其设备最高电压由供需双方研究确定，但发电机断路器、隔离开关等的额定电压可在各专业标准中具体规定。

### 3. 中频设备额定电压 (GB3926—83)

适用范围：本标准适用于单相和三相交流频率高于工频 50Hz 至 10kHz 的舰船、航空电气设备和一般工业电气设备(包括通用电气设备、电热装置、机床电气设备、纺织电机、控制微电机、电动工具和移动电源设备等)的额定电压。

本标准不适用于下列设备，但不予限制：无级或有级调节频率的交流电气设备；发电机的励磁设备；由变电压装置供电的舰船和航空交流



电气设备；通讯、遥控、遥测和通信(有线、无线)设备的内部电路；铁道信号、自动闭塞装置及电传动机车内部控制电路；单个或一组机床的内部控制电路。

额定电压如表 2-6 和表 2-7 规定。

表 2-6 舰船和航空电气设备的额定电压 (V)

舰 船				航 空			
单 相		三 相		单 相		三 相	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
115	120	115	120	115	115	38	36
220	230	220	230	115	115、120*	115/200	115/200
		380	400(390)			115/200	115/200 120/208*

- 注：1. 三相栏中，斜线“/”之上为相电压，斜线之下为线电压，无斜线者为线电压。  
2. 航空供电设备栏中，带“\*”号者为发电机电压值，不带“\*”号者为电源系统或变流机电压值。  
3. 带括号者也可采用。

电压允许偏差值按电气设备的需要规定下列五种：

0.5%；1%；2%；3%；5%。

航空中频设备电压允许偏差值，另由专业标准规定。

表 2-7 一般工业电气设备的额定电压 (V)

通用电气设备		电热装置	机床电气设备	纺织电机	控制微电机	电动工具	中频发电机及装置		移动电源设备	
单相	三相	单相	三相	三相	单相	三相	单相	三相	单相	三相
受 电 设 备							供 电 设 备			
9	42	(250)	115	115	9	42	115	115	115	208
12	115	375	220	130*	12	220	220	160*	230	230
16	160	500	350	160*	16		375	220		400
20	220	750			20		500	350		
26	350	1000			26		750	550*		

(续)

通用电气设备		电热装置	机床电气设备	纺织电机	控制 微电机	电动 工具	中频发电 机及装置		移动电 源设备	
单相	三相	单相	三相	三相	单相	三相	单相	三相	单相	三相
		受 电 设 备				供 电 设 备				
36		1500			36		1000			
60		2000			60		1500			
90		3000			90		2000			
115					115		3000			
220					220					
375										
500										
750										
1000										
1500										
2000										
3000										

- 注：1. 带“\*”号者，仅限于人造纤维的纺锭使用；带括号者，不推荐采用。  
2. 三相栏内的值均为线电压。  
3. 控制微电机栏的电压值也适用于航空。

#### 4. 安全电压 (GB3805—83)

**适用范围：**当电气设备需要采用安全电压来防止触电事故时，应根据使用环境、人员和使用方式等因素选用本标准中所列的不同等级安全电压额定值。

本标准不适用于水下等特殊场所，也不适用于有带电部分能伸入人体内的医疗设备。

本标准中的《安全电压》相当于国际电工委员会出版物中的《安全特低电压》(Safety extra-low voltage)。

**安全电压等级：**为防止触电事故而采用的由特定电源供电的电压

系列。系列的上限值,在任何情况下,在两导体间或任一导体与地之间均不得超过交流(50~500Hz)有效值 50V。

安全电压额定值的等级为:42,36,24,12,6V。当电气设备采用了超过 24V 的安全电压时,必须采取防止直接接触带电体的保护措施。

### 5. 电气设备额定电流 (GB762—80)

适用范围:本标准适用于下列以电流为主参数来命名或标注型号的交流、直流电气设备和电子设备,如: 1)高压电器; 2)低压电器; 3)半导体整流器和整流变压器; 4)电焊设备; 5)日用电器和插头插座; 6)电流互感器、限流电抗器和电瓷套管; 7)电工仪器 and 仪表; 8)电子直流稳压电源装置; 9)专用电器。

本标准不适用于下列设备和回路: 1)无线电通讯用的接收、发送机和信号呼唤机的内部闭合回路; 2)计量、检测仪器和控制回路; 3)热继电器的热元件和熔断器的熔断片; 4)变压器和电磁铁的绕组线圈。

额定电流见表 2-8 规定。

表 2-8 电气设备额定电流

(A)

1	1.25	1.5	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80 (75)
100	125 (120)	160 (150)	200	250	315 (300)	400	500	630 (600)	800 (750)
1000	1250 (1200)	1600 (1500)	2000	2500	3150 (3000)	4000	5000	6300 (6000)	8000
10000	12500 (12000)	16000 (15000)	20000	25000					

注: 1. 括号内的值,仅限于老产品使用。

2. 1A 以下的额定电流等级,按 R10 化整值的十进分数值来选用 ( $R10 \times 10^{-n}$ , 式中  $n$  为正整数)。

3. 25000A 以上的额定电流等级,按 R10 优先数系的十进倍数来选用 ( $R10 \times 10^n$ , 式中  $n$  为正整数)。

## 6. 电气设备额定频率 (GB1980-80)

适用范围:本标准适用于单相和三相交流频率 50Hz 及以上至 10000Hz 的电力供电系统及设备、舰船电气设备、航空电气设备和一般工业电气设备。

本标准不适用于下列设备及回路: 1)无级或有级调节频率的交流电气设备; 2)遥控及遥测技术和通讯工程(有线、无线)设备; 3)铁道信号、自动闭塞装置及电传动机车内部控制回路; 4)单个机床或一组机床的内部控制回路。

额定频率见表 2-9 规定。

额定频率的允许偏差值规定下列六种:

$\pm 0.2\%$ ;  $\pm 0.5\%$ ;  $\pm 1\%$ ;  $\pm 2\%$ ;  $\pm 5\%$ ;  $\pm 10\%$ 。

表 2-9 电气设备额定频率

(Hz)

电力供 电系统 及设备	舰 船 电 气 设 备	航 空 电 气 设 备	一 般 工 业 电 气 设 备					
			通 用 电 气 设 备	电 热 装 置	机 床 电 气 设 备	纺 织 电 机	控 制 电 机	电 动 工 具
50	50 — —	50 — —	50	50	50	50	50	50
			—	—	—	(75)	—	—
			100	—	—	100	—	—
			—	—	—	* 133	—	—
			150	150	150	150	—	150
			—	—	—	—	—	—
			200	—	—	200	—	200
			—	—	—	(300)	—	—
			—	—	—	—	—	—
	400	400	—	—	—	—	(330)	—
			400	400	400	400	400	400
			—	—	—	—	(427)	—
			—	(500)	—	—	(500)	—
			600	—	600	600	—	—
			800	—	800	—	—	—
			1000	1000	1000	1000	1000	—
			1500	—	1500	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
			2500	2500	* * 2000	—	—	—
			—	—	2500	—	—	—
			4000	4000	(3000)	—	—	—
			—	—	4000	—	—	—
			8000	8000	—	—	—	—
			10000	10000	—	—	—	—

- 注: 1. 带括号的值, 在新设计产品时不推荐采用。  
2. \* 133Hz 仅限于人造纤维的纺锭用。  
3. \* \* 2000Hz 仅限于轴承磨削用。

## 7. 电气设备常用基本文字符号

表 2-10 电气设备常用基本文字符号(GB7159—87)

设备、装置和 元器件种类	名 称	单字母 符 号	双字母 符 号
组 件 部 件	分离元件放大器	A	
	激光器	A	
	调节器	A	
	本表其他地方未规定的组件、部件	A	
	电桥	A	AB
	晶体管放大器	A	AD
	集成电路放大器	A	AJ
	磁放大器	A	AM
	电子管放大器	A	AV
	印制电路板	A	AP
	抽屉柜	A	AT
	支架盘	A	AR
非电量到电量变换器 或电量到非电量变换器	热电传感器	B	
	热电池	B	
	光电池	B	
	测功计	B	
	晶体换能器	B	
	送话器	B	
	拾音器	B	
	扬声器	B	
	耳机	B	
	自整角机	B	
	旋转变压器	B	
	模拟和多级数字变换器或传感器 (用作指示和测量)	B	
	压力变换器	B	BP
	位置变换器	B	BQ
	旋转变换器(测速发电机)	B	BR
温度变换器	B	BT	
速度变换器	B	BV	

(续)

设备、装置和 元器件种类	名 称	单字母 符 号	双字母 符 号
电容器	电容器	C	
二进制元件 延迟器件 存储器件	数字集成电路和器件： 延迟线 双稳态元件 单稳态元件 磁芯存储器 寄存器 磁带记录机 盘式记录机	D D D D D D D	
其他元器件	本表其他地方未规定的器件 发热器件 照明灯 空气调节器	E E E E	EH EL EV
保护器件	过电压放电器件 避雷器 具有瞬时动作的限流保护器件 具有延时动作的限流保护器件 具有延时和瞬时动作的限流保护 器件 熔断器 限压保护器件	F F F F F F	FA FR FS FU FV
发生器 发电机 电 源	旋转发电机 振荡器 发生器 同步发电机 异步发电机 蓄电池 旋转式或固定式变频器	G G G G G G G	GS GS GA GB GF
信号器件	声响指示器 光指示器 指示灯	H H H	HA HL HL

(续)

设备、装置和 元器件种类	名 称	单字母 符 号	双字母 符 号
继电器 接触器	瞬时接触继电器	K	KA
	瞬时有或无继电器	K	KA
	交流继电器	K	KA
	闭锁接触继电器(机械闭锁或永磁 铁式有或无继电器)	K	KL
	双稳态继电器	K	KL
	接触器	K	KM
	极化继电器	K	KP
	簧片继电器	K	KR
	延时有或无继电器	K	KT
	逆流继电器	K	KR
电感器 电抗器	感应线圈	L	
	线路陷波器	L	
	电抗器(并联和串联)	L	
电动机	电动机	M	
	同步电动机	M	MS
	可做发电机或电动机用的电机	M	MG
	力矩电动机	M	MT
模拟元件	运算放大器	N	
	混合模拟/数字器件	N	
测量设备 试验设备	指示器件	P	
	记录器件	P	
	积算测量器件	P	
	信号发生器	P	
	电流表	P	PA
	(脉冲)计数器	P	PC
	电度表	P	PJ
	记录仪器	P	PS
	时钟、操作时间表	P	PT
	电压表	P	PV
电力电路的开关器件	断路器	Q	QF
	电动机保护开关	Q	QM
	隔离开关	Q	QS

(续)

设备、装置和 元器件种类	名 称	单字母 符 号	双字母 符 号
电阻器	电阻器 变阻器 电位器 测量分路器 热敏电阻器 压敏电阻器	R R R R R R	.  RP RS RT RV
控制、记忆、信号电路 的开关器件选择器	拨号接触器 连接级 控制开关 选择开关 按钮开关 机电式有或无传感器(单级数字传 感器) 液体标高传感器 压力传感器 位置传感器(包括接近传感器) 转数传感器 温度传感器	S S S S S S S S S S S	  SA SA SB  SL SP SQ SR ST
变压器	电流互感器 控制电路电源用变压器 电力变压器 磁稳压器 电压互感器	T T T T T	TA TC TM TS TV
调制器 变换器	鉴频率 解调器 变频器 编码器 变流器 逆变器 整流器 电报译码器	U U U U U U U U	

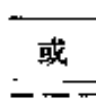

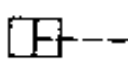
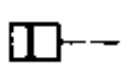




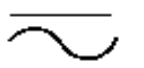







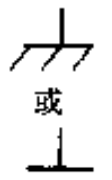
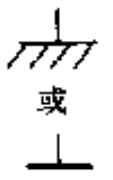






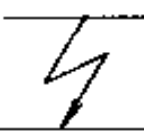
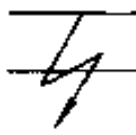
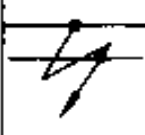
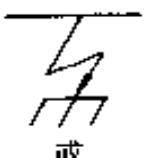
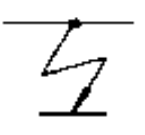
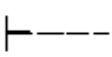
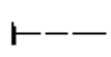
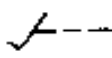
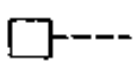
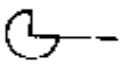
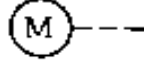
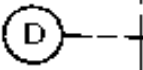


(续)

设备、装置和 元器件种类	名 称	单字母 符 号	双字母 符 号	
电子管 晶体管	气体放电管	V		
	二极管	V		
	晶体管	V		
	晶闸管	V		
	电子管	V	VE	
	控制电路用电源的整流器	V	VC	
传输通道 波 导 天 线	导线	W		
	电缆	W		
	母线	W		
	波导	W		
	波导定向耦合器	W		
	偶极天线	W		
	抛物天线	W		
端 子 插 头 插 座	连接插头和插座	X		
	接线柱	X		
	电缆封端和接头	X		
	焊接端子板	X		
	连接片	X	XB	
	测试插孔	X	XJ	
	插头	X	XP	
	插座	X	XS	
	端子板	X	XT	
电气操作的机械器件	气阀	Y		
	电磁铁	Y	YA	
	电磁制动器	Y	YB	
	电磁离合器	Y	YC	
	电磁吸盘	Y	YH	
	电动阀	Y	YM	
	电磁阀	Y	YV	
终端设备 混合变压器 滤波器 均衡器 限幅器	电缆平衡网络	Z		
	压缩扩展器	Z		
	晶体滤波器	Z		
	网 络	Z		

## 8. 常用电气图用图形符号

表 2-11 常用电气图用图形符号(GB4728-83,84)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
直 流			气动或液压 操作		
交 流			接地 一般符号		
交直流			无噪声接地 (抗干扰接地)		
具有交流分量 的整流电流			保护接地		
低频(工频)			接机壳或接 底板		
中频(音频)			故障		
高频(超声 频、载频或射 频)					
中性线	N	N	闪络、击穿		
中间线	M		导线间绝缘 击穿		
正 极	+	+	导线对机壳 绝缘击穿		
负 极	-	-			
手动操作					
脚踏操作					
贮存机械 能操作					
齿轮操作					
电动机操作					

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
导线对地绝缘击穿			导线的多线连接		
永久磁铁		N  S		或	或
理想电流源					
理想电压源			插头和插座	优选形 	
导线、电缆和母线的—般符号				其他形 	或 
三根导线的单线表示	 或 		接通的连接片		
柔软导线				或 	
二股绞合导线				断开的连接片	
同轴电缆			电缆终端头 		
屏蔽导线		 或 	电阻器的股符号	优选形 	
端子				其他形 	
导线的连接	 或 				

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
可变电阻器		 或	极性电容器	优选形  其他形 	
压敏电阻器			可变电容器	优选形 	 或 
热敏电阻器 注: $\theta$ 可用 $t^{\circ}$ 代替				其他形 	
滑线式变阻器			微调电容器	优选形 	 或 
两个固定抽头的电阻器				其他形 	
两个固定抽头的可变电阻器					
分流器			电感器、线圈、绕组、扼流圈		
滑动触点电位器			带磁心(铁心)的电感器		
预调电位器			磁心(铁心)有间隙的电感器		
电容器的 般符号	优选形 		带磁心(铁心)连续可调的电感器		
	其他形 				

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
有两个抽头的电感器			双向击穿二极管(双向稳压二极管)	优选形  其他形 	
可变电感器			双向二极管、交流开关二极管	优选形  其他形 	
半导体二极管一般符号	优选形  其他形 		PNP型半导体管		
发光二极管	优选形  其他形 		NPN型半导体管		
			集电极接管壳的NPN型半导体管		
隧道二极管	优选形  其他形 		三极晶体闸流管 注:没必要规定控制极类型时,用于表示反向阻断极晶闸管	优选形  其他形 	
单向击穿二极管(稳压二极管)	优选形  其他形 	 	反向阻断三极晶体闸流管(阴极侧受控)	优选形  其他形 	

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
可关断三极 晶体闸流管 (阴极侧受控)	优选形 		耗尽型单栅 N沟道和衬底 无引出线的绝 缘栅场效应半 导体管		
	其他形 				
具有 P 型 双基极单结型 半导体管			光敏电阻		
具有 N 型 双基极单结型 半导体管			光电二极管		
P 型沟道结 型场效应半导 体管			光电池		
N 型沟道结 型场效应半导 体管			两相绕组		
增强型单栅 P 沟道和衬底 无引出线的绝 缘栅场效应半 导体管			三个独立绕组	$3$ 或 $   $	$   $
			三角形连接 的三相绕组		
增强型单栅 N 沟道和衬底 无引出线的绝 缘栅场效应半 导体管			开口三角形 连接的三相绕 组		
			星形连接的 三相绕组		
耗尽型单栅 P 沟道和衬底 无引出线的绝 缘栅场效应半 导体管			中性点引出 的星形连接的 三相绕组		
			曲折形或双 星形互相连接 的三相绕组		
两个绕组 V 形 (60°) 连接 的三相绕组			六个独立绕组	$6$	
			双三角连接 的六相绕组		

(续)

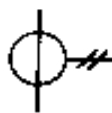
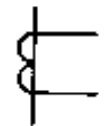

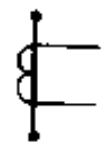
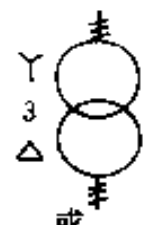
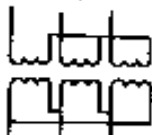

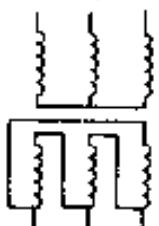







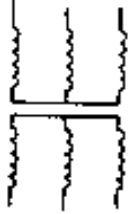

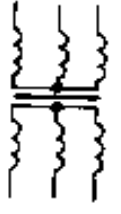

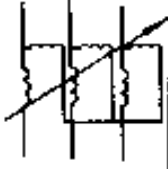


名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号	
多边形直接 的六相绕组			串励直流电 动机			
星形连接的 六相绕组					或	
电机换向绕组					或	
电机补偿绕组						
电机串励绕组						
电机并励或 他励绕组			并励直流电 动机			
集电环或换 向器上的电刷			他励直流电 动机			
			永磁直流电 动机			
直流发电机			单相交流串 励电动机			
直流电动机						
交流发电机			三相交流串 励电动机			
交流电动机						

(续)


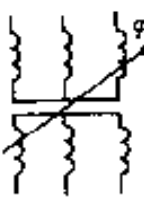


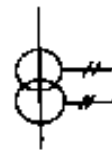
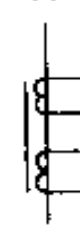

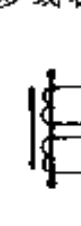

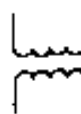


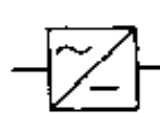
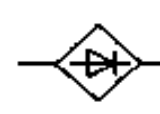
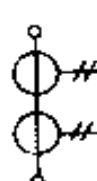

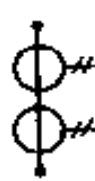
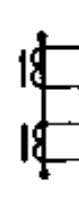

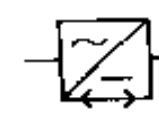
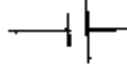
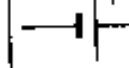
名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
单相水磁同步电动机			双绕组变压器 一般符号	 或 	单线表示 
单相笼型异步电动机					多线表示 
三相笼型异步电动机					
三相绕线转子异步电动机			三绕组变压器 一般符号	 或 	单线表示 
交流测速发电机					多线表示 
电磁式直流测速发电机					
永磁式直流测速发电机			自耦变压器 一般符号	 或 	单线表示 
电机扩大机					多线表示 
铁心 注：当不致引起混淆时，允许不画出铁心，但要注意全书统一。			电抗器、扼流圈 一般符号	 或 	
带间隙的铁心					




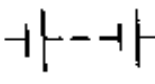
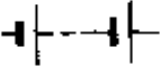


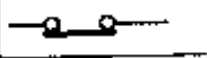


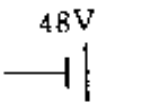
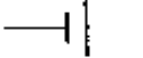
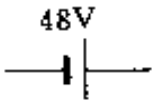
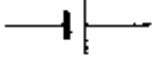

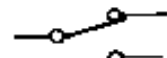
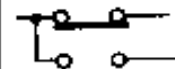
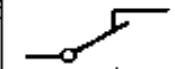










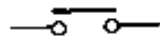


(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
电流互感器、脉冲变压器	 或 	<p>单线表示</p>  <p>多线表示</p> 	单相变压器组成的三相变压器星形-三角形联结	 或 	
星形-三角形联结的三相变压器	 或 	<p>单线表示</p>  <p>多线表示</p> 	单相感应调压器	 或 	<p>单线表示</p>  <p>多线表示</p> 
星形-星形联结的三相变压器	 或 	<p>单线表示</p>  <p>多线表示</p> 	三相感应调压器	 或 	<p>单线表示</p>  <p>多线表示</p> 

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
三相移相器	 或 	单线表示  多线表示 	在一个铁心上有两个二次绕组的电流互感器	 或 	单线表示  多线表示 
电压互感器	 或 	单线表示  多线表示 	整流器方框符号		
			桥式全波整流器方框符号		
具有两个铁心和两个二次绕组的电流互感器	 或 	单线表示  多线表示 	逆变器方框符号		
			整流器/逆变器方框符号		
			原电池或蓄电池	 	

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
蓄电池组或 原电池组	 或 		动断(常闭) 触点		 或  或  或 
注:注明电压 值时允许的 画法	 48V 	 48V 	先断后合的 转换触点		 或  或  或 
电能发生器 一般符号 注:旋转发电 机的外壳 符号为圆 形			中间断开的 双向触点		 或  或  或 
动合(常开) 触点	 或 	 或  或  或 			

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
当操作器件被吸合时延时闭合的动合(常开)触点			当操作器件被吸合时延时断开的动断(常闭)触点		
	或 				
当操作器件被释放时延时断开的动合(常开)触点			吸合时延时闭合和释放时延时断开的动合(常开)触点		
	或 				
当操作器件被释放时延时闭合的动断(常闭)触点			开关一般符号		
	或 				
当操作器件被释放时延时断开的动断(常闭)触点			手动开关一般符号		
			动合(常开)按钮		

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
动断(常闭)按钮			三极开关 (单线表示)		
带动断(常闭)和动合(常开)触点的按钮					
旋钮开关、旋转开关					
位置开关和限制开关(动合触点)		 或 	三极开关 (多线表示)		 或 
位置开关和限制开关(动断触点)		 或 			
热敏开关 (动合触点) 注:θ可用动作温度代替			接触器(在非动作位置触点断开)		
			接触器(在非动作位置触点闭合)		

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
断路器			负荷开关		
			三极负荷开关		
		或	电动机起动器一般符号		
三极断路器			继电器和接触器操作器件(线圈)一般符号		
		或	缓放继电器线圈		
			缓吸继电器(快吸和快放)的线圈		
隔离开关			缓吸和缓放继电器线圈		
			快速继电器线圈		
三极隔离开关			交流继电器线圈		

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
过流继电器线圈			接近开关动合(常开)触点		
欠压继电器线圈			接触传感器		
热继电器的驱动元件(发热元件)			接触开关动合(常开)触点		
三相电路中 三极热继电器的 驱动元件			熔断器一般符号		
	或 		供电端由粗线表示的熔断器		
			带机械连杆的熔断器(撞击器式熔断器)		
三相电路中 二极热继电器的 驱动元件			跌开式熔断器		
	或 		熔断器式开关		
接近传感器			熔断器式隔离开关		

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号		
熔断器式负荷开关			电喇叭		 或 		
火花间隙				电铃	优选形 		
避雷器			其他形 				
电流表			电阻加热装置				
电压表			电弧炉				
功率表			感应加热炉				
电度表(瓦特小时计)			电解槽或电镀槽				
检流计			直流电焊机				
示波器			交流电焊机				
钟的一般符号			风扇一般符号				
灯的一般符号							



(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
与门			或非门		
或门			与或非门		
非门 反相器(在用逻辑非符号表示器件时)			异或门		
反相器(在用逻辑极性符号表示器件时)			规定延迟时间的延迟单元		
与非门			RS 触发器 RS 锁存器		
			边沿下降沿 JK 触发器		

(续)

名称	新符号	旧符号	名称	新符号	旧符号
边沿上升沿 D 触发器			运算放大器		
加法器			高增益差分 放大器		
减法器			放大系数为 1 的反相放大 器		
乘法器			乘法器		
算术逻辑单元			除法器		
半加器			数-模转换器		
一位全加器			模-数转换器		

## 第三章 电工基础

### 一、电 磁 场

#### 1. 表征电磁场特性的物理量

##### (1) 电场强度

1) 电场强度的定义为

$$E(x, y, z) = \lim_{q_i \rightarrow 0} \frac{F(x, y, z)}{q_i} \quad (\text{V/m})$$

式中  $q_i$  ——在点  $(x, y, z)$  处电量和尺寸都很小的试体的正电荷(C);  
 $F$  ——试体在该点所受的力(N)。

电场强度是一个矢量,其方向与试体电荷所受力的方向一致。

2) 点电荷  $Q$  (其正、负可在其前用 +、- 表示) 的电场强度是

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2} r^0 \quad (\text{V/m})$$

式中  $\epsilon$  ——电容率(介电常数);

$r$  ——源点与场点间的距离(m);

$r^0$  ——单位矢量,方向是由源点指向场点。

3) 电场强度的叠加原理 在线性介质中,由电荷连续分布的带电体在空间某给定点所产生的电场强度

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \frac{dQ}{r^2} r^0 \quad (\text{V/m})$$

式中  $dQ$  ——带电体中的电荷元。

##### (2) 极化强度

$$P = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Sigma p}{\Delta V} \quad (\text{C/m}^2)$$

式中  $P$  ——极化强度;

$\Sigma p$  ——体积  $\Delta V$  内由于极化而出现的电偶极子电矩的矢量和。

在各向同性的线性电介质中

$$P = \chi E \quad (\text{C/m}^2)$$

式中  $\chi$  ——比例常数,称为极化率(F/m)。

(3) 电容率(介电常数)

各向同性的线性电介质的电容率

$$\epsilon = \epsilon_0 + \chi = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (\text{F/m})$$

式中  $\epsilon_0$  ——真空电容率;

$\epsilon_r$  ——相对电容率,无量纲(见表 3-1)。

表 3-1 几种常用电介质的相对电容率

材料	空气	六氟化硫	变压器油	硅油	瓷	环氧树脂	有机玻璃
$\epsilon_r$	1.00058	1.002	2.3~2.5	2.6	5.5~6.5	3.8	3~3.6

(4) 电位移

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (\text{C/m}^2)$$

式中  $D$  ——电位移。

对于各向同性的电介质

$$D = \epsilon E$$

(5) 磁感应强度

1) 磁感应强度

$$B = F/qv \quad (\text{T})$$

式中  $B$  ——磁感应强度,它是一个矢量,它的方向就是磁场的方向;

$q$  ——电荷的电量(C);

$v$  ——电荷与磁场方向相垂直的方向的运动速度(m/s);

$F$  ——磁场作用于运动电荷的力(N),又称洛仑兹力,它同

速度方向、磁感应强度方向间的关系符合右手螺旋定则。

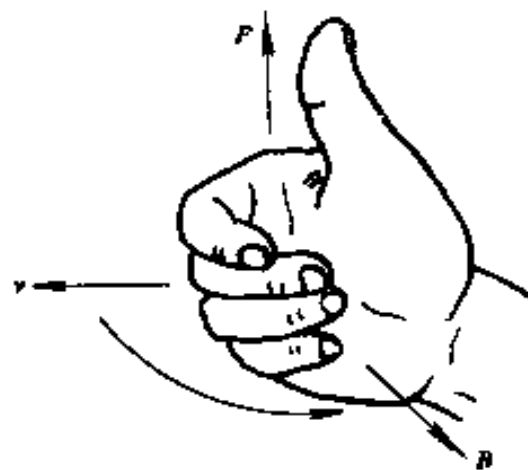


图 3.1  $F$  与  $v$ 、 $B$  间的方向关系

见图 3-1。且有

$$F = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (\text{N})$$

2) 毕奥-萨伐尔定律 如已知电流在无限大、均匀线性媒质中的分布(即已知电流密度),则磁感应强度矢量可表示为

$$\mathbf{B}(x, y, z) = \int_V d\mathbf{B} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\delta(x', y', z') \times \mathbf{r}^0}{r^2} dV \quad (\text{T})$$

式中  $\mu$  ——磁导率;

$\delta(x', y', z')$  ——源点的电流密度矢量(A/m<sup>2</sup>);

$dV$  ——源点周围的体积元(m<sup>3</sup>);

$r$  —— $dV$  到场点 $(x, y, z)$ 的距离(m);

$\mathbf{r}^0$  ——由源点指向场点的单位矢量。

对于线形电流的特殊情况,由于  $\delta dV = Idl$

$$\mathbf{B}(x, y, z) = \frac{\mu I}{4\pi} \int_l \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}^0}{r^2} \quad (\text{T})$$

式中  $I$  ——线形电流(A);

$d\mathbf{l}$  ——源点附近的长度元(m)。

(6) 磁化强度 在物质中,单位体积内由于磁化而出现的磁矩的矢量和,称为磁化强度  $M$ ,即

$$M = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum m}{\Delta V} \quad (\text{A/m})$$

(7) 磁导率 真空磁导率和真空电容率的关系是

$$\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{(2.998 \times 10^8)^2 (\text{m/s})^2} = \frac{1}{c_0^2}$$

式中  $c_0$  ——真空中的光速(即电磁波传播速度),

$$c_0 = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}。$$

对于其他各向同性的物质,其磁导率  $\mu$  为

$$\mu = \mu_0(1 + \kappa) = \mu_0 \mu_r \quad (\text{H/m})$$

式中  $\kappa$  ——磁化率;

$\mu_r$  ——相对磁导率。

$\kappa, \mu_r$  都是无量纲的纯数。对于抗磁质,  $\mu_r < 1$ ; 顺磁质,  $\mu_r > 1$ 。对于铁磁质和亚铁磁质,其  $\mu_r$  不是常量,而是与磁感性强度  $B$  有关的

变量,且远大于1。

(8) 磁场强度

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M \quad (\text{A/m})$$

对于各向同性的导磁物质

$$H = \frac{B}{\mu}$$

对于抗磁质和顺磁质,磁化强度与磁场强度成正比

$$M = \kappa H$$

对于铁磁物质,  $M$  和  $H$  的关系一般是非线性的。

(9) 通量 对于电场来说,电场强度  $E$  的通量  $\Phi_E$  和电位移矢量  $D$  的通量  $\Phi_D$  分别是

$$\Phi_E = \int_S E \cdot dS \quad (\text{V} \cdot \text{m})$$

$$\Phi_D = \int_S D \cdot dS \quad (\text{C})$$

对于磁场来说,磁感应强度  $B$  的通量是

$$\Phi = \int_S B \cdot dS \quad (\text{Wb})$$

式中  $\Phi$  ——磁通量。

(10) 电位 电位  $\varphi$  是另一个表征电场特性的物理量,它是标量。在电场中单位正电荷由  $P$  点移到  $Q$  点时电场力所做的功

$$\int_P^Q E \cdot dl = \varphi_P - \varphi_Q = U_{PQ}$$

称为  $P$  点到  $Q$  点的电位差(电压)。如选定  $Q$  点为参考点(其电位为零),则  $\varphi_P = \int_P^Q E \cdot dl$  称为  $P$  点的电位。当参考点选定后,  $\varphi_P$  只与  $P$  点的位置有关,而与所取的积分路径无关。

电场强度与电位梯度( $\text{grad}\varphi$ )亦可用下面的关系式表达:

$$\begin{aligned} E &= - \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} i + \frac{\partial \varphi}{\partial y} j + \frac{\partial \varphi}{\partial z} k \right) \\ &= - \frac{\partial \varphi}{\partial l} \mathbf{n}^0 = - \text{grad} \varphi \quad (\text{V/m}) \end{aligned}$$

式中  $n^{\circ}$  ——该点电位最大增长率所取方向的单位矢量；

$u$  ——该方向的距离(m)。

## 2. 电磁场的基本定律

(1)高斯定律 在电场中,不论电介质的分布如何,穿出任一闭合面的电位移矢量  $D$  的通量,等于这一闭合面内存在的自由电荷  $q$  的代数和,即

$$\oint D \cdot dS = \Sigma q$$

但  $D$  的分布与电介质的分布、自由电荷分布有关。

(2)磁通连续性原理 在磁场中,不论媒质的分布如何,穿出任一闭合面总的磁感应强度  $B$  的通量等于零,即

$$\oint B \cdot dS = 0$$

但  $B$  的分布与媒质的分布、电流的分布有关。

(3)安培环路定律 在磁场中,不论媒质的分布如何, $H$  沿任意闭合路径的线积分等于穿过积分路径所限定面积的电流  $i$  的代数和,即

$$\oint H \cdot dl = \Sigma i$$

当积分路径的方向和电流的方向符合右手螺旋定则时,则电流为正;反之为负。但  $H$  的分布与电流的分布、媒质的分布有关。

(4)电磁感应定律 当穿过任何闭合回路所界定面积中的磁通量发生变化时,在回路中产生的感应电动势等于这个磁通量对时间的变化率的负值,即

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{V})$$

式中,磁通的正方向和感应电动势的正方向是采用右手螺旋定则来规定的,这就决定了  $e$  的真实方向,见图 3-2。感应电动势的真实方向亦可用楞次定律来决定,即感应电动势总是企图产生感应电流来阻止回路中磁通的变化。

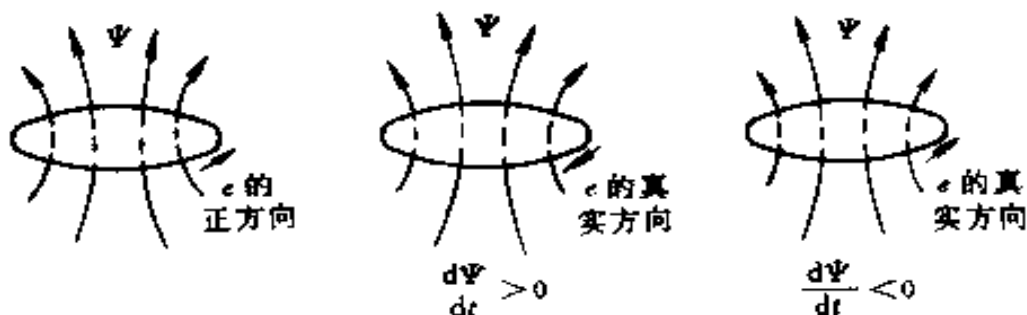


图 3-2 用右手螺旋定则规定  $e$  和  $\Phi(\Psi)$  的正方向

与回路交链磁通的变化,可能是由于回路相对于磁场有机械运动,这时的感应电动势是

$$e = \oint \mathbf{v} \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} \quad (\text{V})$$

也可能是由于回路静止不动而磁通随时间变化,这时的感应电动势是

$$e = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (\text{V})$$

或两者兼有,则其感应电动势是

$$e = \oint \mathbf{v} \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad (\text{V})$$

回路中的电动势可看作是沿回路上的感应电场力对单位正电荷所作的功。在不考虑回路运动的情况下,有

$$e = \oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

式中  $\mathbf{E}$  是感应电场强度,面积分是在  $l$  所界定的面积  $S$  上进行, $d\mathbf{S}$  的方向和  $l$  绕行方向符合右手螺旋定则。

(5)全电流定律 在电磁场中,传导电流、徙动电流和位移电流三者合称为全电流。

1)传导电流 由电荷在导体中有规则地运动所形成。传导电流的密度  $\delta_c$  为

$$\delta_c = \rho \mathbf{v} \quad (\text{A/m}^2)$$

式中  $\rho$  ——电荷的体密度( $\text{C/m}^3$ );

$\mathbf{v}$  ——电荷运动的平均速度( $\text{m/s}$ )。

传导电流服从欧姆定律,即



$$\delta_c = \gamma E$$

式中  $\gamma$  ——导体的电导率(S/m)；

$E$  ——电场强度(V/m)。

2) 徙动电流 由带电质点或带电体在真空中或非常稀薄气体中运动所形成。徙动电流的密度  $\delta_v$  为

$$\delta_v = \rho v \quad (\text{A/m}^2)$$

式中  $v$  ——电荷运动的速度(m/s)。

徙动电流不服从欧姆定律。

3) 位移电流 是电流概念的推广,它由真空中的电位移随时间变化以及由电介质中束缚电荷的位移所形成。位移电流的密度  $\delta_d$  为

$$\delta_d = \frac{\partial D}{\partial t} = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t}$$

式中  $D$  ——电位移矢量(C/m<sup>2</sup>),  $\delta_d$  的方向与  $\partial D$  的方向一致。

4) 全电流定律 在空间的同一点上,徙动电流和传导电流不能同时存在,故全电流为

$$i = \int_s \left( \begin{matrix} \delta_c \\ \delta_v \end{matrix} + \delta_d \right) \cdot dS$$

把  $i$  看作全电流时,则安培环路定律推广成全电流定律,即

$$\oint H \cdot dl = \Sigma i = \int_s \left( \begin{matrix} \delta_c \\ \delta_v \end{matrix} + \delta_d \right) \cdot dS$$

### 3. 电容与电感

(1) 电容 电容  $C$  是宏观地表征两导体和其间电介质特性的参量,由下式表示

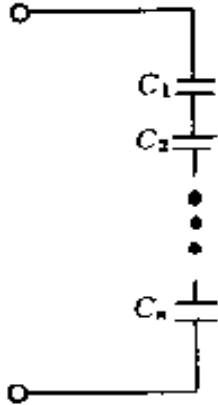
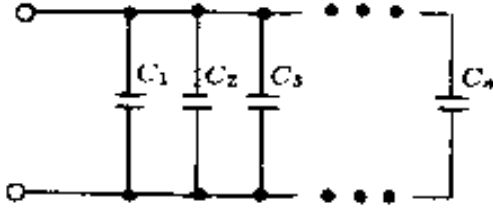
$$C = \frac{q}{U} \quad (\text{F})$$

式中  $q$  ——两导体分别带有的等量正负电荷(C)；

$U$  ——两导体间的电压(V)。

电容的串联与并联见表 3-2。

表 3-2 电容的串联与并联

接 法	接 线 图	公 式
串 联		$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$
并 联		$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$

## (2) 电感

1) 自感  $L$  是宏观地表征一个载流线圈及其周围导磁物质性能的参量, 由下式表示

$$L = \frac{n\Phi}{i} = \frac{\Psi}{i} \quad (\text{H})$$

式中  $n$  —— 线圈匝数;

$\Phi$  —— 与线圈交链的磁通 (Wb);

$\Psi$  —— 线圈的磁链 (Wb);

$i$  —— 线圈中的电流 (A)。

自感与导磁物质的磁导率  $\mu$  以及线圈周围导磁物质中的磁场分布情况有关, 所以也和线圈的形状、大小和匝数有关。

由交变电流产生的自感电动势为

$$e = - \frac{d\Psi}{dt} = - \frac{d}{dt} (Li) = - L \frac{di}{dt}$$

2) 互感  $M$  是宏观地表征两个线圈和其间导磁物质性能的参量, 由下式表示

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{i_1} \quad (\text{H})$$

式中  $M_{21}$  —— 线圈 1 对线圈 2 的互感;

$\Psi_{21}$  —— 线圈 1 中的电流  $i_1$  产生的磁通与线圈 2 交链的磁链。  
同样, 线圈 2 对线圈 1 的互感是

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{i_2} \quad (\text{H})$$

且  $M_{21} = M_{12}$


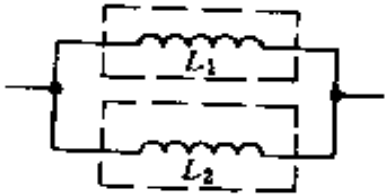
互感与两线圈的相互位置有关。如自感磁通与互感磁通方向一致时, 则  $M$  为正, 反之为负。

由交变电流产生的互感电动势为

$$e_{21} = \frac{d\Psi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

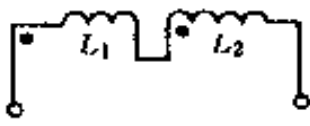
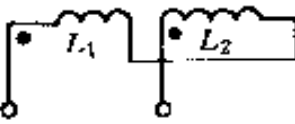
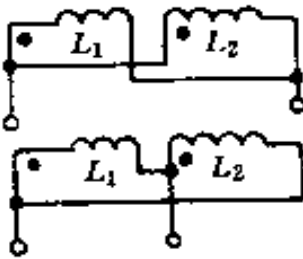
3) 互感线圈的连接

表 3 3 无互感线圈的连接

接 法	接 线 图	公 式
串 联		$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$
并 联		$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$

注: 所谓无互感线圈, 即线圈本身有屏蔽, 两线圈之间没有互感。

表 3-4 有互感线圈的连接

接 法		接 线 图	公 式
串 联	顺 串		$L_{sh} = L_1 + L_2 + 2M$
	反 串		$L_f = L_1 + L_2 - 2M$
并 联			$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$

注:  $M$ —线圈的互感量,均为正值。

4) 磁耦合系数 有磁通量相互交链的两个线圈之间存在着磁耦合关系。这种磁耦合的程度就用磁耦合系数  $k$  来表示

$$k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

式中  $0 \leq k \leq 1$ 。

#### 4. 电磁场中的能量、力及损耗

(1) 电磁场中的能量 在线性介质(即  $\epsilon$  和  $\mu$  是常数)中,电磁场中某一点的能量密度瞬时值  $w$  是

$$w = \frac{D \cdot E}{2} + \frac{B \cdot H}{2} \quad (\text{J/m}^3)$$

式中  $\frac{D \cdot E}{2}$ ——电场的能量密度;

$\frac{B \cdot H}{2}$ ——磁场的能量密度。

在体积  $V$  中储存的能量是

$$\int_V \left( \frac{D \cdot E}{2} + \frac{B \cdot H}{2} \right) dV = W_e + W_m = W \quad (\text{J})$$

## (2) 电磁场的力

1) 以速度  $v$  运动的电荷  $q$  在外电磁场的作用下所受到的电磁力

$$f = -q(E + v \times B)$$

2) 磁场对载流导线的作用力 如果在导线长度为  $l$ (m) 的范围内磁场是均匀的, 并且  $B$  (T) 与  $I$  相垂直, 则

$$F = BIl \quad (\text{N})$$

式中  $I$  —— 导体通过的电流(A)。

3) 两平行载流导线间的作用力 在真空中, 有两根平行无限长直导线, 相距为  $a$ , 载有电流  $I_1$  和  $I_2$ 。电流  $I_1$  产生的磁场  $B_1$  对载有电流  $I_2$  的导线在单位长度上作用力的大小为

$$f_{21} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{a} \quad (\text{N/m})$$

电流  $I_2$  产生的磁场  $B_2$  对载有电流  $I_1$  的导线在单位长度上作用力的大小为

$$f_{12} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_2 I_1}{a} \quad (\text{N/m})$$

显然  $f_{21} = f_{12}$ 。

## (3) 磁滞损耗

$$p_h = k_h f B_m^n V \quad (\text{W})$$

式中  $f$  —— 磁场频率(Hz);

$B_m$  —— 磁滞回线上  $B$  的最大值(T);

$n$  —— 指数, 大致在 1.6~2 之间, 由  $B_m$  的范围而定;

$V$  —— 铁磁物质的体积( $\text{m}^3$ );

$k_h$  —— 与铁磁物质有关的系数, 由实验确定。

## (4) 涡流损耗

$$p_e = k_e f^2 B_m^2 V \quad (\text{W})$$

式中  $f$  —— 磁场频率(Hz);

$B_m$  ——  $B$  的最大值(T);

$V$  —— 导电物质的体积( $\text{m}^3$ );

$k_e$  —— 与材料的电阻率、截面大小和形状有关的系数, 由实验确

定。

## 二、电 路

### 1. 电阻

(1) 导体电阻的计算

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega)$$

式中  $l$  ——导体的长度(m)；

$S$  ——导体的截面积(m<sup>2</sup>)；

$\rho$  ——导体的电阻率( $\Omega \cdot m$ )。

(2) 导体电阻与温度的关系 导体的电阻(或电阻率)随温度的变化而改变。在一般工作温度范围内电阻与温度之间的关系可以视为呈线性的,即

$$r_2 = r_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

式中  $r_1$  ——温度为  $t_1$  时导体的电阻( $\Omega$ )；

$r_2$  ——温度为  $t_2$  时导体的电阻( $\Omega$ )；

$\alpha_1$  ——以温度  $t_1$  为基准时的导体电阻的温度系数。每种金属材料在一定的温度下有一定的温度系数。

### 2. 电路定律

(1) 欧姆定律 当电路中的参数为线性时,通过一段无源支路的电流与支路两端的电压成正比,这就是欧姆定律。其关系式如下:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad (A)$$

各物理量的正方向见图 3-3。

如果是一段含源支路,其各物理量的正方向见图 3-4,此时欧姆定律的表达式为

$$\dot{I} = \frac{-\dot{E} + \dot{U}}{Z} \quad (A)$$

在上两式中, $Z = r + jx$ ,为支路的阻抗( $\Omega$ )。

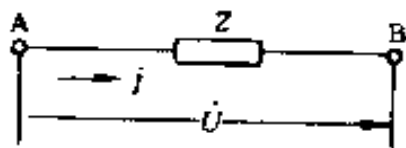


图 3-3 欧姆定律说明图

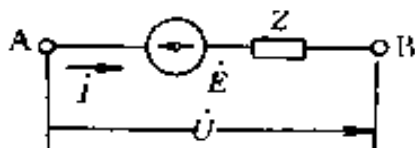


图 3-4 一段含源支路的欧姆定律说明图

(2) 基尔霍夫定律 见表 3-5。

(3) 星形联结与三角形联结的等效互换 见表 3-6。

表 3-5 基尔霍夫第一、第二定律

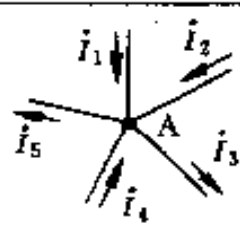
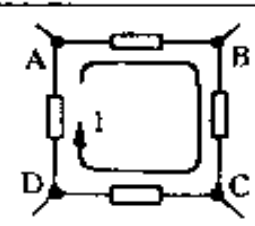
名称	基尔霍夫第一定律 (基尔霍夫电流定律 KCL)	基尔霍夫第二定律 (基尔霍夫电压定律 KVL)
内容	对于任何节点,在任一时刻流出(或流入)该节点的电流的代数和恒等于零 $\sum i_k(t) = 0$	沿任一回路循一个方向,在任一时刻其各段的电压的代数和恒等于零 $\sum u_k(t) = 0$
依据	电流连续性	电位单值性
举例	 <p>对节点 A 有如下关系: <math>\sum i = -i_1 - i_2 - i_3 - i_4 - i_5 = 0</math></p>	 <p>对回路 1 有如下关系: <math>\sum \dot{U} = \dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CD} + \dot{U}_{DA} = 0</math></p>

表 3 6 星形联接与三角形联接的等效互换

变换形式	$\text{Y} \rightarrow \Delta$	$\Delta \rightarrow \text{Y}$
交换图		
变换公式	$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$ $Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$ $Z_{31} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$	$Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_2 = \frac{Z_{23} Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_3 = \frac{Z_{31} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$
对称的情况	$Z_{\Delta} = 3Z_{\text{Y}}$	$Z_{\text{Y}} = \frac{1}{3} Z_{\Delta}$
返回原电路	$\dot{i}_1 = \dot{i}_{12} - \dot{i}_{31}$ $\dot{i}_2 = \dot{i}_{23} - \dot{i}_{12}$ $\dot{i}_3 = \dot{i}_{31} - \dot{i}_{23}$	$\dot{i}_{12} = \frac{\dot{i}_1 Z_1 - \dot{i}_2 Z_2}{Z_{12}}$ $\dot{i}_{23} = \frac{\dot{i}_2 Z_2 - \dot{i}_3 Z_3}{Z_{23}}$ $\dot{i}_{31} = \frac{\dot{i}_3 Z_3 - \dot{i}_1 Z_1}{Z_{31}}$

(4) 电能与电功率 对于如图 3-5 所示的直流电路,在  $t$  时间间隔内电动势  $E_0$  所作的功为

$$W = E_0 I t = U I t = E I t + I^2 r t$$

式中  $E I t$  —— 电动势  $E$  所吸收的电能;

$I^2 r t$  —— 电阻  $r$  中所消耗的电能,并转变为热能。



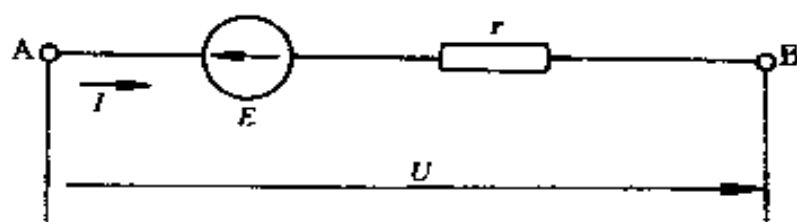


图 3 5 电能说明图

在单位时间内转换的电能称为电功率,用  $P$  表示,则

$$P = \frac{W}{t} = E_0 I = EI + I^2 r$$

### 3. 正弦交流电路

(1) 交流电的有效值和平均值

1) 有效值(方均根值)

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

2) 平均值

$$I_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\varphi}{\omega}}^{\frac{\varphi}{\omega} + \frac{T}{2}} i dt$$

(2) 波形因数与波顶因数

表 3-7 波形因数与波顶因数

名称	定义式	正弦交流中的值
波形因数 $k_f$	$k_f = \text{有效值} / \text{平均值}$	$k_f = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m / (\frac{2}{\pi} I_m) = 1.11$
波顶因数 $k_c$	$k_c = \text{最大值} / \text{有效值}$	$k_c = I_m / (\frac{1}{\sqrt{2}} I_m) = 1.414$

(3) 相量法

瞬时正弦量

相量

电流  $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \psi) \rightleftharpoons \dot{I} = I \angle \psi$

电压  $u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \psi + \varphi) \rightleftharpoons \dot{U} = U \angle \psi + \varphi$

(4) 复数的表示形式及其互换

表 3-8 复数的表示形式及其互换

坐标制	直角坐标形式	极坐标形式
表示式	$A = a_1 + ja_2$	$A = a/\varphi = ae^{j\varphi}$
图形表示		
两种坐标式的互换	$a_1 = a \cos \varphi$ $a_2 = a \sin \varphi$	$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ $\varphi = \arctg \frac{a_2}{a_1}$

(5) 纯电阻、纯电感、纯电容电路的电量关系

表 3-9 纯电阻、纯电感、纯电容电路的电量关系

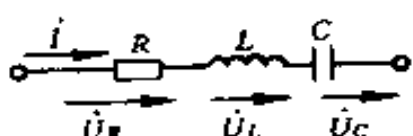
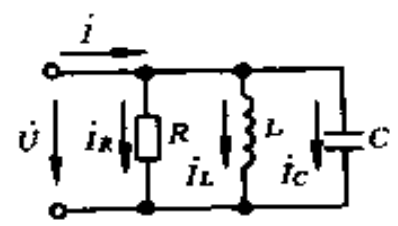
项目	纯电阻电路	纯电感电路	纯电容电路
电路图			
电流、电压的瞬时值关系	$u_R = iR$	$u_L = L \frac{di}{dt}$	$u_C = \frac{1}{C} \int i dt$
电阻与电抗	电阻 $R$	感抗 $X_L = \omega L = 2\pi fL$	容抗 $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
电流、电压的有效值关系	$U_R = IR$	$U_L = IX_L$	$U_C = IX_C$
电流、电压矢量图	<p>端电压与电流同相</p>	<p>端电压超前电流 90°</p>	<p>端电压滞后电流 90°</p>

(续)

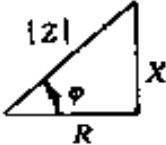
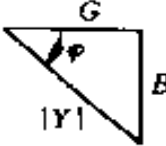
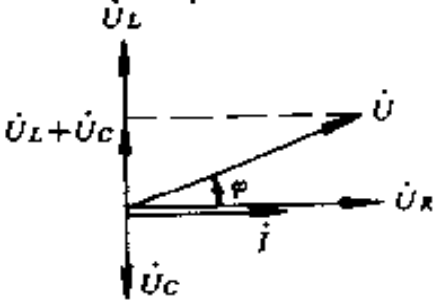
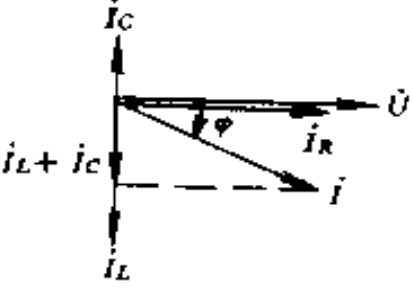
项 目	纯电阻电路	纯电感电路	纯电容电路
电流、电压的复数关系	$\dot{U}_R = \dot{I}R$	$\dot{U}_L = j\omega L\dot{I} = jX_L\dot{I}$	$\dot{U}_C = -j\frac{1}{\omega C}\dot{I} = -jX_C\dot{I}$
平均功率 $P$	$P_R = U_R I = I^2 R$	$P_L = 0$	$P_C = 0$
无功功率 $Q$	$Q_R = 0$	$Q_L = U_L I = I^2 X_L$	$Q_C = U_C I = I^2 X_C$
功率因数 $\cos\varphi$	$\cos\varphi_R = 1$	$\cos\varphi_L = 0$	$\cos\varphi_C = 0$

(6) RLC 串联电路和并联电路的电量关系

表 3-10 RLC 串联电路和并联电路的电量关系

项 目	RLC 串联电路	RLC 并联电路
电路图		
电流、电压的复数关系	$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I}R + j\omega L\dot{I} - j\frac{1}{\omega C}\dot{I}$ $= (R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C})\dot{I} = \dot{I}Z$	$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{R} + \frac{\dot{U}}{j\omega L} + \frac{\dot{U}}{-j\frac{1}{\omega C}}$ $= (\frac{1}{R} + j\omega C - j\frac{1}{\omega L})\dot{U} = \dot{Y}\dot{U}$
复数阻抗或复数导纳	<p>复数阻抗 <math>Z = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}</math></p> $= R - j(X_L - X_C) =  Z \angle\varphi$ <p>阻抗 <math> Z  = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}</math></p> <p>电抗 <math>X = X_L - X_C</math></p> <p>阻抗角 <math>\varphi = \arctg \frac{X}{R}</math></p>	<p>复数导纳 <math>Y = \frac{1}{R} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})</math></p> $= G - j(B_L - B_C) =  Y \angle-\varphi$ <p>导纳 <math> Y  = \sqrt{G^2 + B^2}</math></p> <p>导纳角 <math>-\varphi = \arctg \frac{B}{G}</math></p> <p>电导 <math>G = \frac{1}{R}</math>, 电纳 <math>B = B_L - B_C</math></p> <p>感纳 <math>B_L = \frac{1}{\omega L}</math>, 容纳 <math>B_C = \omega C</math></p>

(续)

项 目	RLC 串联电路	RLC 并联电路
电流、电压的有效值关系	$U = I  Z  = I \sqrt{R^2 + X^2}$	$I = U  Y  = U \sqrt{G^2 + B^2}$
复数阻抗与复数导纳的互换	$Z = \frac{1}{Y} = \frac{G}{G^2 + B^2} + j \frac{B}{G^2 + B^2}$	$Y = \frac{1}{Z} = \frac{R}{R^2 + X^2} - j \frac{X}{R^2 + X^2}$
阻抗三角形或导纳三角形	<p>阻抗三角形</p> 	<p>导纳三角形</p> 
矢量图	<p>电感性</p>  <p><math>X_L &gt; X_C</math> <math>\dot{U}</math> 比 <math>\dot{i}</math> 超前 <math>\varphi</math> 角</p>	 <p><math>B_L &gt; B_C</math> <math>\dot{i}</math> 比 <math>\dot{U}</math> 落后 <math>\varphi</math> 角</p>

### (7) 正弦电路的功率与功率因数

1) 瞬时功率 交流电路中任一瞬间的功率称为瞬时功率。如某部分电路,其端电压的瞬时值为  $u$ ,其电流的瞬时值为  $i$ ,并且两者有一致的正方向时,其瞬时功率为

$$p = ui \quad (\text{W})$$

当  $p > 0$ ,该部分电路从外部电路吸取能量;当  $p < 0$ ,该部分电路向外部电路送出能量。如电压  $u = \sqrt{2} U \sin \omega t$ ,电流  $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi)$

则 
$$p = ui = U I \cos \varphi - U I \cos(2\omega t + \varphi)$$

2) 有功功率 正弦交流电路的瞬时功率在一个周期内的平均值,

称为有功功率

$$P = UI \cos \varphi \quad (\text{W})$$

3) 视在功率 电压, 电流的有效值  $U$ 、 $I$  的乘积称为视在功率。

$$S = UI \quad (\text{VA})$$

4) 功率因数 有功功率与视在功率的比值称为功率因数。

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

式中  $\varphi$ ——功率因数角, 有正、负。它的正、负分别说明了电路是感性还是容性。所以功率因数常须注明滞后 ( $\varphi > 0$ ) 或超前 ( $\varphi < 0$ )。

5) 无功功率

$$Q = UI \sin \varphi \quad (\text{var})$$

当  $\varphi > 0$  (感性) 时,  $Q > 0$ ; 当  $\varphi < 0$  (容性) 时,  $Q < 0$ 。

#### 4. 三相正弦交流电路

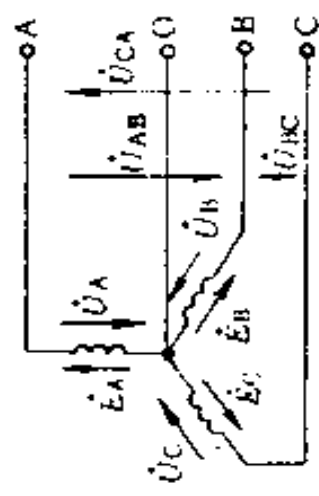

(1) 三相正弦电动势的表示法 含有三个频率相同而相位各异的正弦电动势的电路, 称为三相正弦交流电路。三相正弦电动势的幅值相等而各相间的相位角互差  $120^\circ$  电角度时, 称为对称三相电动势。将 A 相电动势作为参考量, 则对称三相电动势的瞬时值和相量可写为

瞬时正弦量	相量
$e_A = E_m \sin \omega t$	$\dot{E}_A = E / 0^\circ$
$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$	$\dot{E}_B = E / -120^\circ$
$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$ $= E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$	$\dot{E}_C = E / -240^\circ$ $= E / 120^\circ$

复数  $1/120^\circ$  常用符号  $a$  表示, 于是  $\dot{E}_B = a^2 \dot{E}_A$ ,  $\dot{E}_C = a \dot{E}_A$ 。

(2) 对称三相电源的电压关系 见表 3-11。

表 3 11 对称三相电源的电压关系

项 目	星形联接	三角形联接
三相电源		
相电压	$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$	$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$
线电压	$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$	$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$
相电压和线电压的复数关系	$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$ $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$ $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$	$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A$ $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B$ $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C$
相电压( $U_p$ )和线电压( $U_l$ )的数值关系	$U_l = \sqrt{3} U_p$	$U_l = U_p$

(续)

项 目	星形联接	三角形联接
相电压和线电压的矢量图		

(3)三相负载的联接

表 3 12 三相负载的星形联接和三角形联接

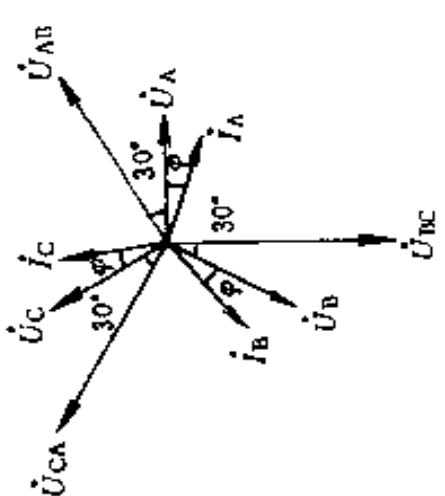
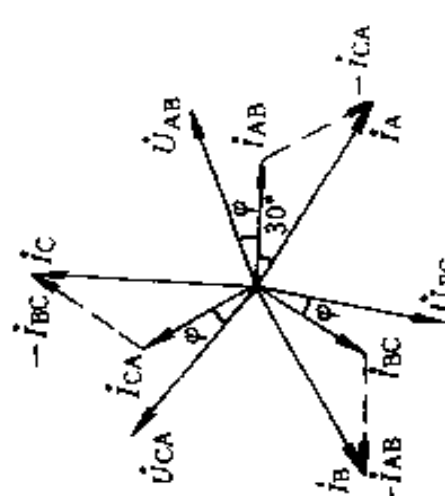
联接方式	星形联接	三角形联接
电路图		

(续)

联接方式	星形联接	三角形联接
相电流	$i_A, i_B, i_C$	$i_{AB}, i_{BC}, i_{CA}$
线电流	$i_A, i_B, i_C$	$i_A, i_B, i_C$
线电流与相电流的关系	$i_A = i_A, i_B = i_B, i_C = i_C$	$i_A = i_{AB} - i_{CA}, i_B = i_{BC} - i_{AB},$ $i_C = i_{CA} - i_{BC}$
对称负载线电流 $I_l$ 与相电流 $I_p$ 的关系	$I_l = I_p$	$I_l = \sqrt{3} I_p$
对称负载线电压 $U_l$ 与相电压 $U_p$ 的关系	$U_l = \sqrt{3} U_p$	$U_l = U_p$
中 线 电 流	对称负载	$i_0 = i_A + i_B + i_C = 0$
	不对称负载	$i_0 = i_A + i_B + i_C = \frac{E_A}{Z_A} + \frac{E_B}{Z_B} + \frac{E_C}{Z_C}$ 式中 $E_A, E_B, E_C$ 为对称三相电源的电动势



(续)

联接方式	星形联接	三角形联接
<p>对称负载矢量图</p> 		
平均功率 P	$P = 3U_p I_p \cos\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\varphi$	
无功功率 Q	$Q = 3U_p I_p \sin\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi$	
视在功率 S	$S = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$	
<p>对称负载</p>	$P = P_A + P_B + P_C = U_p (I_a \cos\varphi_a + I_b \cos\varphi_b + I_c \cos\varphi_c)$ <p>式中 <math>\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c</math> 分别是 A 相、B 相、C 相的相电压和相电流之间的相位差</p>	
<p>不对称负载</p>	$P = P_A + P_B + P_C = U_p (I_a \cos\varphi_a + I_b \cos\varphi_b + I_c \cos\varphi_c)$	
<p>对称负载</p>	$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_p (I_a \sin\varphi_a + I_b \sin\varphi_b + I_c \sin\varphi_c)$	
<p>不对称负载</p>	$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_p (I_a \sin\varphi_a + I_b \sin\varphi_b + I_c \sin\varphi_c)$	
<p>对称负载</p>	$S = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_l I_l$	
<p>不对称负载</p>	$S = S_A + S_B + S_C = U_p (I_a + I_b + I_c)$	

(4)对称分量求法 任何一组不对称三相相量  $\dot{A}$ 、 $\dot{B}$ 、 $\dot{C}$ ，都可分解为正序、负序和零序的三组对称分量，见图 3-6。它们是

$$\text{正序分量 } \dot{A}_+, \dot{B}_+ = a^2 \dot{A}_+, \dot{C}_+ = a \dot{A}_+$$

$$\text{负序分量 } \dot{A}_-, \dot{B}_- = a \dot{A}_-, \dot{C}_- = a^2 \dot{A}_-$$

$$\text{零序分量 } \dot{A}_0, \dot{B}_0 = \dot{A}_0, \dot{C}_0 = \dot{A}_0$$

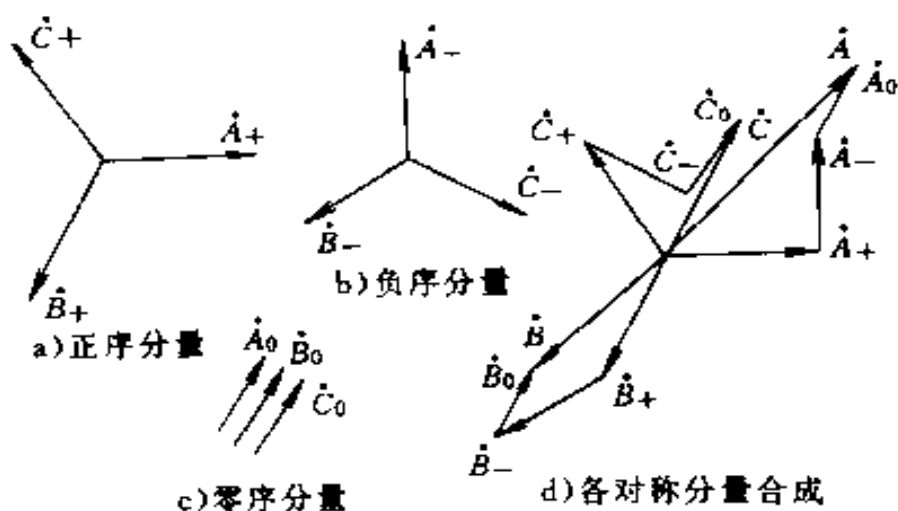


图 3-6 对称分量及其合成

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \dot{A}_+ + \dot{A}_- + \dot{A}_0 \\ \dot{B} &= \dot{B}_+ + \dot{B}_- + \dot{B}_0 = a^2 \dot{A}_+ + a \dot{A}_- + \dot{A}_0 \\ \dot{C} &= \dot{C}_+ + \dot{C}_- + \dot{C}_0 = a \dot{A}_+ + a^2 \dot{A}_- + \dot{A}_0 \end{aligned}$$

$\dot{A}$  的对称分量

$$\dot{A}_+ = \frac{1}{3} (\dot{A} + a\dot{B} + a^2\dot{C})$$

$$\dot{A}_- = \frac{1}{3} (\dot{A} + a^2\dot{B} + a\dot{C})$$

$$\dot{A}_0 = \frac{1}{3} (\dot{A} + \dot{B} + \dot{C})$$

至于  $\dot{B}$  和  $\dot{C}$  的对称分量可直接写出。

(5)对称三相电路的功率与功率因数

$$\text{有功功率 } P = 3U_p I_p \cos\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\varphi$$

$$\begin{aligned} \text{无功功率} \quad Q &= 3U_\rho I_\rho \sin\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi \\ \text{视在功率} \quad S &= 3U_\rho I_\rho = \sqrt{3} U_l I_l = \sqrt{P^2 + Q^2} \\ \text{功率因数} \quad \cos\varphi &= \frac{P}{S} \\ \text{瞬时功率} \quad p &= P \end{aligned}$$

式中,  $U$ 、 $I$  的下角标  $\rho$  表示“相”,  $l$  表示“线”;  $\varphi$  是负载相电压超前于相电流的相角。

### 5. 非正弦电路

(1) 非正弦周期量的有效值与平均值、均绝值

1) 有效值

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_0^2 + \left(\frac{F_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{F_{m2}}{\sqrt{2}}\right)^2 + \dots} \\ &= \sqrt{F_0^2 + F_1^2 + F_2^2 + \dots} \end{aligned}$$

式中,  $F_1$ 、 $F_2$ 、……分别为基波、二次谐波、……有效值。这里的  $F$  可代表电压、电动势、电流。

2) 平均值

$$F_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

3) 均绝值

$$F_a = \frac{1}{T} \int_0^T |f(t)| dt$$

(2) 畸变率

$$k_d = \frac{F_1}{F}$$

式中  $F_1$  ——基波有效值;

$F$  ——整个波形有效值。

(3) 线性非正弦电路的谐波阻抗

$$X(k) = \frac{1}{k} X(\omega) \quad X_L(k) = k X_L(\omega)$$

式中  $x_{Ck}, x_{Lk}$  ——  $k$  次谐波的容抗和感抗；

$x_{C1}, x_{L1}$  —— 基波的容抗和感抗,  $x_{C1} = \frac{1}{\omega C}$ ,  $x_{L1} = \omega L$ 。

(4) 非正弦电路的功率与功率因数 设  $u, i$  分别为

$$u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \phi_{uk})$$

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \sin(k\omega t + \phi_{ik})$$

瞬时功率

$$p = ui$$

有功功率

$$P = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos(\phi_{uk} - \phi_{ik})$$

视在功率

$$S = UI = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \\ \times \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$$

无功功率

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin(\phi_{uk} - \phi_{ik})$$

功率因数

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$$

$\cos\phi'$  也称全功率因数, 但  $\phi'$  不再是阻抗角。

## 6. 线性动态电路

(1) 换路定则

$$u_C(0_+) = u_C(0_-); i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

式中  $t=0$  表示将换路而未换路的瞬时；

$t=0_+$  表示换路完成的瞬时。

(2) 一阶电路经典法分析过程 见表 3-13。

表 3-13 一阶电路分析

原电路		
简化电路		
微分方程	$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = u_s$	$L \frac{di_L}{dt} + Ri_L = u_s$
初始条件	$u_C(0+) = U_0$	$i_L(0+) = I_0$
稳态解 (稳态分量或强制分量)	$u'_C, \text{由稳态电路分析求得}$ $\left( RC \frac{du'_C}{dt} + u'_C = u_s \right)$	$u'_L, \text{由稳态电路分析求得}$ $\left( L \frac{di'_L}{dt} + Ri'_L = u_s \right)$
暂态解 (暂态分量或自由分量)	$u''_C = Ae^{-\frac{t}{RC}}$ $\left( RC \frac{du''_C}{dt} + u''_C = 0 \right)$	$i''_L = Ae^{-\frac{t}{L}}$ $\left( L \frac{di''_L}{dt} + Ri''_L = 0 \right)$
完全解	$u_C = u'_C + u''_C$ 由初始条件决定 A	$i_L = i'_L + i''_L$ 由初始条件决定 A
$u_s$ 为直流时的完全解	$u_C = U_s + (U_0 - U_s)e^{-\frac{t}{\tau}}$ $= U_s \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$	$i_L = \frac{U_s}{R} + \left( I_0 - \frac{U_s}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$ $= \frac{U_s}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$
时间常数	$\tau = RC$	$\tau = \frac{L}{R}$

### (3) 求解一阶电路动态过程的三要素法

$$x(t) = x_s(t) + [x(0_+) - x_s(0_+)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中  $x(t)$  ——任一响应；

$x_s(t)$  ——稳态分量；

$x_s(0_+)$  ——稳态分量在  $t=0_+$  时的值；

$x(0_+)$  ——响应  $x$  的初始值；

$\tau$  ——时间常数。

## 三、磁 路

### 1. 磁路的物理量与参数

(1) 磁通势 励磁线圈的匝数  $N$  与其中电流  $I$  的乘积

$$F = NI \quad (\text{A})$$

称为磁通势

(2) 磁压 任一段磁路  $l$  的磁压

$$U_m = \int_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

如在  $l$  段上各点的磁场强度  $H$  相同,且方向与  $d\mathbf{l}$  一致,则

$$U_m = Hl \quad (\text{A})$$

(3) 磁阻  $R_m$  与磁导  $\Lambda$  截面积为  $S$ , 长度为  $l$  的一段均匀磁路的磁阻

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (1/\text{H})$$

磁阻的倒数,称为磁导,即

$$\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\mu S}{l} \quad (\text{H})$$

### 2. 磁路定律

见表 3-14。

表 3-14 磁路定律

名 称	欧姆定律	基尔霍夫第一定律	基尔霍夫第二定律
内 容 与 表 示 式	一段均匀磁路的磁 压与磁通的关系 $U_m = R_m \Phi$	穿出包围磁路分支 处的闭合面的磁通的 代数和恒等于零 $\Sigma \Phi = 0$	按选定方向沿磁路 中的任一回路循行 一周,各段磁压的代数和 等于磁通势的代数和 $\Sigma U_m = \Sigma NI$ 或 $\Sigma R_m \Phi$ $= \Sigma NI$
依 据	磁路的均匀性	磁通连续性原理	安培环路定律

## 第四章 电子技术

### 一、半导体器件

#### 1. 半导体分立器件型号命名方法(GB249 89)

表 4.1 由一~五部分组成的器件型号的符号及意义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用阿拉伯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		用阿拉伯数字表示序号	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	小信号管		
		B	P型, 锗材料	V	混频检波管		
		C	N型, 硅材料	W	电压调整管和电压基准管		
		D	P型, 硅材料	C	变容管		
3	三极管	A	PNP型, 锗材料	Z	整流管		
		B	NPN型, 锗材料	L	整流堆		
		C	PNP型, 硅材料	S	隧道管		
		D	NPN型, 硅材料	K	开关管		
		E	化合物材料	X	低频小功率晶体管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )		
				G	高频小功率晶体管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )		



(续)

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用阿拉伯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		用阿拉伯数字表示序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
				D	低频大功率晶体管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )		
				A	高频大功率晶体管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )		
				T	闸流管		
				Y	体效应管		
				B	雪崩管		
				J	阶跃恢复管		

表 4 2 由三~五部分组成的器件型号的符号及其意义

第三部分		第四部分	第五部分
用汉语拼音字母表示器件的类别		用阿拉伯数字表示序号	用汉语拼音字母表示规格号
符 号	意 义		
CS <sup>①</sup>	场效应晶体管		
BT	特殊晶体管		
FH	复合管		
PIN	PIN 管		
ZL	整流管阵列		
QL	硅桥式整流器		
SX	双向三极管		
DH	电流调整管		
SY	瞬态抑制二极管		
GS	光电子显示器		

(续)

第三部分		第四部分	第五部分
用汉语拼音字母 表示器件的类别		用阿拉伯数字 表示序号	用汉语拼音字母 表示规格号
符 号	意 义		
GF	发光二极管		
GR	红外发射二极管		
GJ	激光二极管		
GD	光敏二极管		
GT	光敏晶体管		
GH	光耦合器		
GK	光开关管		
GL	摄像线阵器件		
GM	摄像面阵器件		

① 4CS 表示双绝缘栅场效应晶体管

## 2. 晶体二极管

(1) 二极管的伏安特性 如图 4-1 所示。

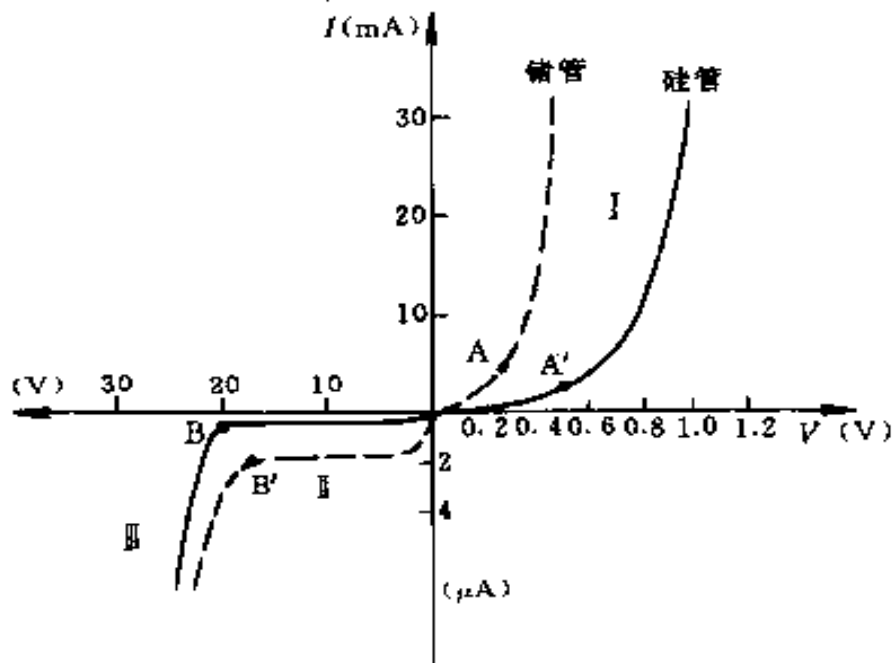


图 4 1 二极管的伏安特性

I — 正向特性 II — 反向特性 III — 反向击穿特性

## (2) 二极管主要技术参数

表 4-3 二极管主要技术参数

参 数	名 称	定 义
$I_F$	最大整流电流	二极管长期运行时,允许通过的最大正向平均电流
$V_F$	正向电压降	二极管通过额定正向电流( $I_F$ )时,在管子两极间产生的电压降(平均值)
$I_R$	反向漏电流	二极管两端施加规定的反向电压( $V_R$ )时,通过管子的反向漏电流
$V_R$	最高反向工作电压	允许长期加在二极管反向的恒定电压值
$V_B$	反向击穿电压	发生反向击穿时的电压值
$I_{FSM}$	不重复正向浪涌电流	一种由于电路异常情况(如故障)引起的、并使结温超过额定结温的不重复性最大正向过载电流
$I_{OM}$	最大正向电流	二极管正常工作时,通过的最大正向电流

注:详见 SJ1400—788 半导体器件参数符号。

## (3) 常用晶体二极管的技术数据

### 1) 整流二极管和桥式整流器

表 4-4 常用硅整流二极管的型号及技术数据

型 号	$V_R$ (V)	$I_F$ (A)	$V_F$ (V)	$I_R$ ( $\mu$ A)	$I_{FSM}$ (A)	主 要 用 途
2CZ31	50~800	1	0.8	5	20	通信设备及仪表 用电源
2CZ32	25~800	1.5		3	30	
	50~1000					
2CZ33	50~600					电视、收录机电源
2CZ37	600	1.2	0.93	10	80	彩电、仪器开关电源
2CZ52	25~400	0.1	0.7	1	2	
	25~800					
	50~1000					

(续)

型 号	$V_R$ (V)	$I_F$ (A)	$V_F$ (V)	$I_R$ ( $\mu$ A)	$I_{FSM}$ (A)	主 要 用 途	
2CZ53	25~100	0.3	1	5	6	通信设备、仪器 仪表及家用电器用稳压电源	
	25~800						
	50~1000						
2CZ54	25~800	0.5		10			
2CZ55	50~700	1			10		20
	25~800						
	25~1000						
	25~1400						
2CZ56	100~2000	3		0.8	20		65
2CZ57	25~1000	5					
	25~2000						
2CZ58	100~2000	10	40	420			
	2CZ59	25~1000			20		
		25~1400					
	100~2000						
2CZ82	25~800	0.1	1	5	2		
2CZ84	25~800	0.5	0.8			15	
	100~1000						
2CZ85	100~600	1	1.2	3	30		
	25~1000						
2CZ86	100~600	2	3	3	30		
2CZ87	100~600	3					
2DZ12	50~1100	0.1	1	5	2	通信设备、 仪器仪表、 稳压电源	
2DZ13		0.3			10		6
2DZ14		0.5					10
2DZ15		1		20	20		
2DZ16		3	0.8		65		
2DZ17		5			105		

表 4-5 常用硅桥式整流器的型号及技术数据

型号	$V_F(V)$	$I_F(A)$	$V_F(V)$	$I_R(\mu A)$	$I_{FSM}(A)$	主要用途
QL <sub>1</sub>	25~1000	0.05	1.2	10	1	收音机、录音机、电视机及仪器仪表,电子设备电源单相桥式整流
QL <sub>2</sub>		0.1			2	
QL <sub>3</sub>		0.2			4	
QL <sub>4</sub>		0.3			6	
QL <sub>5</sub>		0.5			10	
QL <sub>6</sub>		1			20	
QL <sub>7</sub>		2			40	
QL <sub>8</sub>		3			60	
QL <sub>9</sub>		5			100	
QL <sub>51</sub>		1			10	
QL <sub>52</sub>		0.05	1	10	20	
QL <sub>53</sub>		0.1				
QL <sub>54</sub>		0.2				
QL <sub>55</sub>		0.5				
QL <sub>56</sub>		0.1				
QL <sub>57</sub>		0.2				
QL <sub>58</sub>		0.3				
QL <sub>59</sub>		0.5				
QL <sub>60</sub>		1				
QL <sub>61</sub>		2				
QL <sub>62</sub>	2	10	50			

注:  $I_o$  额定整流电流(平均值)。

表 4-6 整流二极管最高反向工作电压规格 (V)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000

表 4-7 用色环表示整流二极管最高反向工作电压规格

色 环	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰
$V_R(V)$	50	100	200	300	400	500	600	700	800

## 2) 检波二极管

表 4-8 常用锗检波二极管的型号及技术数据

型 号	$I_F$ (mA)	$V_R$ (V)	$V_R$ (V)	$I_R$ ( $\mu$ A)	$I_{OM}$ (mA)	$f$ (MHz)		
2AP1	$\geq 2.5$	$\geq 10$	$\geq 40$	$\leq 200$	$\geq 16$	150		
2AP2		$\geq 25$	$\geq 45$		$\geq 25$			
2AP3	$\geq 7.5$				$\geq 16$			
2AP4	$\geq 5$	$\geq 50$	$\geq 75$		$\geq 12$			
2AP5	$\geq 2.5$	$\geq 75$	$\geq 110$					
2AP6	$\geq 1$	$\geq 100$	$\geq 150$					
2AP7	$\geq 5$							
2AP8A	$\geq 4$	$\geq 10$	$\geq 20$		$\leq 100$		$\geq 35$	
2AP8B	$\geq 6$							
2AP9	$\geq 8$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\leq 200$	$\geq 5$	100		
2AP10	$\geq 8$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\leq 40$				
2AP11	$\geq 10$	$\geq 10$	$\geq 10$	$\leq 300$	$\geq 25$	40		
2AP12	$\geq 90$				$\geq 40$			
2AP13	$\geq 10$	$\geq 30$	$\geq 40$	$\leq 200$	$\geq 20$	40		
2AP14	$\geq 30$				$\geq 30$			
2AP15	$\geq 60$							
2AP16	$\geq 30$				$\geq 50$		$\geq 50$	$\geq 20$
2AP17	$\geq 10$				$\geq 100$		$\geq 100$	$\geq 15$
2AP18 1	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 50$	$\leq 100$	$\geq 100$	40		
2AP18 2	$\geq 150$	$\geq 75$	$\geq 75$		$\geq 120$			
2AP18 3	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 100$		$\geq 150$			
2AP21	$\geq 50$	$\geq 7$	$\geq 40$	$\leq 200$	$\geq 50$	150		
2AP28-3	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 100$		$\geq 150$			
2AP30C	$\geq 2$	$\geq 10$	$\geq 20$	$\leq 50$	$\geq 5$	400		
2AP30D				$\leq 30$				
2AP30E			$\geq 35$	$\leq 11$				
2AP31A			$\geq 25$	$\leq 30$				
2AP31B			$\geq 35$	$\leq 30$				
2AP34A	$\geq 5$	$\geq 60$	$\geq 75$	$\leq 20$	$\geq 50$			
2AP60	$\geq 1$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 75$				
2AP90	$\geq 2$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\leq 100$				
2AP110	$\geq 3$	$\geq 40$	$\geq 50$	$\leq 40$				
2AP188	$\geq 5$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 33$				
2AP261	$\leq 0$	$\geq 35$	$\geq 40$	$\leq 70$				

注:  $f$  截止频率

### 3.1 普通二极管

表 4.9 常用硅普通二极管的型号及技术数据

号 号	$V_R(V)$	$I_F(mA)$	$V_F(V)$	$I_R(\mu A)$
2CP1A	50	500	$\leq 1$	$\leq 5$ (25°C)
2CP1	100			
2CP2	200			
2CP3	300			
2CP4	400			
2CP5	500			
2CP1E	600			
2CP1G	800			
2CP6	50	100	$\leq 1$	$\leq 5$ (25°C)
2CP6A	100			
2CP6B	200			
2CP6C	350			
2CP6D	400			
2CP6E	500			
2CP6F	800			
2CP10	25			
2CP11	50			
2CP12	100			
2CP13	150			
2CP14	200			
2CP15	250			
2CP16	300			
2CP17	350			
2CP18	400			
2CP19	500			
2CP20	500			
2CP20A	500			

(续)

型 号	$V_R(V)$	$I_F(mA)$	$V_F(V)$	$I_R(\mu A)$
2CP21A	50	300	$\leq 1.2$	$\leq 5$ (25°C)
2CP21	100			
2CP22	200			
2CP23	300			
2CP24	400			
2CP25	500			
2CP26	600			
2CP27	700			
2CP28	800			
2CP31	25	250	$\leq 1$	$\leq 5$ (25°C)
2CP31A	50			
2CP31B	100			
2CP31C	150			
2CP31D	200			
2CP31E	250			
2CP31F	300			
2CP31G	350			
2CP31H	400			
2CP31I	500			

### 3. 稳压二极管

(1) 稳压二极管的伏安特性

如图 4-2 所示。

(2) 稳压二极管的主要技术参

数 见表 4-10。

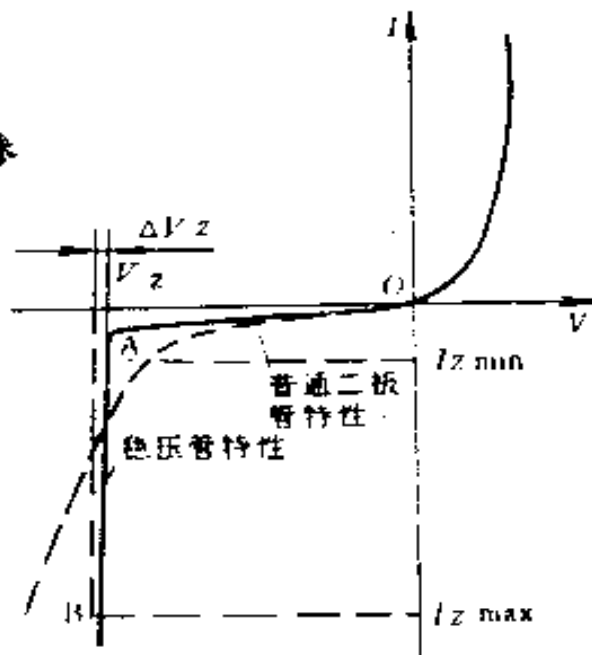


图 4.2 稳压二极管的伏安特性



表 4-10 稳压二极管的主要技术参数

参 数	名 称	定 义
$V_Z$	稳定电压	在稳压范围内,通过管子的反向电流为规定值时,在管子两极间产生的电压降
$I_{ZM}$	最大工作电流	在最大耗散功率下,稳压管允许通过的反向电流
$P_{ZM}$	最大耗散功率	在给定的使用条件下,稳压管允许承受的最大功率。 $P_{ZM} = V_Z I_{ZM}$
$R_Z$	动态电阻	在测试条件下,稳压管两端电压微变量与通过管子电流微变量的比值
$C_{TV}$	电压温度系数	在测试条件下,稳定电压的相对变化与环境温度的绝对变化的比值
$I_Z$	稳定电流(反向测试电流)	测试反向电参数时,给定的反向电流
$I_R$	反向漏电流	两端施加规定的反向电压( $V_R$ )时,通过管子的反向漏电流
$V_F$	正向压降	通过额定电流时,两极间所产生的电压降

注:详见 SJ1400 786 半导体器件参数符号。

(3) 常用稳压二极管的技术数据

表 4-11 常用 N 型硅稳压二极管的型号及技术数据

型 号	$P_{ZM}$ (W)	$I_{ZM}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$R_{Z1}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z1}$ (mA)	$R_{Z2}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z2}$ (mA)	$I_R$		$V_F$ (V)	$C_{TV}$ $\times 10^{-4}$ /C
								$\mu A$			
2CW50		83	1.0~2.8	300		50	10	$\leq 10$	—		$\leq -9$
2CW51	0.25	71	2.5~3.5	400	1	60	10	$\leq 5$	—	1	$\leq -9$
2CW52		55	3.2~4.5	550		70	10	$\leq 2$	—		$\geq 8$
2CW53		41	4.0~5.8	550		50	10	—	$\leq 1$		-6~4
测试条件	—	—	$I_Z = I_{Z2}$	$I_Z = I_{Z1}$		$I_Z = I_{Z2}$		$V_R = 0.5V$	$V_R = 1V$	$I_F = 100\mu A$	—

(续)

型号	$P_{ZM}$ (W)	$I_{ZM}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$R_{Z1}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z1}$ (mA)	$R_{Z2}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z2}$ (mA)	$I_R$ ( $\mu A$ )		$V_F$ (V)	$C_{TV}$ $\times 10^{-4}$ /°C
2CW54		38	5.5~6.5	500		30	10	—	$\leq 0.5$		-3~5
2CW55		33	6.2~7.5	400		15	10		$\leq 0.5$		$\leq 6$
2CW56		27	7.2~8.8	400		15	5		$\leq 0.5$		$\leq 7$
2CW57		26	8.5~9.5	400		20	5	—	$\leq 0.5$		$\leq 8$
2CW58		23	9.2~10.5	400		25	5		$\leq 0.5$		$\leq 8$
2CW59		20	10~11.8	400		30	5	—	$\leq 0.5$		$\leq 9$
2CW60		19	11.5~12.5	400		40	5	—	$\leq 0.5$		$\leq 9$
2CW61		16	12.2~14	400		50	3	—	$\leq 0.5$		$\leq 9.5$
2CW62		14	13.5~17	400		60	3	—	$\leq 0.5$		$\leq 9.5$
2CW63		13	16~19	400		70	3		$\leq 0.5$		$\leq 9.5$
2CW64	0.25	11	18~21	400	1	75	3		$\leq 0.5$	1	$\leq 10$
2CW65		10	20~24	400		80	3	—	$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW66		9	23~26	400		85	3		$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW67		9	25~28	400		90	3		$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW68		8	27~30	400		95	3		$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW69		7	29~33	400		95	3	—	$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW70		7	32~36	400		100	3	—	$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW71		6	35~40	400		100	3		$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW72		29	7.0~8.8	12		6	5	—	$\leq 0.1$		$\leq 7$
2CW73		25	8.5~9.5	18		10	5	—	$\leq 0.1$		$\leq 8$
2CW74		23	9.2~10.5	25		12	5		$\leq 0.1$		$\leq 8$
2CW75		21	10~11.8	30		15	5	—	$\leq 0.1$		$\leq 9$
2CW76		20	11.5~12.5	35		18	5		$\leq 0.1$		$\leq 9$
2CW77		18	12.2~14	35		18	5		$\leq 0.1$		$\leq 9.5$
2CW78		14	13.5~17	45		21	5	—	$\leq 0.1$		$\leq 9.5$
测试条件			$I_{Z1} - I_{Z2}$	$I_{Z1} - I_{Z2}$		$I_{Z1} - I_{Z2}$		$V_R = 0.5V$	$V_R = 1V$	$I_F = 100\mu A$	

(续)

型号	$P_{ZM}$ (W)	$I_{ZM}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$R_{Z1}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z1}$ (mA)	$R_{Z2}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z2}$ (mA)	$I_R$ ( $\mu A$ )		$V_F$ (V)	$C_{TV}$ $\times 10^{-4}$ /C
2CW100		330	1.0~2.8	$\leq 300$		15	50	$\leq 10$	--		$\geq -9$
2CW101		280	2.5~3.5	$\leq 400$		25	50	$\leq 10$	-		$\geq -9$
2CW102		220	3.2~4.5	$\leq 500$		30	50	$\leq 5$	-		$\geq -8$
2CW103		165	4.0~5.8	$\leq 550$		20	50	-	$\leq 1$		-6~4
2CW104		150	5.5~6.5	$\leq 400$		15	30	-	$\leq 0.5$		-3~5
2CW105		130	6.2~7.5	$\leq 400$		7	30	-	$\leq 0.5$		$\leq 6$
2CW106		110	7.0~8.8	$\leq 400$		5	30	-	$\leq 0.5$		$\leq 7$
2CW107		100	8.5~9.5	$\leq 400$		10	20	-	$\leq 0.5$		$\leq 8$
2CW108		95	9.2~10.5	$\leq 400$		12	20	-	$\leq 0.5$		$\leq 8$
2CW109		83	10~11.8	$\leq 400$		15	20	-	$\leq 0.5$		$\leq 9$
2CW110	1	76	11.5~12.5	$\leq 400$	1	20	20	-	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 9$
2CW111		66	12.2~14	$\leq 400$		20	20	-	$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW112		58	13.5~17	$\leq 400$		35	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 10$
2CW113		52	16~19	$\leq 400$		40	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW114		47	18~21	$\leq 400$		45	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW115		41	20~24	$\leq 400$		50	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW116		38	23~26	$\leq 400$		55	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW117		35	25~28	$\leq 400$		60	10	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW118		33	27~30	$\leq 400$		80	5	-	$\leq 0.5$		$\leq 11$
2CW119		30	29~33	$\leq 400$		90	5	-	$\leq 0.5$		$\leq 12$
2CW120		27	32~36	$\leq 400$		110	5	-	$\leq 0.5$		$\leq 12$
2CW121		25	35~40	$\leq 400$		113	5	-	$\leq 0.5$		$\leq 12$
测试条件	-	-	$I_Z = I_{Z2}$	$I_Z = I_{Z1}$		$I_Z = I_{Z2}$		$V_R =$ 0.5V	$V_R =$ -1V	$I_F =$ 200mA	-

(续)

型号	$P_{ZM}$ (W)	$I_{ZM}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$R_{Z1}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z1}$ (mA)	$R_{Z2}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z2}$ (mA)	$I_K$ ( $\mu A$ )	$V_F$ (V)	$C_{rv}$ $\times 10^{-4}$ f
2CW130		660	3.0~4.5	$\leq 250$		$\leq 20$	100	5		$\geq 8$
2CW131		500	4.0~5.8	$\leq 300$		$\leq 15$	100	-	$\leq 0.5$	6~7.4
2CW132		160	5.5~8.5	$\leq 250$		$\leq 12$	100	-	$\leq 0.5$	3~5
2CW133		100	6.2~7.5	$\geq 200$		$\leq 8$	100	-	$\leq 0.5$	$\leq 6$
2CW134		330	7.0~8.8	$\leq 200$		$\leq 5$	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 7$
2CW135		310	8.5~9.5	$\leq 200$		$\leq 7$	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 8$
2CW136		280	9.2~10.5	$\leq 200$		$\leq 9$	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 8$
2CW137	3	250	10~11.9	$\leq 200$	3	12	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 9$
2CW138		230	11.5~12.5	$\leq 200$		11	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 9$
2CW139		200	12.2~14	$\leq 200$		$\leq 15$	50	-	$\leq 0.5$	$\leq 10$
2CW140		170	13.7~17	$\leq 200$		$\leq 25$	30	-	$\leq 0.5$	$\leq 10$
2CW141		150	16~19	$\leq 200$		$\leq 10$	30	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW142		130	18~21	$\leq 200$		$\leq 35$	30	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW143		120	20~24	$\leq 200$		$\leq 40$	30	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW144		110	23~28	$\leq 200$		$\leq 15$	30	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW145		105	25~28	$\leq 200$		$\leq 55$	15	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW146		100	27~30	$\leq 200$		$\leq 60$	15	-	$\leq 0.5$	$\leq 11$
2CW147		90	29~33	$\leq 200$		$\leq 70$	15	-	$\leq 0.5$	$\leq 12$
2CW148		80	32~36	$\leq 200$		$\leq 80$	15	-	$\leq 0.5$	$\leq 12$
2CW149		75	33~40	$\leq 200$		$\leq 90$	15	-	$\leq 0.5$	$\leq 12$
测试条件	--	--	$I_Z = I_{Z1}$	$I_Z = I_{Z1}$		$I_Z = I_{Z2}$		$V_{R1} = 2.5V$	$V_{R2} = 1V$	$I_{Z1} = I_{Z2} = 10mA$

表 4-12 常用 P 型硅稳压二极管的型号及技术数据

型号	$P_{ZM}$ (W)	$I_{ZM}$ (mA)	$V_Z$ (V)	$R_{Z1}$ (k $\Omega$ )	$I_Z$ (mA)	$R_{Z2}$ ( $\Omega$ )	$I_{Z2}$ (mA)	$I_R$ ( $\mu$ A)	$V_T$ (V)	$C_{TV}$ 10 <sup>-4</sup> pF
2DW64	1	5	180~200			$\leq 1100$				
2DW80		65	38~45			$\leq 35$	20			
2DW81		50	42~55			$\leq 40$				
2DW82		45	52~65			$\leq 45$				
2DW83		40	62~75			$\leq 45$				
2DW84		35	70~85			$\leq 60$				
2DW85		30	80~95			$\leq 150$				
2DW86	3	25	90~110	$\leq 1$	1	$\leq 250$	8	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 12$
2DW87			100~120			$\leq 280$				
2DW88		20	110~130			$\leq 370$				
2DW89			120~145			$\leq 550$				
2DW90		19	135~155			$\leq 600$				
2DW91		18	145~165			$\leq 650$				
2DW92		17	155~175			$\leq 700$				
2DW93		15	165~190			$\leq 800$				
2DW94			180~200			$\leq 920$				

#### 4. 晶体三极管

(1) 晶体三极管的特性、工作状态和主要技术参数

1) 三极管的特性 如图 4-3 所示。

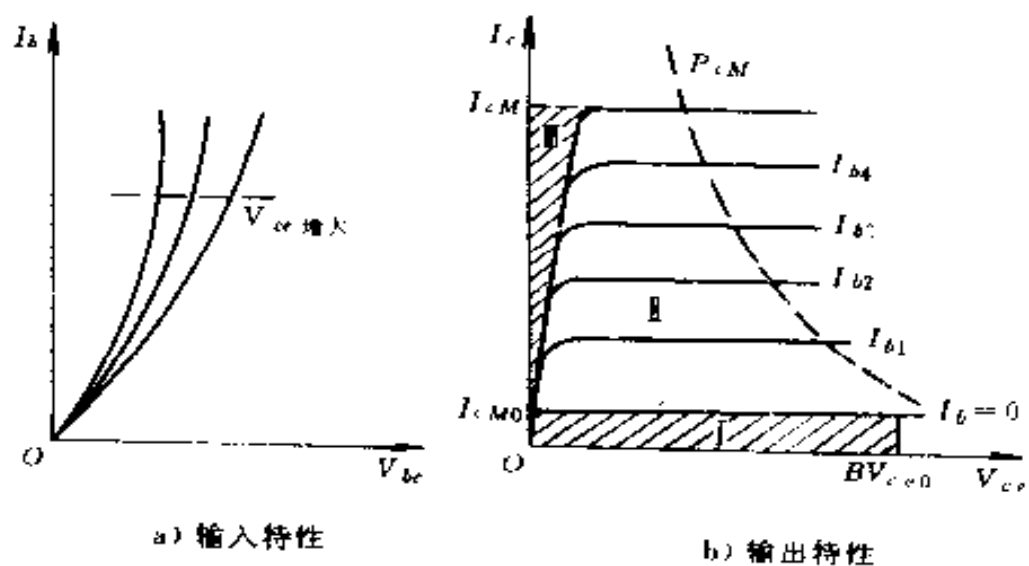


图 4 3 三极管的特性曲线

## 2) 三极管的工作状态

表 4-13 晶体三极管的三种工作状态及数量关系

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
PNP 型	<p>约 <math>+0.3 \sim -0.2V</math></p>	<p>约 <math>-0.2 \sim -0.3V</math></p>	<p>小于 <math>-0.3V</math></p>
NPN 型	<p>约 <math>0.3 \sim 0.5V</math></p>	<p>约 <math>0.3 \sim 0.7V</math></p>	<p>大 <math>&gt; 0.7V</math></p>
参数范围	$I_b \leq 0$ ( $I_b$ 为负), 其实际方向与图中所示相反, 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 $U_{be}$ 约在 $+0.3 \sim -0.2V$ 内 硅管的 $U_{be}$ 约在 $0.3 \sim -0.5V$ 内	锗管的 $U_{be}$ 约在 $-0.2 \sim -0.3V$ 内 硅管的 $U_{be}$ 约在 $+0.5 \sim +0.7V$ 内	锗管的 $U_{be}$ 比 $0.3V$ 更负 硅管的 $U_{be}$ 大于 $0.7V$
	$I_b \leq I_{cs}$ 锗管: 几十 ~ 几百 $\mu A$ 硅管: 几 $\mu A$ 以下	$I_c = \beta I_b - I_{cs}$	$I_c \approx \frac{E_c}{R_c}$
	$U_{ce} = E_c$	$U_{ce} = E_c - I_c R_c$	$U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3V$ (管子饱和压降)
工作状态特点	$I_b \approx 0$ 时, $I_c$ 很小 (小于 $I_{cs}$ ), 三极管相当于开路, 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, 管子起放大作用, 微小的 $I_b$ 的变化能引起 $I_c$ 较大幅度的变化	$I_c$ 不再随 $I_b$ 的增加而增大, 管子两端电压降很小, 电源电压 $E_c$ 几乎全部加在负载电阻 $R_c$ 上

### 3) 三极管的主要技术参数

表 4-14 三极管的主要技术参数

参 数	名 称	定 义
直 流 参 数	$H_{fe}$	共发射极直流放大系数 在共发射极电路中,当集电极电压 $V_{ce}$ 和集电极电流 $I_c$ 为规定值时, $I_c$ 与 $I_b$ 之比, $H_{fe} = I_c / I_b$
	$I_{cbo}$	集电极-发射极反向截止电流 基极开路,集电极-发射极间的电压为规定值时的集电极电流
	$I_{cbo}$	集电极-基极反向截止电流 发射极开路,集电极-基极间的电压为规定值时的集电极电流
	$BV_{ceo}$	集电极-发射极反向击穿电压 基极开路时,集电极与发射极间最大允许电压
	$BV_{cbo}$	集电极-基极反向击穿电压 发射极开路时,集电极与基极间最大允许电压
交 流 参 数	$h_{fe}$ (或 $\beta$ )	共发射极交流电流放大系数 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, $h_{fe}(\beta) = \Delta I_c / \Delta I_b$
	$f_{h_{fe}}$	共发射极截止频率 当 $h_{fe}$ 因频率增高而下降到低频 (1kHz) 值的 0.707, 即下降到 3dB 时的频率
	$f_T$	特征频率 因频率增高, $h_{fe}$ 下降到 1 时的频率
极 限 参 数	$I_{CM}$	集电极最大允许电流 当三极管参数变化不超过规定值时,集电极所允许承受的最大电流
	$R_{th}$	热阻 单位功率所产生的温差
	$P_{CM}$	集电极最大允许耗散功率 保证参数在规定范围内变化的最大集电极耗散功率

注: 详见 SJ1400-78《半导体器件参数符号》。

#### (2) 常用晶体三极管的型号及技术数据

##### 1) 常用低频小功率三极管的型号及技术数据

表 4-15 常用硅低频小功率三极管的型号及技术数据

型 号	极限参数		直 流 参 数					$H_{fe}$
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{ce0}$ (V)	$BV_{cb0}$ (V)	$I_{cb0}$ ( $\mu$ A)	$I_{ce0}$ ( $\mu$ A)	$I_{eb0}$ ( $\mu$ A)	
200 3 DX201 A 202	300	300	$\geq 12$	$\geq 4$	$\leq 1$	$\leq 2$	$\leq 1$	55~400
200 3 DX201 B 202			$\geq 18$					
200 3 CX201 A 202	300	300	$\geq 12$	$\geq 4$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 0.5$	55~400
200 3 CX201 B 202			$\geq 18$					
3 DX203 3 CX203	500	500	15		5			40~460
3 DX204 3 CX204	700	700	15~40		5			55~400
DX201 CX201	100	200			500			40~400
DX203 CX203	200	500	20~40		5mA			
DX211 CX211	200	30			50			
3 DX211 3 CX211	200	50	12		0.05			



2)常用高频小功率三极管的型号及技术数据

表 4-16 锗(PNP型)高频小功率三极管的型号及技术数据

型号		极限参数		直流参数				交流参数			
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CBO}$ (V)	$BV_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$f_T$ (MHz)	$h_{fe}$		
3 AG53	A	50	10	25	15	$\leq 5$	$\leq 200$	$\geq 30$	30~200		
	B				25			$\geq 50$			
	C							$\geq 100$			
	D							$\geq 200$			
	E							$\geq 300$			
3 AG54	A	100	30		15			$\leq 8$		$\leq 300$	$\geq 30$
	B										$\geq 50$
	C										$\geq 100$
	D										$\geq 200$
	E				$\geq 300$						
3 AG55	A	150	50	10	$\leq 7$	$\leq 500$	$\geq 100$				
	B						$\geq 200$				
	C						$\geq 300$				
3 AG56	A	50	10	12	$\leq 5$	$\leq 200$	$\geq 25$	40~270			
	B						$\geq 50$				
	C						$\geq 65$				
	D						$\geq 80$				
	E <sub>1</sub>						$\geq 100$				
	E <sub>2</sub>						$\geq 120$				
	F						$\geq 300$				
3 AG80	A	300	50	25	15	$\leq 50$	$\geq 300$	20~150			
	B						$\geq 400$				
	C						$\geq 600$				
	D						$\geq 300$				
	E						$\geq 500$				
3 AG87	A	300	50	30	20	$\leq 3$	$\geq 700$				
	B						$\geq 500$				
	C						$\geq 700$				
	D						$\geq 1000$				
3 AG95	A	150	30	30	20	$\leq 3$	$\geq 500$				
	B						$\geq 700$				
	C						$\geq 1000$				

表 4-17 硅(NPN 型)高频小功率三极管的型号及技术数据

型 号	极 限 参 数		直 流 参 数					交 流 参 数							
	$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{cbo}$ (V)	$BV_{ceo}$ (V)	$I_{cbo}$ ( $\mu$ A)	$I_{ceo}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)							
3 DG100	A	100	20	$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\geq 150$							
	B			$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 300$						
	C			$\geq 30$	$\geq 20$										
	D			$\geq 40$	$\geq 30$										
3 DG101	A			$\geq 20$	$\geq 15$			$\leq 0.1$		$\leq 0.1$	$\geq 30$	$\geq 150$			
	B			$\geq 30$	$\geq 20$										
	C			$\geq 40$	$\geq 30$										
	D			$\geq 20$	$\geq 15$										
	E			$\geq 30$	$\geq 20$										
	F			$\geq 40$	$\geq 30$										
3 DG102	A			300	50			$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 150$			
	B							$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 300$		
	C							$\geq 30$	$\geq 20$						
	D							$\geq 40$	$\geq 30$						
3 DG103	A							$\geq 30$	$\geq 20$			$\leq 0.1$		$\leq 0.1$	$\geq 30$
	B							$\geq 40$	$\geq 30$						
	C	$\geq 30$	$\geq 20$												
	D	$\geq 40$	$\geq 30$												
3 DG 101 111	A	$\geq 20$	$\geq 15$			$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 30$	$\geq 150$						
	B	$\geq 40$	$\geq 30$												
	C	$\geq 60$	$\geq 45$												
	D	$\geq 20$	$\geq 15$												
	E	$\geq 40$	$\geq 30$												
	F	$\geq 60$	$\geq 45$												
3 DG112	A	500	700			$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$			$\geq 500$			
	B					$\geq 40$	$\geq 30$						$\geq 700$		
	C			$\geq 30$	$\geq 20$										
	D			$\geq 40$	$\geq 30$										
3 DG 120 121	A			$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$			$\geq 30$	$\geq 150$				
	B			$\geq 60$	$\geq 45$										
	C			$\geq 40$	$\geq 30$										
	D			$\geq 60$	$\geq 45$										

(续)

型号		极限参数		直流参数				交流参数	
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CE0}$ (V)	$BV_{CE0}$ (V)	$I_{CB0}$ ( $\mu$ A)	$I_{EO}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)
3 DG122	A	500	700	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.1$	$\leq 0.2$	$\geq 20$	$\geq 500$
	B			$\geq 60$	$\geq 45$				$\geq 700$
	C			$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 1000$
	D			$\geq 60$	$\geq 45$				$\geq 1500$
3 DG123	A	500	50	$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 1000$
	B			$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 1500$
	C			$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 1000$
3 DG130	A	700	500	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 20$	$\geq 500$
	B			$\geq 60$	$\geq 45$				$\geq 300$
	C			$\geq 40$	$\geq 30$				$> 1000$
	D			$\geq 60$	$\geq 45$				$\geq 1000$
3 DG131	A	700	100	$\geq 30$	$\geq 20$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$> 1000$
	B			$\geq 40$	$\geq 30$				$\geq 1000$
	C			$\geq 50$	$\geq 40$				$\geq 1000$
3 DG132	A	700	200	$\geq 30$	$\geq 25$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 1000$
	B			$\geq 40$	$\geq 35$				$\geq 1000$
3 DG140	A	100	15	$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 400$
	B								$\geq 600$
	C								$\geq 800$
3 DG141	A	100	15	$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 600$
	B								$\geq 800$
	C								$\geq 1000$
3 DG142	A	100	15	$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 800$
	B								$\geq 1000$
	C								$\geq 1500$
3 DG143	A	100	20	$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 4000$
	B								$\geq 2500$
	C								$\geq 3000$
3 DG144	A	100	20	$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 4000$
	B								$\geq 2500$
	C								$\geq 3000$

(续)

型号		极限参数		直流参数				交流参数												
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CEO}$ (V)	$BV_{CES}$ (V)	$I_{BZ}$ ( $\mu$ A)	$I_{CZ}$ ( $\mu$ A)	$H_{FE}$	$f_T$ (MHz)											
3 DG145	A	100		$\geq 15$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\geq 10$	$\geq 2000$												
	B																			
	C																			
3 DG146	A																			
	B																			
	C																			
3 DG148	A								15	$\geq 12$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\geq 10$	$\geq 1000$						
	B																			
	C																			
3 DG149	A								20											
	B																			
3 DG152	A	200	30	$\geq 30$	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\geq 15$	$\geq 1200$												
	B																			
	C																			
3 DG153	A																			
	B																			
	C																			
3 DG154	A								700	50	$\geq 20$	$\geq 10$	$\leq 0.5$	$\geq 10$	$\geq 6000$					
	B																			
	C																			
3 DG155	A																			
	B																			
	C																			
3 DG156	A	150	$\geq 20$	$\geq 10$	$\leq 0.1$	$\geq 10$	$\geq 5500$													
	B																			
	C																			
	D																			
200 3 DG201	A	100						20	$\geq 15$	$\geq 15$	$\leq 0.5$	$\geq 10$	$\geq 500$							
	202																			
200 3 DG201	B													20	$\geq 25$	$\geq 25$	$\leq 0.05$	$\leq 0.1$	25~ 270	$\geq 100$
	202																			
200 3 DG201	C													20						
	202																			
3 DG201	A		10	$\geq 15$	$\geq 25$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$							$\geq 500$						
	B																			

表 4 18 硅(PNP型)高频小功率三极管的型号及技术数据

型 号	极限参数		直流参数				交流参数		
	$P_M$ (mW)	$I_M$ (mA)	$BV_{ce0}$ (V)	$BV_{ce}$ (V)	$I_{ce0}$ ( $\mu$ A)	$I_{ce}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)	
2CG100	A	100	30	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 100$
	B			$\geq 25$					
	C			$\geq 45$					
3CG101	A	100	30	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 100$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					
3CG162	A	15	20	$\geq 12$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 700$
	B								$\geq 800$
	C								$\geq 1000$
	D								$\geq 1200$
3CG103	A	15	20	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 700$
	B								$\geq 1000$
	C								$\geq 1200$
	D								$\geq 1500$
3CG119	A	100	30	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 100$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					
3CG111	A	100	30	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 200$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					
3CG112	A	300	50	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 100$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					
3CG113	A	300	50	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 700$
B	$\geq 45$			$\geq 900$					
3CG114	A	100	30	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 700$
	B			$\geq 45$					$\geq 900$
3CG120	A	300	100	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 200$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					
3CG121	A	300	100	$\geq 15$	24	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 200$
	B			$\geq 30$					
	C			$\geq 45$					

(续)

型号		极限参数		直流参数				交流参数					
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CBO}$ (V)	$BV_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)				
3 CG122	A	500	100	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 500$				
	B			$\geq 25$									
	C			$\geq 45$									
	D			$\geq 15$									
	E			$\geq 25$									
	F			$\geq 45$									
3 CG130	A	700	300	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 80$				
	B			$\geq 30$									
	C			$\geq 45$									
3 CG131	A			$\geq 15$									
	B			$\geq 30$									
	C			$\geq 45$									
3 CG132	A	120	$\geq 15$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 700$					
	B							$\geq 900$					
3 CG140	A	100	20					$\geq 12$	$\geq 4$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 25$	$\geq 1000$
	B							$\geq 12$					

表 4 19 硅高频高反压小功率三极管的型号及技术数据

型号		极限参数		直流参数				交流参数
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CEO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)
3 DG160	A~D	300	20	200~500	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 10$	$\geq 10$
3 DG170	A~E	500	50	60~220		$\leq 0.5$	$\geq 20$	$\geq 50$
	F~J				$\leq 0.5$	$\geq 100$		
3 DG180	A~G	700	100	60~300	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 20$	$\geq 50$
	H~N							$\leq 1$
3 DG181	A~E		200	60~220	$\leq 0.5$	$\leq 2$	$\geq 10$	$\geq 50$
	F~J							$\leq 2$
3 DG182	A~E		300	60~140	$\leq 0.1$	$\leq 1$	$\geq 10$	$\geq 50$
	F~J							$\leq 1$
3 DG160	A~C	300	20	180~220	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 100$
	D~E			180~220				$\geq 50$
3 CG170	A~C	500	50	60~140	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\geq 25$	$\geq 100$
	D~E			180~220				$\geq 50$
3 CG180	A~D	700	100	100~220	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 15$	$\geq 50$
	E~H							$\leq 1$

表 4-20 硅 NPN/PNP 型开关三极管的型号及技术数据

型 号		极限参数		直 流 参 数				交 流 参 数			
		$P_{CM}$ (mW)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{CEO}$ (V)	$BV_{CBO}$ (V)	$I_{CBO}$ ( $\mu$ A)	$I_{CEO}$ ( $\mu$ A)	$h_{FE}$	$f_T$ (MHz)	$t_{on}$ (ns)	$t_{off}$ (ns)
3 DK100	A	100	30	$\geq 20$	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 300$		$\leq 20$	$\leq 35$
	B			$\geq 15$	$\geq 10$					$\leq 20$	$\leq 25$
	C			$\geq 30$	$\geq 20$					$\leq 30$	$\leq 60$
3 DK101	A	200	40	$\geq 30$	$\geq 25$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 300$		$\leq 30$	$\leq 40$
	B			$\geq 20$	$\geq 15$					$\leq 30$	$\leq 35$
	C			$\geq 30$	$\geq 25$					$\leq 40$	$\leq 50$
3 DK102	A	300	50	$\geq 20$	$\geq 15$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 300$		$\leq 40$	$\leq 35$
	B			$\geq 30$	$\geq 25$					$\leq 40$	$\leq 50$
	C			$\geq 20$	$\geq 15$					$\leq 40$	$\leq 35$
3 DK103	A	300	50	$\geq 30$	$\geq 25$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\geq 300$		$\leq 40$	$\leq 35$
	B			$\geq 40$	$\geq 30$					$\leq 40$	$\leq 50$
	C			$\geq 60$	$\geq 45$					$\leq 40$	$\leq 50$
3 DK104	A	400	400	$\geq 75$	$\geq 60$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\geq 300$		$\leq 100$	$\leq 230$
	B			$\geq 100$	$\geq 80$					$\leq 50$	$\leq 130$
	C			$\geq 75$	$\geq 60$					$\leq 50$	$\leq 130$
3 DK105	A	500	500	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 300$		$\leq 25$	$\leq 280$
	B			$\geq 60$	$\geq 45$					$\leq 25$	$\leq 280$
	C			$\geq 40$	$\geq 30$					$\leq 25$	$\leq 280$
3 DK106	A	600	600	$\geq 60$	$\geq 45$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 300$		$\leq 30$	$\leq 130$
	B			$\geq 40$	$\geq 30$					$\leq 30$	$\leq 130$
	C			$\geq 60$	$\geq 45$					$\leq 30$	$\leq 130$
3 DK107	A	800	800	$\geq 40$	$\geq 30$	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\geq 300$		$\leq 30$	$\leq 280$
	B			$\geq 60$	$\geq 45$					$\leq 30$	$\leq 280$
	C			$\geq 40$	$\geq 30$					$\leq 30$	$\leq 280$
3 CK110	A	300	50	$\geq 20 \sim$	$\geq 15 \sim$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$\geq 300$		$\leq 50$	$60 \sim$
	S			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$110$
	E			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$80 \sim$
3 CK112	A	300	50	$\geq 20 \sim$	$\geq 15 \sim$	$\leq 0.2$	$\leq 0.2$	$\geq 300$		$\leq 50$	$130$
	S			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$80 \sim$
	E			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$130$
3 CK120	A	500	200	$\geq 20 \sim$	$\geq 15 \sim$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\geq 300$		$\leq 30$	$60 \sim$
	S			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 30$	$110$
	E			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 30$	$110$
3 CK121	A	500	200	$\geq 20 \sim$	$\geq 15 \sim$	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\geq 300$		$\leq 50$	$80 \sim$
	S			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$200$
	E			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$200$
3 CK130	A	700	700	$\geq 20 \sim$	$\geq 15 \sim$	5	10	$\geq 300$		$\leq 50$	$120 \sim$
	S			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$160$
	E			$\geq 50$	$\geq 45$					$\leq 50$	$160$

### 3) 常用低频大功率三极管的型号及技术数据

表 4-21 锗(PNP型)低频大功率三极管的型号及技术数据

型号		极限参数			直流参数					交流参数											
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ ( $^{\circ}C/W$ )	$BV_{(BO)}$ (V)	$BV_{(CEO)}$ (V)	$I_{CBO}$ (mA)	$I_{CEO}$ (mA)	$H_{fe}$	$f_{hfe}$ (MHz)											
3 AD50	A	10	3	3.5	50	18	$\leq 0.3$	$\leq 2.5$	20~ 110	$\geq 4$											
	B				60	24															
	C				70	36															
3 AD51	A		2		2	3.5					50	18	$\leq 0.3$	$\leq 2.5$	20~ 110	$\geq 4$					
	B										60	24									
	C										70	30									
3 AD52	A		20		2	1.75					50	18					$\leq 0.3$	$\leq 12$	20~ 110	$\geq 2$	
	B										60	24									
	C										70	30									
3 AD53	A	6		6	1.75		50	18	$\leq 0.5$	$\leq 10$	20~ 110	$\geq 2$									
	B						60	24													
	C						70	30													
3 AD54	A	20		5			1.75	50					18	$\leq 0.4$	$\leq 8$	20~ 110					$\geq 3$
	B							60					24								
	C							70					30								
3 AN55	A		5	5		1.75		50					18				$\leq 0.4$	$\leq 8$	20~ 110	$\geq 3$	
	B							60					24								
	C							70					30								
3 AD56	A		50	15	0.7			60	30	$\leq 0.8$	$\leq 0.7$	20~ 110	$\geq 3$								
	B							80	45												
	C							100	60												

注： $H_{fe}$ 色标分档为：棕 20~30；红 30~40；橙 40~60；黄 60~90；绿 90~100。



表 4-22 硅(NPN型)低频大功率三极管的型号及技术数据(外延平面)

型 号	极限参数			直流参数					色标分析	
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	$BV_{CEO}$ (V)	$BV_{CEB}$ V	$I_{cbo}$ (mA)	$I_c$ (A)	$H_{fe}$		
3 DD50A~E	1	1	100	A 档 $\geq 30$	3	$\leq 0.4$	0.5	$\geq 10$	①	
3 DD51A~E		0.5								0.4
3 DD52A~E										
3 DD53A~E	5	2	20	B 档 $\geq 50$	$\geq 3$	$\leq 0.5$	1		②	
3 DD54A~E		1								0.8
3 DD55A~E										
3 DD56A~E	10	3	10	C 档 $\geq 80$	$\geq 3$	$\leq 1$	1.5		②	
3 DD57A~E		1.5								1
3 DD58A~E										
3 DD59A~E	20	5	4	E 档 $\geq 150$	$\geq 3$	$\leq 1.5$	2.5		②	
3 DD60A~E	25	2.5								
3 DD61A~E										
3 DD62A~E	50	7.5	2		$\geq 3$	$\geq 2$	5	②		
3 DD63A~E		5							4	
3 DD64A~E										
3 DD65A~E	75	10	1.33		$\geq 3$	$\leq 3$	7.5	②		
3 DD66A~E		7							5.5	
3 DD67A~E										
3 DD68A~E	100	15	1		$\geq 3$	$\leq 5$	10	②		
3 DD69A~E		9							7	
3 DD70A~E										

注： $H_{fe}$ 色标分析为：①棕 10~20，红 20~30，橙 30~40，黄 >40，②棕 10~20，红 20~30，橙 >30。

#### 4) 常用高频大功率三极管的型号及技术数据

表 4-23 锗(PNP 型)高频大功率三极管的型号及技术数据

型 号	极 限 参 数		直 流 参 数				交 流 参 数
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (mA)	$BV_{cb0}$ (V)	$BV_{ce0}$ (V)	$I_{cb0}$ ( $\mu$ A)	$H_{fe}$	$f_{h_{fe}}$ (MHz)
3 AA7	1	500	$\geq 75$	$\geq 35$	$\leq 100$	$\geq 30$	$\geq 140$
3 AA8			$\geq 60$	$\geq 25$			$\geq 120$
3 AA9			$\geq 75$	$\geq 35$			$\geq 80$
3 AA10							

表 4-24 硅(PNP 型)高频大功率三极管的型号及技术数据

型 号	极 限 参 数		直 流 参 数					交 流 参 数
	$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$BV_{cb0}$ (V)	$BV_{ce0}$ (V)	$I_{cb0}$ ( $\mu$ A)	$I_{ce0}$ (mA)	$H_{fe}$	$f_T$ (MHz)
3 CA1A~F	1	0.1	A $\geq 30$ B $\geq 50$ C $\geq 80$ D $\geq 100$ E $\geq 130$ F $\geq 150$		5~10	0.05~	$\geq 20$	50
3 CA2A~F	2	0.25			10~50	0.1		
3 CA3A~E	5	0.5			50~ 100	0.2~0.5		
3 CA4A~E	7.5	1	A $\geq 30$ B $\geq 50$ C $\geq 80$ D $\geq 100$ E $\geq 150$		0.5~ 1mA	1~1.5	$\geq 10$	30
3 CA5A~E	15	1.5			0.5~ 1mA	1~2		
3 CA6	20	2		40~120		1.5~3	$\geq 10$	10
3 CA7	30	2.5		30~130		5		
3 CA8	40	3		30~130				
3 CA9	50	4		30~110		7		

表 4-25 硅(NPN型)高频大功率三极管的型号及技术数据

型号		极限参数			直流参数				交流参数
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ (C/W)	$BV_{ceo}$ (V)	$BV_{ces}$ V	$I_{cvo}$ (mA)	$H_{fe}$	$f_{hfe}$ (MHz)
3 DA1	A	7.5	1	14	40	30	$\leq 1$	$\geq 10$	$\geq 50$
	B				50	45	$\leq 0.5$		$\geq 70$
	C				70	60			$\geq 100$
3 DA2	A	5	0.75	21	40	30	$\leq 0.2$	$\geq 15$	$\geq 100$
	B				70	60		$\geq 20$	$\geq 150$
3 DA3	A	20	2.5	5	60	50	$\leq 1$	$\geq 10$	$\geq 70$
	B				80	70	$\leq 0.5$	$\geq 15$	$\geq 80$
3 DA4	A	20	2.5	5	40	30	$\leq 1.5$	$\geq 10$	$\geq 30$
	B				60	50			$\geq 50$
	C				80	70	$\leq 0.5$		$\geq 15$
3 DA5	A	10	5	2.5	60	50	$\leq 2$	$\geq 10$	$\geq 60$
	B				80	70	$\leq 1$	$\geq 15$	$\geq 80$
3 DA100	A	40	5	2.5	50	45	$\leq 3$	$\geq 12$	$\geq 180$
	B				60	55		$\geq 10$	$\geq 220$
3 DA101	A	7.5	1	14	40	30	$\leq 1$	$\geq 15$	$\geq 50$
	B				55	45	$\leq 0.5$		$\geq 70$
	C				70	60	$\leq 0.2$		$\geq 10$
3 DA102	A	7.5	1	14	40	30	$\leq 0.5$	$\geq 15$	$\geq 150$
	B				70	50			$\geq 10$
3 DA103		3	0.3	35	50	40	$\geq 0.1$	$\geq 20$	$\geq 200$
3 DA104	A	7.5	1	14	40	35	$\geq 1$	$\geq 10$	$\geq 400$
	B				55	45			$\geq 10$
3 DA105	A	4	0.4	25	45	35	$\geq 3$	$\geq 10$	$\geq 600$
	B				60	40			$\geq 10$
3 DA106	A	7.5	1	11	40	30	$\geq 1$	$\geq 10$	$\geq 400$
	B				65	50			
3 DA107	A	15	1.5	7.5	40	30	$\geq 3$	$\geq 10$	$\geq 400$
	B				60	40	$\leq 2$		
3 DA108	A	1.5	0.2	70	40	30	$\leq 0.5$	$\geq 10$	$\geq 400$
	B				40	30			

(续)

型号		极限参数			直流参数				交流参数
		$P_{CM}$ (W)	$I_{CM}$ (A)	$R_{th}$ ( $^{\circ}C/W$ )	$BV_{CEO}$ (V)	$BV_{CEV}$ (V)	$I_{CEO}$ (mA)	$H_{FE}$	$f_{hfe}$ (MHz)
3 DA 150 151	A	1	0.1			$\geq 100$	$\leq 10$	$\geq 30$	$\geq 50$
	B					$\geq 150$			
	C					$\geq 200$			
	D					$\geq 250$			
3 DA152	A	3	0.3			$\geq 30$	$\leq 0.2$	30 ~ 250	$\geq 10$
	B					$\geq 100$			
	C					$\geq 150$			
	D					$\geq 200$			
	E					$\geq 250$			
	F					$\geq 30$			$\geq 50$
	G					$\geq 100$			
	H					$\geq 150$			
	I					$\geq 200$			
	J					$\geq 250$			

(3) 晶体三极管主要参数的选择

表4-26 晶体三极管主要参数的选择

参数	$BV_{CEO}$	$I_{CM}$	$P_{CM}$	$\beta$	$f_T$
选择原则	$\geq E_c$ (电源电压)	$\geq (2 \sim 3) I_c$	$\geq P_o$ (输出功率)	40~100	$\geq 3f$
说明	若是电感性负载: $V_{CEO} \geq 2E_c$	$I_c$ 为管子的工作电流	甲类功放: $P_{CM} \geq 3P_o$ 甲乙类功放: $I_{CM} \geq$ $(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}) P_o$	$\beta$ 太高容易引起自激振荡, 稳定性差	$f$ 为工作频率

## 5. 场效应晶体管

### (1) 场效应管的分类和特性

表 4-27 场效应管的符号和伏安特性

结构类型	工作方式	符 号	电压极性		转移特性	输出特性
			$U_P$ 或 $U_T$	$U_{DS}$		
绝缘栅 N 沟道	耗尽型		(-)	(+)		
	增强型		(+)	(+)		
绝缘栅 P 沟道	耗尽型		(+)	(-)		
	增强型		(-)	(-)		
结型 P 沟道	耗尽型		(+)	(-)		
结型 N 沟道	耗尽型		(-)	(+)		

(2)场效应管主要技术参数

表 4-28 场效应管主要技术参数

参 数	名 称	定 义
$U_P$	夹断电压	在耗尽型中,使沟道夹断,漏极电流 $I_{DS}$ 等于零的栅压
$U_T$	开启电压	在增强型中,原先没有沟道,使沟道开通出现漏极电流 $I_{DS}$ 的栅压
$I_{DSS}$	饱和漏源电流	当栅源电压 $U_{GS}=0$ 时的漏极电流
$g_m$	跨 导	漏极电压固定时,漏极电流增量和栅源电压增量之比,即 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}  _{U_{DS}=\text{常数}}$ , $g_m$ 一般约为 1~5A/V
$R_{DS}$	漏极输出电阻	当 $U_{GS}$ 一定时,在饱和区内 $\Delta U_{DS}$ 和 $\Delta I_{DS}$ 之比;一般约几十至几百千欧
$R_{GS}$	输入电阻	栅源 PN 结反向偏置时反向电阻;结型管约 $10^7 \sim 10^8 \Omega$ , MOS 管达 $10^9 \sim 10^{10} \Omega$
$BU_{GS}$	最大栅源电压	栅源极间所能承受的最高电压
$BU_{DS}$	最大漏源电压	漏源极间所能承受的最高电压
$I_{DSM}$	最大漏源电流	漏源极间通过的最大电流
$f_M$	最高振荡频率	在规定条件下,使场效应管振荡的最高频率
$P_{DM}$	漏极最大允许耗散功率	保证参数在规定范围内变化的最大漏极耗散功率

注,详见 SJ1400—78《半导体器件参数符号》。

(3)常用场效应管的特点和用途

表 4-29 常用场效应管的特点和用途

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 100MHz,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

(4)常用场效应管的型号及技术数据 见表 4-30、31、32。

表 4-30 N 沟道结型场效应管的型号及技术数据

型号	$I_{DSS}$ (mA)	$U_P$ (V)	$R_{GS}$ ( $\Omega$ )	$r_m$ ( $\mu S$ )	$f_M$ (MHz)	$B\dot{U}_{DS}$ (V)	$B\dot{U}_{GS}$ (V)	$P_{DM}$ (mW)	$I_{DSM}$ (mA)	主要用途
3DJ2	D	$<0.35$	$>10^2$	$>2000$	$\geq 300$	$>20$	$>20$	100	15	100MHz 放大
	E	$0.3\sim 1.2$								
	F	$1\sim 3.5$								
	G	$3\sim 6.5$								
	H	$6\sim 10$								
3DJ4	D	$<0.35$	$>10^8$	$>10000$	$\geq 30$	$>20$	$>20$	100	15	低频低噪声放大
	E	$0.3\sim 1.2$								
	F	$1\sim 3.5$								
	G	$3\sim 6.5$								
	H	$6\sim 10$								
3DJ6	D	$<0.35$	$>10^8$	$>10000$	$\geq 30$	$>20$	$>20$	100	15	30MHz 放大
	E	$0.3\sim 1.2$								
	F	$1\sim 3.5$								
	G	$3\sim 6.5$								
	H	$6\sim 10$								
3DJ7	D	$<0.35$	$>10^8$	$>3000$	$\geq 90$	$>20$	$>20$	100	15	30MHz 放大
	E	$<1.2$								
	F	$1\sim 3.5$								
	G	$3\sim 11$								
	H	$10\sim 13$								
I	$17\sim 25$									
J	$24\sim 35$									

(续)

型号	$I_{DSS}$ (mA)	$U_p$ (V)	$R_{GS}$ ( $\Omega$ )	$\mu_m$ ( $\mu S$ )	$f_M$ (MHz)	$BU_{GS}$ (V)	$BU_{DS}$ (V)	$P_{DM}$ (mW)	$I_{DSM}$ (mA)	主要用途
3DJ8	F 1~3.5	< -9	$\geq 10^7$	$\geq 5000$	$\geq 90$			100	15	30MHz 高跨导
	G 3~11									
	H 10~18									
	I 17~25									
	J 24~35									
	K 35~70									
3DJ9	F 1~3.5	< -7		$\geq 4000$	$\geq 800$					400MHz 放大
	G 3~6.5									
	H 6~11									
	J 10~18									
	A									
	B									
3DJ3	C	< -9	$\geq 10^5$	$\geq 4000$					30	<50 $\Omega$ 低阻 开关
	E <1.2	< -5		$\geq 2000$		>20		100×2		对管
	F 1~3.5								40	
3DJ5	G 3~6.5	< -7								
	H 6~10									
	F 1~3.5			$\geq 3000$						88~ 108MHz 调频段 放大
	G 3~7									
3DJ15	H 6~11	< -5.5		8000				100	10	
	I 10~18									
	J 16~30									
	F 1~3.5									
3DJ17	G 3~11			>3000				200	20	100MHz 放大
	H 10~18									
	I 17~25									
	J 24~65			6000						



表 4-31 P 沟道结型场效应管的型号及技术数据

型 号		$I_{DSS}$ (mA)	$U_P$ (V)	$g_m$ ( $\mu S$ )	$BU_{GS}$ (V)	$P_{DM}$ (mW)	主要用途
3 CJ1	D	$\leq 0.35$	$<  -4 $	$> 300$	25	100	30MHz 放 大
	E	0.3~1.2		$> 500$			
	F	1~3.5		$> 1000$			
	G	3~6.5	$> 1500$				
	H	10~20	$> 2000$				

表 4-32 常用 N 沟道耗尽型 MOS 场效应管的型号及技术数据

型 号	$I_{DSS}$ (mA)	$U_P$ (V)	$R_{GS}$ ( $\Omega$ )	$g_m$ ( $\mu S$ )	$f_M$ (MHz)	$BU_{DS}$ (V)	$BU_{GS}$ (V)	$P_{DM}$ (mW)	$I_{DSM}$ (mA)	相近型号	主要用途
3 DO1	D	$\leq 0.35$	$\geq 10^8$	$\geq 1000$	$\geq 90$	$\geq 20$	$> 40$	100	15	3DO7 3DO7H 3DO12 3DO13	30MHz 放 大
	E	0.3~1.2									
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10									
3 DO2	D	$\leq 0.35$	$\leq  -9 $	$\geq 10^8$	$\geq 800$	$\geq 20$	$> 40$	100	15	3DO9 3DO9H 3DO16 3DO17	400MHz 放 大
	E	$< 1.2$									
	F	1~3.5									
	G	3~11									
	H	10~25									
3 DO4	D	$\leq 0.35$	$\geq 10^8$	$\geq 2000$	$\geq 300$	$\geq 20$	$> 25$	100	15	3DO8 3DO8H 3DO14 3DO15	300MHz 放 大
	E	0.3~1.2									
	F	1~3.5									
	G	3~6.5									
	H	6~10.5									
	I	10~15									

## 6. 单结晶体管

(1) 单结晶体管伏安特性 见图 4-4。

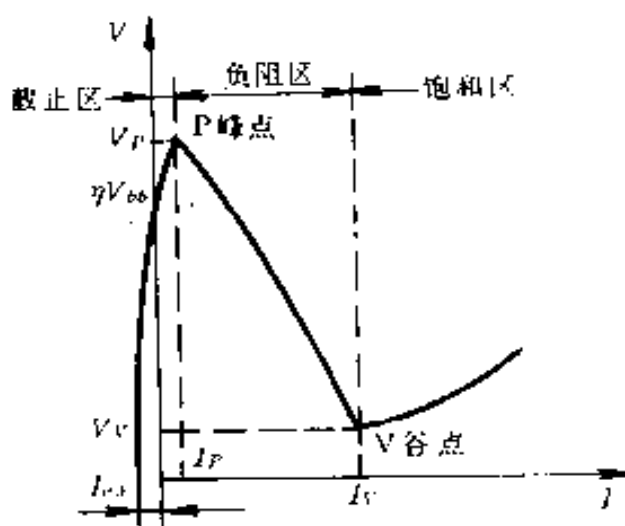


图 4-4 单结晶体管伏安特性

(2) 单结晶体管主要技术参数

表 4-33 单结晶体管主要技术参数

参数	名称	定义
$R_{bb}$	基极间电阻	发射极开路时,基极 $b_1b_2$ 之间的电阻,一般为 $2 \sim 10k\Omega$
$\eta$	分压比	由管子内部结构决定的常数,一般为 $0.3 \sim 0.9$
$V_{eb10}$	射·基极间反向电压	基极 $b_2$ 开路,在额定反向电流时,发射极 $e$ 与基极 $b_1$ 间的反向耐压值
$V_{cs}$	发射极饱和压降	在最大发射极电流下, $c, b_1$ 极间的压降
$I_{eb10}$	反向电流	$b_2$ 极开路,在额定反向电压 $V_{eb10}$ 下, $e, b_1$ 极间反向电流
$I_P$	峰点电流	单结晶体管刚开始导通时,峰点电压时的发射极电流
$I_V$	谷点电流	单结晶体管从负阻区到饱和区时的电流
$V_V$	谷点电压	单结晶体管随电流增加而电压减小的最小值
$P_{DM}$	耗散功率	保证参数在规定范围内变化的耗散功率

注:详见 SJ1400-78《半导体参数符号》。

(3) 常用单结晶体管的型号及技术数据 见表 4-34。

表 4 34 常用单结晶体管的型号及技术数据

型号	$\gamma$	$R_{bb}$ (k $\Omega$ )	$I_{cp}$ ( $\mu$ A)	$V_c$ (V)	$I_F$ ( $\mu$ A)	$I_V$ (mA)	$V_V$ (V)	$P_{DM}$ (mW)						
BT31A	0.3~0.55	3~6	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	$\leq 3.5$	100						
BT31B		5~12												
BT31C	0.45~0.75	3~6												
BT31D		5~12												
BT31E	0.65~0.90	3~6												
BT31F		5~12												
BT32A	0.3~0.55	3~6		$\leq 1$				$\leq 1.5$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	250			
BT32B		5~12												
BT32C	0.45~0.75	3~6												
BT32D		5~12												
BT32E	0.65~0.90	3~6												
BT32F		5~12												
BT33A	0.3~0.55	3~6	$\leq 1$	$\leq 1.5$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	400							
BT33B		5~12												
BT33C	0.45~0.75	3~6												
BT33D		5~12												
BT33E	0.65~0.90	3~6												
BT33F		5~12												
BT35A	0.45~0.90	2~5		$\geq 30V$ ①			$\leq 5$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	$\leq 3.5$				
BT35B				$\geq 60V$ ①										
BT35C	0.3~0.90	4.5~12		$\geq 30V$ ①										
BT35D				$\geq 60V$ ①										
BT35D	0.3~0.55	3~6		$\leq 1$							$\leq 1.5$	$\leq 2$	$\leq 1.5$	700
BT37A		5~12												
BT37B	0.4~0.75	3~6												
BT37C		5~12												
BT37E	0.65~0.90	3~6												
BT37F		5~12												

①为e、b间反向电压。

## 二、集成电路

### 1. 半导体集成电路型号命名方法(GB3430-89)

表 4-35 半导体集成电路型号的五个组成部分的符号及意义

第0部分		第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
用字母表示器件符合国家标准		用字母表示器件的类型		用阿拉伯数字和字母表示器件的系列和品种代号		用字母表示器件的工作温度范围		用字母表示器件的封装	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
C	符合国家标准	T	TTL 电路	C	0~70℃	F	多层陶瓷扁平		
		H	HDL 电路	G	-25~70℃	B	塑料扁平		
		E	ECL 电路	L	-25~85℃	H	陶瓷扁平		
		C	CMOS 电路	E	-40~85℃	D	多层陶瓷双列直插		
		M	存储器	R	-55~85℃	J	陶瓷双列直插		
		#	微型机电路	M	-55~125℃	P	塑料双列直插		
		F	线性放大器			S	塑料单列直插		
		W	稳压器			K	金属菱形		
		B	非线性电路			T	金属圆形		
		J	接口电路			C	陶瓷芯片载体		
		AD	A/D 转换器			E	塑料芯片载体		
		DA	D/A 转换器			G	网格阵列		
		D	音响、电视电路						
		SC	通讯专用电路						
		SS	敏感电路						
		SW	钟表电路						

## 2. 数字集成电路

### (1) 数字集成电路的主要性能参数

表 4-36 数字集成电路的主要性能参数

参 数	单 位	定 义
静态功率	mW	每个电路在静态下的功率损耗
平均传输延迟时间	ns	在输出信号由高变低和由低变高的两种情况下,电路输入信号变化到输出信号变化的时间间隔平均值
噪声容限	V	在保证电路输出逻辑值不变的前提下,电路输入端能承受对标准逻辑电平的最大偏离值
扇出系数		通常是指一个门电路能够驱动同类门电路(负载)的最大数目
供电电压	V	集成电路的额定电源电压

注:详见 GB3431.1-82《半导体集成电路文字符号 电参数文字符号》。

### (2) 各种数字集成逻辑门性能参数

表 4-37 各种数字集成逻辑门性能参数

参 数 类 型	静态功耗 (mW)	平均传输延迟 时间(ns)	抗干扰能力	扇出系数	供电电压(V)
DTL	8	30	较 强	8	5
TTL	10	10	较 强	10	5
HTL	55	90	最 强	10	15
ECL	40	2	较 弱	25	-5.2
I <sup>2</sup> L	0.01	25	弱	3	>0.8
PMOS	1	300	较 强	20	-24
NMOS	1.5	250	较 强	20	≤15
CMOS	0.01	40	强	50	3~15

## 3. 模拟集成电路

### (1) 集成运算放大器的主要性能参数

表 4-38 集成运算放大器的主要性能参数

参 数	名 称	定 义
$V_{IO}$	输入失调电压	集成运放输出直流电压为零时,两输入端之间所加的补偿电压
$I_{IO}$	输入失调电流	当运放输出直流电压为零时,两输入端偏置电流之差
$I_{IB}$	输入偏置电流	当运放的输出直流电压为零时,两个输入端偏置电流的算术平均值
$A_{VD}$	差模开环直流电压增益	当运放开环工作、输出不带负载和工作在线性区内时,输出电压变化 $\Delta V_o$ 与差模输入电压变化 $\Delta V_i$ 之比, $A_{VD} = \Delta V_o / \Delta V_i$
$K_{CMR}$	共模抑制比	运放工作在线性区时,其差模电压增益 $A_{VD}$ 与共模电压增益 $A_{VC}$ 之比, $K_{CMR} = A_{VD} / A_{VC}$
$V_{ODD}$	最大输出电压	在特定的负载下,运放输出的最大不失真电压
$V_{ICM}$	最大共模输入电压幅度	当运放的共模抑制特性显著变坏(有时规定为下降 6dB)时的共模输入电压幅度
$V_{IDM}$	最大差模输入电压	运放两输入端所允许加的最大电压差
$BW$	开环带宽	运放开环电压增益值从直流增益下降到 3dB 时所对应的信号频率
$Z_{iD}$	差模输入阻抗 (有时也称为输入阻抗)	运放工作在线性区时,两输入端的电压变化量对应的输入端电流变化量之比,在低频时表现为输入电阻 $R_i$
$Z_o$	输出阻抗	运放工作在线性区时,输出端信号电压变化量与对应的电流变化量之比,在低频时表现为输出电阻 $R_o$
$P_D$	静态功耗	运放输入端无信号输入,输出端不接负载时,运放所消耗的电源功率
$V_{SR}$	电源电压范围	供电电源的电压范围

注:详见 GB3431.1—82《半导体集成电路文字符号 电参数文字符号》。

(2) 集成运算放大器的类型

表 4-39 集成运算放大器的类型

分 类	典型产品	特征参数范围
低增益通用型	F001, 5G922, BG301, 8FC1	$A_{VD} < 70\text{dB}$
中增益通用型	F003, F005, FC3, F004, 5G23, 8FC2	$A_{VD} = 70 \sim 90\text{dB}$
高增益通用型	F006, F007, 8FC3, 5G24	$A_{VD} > 90\text{dB}$
低功耗型	F010, 5G26, FC54, XFC75	电源电压范围: $\pm 6 \sim \pm 18\text{V}$ , $\pm 3 \sim \pm 18\text{V}$ 功耗 $\leq 15\text{mW}$
高速型	F052, F054, XFC76, 4E321, 5G27	$SR < 50\text{V}/\mu\text{s}$ (SR 为电压转换速率)
高增益低漂移型	4E325, 4E326, 8G312, XFC78	$A_{VD} > 100\text{dB}$ $\frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} < 1\mu\text{V}/\text{C}$ $\frac{\Delta I_{io}}{\Delta T} < 0.2\mu\text{A}/\text{C}$
斩波型	5G7660	$\frac{\Delta V_{io}}{\Delta T} < 0.05\mu\text{V}/\text{C}$ $V_{io} = \pm 5\mu\text{V}$
高输入阻抗型	5G28	$I_{io} = 10\text{nA}$ $R_i = 10^{10}\Omega$

注:按所加电源数目,运算放大器可分成双电源和单电源两类。本表所列均为双电源。

### 三、放大器

#### 1. 放大器的主要技术指标

(1) 增益 见图 4-5, 其中  $U_o/U_i$ 、 $I_o/I_i$  及  $U_o I_o/U_i I_i$  分别称为电压增益、电流增益及功率增益。当用 dB 表示增益的单位时, 其定义为

$$\text{电压增益} \quad A_{v} = 20 \lg \frac{U_o}{U_i} \quad (\text{dB})$$

电流增益  $A_I = 20 \lg \frac{I_o}{I_i}$  (dB)

功率增益  $A_P = 10 \lg \frac{U_o I_o}{U_i I_i}$  (dB)

(2)放大器的输入、输出阻抗 见图 4.5。

输入阻抗

$$Z_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i}$$

输出阻抗

$$Z_o = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_o}$$

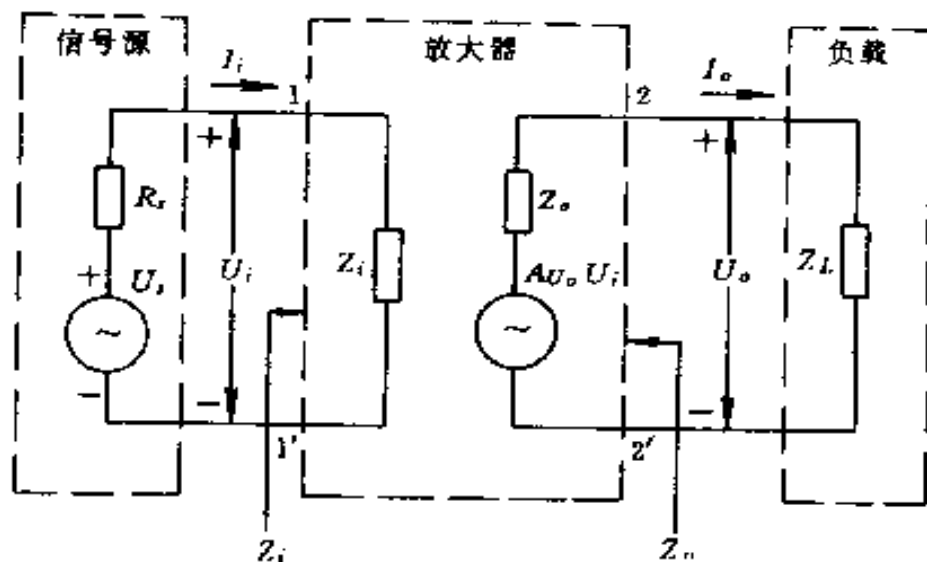


图 4.5 放大器的增益

## 2. 晶体三极管基本放大电路

(1)放大器的三种组态 见表 4-40。



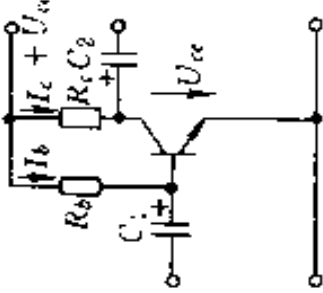
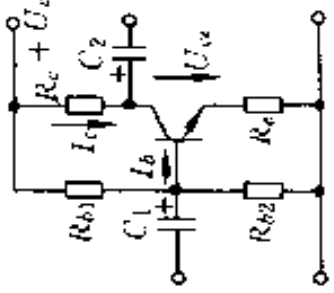
表 4-40 晶体管三种基本放大电路的接法和性能

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(几十倍)
功率放大倍数	大(几十倍)	小(几十倍)	较大(几十倍)
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性与PNP型约相反。

(2)常用偏置电路静态工作点的计算

表 4-41 常用偏置电路静态工作点的计算

偏置电路名称	电路形式	特 点	静态工作点计算
固定偏置电路		<p>电路结构简单、调试方便,但静态工作点会随管子参数和环境温度的变化而变化,只适用于要求不高和环境温度变化不大的场合</p>	$I_b \approx \frac{U_{cc}}{R_b}$ $I_c = \beta I_b$ $U_{ce} = U_{cc} - I_c R_c$
分压式电流负反馈偏置电路		<p>利用 <math>R_{b1}</math>、<math>R_{b2}</math> 组成的分压器以固定基极电位。利用 <math>R_e</math> 使发射极电流 <math>I_e</math> 基本不变。 静态工作点基本不受更换管子和环境温度改变的影响,属于工作点稳定的偏置电路</p>	$I_b = \left( \frac{R_{b2} U_{cc}}{R_{b1} + R_{b2}} - U_{be} \right) \cdot \frac{1}{(1 + \beta) R_e}$ $I_c = \beta I_b$ $U_{ce} \approx U_{cc} - I_c (R_c + R_e)$ $U_{ce} \approx 0.7V$

(续)

偏置电路名称	电路形式	特点	静态工作点计算
集电极-基极偏置电路		<p>利用 <math>I_b \approx U_{ce}</math> 来达到稳定静态工作点的目的。</p>	$I_c \approx \frac{U_{ce}}{R_c + \frac{R_b + R_e}{\beta}}$ $I_b = \frac{I_c}{\beta}$ $U_{ce} = U_{cc} - (I_c + I_b)R_c$
自举偏置电路		<p>属于射极输出器的偏置形式,故输入电阻很高。由于 <math>C_1, R_{b1}</math> 的作用,使输入电阻更为增高</p>	$I_c = \frac{\beta(U_{ce} - U_{be})}{(R_b + R_{SS} + R_c)(1 + \beta)}$ $I_b = \frac{I_c}{\beta}$ $U_{ce} \approx U_{cc} - I_c R_c$ <p>其中 <math>U_{be} = U_{ce} \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}}</math></p> $R_b = R_{b1} // R_{b2}$ $U_{be} \approx 0.7V$

### 3. 场效应管放大电路

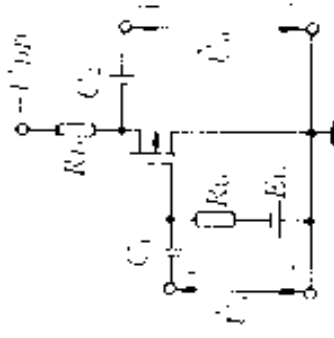
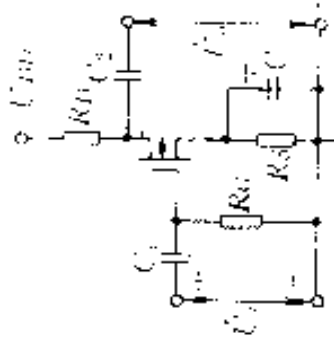
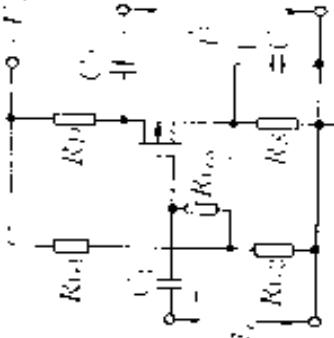
(1) 结型场效应管三种放大电路

表 4 42 结型场效应管三种放大电路的形式及性能比较

形式	共源	共漏	共栅
<p>中 路 各</p>			
输入电阻 $R_i$	$R_G // R_{GS} \approx R_G$	$\approx R_1 // R_2$	$R_i$ 很低 $\approx 1/R_m$
输出电阻 $R_o$	$R_L // R_{DS} \approx R_L$	$\approx R_L$	$\approx R_L$
电压放大倍数 $K$	$\approx -g_m R_L$	$\approx 1$	$\approx -g_m R_L$
特点	输入电阻高、电压增益大,应用最广,但高频特性差	输入电阻高,输出阻抗低,适用于阻抗变换,如缓冲放大器,电压跟随器	输入阻抗低,输出阻抗较高,频率特性好,常用于高频放大

(2)场效应管常用偏置电路

表 4-43 场效应管常用偏置电路

名称	固定偏压电路	自偏压电路	分压器式自偏压电路
电 路 图			
说 明	<p>静态时 <math>U_{GS} = -E_G</math>, 因需电源 <math>E_G</math>, 故不常用</p>	<p>静态时 <math>U_{GS} = -I_D R_S</math>, 只适用于耗尽型场效应管负栅压运行, 不能用于增强型场效应管</p>	<p>静态时 <math>U_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} U_{DD} - I_D R_S</math>, 此偏置电路的优点是参数的选择范围大, 输入电阻高, 故应用较广</p>

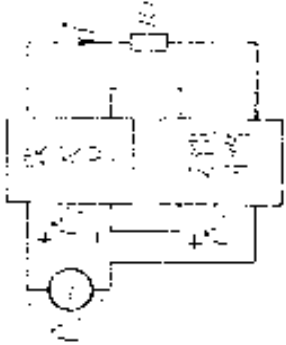
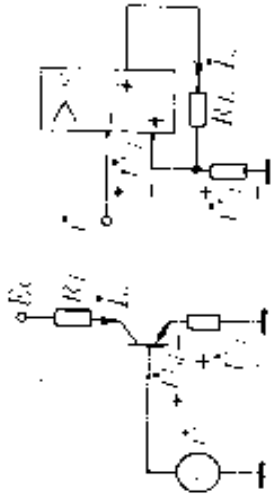
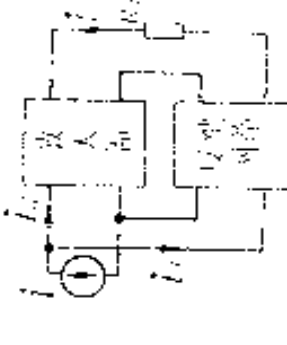
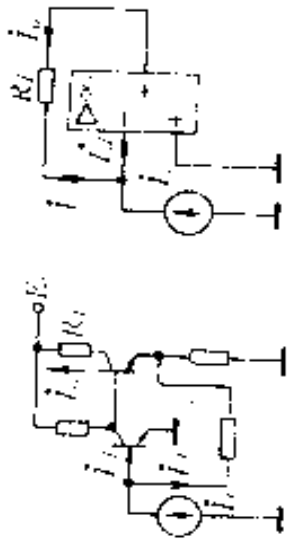
### 4. 放大电路中的反馈

#### (1) 负反馈放大器的四种基本类型

表 4-44 负反馈放大器的四种基本类型

反馈类型	具体电路举例	可稳定的电量的电压	输入电阻	输出电阻
电压串联负反馈		输出电压	提高	减小
电压并联负反馈				

(续)

反馈类型	具体电路举例	可稳定的电量	输入电阻	输出电阻
<p>电流串联负反馈</p> 		输出电流	提高	增加不多
<p>电流并联负反馈</p> 		输出电流	减小	增加不多

注：四种负反馈均可使通频带变宽，并改善非线性失真。

(2) 负反馈放大器的增益

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

式中  $\dot{A}_f$  —— 反馈放大器增益；  
 $\dot{A}$  —— 基本放大器增益；  
 $\dot{F}$  —— 反馈系数， $\dot{F} = \dot{X}_f / \dot{X}_o$ ；

$\dot{X}_o$ 、 $\dot{X}_i$ 、 $\dot{X}_f$  —— 放大器输出、输入和反馈电量。

不同反馈类型的  $\dot{A}_f$ 、 $\dot{A}$  和  $\dot{F}$  见表 4-45。

表 4-45 不同类型的  $\dot{A}_f$ 、 $\dot{A}$  和  $\dot{F}$

	电压串联	电压并联	电流串联	电流并联
$\dot{A}_f$	$\dot{U}_o / \dot{U}_i$ (无量纲)	$\dot{U}_o / \dot{I}_i$ ( $\Omega$ )	$\dot{I}_o / \dot{U}_i$ (S)	$\dot{I}_o / \dot{I}_i$ (无量纲)
$\dot{A}$	$\dot{U}_o / \dot{U}_d$ (无量纲)	$\dot{U}_o / \dot{I}_d$ ( $\Omega$ )	$\dot{I}_o / \dot{U}_d$ (S)	$\dot{I}_o / \dot{I}_d$ (无量纲)
$\dot{F}$	$\dot{U}_f / \dot{U}_o$ (无量纲)	$\dot{I}_f / \dot{U}_o$ (S)	$\dot{U}_f / \dot{I}_o$ ( $\Omega$ )	$\dot{I}_f / \dot{I}_o$ (无量纲)

注：表中  $\dot{U}_d$  和  $\dot{I}_d$  是基本放大器的净输入电压和电流，见表 4-41。

当  $|\dot{A}\dot{F}| \gg 1$  时的放大器，称为深反馈放大器，它的  $\dot{A}_f = 1/\dot{F}$ ，即增益的大小与放大器本身无关，而只与反馈网络的参数有关。深反馈放大器还具有  $\dot{X}_i \approx \dot{X}_f$ 、 $\dot{X}_d$  (放大器净输入电量)  $\approx 0$  的特点。 $|1 + \dot{A}\dot{F}|$  称为反馈深度，通常以分贝表示，即  $1g|1 + \dot{A}\dot{F}|$  (dB)。

(3) 负反馈对放大器性能的影响

1) 能提高增益稳定性。若因某种原因使基本放大器产生  $\Delta A/A$  的相对变化量，则加负反馈后增益的相对变化量  $\Delta A_f/A_f$  将减小。

2) 减小非线性失真。在相同的输出幅度下，加负反馈后的非线性失真系数  $D_f$  小于无负反馈时的失真系数  $D$ 。

3) 能展宽通频带。

4) 抑制放大器的内部噪声。

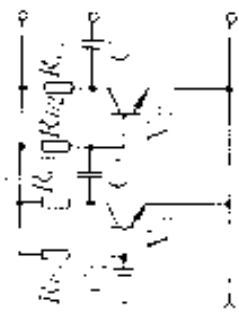
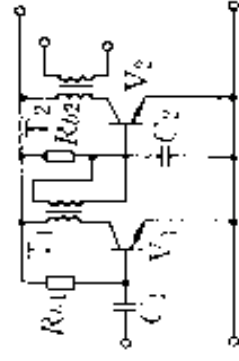
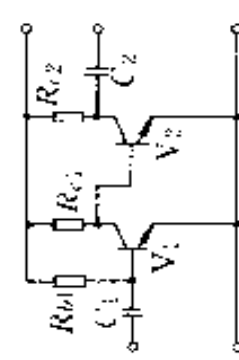
5) 可改变放大器的输入输出阻抗。串联负反馈增大输入阻抗；并联负反馈减小输入阻抗。电压负反馈减小输出阻抗；电流负反馈增大输出阻抗。



## 5. 放大器的耦合

### (1) 耦合方式

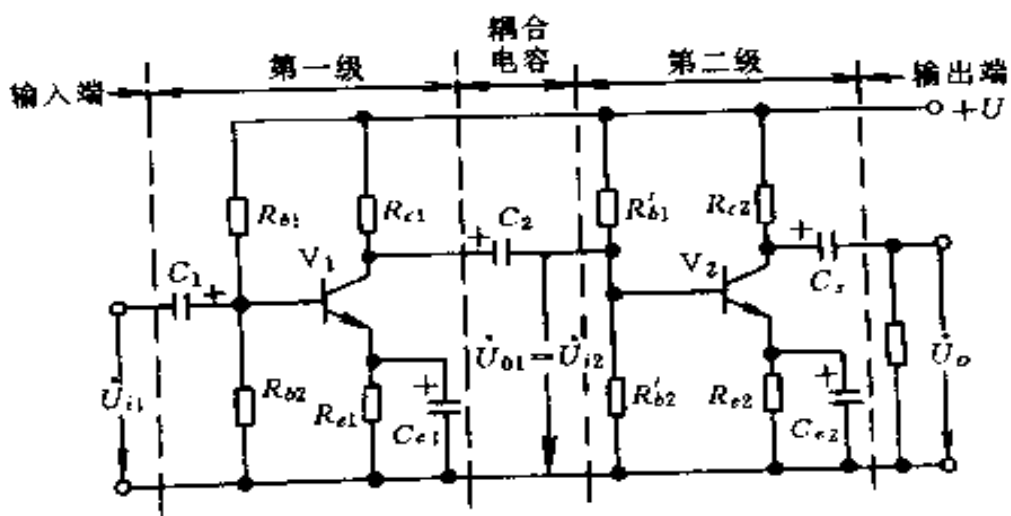
表 4-46 多级放大器耦合方式

名称	阻容耦合	变压器耦合	直接耦合
电路形式			
耦合元件	电容 $C_2$	变压器	直接耦合
特点	各级静态工作点互不影响, 但由于低频段容抗增大而使放大倍数下降	各级工作点互不影响, 频带窄, 但体积和重量大	传输效率高, 频率响应好, 但各级静态工作点相互影响

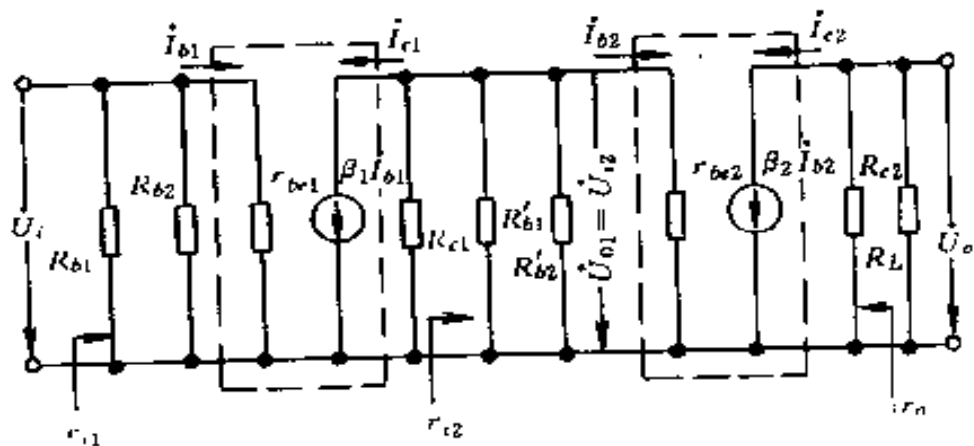
(2) 多级放大器的分析方法 图 4-6 所示两级阻容耦合放大器电压放大倍数

$$\dot{A}_U = \dot{A}_{U1} \dot{A}_{U2}$$

其中  $\dot{A}_{U1} = -\beta_1 \frac{R'_{L1}}{r_{be1}} = -\beta_1 \frac{R_{c1} // R_{i2}}{r_{be1}}$   
 $(R_{i2} = R'_{b1} // R'_{b2} // r_{be2})$   
 $\dot{A}_{U2} = -\beta_2 \frac{R'_{L2}}{r_{be2}} = -\beta_2 \frac{R_{c2} // R_L}{r_{be2}}$



a)



b)

图 4-6 两级阻容耦合放大器

输入电阻  $r_i = \frac{U_i}{I_i} = r_{be} + R_b // r_{be}$

输出电阻  $r_o \approx R_c$

## 6. 直流放大器

(1) 差动放大器 典型电路如图 4-7 所示。设晶体管  $V_1$ 、 $V_2$  的输入、输出特性十分接近, 且  $R_{b1} = R_{b2} = R_b$ ,  $R_{c1} = R_{c2} = R_c$ , 则静态时  $I_{c1} = I_{c2} = I_c = I_o/2$ 。对于图 a 的电路  $I_o = (E_c - U_{be})/R_c$ ; 而对于图 b 的电路  $I_o = (U_{be} - U_{be})/R_{c2}$ 。

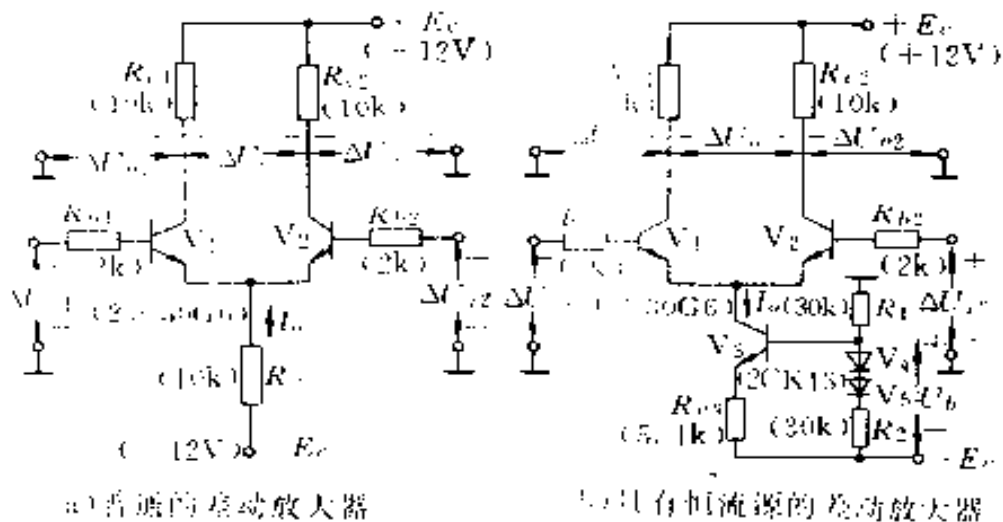


图 4-7 差动放大器

差模信号  $\Delta U_d = \Delta U_{c1} - \Delta U_{c2}$

共模信号  $\Delta U_c = (\Delta U_{c1} + \Delta U_{c2})/2$

单端和双端输出时的差模和共模电压增益、输出阻抗, 见表 4-47。

差动放大器在  $|U_{b1} - U_{b2}| < 26\text{mV}$  的范围内, 输入和输出间基本上是线性关系, 并有

$$\frac{\Delta I_c}{\Delta(U_{b1} - U_{b2})} = \frac{I_o}{4U_T}$$

的关系, 式中  $U_T = 26\text{mV}$  (室温时)。即  $I_c \approx \frac{\Delta U_c}{U_{be}} \approx I$

表 4-47 差动放大器的电压增益和输出阻抗

形式	差模电压增益	共模电压增益	输出阻抗
单端输出	$A_{U1} = \frac{\Delta U_{o1}}{\Delta U_{i1} - \Delta U_{i2}} = \frac{\beta R_c}{2(R_b + r_{be})}$ $A_{U2} = \frac{\Delta U_{o2}}{\Delta U_{i1} - \Delta U_{i2}} = \frac{\beta R_c}{2(R_b + r_{be})}$	$A_{c1} = A_{c2} = \frac{\beta R_c}{R_b + r_{be} + (1 + \beta)2R_b}$ (图 4-7a 电路) $A_{c1} - A_{c2} \approx 0$ (图 4-7b 电路)	$R_c$
双端输出	$A_{Uo2} = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_{i1} - \Delta U_{i2}} = \frac{-\beta R_c}{R_b + r_{be}}$	$A_{c12} \approx 0$	$2R_c$

(2) 直流功率放大器 图 4-8 示出采用通用运算放大器 F007 的直流功率放大电路。该电路能向  $8\Omega$  的负载输出  $30W$  的功率,带宽可达  $100kHz$ ,电压增益为 10,非线性失真系数小于  $0.2\%$ 。

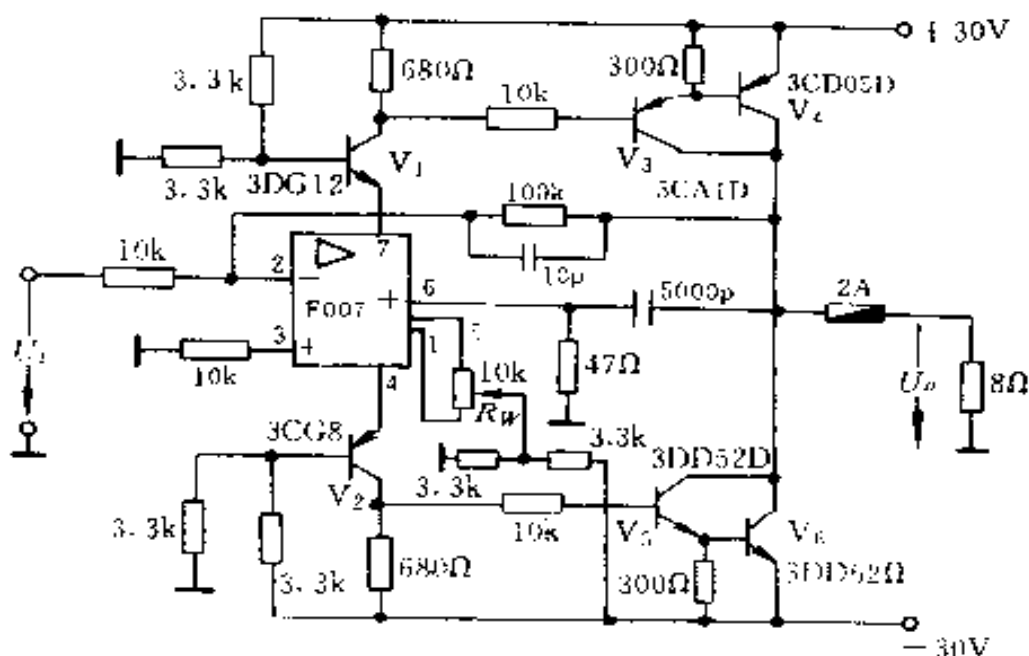


图 4-8 用运放组成的直流功率放大器  
 $R_w$  输出调零电位器

## 7. 集成运算放大器

### (1) 运算放大器的三种基本接法

表 4-48 运算放大器的三种接法

名称	电路图	电压放大倍数	输入阻抗	输出阻抗
反相输入		$A_{uf} = \frac{R_f}{R_1}$	$r_{if} \approx R_1$	$r_{of} = \frac{r_o}{1 + A_{uf} F_{uf}}$ 其中 $r_o$ 为基本运算放大器 的输出电阻, $F_{uf} = \frac{R_1}{R_1 + R_f}$
同相输入		$A_{uf} \approx 1 + \frac{R_f}{R_2}$	差模: $r_{if} = R_1 + R_2$ 共模: $r_{if} = (R_1 + R_f) // (R_2 + R_f)$	
差动输入		$A_{uf} \approx \frac{R_f}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_2}$ (当 $\frac{R_f}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ 时)		

(2)同相和反相运放的外部调整电路 为了消除  $V_{io}$  和  $I_{io}$  在输出端产生误差电压,放大器应有调零装置。设有内部调零电路的不同型号的放大器,应按有关器件手册采取不同的布线方法。无内部调零装置的,可采用图 4-9 所示的外部调零电路。

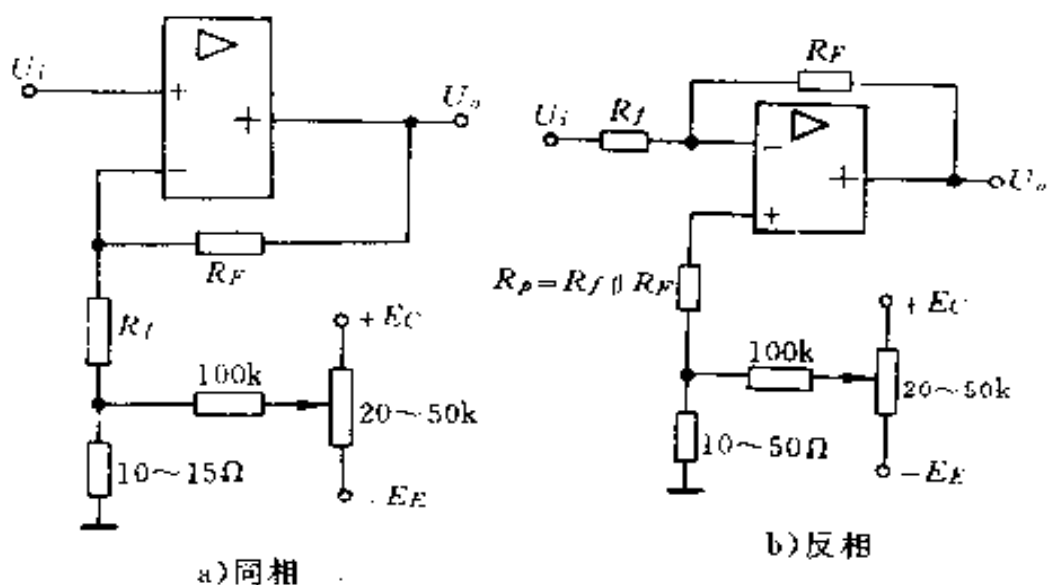


图 4-9 同相和反相运放的外部调零电路

## 8. 低频功率放大器

(1)变压器耦合单边功率放大器 如图 4-10、图 4-11 所示。

1)静态工作点 因输出变压器一次侧绕组的直流电阻极小,且  $R_c$  很小,故直流负载线是从横轴上  $u_{ce} = U_{cc}$  一点出发向上的垂直线(图 4-11)。静态工作点应不超过功放管的功率线并尽量极限适用,通常工作电流  $I_c$  可按式选择

$$I_c = \frac{0.8P_{cm}}{U_{cc}}$$

2)交流负载线 当交流信号输入时,集电极电路呈现的交流等效电阻

$$R'_{L'} = K^2 R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R_L$$

所以通过 Q 点作斜率为  $-\frac{1}{R'_{L'}}$  的交流负载线。在不超越功耗线的前提

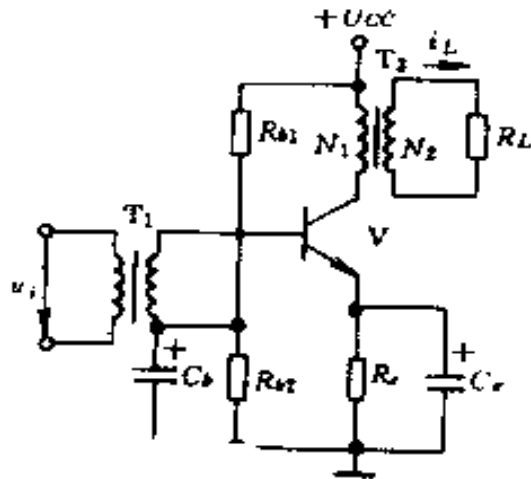


图 4-10 单边功率放大器原理图

下,为了获得最大功率输出,选择交流负载线斜率(可通过改变输出变压器的匝数比  $K$  实现),以满足交流输出电流、电压的幅值

$$I_{cm} = I_c$$

$$U_{cem} \approx U_{cc}$$

这时放大器的不失真输出功率最大。

### 3) 输出功率和效率

理想输出功率

$$P_o = \frac{U_{cem}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{cm}}{\sqrt{2}} \approx \frac{U_{cc}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_c}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} U_{cc} I_c$$

电源供给放大器的直流功率

$$P_E = U_{cc} I_c$$

理想效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\frac{1}{2} U_{cc} I_c}{U_{cc} I_c} = 50\%$$

考虑变压器损耗等因素,实际效率只有 30% 左右。

4) 功率管集电极电压最大值  $U_{cem} = 2U_{cc}$

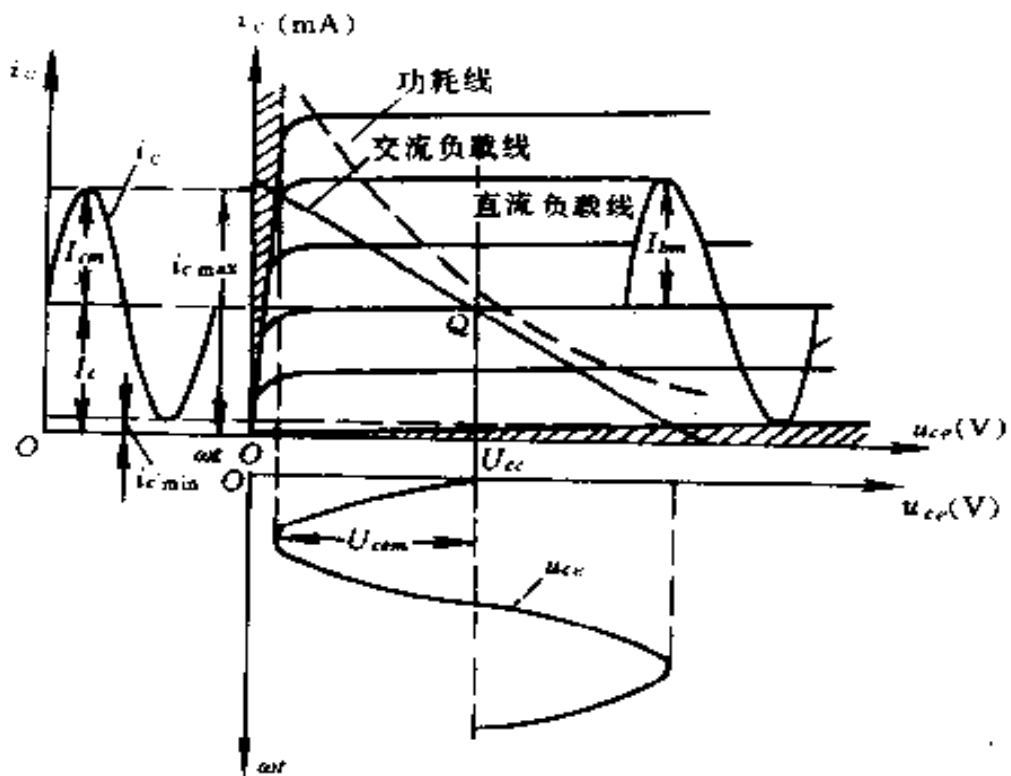


图 4-11 单边功率放大器图解

5) 选择功放管条件

$$P_{CM} \geq (3 \sim 4) P_o$$

$$BV_{ceo} > 2.2 U_{ce}$$

(2) 推挽功率放大器 如图 4-12 所示, 其中  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  和  $R_e$  组成偏置电路, 使  $V_1$ 、和  $V_2$  管有较小的静态电流, 以减小交越失真。由于静态电流较小, 所以电源供给的静态直流功率也小。

当有信号输入时, 通过输入变压器  $T_1$ , 分别向晶体管  $V_1$ 、和  $V_2$  提供幅值相同相位相反的信号, 使  $V_1$ 、和  $V_2$  轮流导通, 从而二个半波电流  $i_{c1}$ 、 $i_{c2}$  分别经过输出变压器  $T_2$  合成后送给负载  $R_L$ , 所以  $R_L$  上获得的仍然是完整的正弦输出信号。显然, 每一只功放管在整个信号周期中



只工作半个周期,这种工作状态称为甲乙类状态。

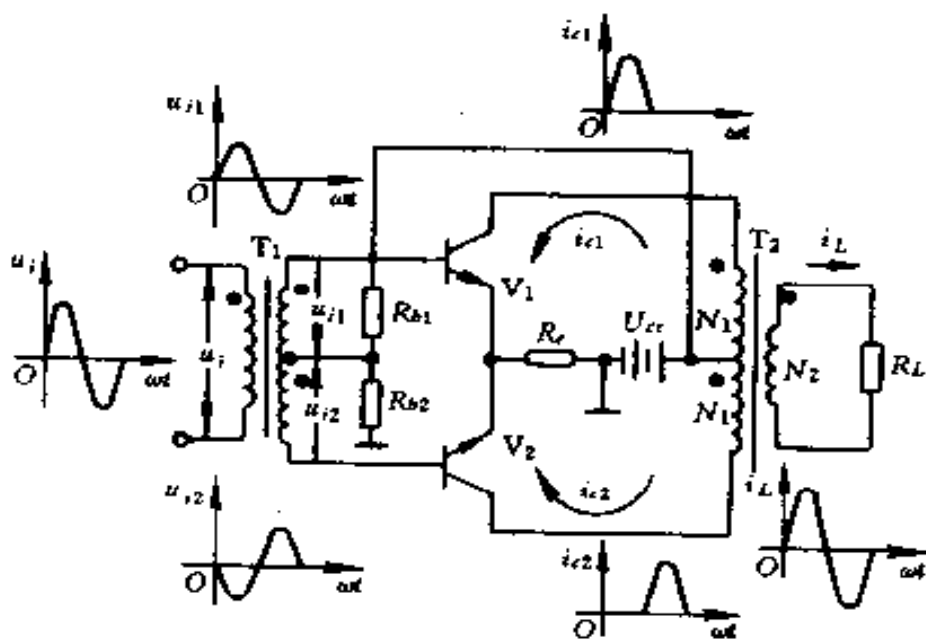


图 4-12 推挽功率放大器

1) 输出功率和效率

理想输出功率

$$P_o \approx \frac{1}{2} \frac{U_{cc}^2}{R'_L}$$

$$R'_L = K^2 R_L, K = \frac{N_1}{N_2}$$

电源供给的直流功率

$$P_E = \frac{2}{\pi} \frac{U_{cc}^2}{R'_L}$$

理想效率

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

考虑到变压器的损耗等因素,实际效率约为 60%左右。

2) 选择功放管的条件

$$P_{CM} \geq 0.2P_o$$

$$BV_{ceo} > 2.2U_{cc}$$

(3) 互补对称功率放大器 采用一个电源的互补对称电路如图 4-13 所示。图中  $V_2$  和  $V_3$  构成互补对称输出管。电容  $C$  起隔直作用。降压电阻  $R_2$  二端的直流电压降  $I_{c1}R_2$  给  $V_2$  和  $V_3$  提供一个合适的偏置,以克服交越失真。 $C_2$  起交流旁路作用,以保证在有输入信号时,加到  $V_2$  和  $V_3$  的交流信号相同,  $R_{c1}$  是  $V_1$  的集电极电阻。

在输出较大时,常采用复合管代替互补管,其典型电路如图 4-14 所示。图中  $V_2$  和  $V_4$  组成 NPN 型复合管,复合管电流放大系数近似等于  $V_2$  和  $V_4$  的电流放大系数的乘积,即  $\beta_{2,4} \approx \beta_2\beta_4$ ;  $V_3$  和  $V_5$  也组成

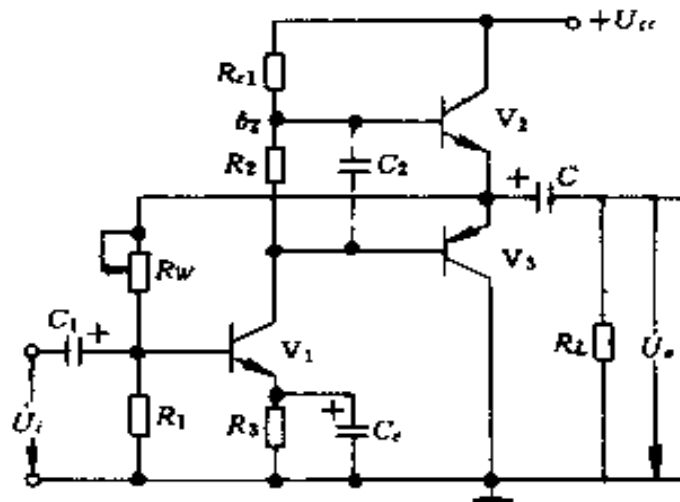


图 4-13 一个电源的互补对称电路

PNP 型复合管,且  $\beta_{3,5} \approx \beta_3 \beta_5$ 。该电路增加了由  $R_3 C_3$  构成“自举电路”,起到增大互补电路的输出幅度的作用。

以上互补对称电路的最大理想不失真输出功率为  $U_o^2 / (8R_L)$ ,电源供给的直流功率为  $U_o^2 / (2\pi R_L)$ ,理想效率为 78.5%。

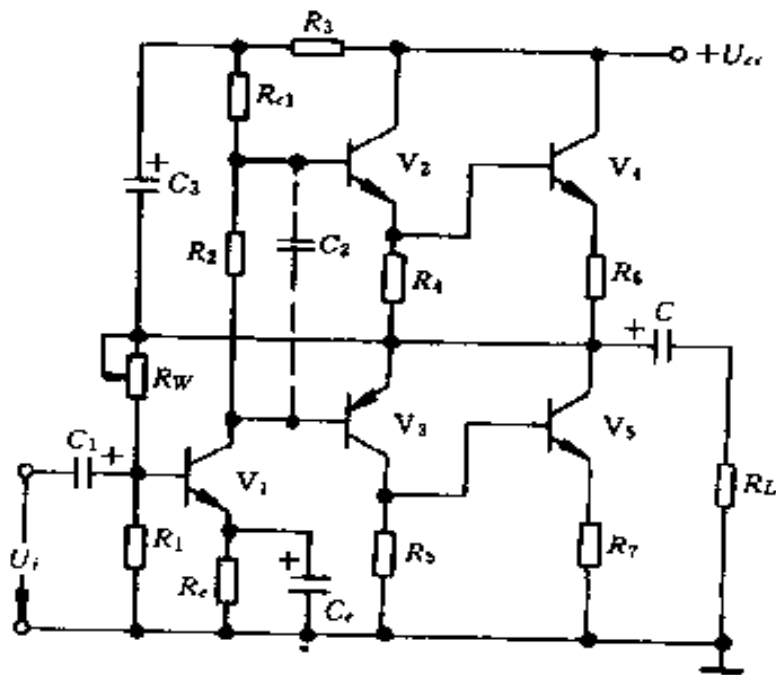


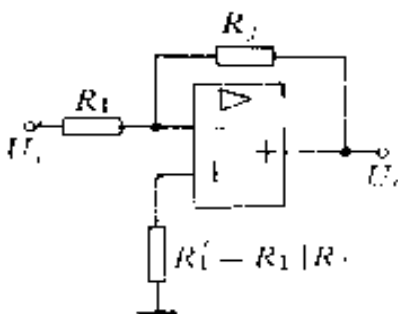
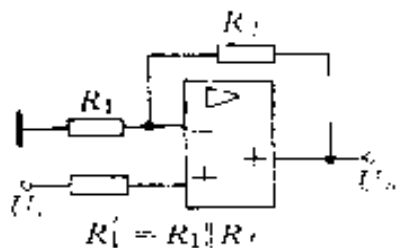
图 4-14 一个电源的复合互补对称电路

#### 四、常用模拟信号处理电路

##### 1. 模拟信号的运算

###### (1) 比例运算

表 4-49 比例运算的电路和基本公式

型 式	反 相 运 算	同 相 运 算
电 路		
理想情况	$\frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_1}$	$\frac{U_o}{U_i} = \frac{R_1 + R_f}{R_1}$
非理想情况(输入阻抗 $R_i$ 、开环增益 $A_{VD}$ 为有限值)	$\frac{U_o}{U_i} = -\left(1 - \frac{1 + A\dot{U}}{A\dot{U}_o}\right) A\dot{U}$ $\delta = \frac{1 + A\dot{U}}{A\dot{U}_o}$ <p>其中 <math>A\dot{U} = \frac{R_f}{R_1}</math></p> $A\dot{U}_o = \frac{A_{VD}}{1 + \frac{R'_1 + R_f}{R_1}}$ $R_i = R_1 \parallel R_f$	$\frac{U_o}{U_i} = \left(1 + \frac{1 + A\dot{U}}{A\dot{U}_o} + \frac{1}{\rho'}\right) (1 + A\dot{U})$ $\delta = \frac{1 + A\dot{U}}{A\dot{U}_o} + \frac{1}{\rho'}$ <p>其中 <math>A\dot{U} = \frac{R_f}{R_1}</math></p> $A\dot{U}_o = \frac{A_{VD}}{1 + \frac{R_i}{R_1}}$ $\rho' = \frac{CMRR}{1 + \frac{R_i}{R_1}}$ $R_i = R_1 \parallel R_f$

(2) 求和运算 见表 4-50。

表 4-50 求和运算的电路和公式

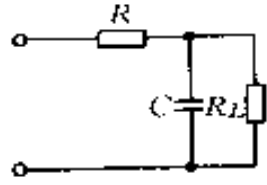
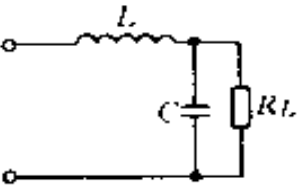
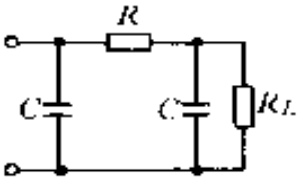
型式	反相求和	同相求和
电路		
$U_o$ 的表达式	$U_o = - \left( \frac{R_f}{R_1} U_{i1} + \frac{R_f}{R_2} U_{i2} + \frac{R_f}{R_3} U_{i3} \right)$ <p>上式可模拟 <math>y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3</math> 的函数</p>	$U_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right) R'_\Sigma \left( \frac{U_{i1}}{R'_1} + \frac{U_{i2}}{R'_2} + \frac{U_{i3}}{R'_3} \right)$ <p>其中 <math>R'_\Sigma = R'_1 \parallel R'_2 \parallel R'_3 \parallel R</math></p>

## 2. 滤波电路

表 4-51 常用滤波电路的电路图和特点

名称	电路图	滤波效果	输出电压	输出电流	负载特性	适用场合
电容滤波		较差	高	小	差	负载较轻且变动不大的单相整流装置中
电感滤波		较好	较低	大	好	负载较大且经常变动的场合,常用于三相整流装置中

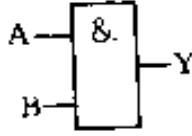
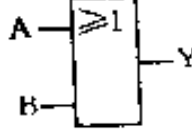
(续)

名称	电路图	滤波效果	输出电压	输出电流	负载特性	适用场合
RC 滤波		较好	较高	小	差	负载较轻的 单相整流 装置中
LC 滤波		好	较低	大	较好	负载较大的 整流装置 中
π型 滤波		好	较高	小	差	负载较轻的 单相整流 装置中

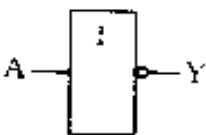
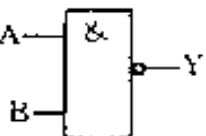
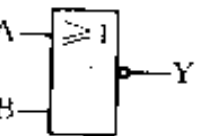
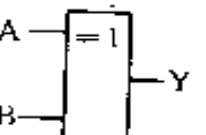
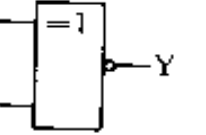
## 五、数字电路

### 1. 基本逻辑门

表 4-52 基本逻辑门符号、表达式和功能

类型	逻辑符号和表达式	功能表			逻辑功能说明
		A	B	Y	
与 门	 $Y = AB$	0	0	0	所有输入端全为“1”时,输出端才为“1”,输入端只要有一个为“0”时,输出端即为“0”
		0	1	0	
		1	0	0	
		1	1	1	
或 门	 $Y = A + B$	0	0	0	输入端只要有一个为“1”时,输出端即为“1”,所有输入端全为“0”时,输出才为“0”
		0	1	1	
		1	0	1	
		1	1	1	

(续)

类型	逻辑符号和表达式	功能表	逻辑功能说明															
非门	 $Y = \bar{A}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	Y	0	1	1	0	输入端为“1”时,输出端为“0”,输入端为“0”时,输出端为“1”									
A	Y																	
0	1																	
1	0																	
与非门	 $Y = \overline{AB}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	所有输出端全为“1”时,输出端为“0”;只要有一个输入端为“0”时,输出端即为“1”
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
或非门	 $Y = \overline{A + B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	输入端中只要有一个为“1”时,输出端即为“0”;所有输入端全为“0”时,输出端才为“1”
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
异或门	 $Y = A \cdot B + A \cdot \bar{B} = A \oplus B$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	两个输入端输入信号相同时,输出端为“0”;两个输入端输入信号相异时,输出端为“1”
A	B	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
异或非门	 $Y = \overline{A \oplus B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	两个输入端输入信号相同时,输出端为“1”;两个输入端输入信号相异时,输出端为“0”
A	B	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

注:表中“1”代表高电平,“0”代表低电平,逻辑关系为正逻辑。

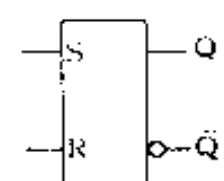
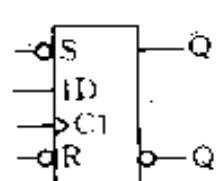
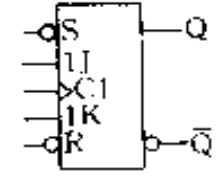
## 2. 布尔代数

表 4-53 布尔代数常用定理和定律

名称	公 式	
“1”“0”律	$A+0=A$ $A+1=1$	$A \cdot 0=0$ $A \cdot 1=A$
互补律	$A+\bar{A}=1$	$A \cdot \bar{A}=0$
重迭律	$A+A=A$	$A \cdot A=A$
交换律	$A+B=B+A$	$A \cdot B=B \cdot A$
结合律	$(A+B)+C=A+(B+C)$	$(A \cdot B)C=A(B \cdot C)$
分配律	$A+B \cdot C=(A+B)(A+C)$	$A(B+C)=A \cdot B+A \cdot C$
吸收律	$A+A \cdot B=A$	$A(A+B)=A$
摩根定理	$\overline{A+B}=\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\overline{A \cdot B}=\bar{A}+\bar{B}$

### 3. 触发器

表 4-54 常用触发器逻辑符号、表达式和功能表

类型	常用逻辑符号和表达式	功能表	功能说明															
RS	 $Q_1 = \bar{R}Q + SQ$	<table border="1"> <tr> <td>S</td> <td>R</td> <td><math>Q_1</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td><math>Q_n</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>不确定</td> </tr> </table>	S	R	$Q_1$	0	0	$Q_n$	0	1	0	1	0	1	1	1	不确定	S 为直接置位端, R 为直接复位端, S、R 端同时为“1”时, 输出端 Q 不确定, 这是不允许的
S	R	$Q_1$																
0	0	$Q_n$																
0	1	0																
1	0	1																
1	1	不确定																
D 型	 $Q_1 = 1D$	<table border="1"> <tr> <td>1D</td> <td><math>Q_1</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	1D	$Q_1$	0	0	1	1	1D 为送数端, C1 为时钟脉冲输入端; 只有在 C1 的作用下, 输出端 Q 才等于 1D 端状态									
1D	$Q_1$																	
0	0																	
1	1																	
JK	 $Q_1 = 1\bar{K}Q + 1J\bar{Q}$	<table border="1"> <tr> <td>1J</td> <td>1K</td> <td><math>Q_1</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td><math>Q_n</math></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td><math>\bar{Q}_n</math></td> </tr> </table>	1J	1K	$Q_1$	0	0	$Q_n$	1	0	1	0	1	0	1	1	$\bar{Q}_n$	1J、1K 为两组置数端, 在时钟脉冲 C1 作用下: 当 1K=1, 1J=0 时, $Q=0$ ; 当 1J=1K=1 时, 分频计数; 1J=1K=0, 维持原状态不变
1J	1K	$Q_1$																
0	0	$Q_n$																
1	0	1																
0	1	0																
1	1	$\bar{Q}_n$																

注:  $Q_1$  表示 Q 的下一个状态。



## 六、电源电路

### 1. 单相电容滤波整流电路

常用的全波整流和桥式整流两种电路及其波形如图 4-15 所示。

精确计算变压器二次电压有效值  $U_2$  和纹波因数  $q$  ( $q = \text{输出交流电压有效值} / \text{输出直流电压}$ ) 十分繁琐, 工程常用图表计算法。图 4-16 为全波和桥式电路, 当电源频率为 50Hz, 根据  $U_L$  和  $I_L$  在满足  $q = 4\%$  时来选取的  $C$  值。如果要计算其他  $q$  值时的电容  $C$ , 则应乘  $0.04/q$  来修正。

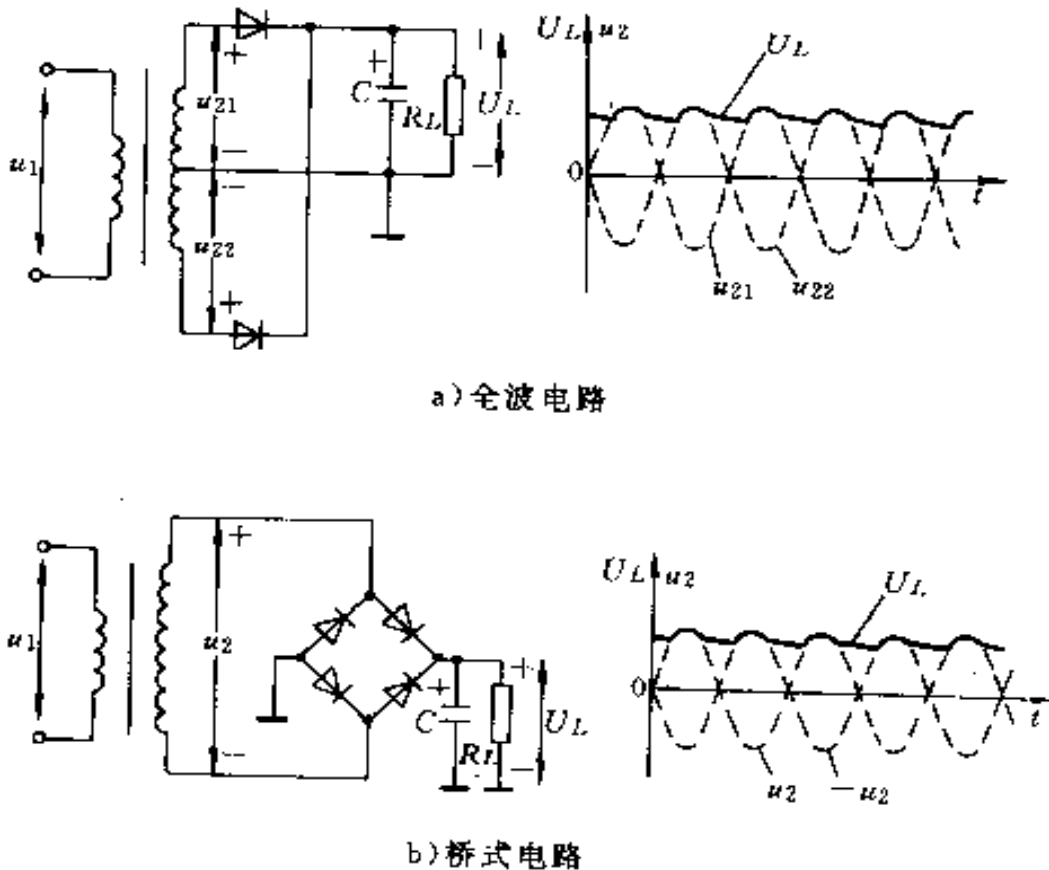


图 4-15 单相电容滤波整流电路

图 4-17 为变压器的输出功率与电压调整率  $\rho$  的关系曲线。根据输出功率查出电压调整率后, 变压器的内阻可由  $R_i = \rho R_L / (1 - \rho)$  计算求得。

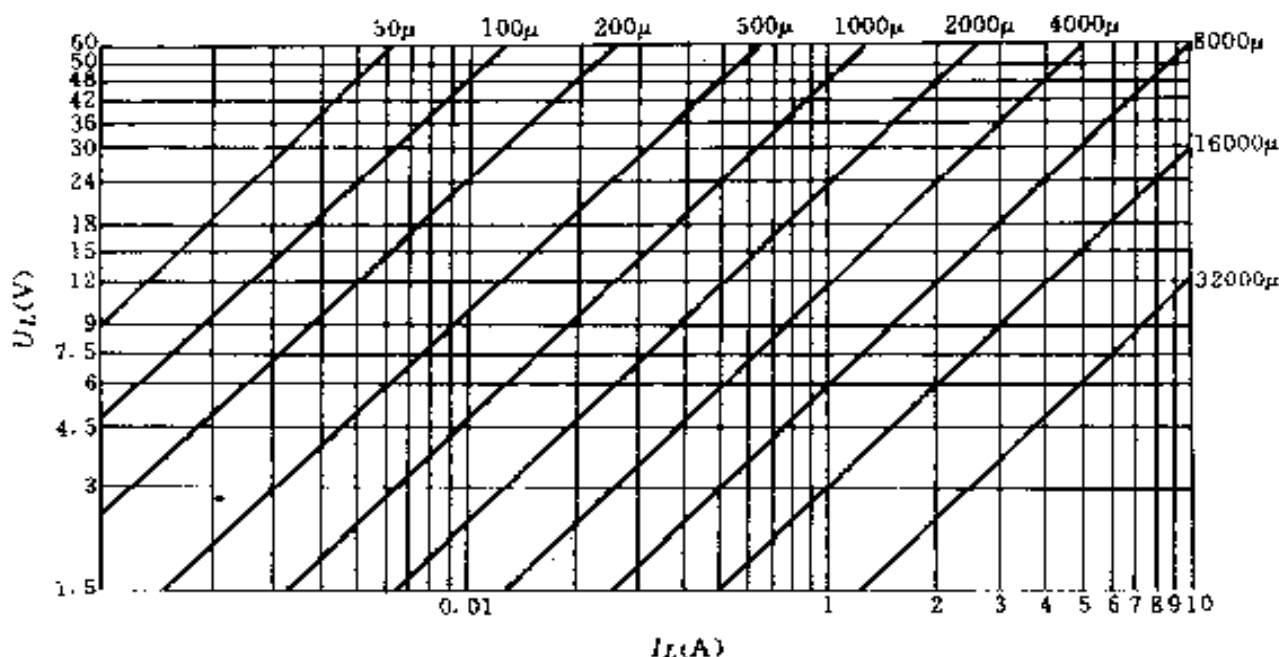


图 4-16 滤波电容的容量与输出直流电压、电流的关系

图 4-18 为全波(或桥式)电路中  $U_L/(\sqrt{2}U_2)$  与  $R_S/R_L$  的关系曲线,图中 A、B、C、D 四条曲线分别表示滤波电容的取值与图 4-16 查得的数值等于、大一倍、小一半、大十倍的情况。

综上,用图表设计单相桥式电容滤波整流器,确定滤波电容  $C$  和变压器二次电压有效值  $U_2$  的方法如下:

1) 确定滤波电容  $C$  的容量 由图 4-16 查得  $q' = 4\%$  时的  $C'$  值,则  $C = 0.04C'/q$ 。

2) 计算  $R_S/R_L$  若整流器的输出功率  $P_{ac} = U_L I_L$ , 则变压器的输出功率为  $1.5P_{ac}$ , 由图 4-17 查得  $\rho$ , 而  $R_L = U_L/I_L, R_i = \rho R_L/(1-\rho)$ 。对桥式电路有两个串联二极管同时导通, 整流器内阻应为

$$R_S = R_i + 2R_d$$

式中  $R_d$  —— 二极管内阻。

则 
$$\frac{R_S}{R_L} = \frac{R_i + 2R_d}{R_L}$$

由图 4-18 查得  $U_L/\sqrt{2}U_2 = A$ 。

3) 计算变压器二次电压有效值  $U_2$ 。由于桥式电路两个整流管的正向压降, 输出直流电压应修正为

$$U_L' = U_L + 2U_d$$

式中  $U_d$  —— 整流管正向压降。

则

$$U_2 = \frac{U_L'}{\sqrt{2} A}$$

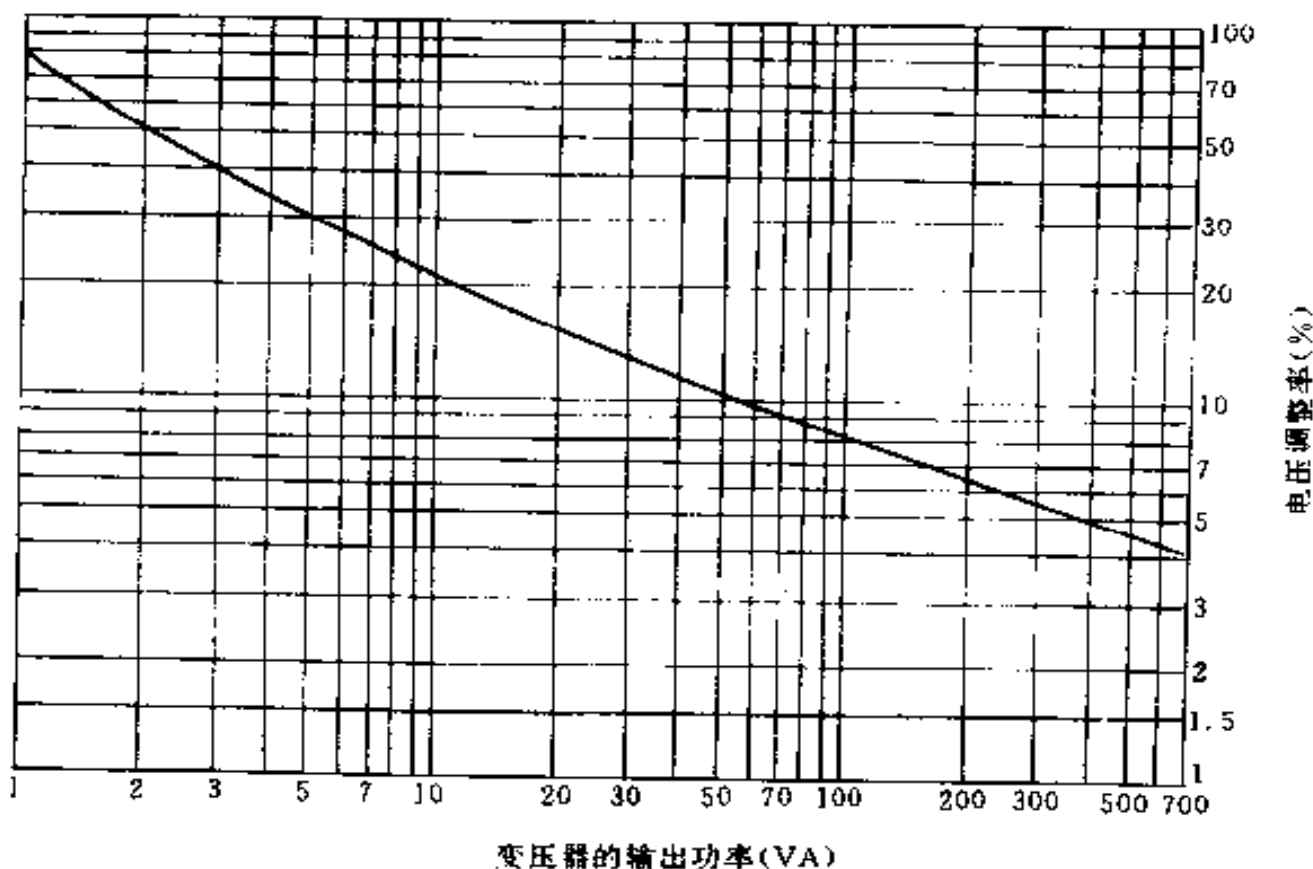


图 4-17 变压器的输出功率与电压调整率的关系曲线

表 4-55 列出了全波和桥式滤波整流电路对整流二极管的要求。

表 4-55 整流电路对整流管的要求

整流二极管	全波	桥式
反向电压	$> 2\sqrt{2} U_2$	$> \sqrt{2} U_2$
阳极平均电流	$> \frac{1}{2} I_L$	$> \frac{1}{2} I_L$

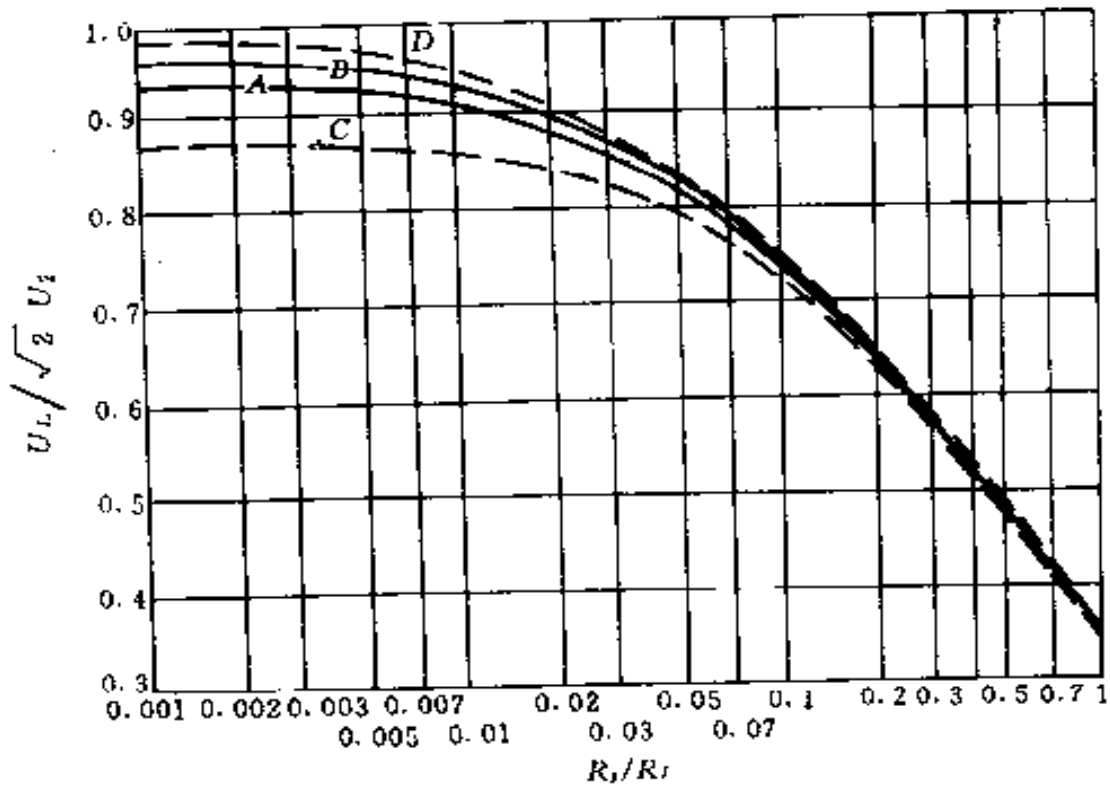


图 4-18 单相全波(或桥式)电路  $U_L/(\sqrt{2} U_2)$  与  $R_s/R_L$  的关系曲线

## 2. 单相电感滤波整流电路

其电路及波形如图 4-19 所示。电路工作特点:每个二极管的导通角  $\theta = \pi$ , 输出直流电压  $U_L = 0.9U_2$ 。

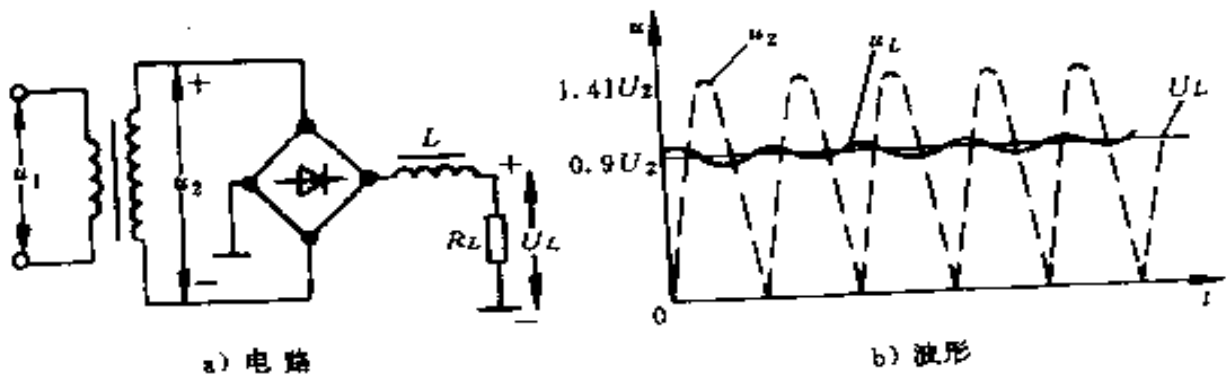


图 4-19 单相电感滤波桥式整流电路

### 3. 倍压整流电路

这种电路适用于输出电压高而输出电流小的场合。其典型电路如图 4-20 所示。这三种电路中整流二极管承受的最大反向电压均为  $2\sqrt{2}U_2$ 。

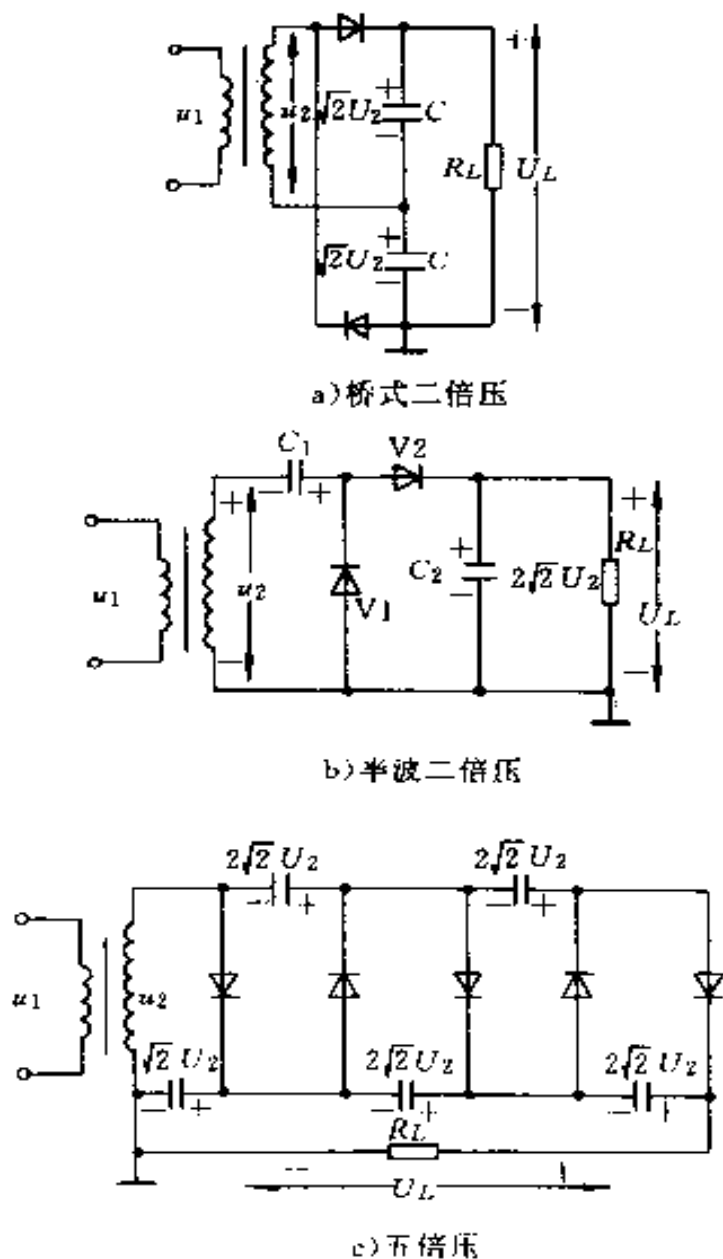


图 4-20 倍压整流电路

## 第五章 电气仪表与测量

### 一、电气仪表与测量的基础知识

#### 1. 仪表的误差和准确度

##### (1) 误差的表达方式

1) 绝对误差 仪表的指示值  $A_x$  和被测量的实际值  $A_0$  之间的差值, 叫做绝对误差, 以  $\Delta$  表示。即

$$\Delta = A_x - A_0$$

在计算时, 可以用标准表(用来标定工作仪表的高准确度仪表)的指示值作为被测量的实际值。

2) 相对误差 就是绝对误差  $\Delta$  与被测量的实际值  $A_0$  的比值, 通常用百分数来表示。以  $\gamma$  表示相对误差, 则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

由于被测量的实际值和仪表的指示值通常相差不大, 所以在工程上当不能确定实际值  $A_0$  时, 常用仪表的指示值  $A_x$  近似地代替  $A_0$  进行计算, 即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

3) 引用误差 是指绝对误差  $\Delta$  与仪表测量上限  $A_m$  (即仪表的满刻度值) 比值的百分数, 用  $\gamma_m$  来表示, 则

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

由于仪表的测量上限是一个常数, 而仪表的绝对误差又大体上保持不变, 所以可以用引用误差来表示仪表的准确度。

(2) 仪表的准确度 仪表的准确度等级  $K$  的百分数, 就是由最大绝对误差  $\Delta_m$  所决定的最大引用误差, 即

$$K\% = \frac{|\Delta_m|}{A_m}$$

按 GB776-76 规定,仪表准确度分为 7 级,它们的基本误差在标尺工作部分的所有分度线上不应超过表 5-1 的规定。

表 5-1 仪表准确度等级

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

## 2. 常用电测量指示仪表和附件的符号

表 5-2 常用电测量指示仪表和附件的符号








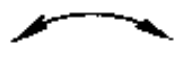








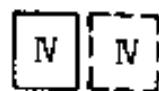




A. 测量单位的符号		名 称	符 号
名 称	符 号	太 欧	TΩ
千 安	kA	兆 欧	MΩ
安 培	A	千 欧	kΩ
毫 安	mA	欧 姆	Ω
微 安	μA	毫 欧	mΩ
千 伏	kV	微 欧	μΩ
伏 特	V	相 位 角	φ
毫 伏	mV	功 率 因 数	cosφ
微 伏	μV	无 功 功 率 因 数	sinφ
兆 瓦	MW	库 伦	C
千 瓦	kW	毫 韦 伯	mWb
瓦 特	W	毫 特	mT
兆 乏	Mvar	微 法	μF
千 乏	kvar	皮 法	pF
乏	var	亨	H
兆 赫	MHz	毫 亨	mH
千 赫	kHz	微 亨	μH
赫 兹	Hz	摄 氏 温 度	℃

(续)

B. 仪表工作原理的图形符号		名 称	符 号
名 称	符 号		
磁电系仪表		整流系仪表 (带半导体整流器和磁电系测量机构)	有效值 平均值 
磁电系比率表		热电系仪表 (带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
电磁系仪表		C. 电流种类的符号	
电磁系比率表		名 称	符 号
电动系仪表		直 流	—
电动系比率表		交流(单相)	
铁磁电动系仪表		直流和交流	
铁磁电动系比率表		具有单元件的三相平衡负载交流	
感应系仪表		D. 准确度等级的符号	
静电系仪表		名 称	符 号
电子系仪表		以标度尺量限百分数表示的准确度等级,例如 1.5 级	1.5
		以标度尺长度百分数表示的准确度等级,例如 1.5 级	



(续)

名 称	符 号	名 称	符 号
以指示值的百分数表示的准确度等级,例如 1.5 级		公共端钮(多量限仪表和复用电表)	
E. 工作位置的符号		接地用的端钮(螺钉或螺杆)	
名称	符 号	与外壳相连接的端钮	
标度尺位置为垂直的		与屏蔽相连接的端钮	
标度尺位置为水平的		调零器	
标度尺位置与水平面倾斜成一角度例如 60°		H. 按外界条件分组的符号	
F. 绝缘强度的符号		名称	符 号
不进行绝缘强度试验		I 级防外磁场(例如磁电系)	
绝缘强度试验电压为 2kV		I 级防外电场(例如静电系)	
G. 端钮、调零器的符号		II 级防外磁场及电场	
名称	符 号	III 级防外磁场及电场	
负端钮		IV 级防外磁场及电场	
正端钮		C 组仪表	
A 组仪表			
B 组仪表			

### 3. 基准器和标准器

(1) **基准器** 是指用当代最先进技术,以最高的精确度和稳定性建立起来的专门用以规定、保持和复现某种物理计量单位的特殊量具或仪器。根据基准的不同性质和用途可分为主基准器、副基准器、比较基准器和工作基准器。一般把主基准器划作一级基准,各种副基准器划作二级基准,工作基准属于三级基准。

(2) **标准器** 根据基准复现的量值,制成不同等级的标准量具或仪器称为标准器,按不同精度也可把标准器分为一级、二级和三级标准。一级标准的量值是由精度更高的基准来确定。然后把量值由上一级标准向下一级标准进行传递,一直传到不同精度级别的工作量具或工作仪器。

## 二、常用指示仪表

### 1. 电测指示仪表特点与分类

指示式仪表是用标度盘和指针指示电量的仪表。其特点是直接将测量转换为可动部分的偏转角位移,并通过指示器在标尺上示出被测量(电流、电压、功率、频率、电阻等)的大小。按使用方式可分安装式和可携式两类。按工作原理分类及应用特性分类见表 5-3。

表 5-3 指示式仪表工作原理及应用特性

名称	测量范围		消耗功率	最高准确度等级	过载能力	制成仪表类型	应用范围
	电流(A)	电压(V)					
磁电系	$10^{-11}$ ~ $10^2$	$10^{-3}$ ~ $10^5$	<100 mW	0.1	小	A、V、 $\Omega$ 、检流计 钳形表	直流电表且与多种变换器配合扩大使用范围,作比率表
电磁系	$10^{-3}$ ~ $10^2$	1~ $10^3$	较磁电系大,略小于电动系	0.1	大	A、V、Hz、 $\cos\varphi$ 同步表、钳形表	用于 50Hz ~ 5kHz 安装式电表及一般实验室用交(直)流表

(续)

名称	测量范围		消耗功率	最高准确度等级	过载能力	制成仪表类型	应用范围
	电流(A)	电压(V)					
电动系	$10^{-3}$ ~ $10^2$	$1 \sim 10^3$	较大	0.1	小	A、V、 W、Hz、 $\cos\varphi$ 同步表	用于 50Hz ~ 10kHz 作交直流标准表及一般实验室用表
铁磁电动系	$10^{-3}$ ~ $10^2$	$10^{-1}$ ~ $10^3$	较小	0.2	小	A、V、 W、Hz、 $\cos\varphi$	用于工频, 主要作安装式电表
静电系		$10 \sim$ $5 \times 10^5$	几乎不消耗	0.1	大	V、象限静电计	较多应用于高压测量, 频率达 $10^8$ Hz
感应系	$10^{-1}$ ~ $10^2$	$10 \sim$ $10^3$	较小	0.5	大	主要用于电度表	用于工频, 测量交流电路中电能
热电系	$10^{-3}$ ~ $10$	$10 \sim$ $10^3$	小	0.2	小	在高频线路中应用	在高频线路中应用, 频率 $< 10^8$ Hz
整流系	$10^{-5}$ ~ $10$	$10^{-3}$ ~ $10^3$	小	1.0	小	A、V、 $\Omega$ 、 $\cos\varphi$ 、 Hz、万用表	作万用表, 频率从 50Hz ~ 5kHz
电子系		$5 \times 10^{-3}$ ~ $5 \times 10^2$	较小	1.0		A、V、 $\Omega$ 、Hz、 $\cos\varphi$	在弱电线路中应用, 频率 $< 10^8$ Hz

## 2. 常用电流表、电压表

表 5-4 常用电流表、电压表的型号和规格

名称		型号	系别	准确度等级	量限范围	备注
直流	电流表	1C2-A V	磁电系	1.5	电流:1~500mA, 1~10000A 电压:3~3000V	电流自 75A 起外附分流器;电压自 1000V 起带专用附加电阻
	电压表					
直流	电流表	1KC-A V	磁电系	1.5	电流:1~10A, 20~500A 电压:30~600V, 无零位:20~30V, 50~75V,100~150V, 160~240V, 170~250V, 180~270V	指针端带有触点,可与控制电路相连,20~500A 需外附分流器
	电压表			2.5		
直流	电流表	6C2-A V	磁电系	1.5	电流:1~500mA, 1~50A, 75~10000A 电压:1.5~600V, 0.75~1.5kV	电流在 75~10000A 外附定值分流器 电压在 0.75~1.5kV 外附定值附加电阻
	电压表					
直流	电流表	42C3-A V	磁电系	1.5	电流:1~500mA, 1~50A, 75~10000A 电压:1.5~600V, 0.75~1.5kV	电流在 75~10000A 外附定值分流器 电压在 0.75~1.5kV 外附定值附加电阻
	电压表					
直流	电流表 电压表	C19 A V	磁电系	0.5	电流:25~580mA, 2.5~30A 电压:0.75~600V	另有 C13、C32、C40、C41、C48、C59 等型号
交流	电流表 电压表	1T1 A V	电磁系	2.5	电流:0.5~200A, 5~10000A 电压:1.5~600V, 1~380kV	电流 5~10000A 经电流互感器接通 电压 1~380kV 经电压互感器接通

(续)

名称		型号	系别	准确度等级	量限范围	备注
交流	电流表 电压表	6L2-A V	整流系	1.5	电流:0.5~50A, 5~10000A 电压:3~600V, 1~380kV	电流5~10000A 经电流互感器接通 电压1~380kV 经电压互感器接通
交流	电流表 电压表	42L6-A V	整流系	1.5	电流:0.5~50A, 5~10000A 电压:3~600V, 1~380kV	电流5~10000A 经电流互感器接通 电压1~380kV 经电压互感器接通
交、直 流	电流表 电压表	T10-A V	电磁系	0.2 0.5	电流:0~200mA, 0~10A, 电压:0~600V	另有 T19、T21、 T22、T23、T25、 T28、T51 等型号
钳形交流 电流表		T-301	整流系	2.5	0~250A, 0~600A, 0~1000A	另有 MG4 电流、电压表 MG26 电流、电压表 MG28 电流、电压表 MG31 袖珍型电流、 电压表
钳形交流电 流、电压表		T-302	整流系	2.5	电流:0~1000A, 电压:0~500V, 0~600V	
钳形交流电 流、电压表		MG24	整流系	2.5	电流:0~50A, 0~250A 电压:0~300~600V	
钳形交、直 流电流表		MG20	电磁系	5	0~100A,0~200A, 0~300A,0~400A, 0~500A,0~600A	
		MG21	电磁系	5	0~750A, 0~1000A, 0~1500A	

### 3. 常用万用表

(1)万用表的特点 万用表(也称繁用表或复用表)具有多种用途、多种量程、携带方便等一系列优点,因此在电气维修和调试工作中被广泛应用。它实质上是一个带有整流器的磁电系仪表,可以测量直流电流、直流电压、交流电压和直流电阻、音频电平等电量。有的万用表还可以测量交流电流、电容、电感以及晶体管 $\beta$ 值等。

(2)万用表的简单设计 见本章三节。

(3)常用万用表的型号和规格

表 5-5 常用万用表的型号和规格

型 号	测 量 范 围		灵敏度或压降	准确度等级
500 型	直流电压	0~2.5~10~50~250~500V	20000 $\Omega$ /V	2.5
		2500V	4000 $\Omega$ /V	4.0
	交流电压	0~10~50~250~500V	4000 $\Omega$ /V	4.0
		2500V	4000 $\Omega$ /V	5.0
	直流电流	0~50 $\mu$ A~1~10~100~500mA	$\leq 0.75$ V	2.5
	直流电阻	0~2k $\Omega$ ~20k $\Omega$ ~200k $\Omega$ ~2M $\Omega$ ~20M $\Omega$	10 $\Omega$ 中心	2.5
音频电平	-10~+22dB(45Hz~1kHz)			
MF-10 型 高灵敏度	直流电压	0~0.5~1~2.5~10~50~100V	100000 $\Omega$ /V	2.5
		0~250~500V	20000 $\Omega$ /V	
	交流电压	0~10~50~250~500V	20000 $\Omega$ /V	4.0
	直流电流	0~10~50~100 $\mu$ A~1~10 ~100~1000mA	$< 0.5$ V	2.5
	直流电阻	0~2k $\Omega$ ~20k $\Omega$ ~200k $\Omega$ ~2M $\Omega$ ~20M $\Omega$ ~200M $\Omega$	10 $\Omega$ 中心	2.5
音频电平	-10~+32db		4.0	

(续)

型号	测量范围	灵敏度或压降	准确度等级
MF-35 型 精密级	75mV(50 $\mu$ A)		1.5
	直流电压 0~1~2.5~10~25~100~250 ~500~1000V		1.0
	交流电压 0~2.5V		2.5
	0~10~50~250~500~1000V		1.5
	直流电流 0~50~250 $\mu$ A~1~5~25 ~100mA~1~5A		1.0
	交流电流 0~2.5mA		2.5
	0~25~250mA~1~5A		1.5
	直流电阻 D. $\Omega$ (低电阻)	2.4 $\Omega$ 中心	1.5
$\Omega \times 1, \Omega \times 10, \Omega \times 100, \Omega \times 1k,$ $\Omega \times 10k$	15 $\Omega$ 中心	1.0	
音频电平	-10~+10dB		
MF-30 型 袖珍式	直流电压 0~1~5~25V	20000 $\Omega/V$	2.5
	0~100~500V	5000 $\Omega/V$	2.5
	交流电压 0~10~100~500V	5000 $\Omega/V$	4.0
	直流电流 0~50~500 $\mu$ A~5~50~ 500mA	<0.75V	2.5
	直流电阻 0~4k $\Omega$ ~40k $\Omega$ ~400k $\Omega$ ~4M $\Omega$ ~40M $\Omega$	25 $\Omega$ 中心	2.5
	音频电平	-10~+22dB	

(续)

型号	测量范围		灵敏度或压降	准确度等级
MF-47 型 袖珍式	直流电压	0~250mV~1~2.5~10~50 ~250~500~1000~2500V	20000Ω/V	2.5
	交流电压	0~10~50~250~500~1000 ~2500V	4000Ω/V	5.0
	直流电流	0~50~500μA~5~50 ~500mA~5A	≤0.3V	2.5
	直流电阻	R×1, R×10, R×100, R×1k, R×10k	22Ω 中心	2.5
	音频电平	-10~+22dB		
	放大系数	$h_{fe}$ , 0~300		
	电容	0.0001~0.03μF		
	电感	20~1000H		
MF-41 型 袖珍式	直流电压	0~0.5~2.5~10~50~250 ~500~1000V	20000Ω/V	2.5
	交流电压	0~10~50~250~500~1000V	4000Ω/V	4.0
	直流电流	0~50μA~0.5~5~50~ 500mA	≤0.5V	2.5
	直流电阻	Ω×1, Ω×10, Ω×100, Ω×1k, Ω×10k		2.5
	音频电平	-10~+22dB		
	放大系数	$h_{fe}$ , 0~250		
	电容	0.005~0.5μF		
	电感	20~1000H		

注:准确度等级 4.0 表示基本误差为 4.0%。



表 5-6 新型万用表的典型型号和规格

型 号	种 类	量 限	灵敏度或压降	准确度等级
MF64 型	A	$50\mu\text{A} \sim 0.25 \sim 2.5 \sim 12.5 \sim 25$ $\sim 125 \sim 500\text{mA} \sim 2.5\text{A}$	$\leq 0.6\text{V}$	2.5
	V	0.5V	20k $\Omega$ /V	5.0
		2~10~50~200V		2.5
		500~1000V	8k $\Omega$ /V	
	$\bar{A}$	0.5~5~25~50~250mA~1A	$\leq 1.2\text{V}$	5.0
	$\bar{V}$	10~50~250~500~1000V	4k $\Omega$ /V	
	$\Omega$	2k $\Omega$ ~20k $\Omega$ ~200k $\Omega$ ~2M $\Omega$ ~20M $\Omega$	25 $\Omega$ 中心	2.5
	$h_{fe}$	0~400(NPN, PNP)		
dB	0~+56dB(四档)			
V <sub>电池</sub>	0~1.5V	12 $\Omega$ 负载	5.0	
MF72 型 袖珍式	$\bar{A}$	100 $\mu\text{A}$	0.25V	2.5
		0.5~5~50~500mA~2.5A	0.5V	
	V	250mV	10k $\Omega$ /V	5.0
		1~2.5~12.5~50~250~500V		2.5
		1000V	5k $\Omega$ /V	
	$\bar{V}$	10~50~250~500V	3k $\Omega$ /V	5.0
	$\Omega$	2k $\Omega$ ~10k $\Omega$ ~100k $\Omega$ ~1M $\Omega$	$\frac{25\Omega}{125\Omega}$ 中心	2.5
	$h_{fe}$	0~400(NPN, PNP)		
dB	0~+22~+56dB			
输出功率	0~12~24W			

(续)

型号	种类	量 限	灵敏度或压降	准确度等级
MF368 型高 灵敏度袖珍式	A	50 $\mu$ A 2.5~25mA~0.25~2.5A	$\leq 0.15V$ $\leq 0.6V$	2.5
	V	0.5V	20k $\Omega$ /V	5.0
		2.5~10~50~250V		2.5
		500V	9k $\Omega$ /V	5.0
		1500V		
	V	2.5~10~50~250~500 ~1500V	9k $\Omega$ /V	5.0
	$\Omega$	2k $\Omega$ ~20k $\Omega$ ~200k $\Omega$ ~2M $\Omega$ ~20M $\Omega$	20 $\Omega$ 中心	2.5
	$h_{fe}$	0~1000(NPN,PNP)		
	LED V	0~3V		
	LED I	0~0.15~1.5~15~150mA		
dB	-22~+66dB(六档)			
MF96CX 型 高灵敏度 全功能	A	20 $\mu$ A(表头直接外接)	60mA	2.5
		25 $\mu$ A	170mA	
		0.1~1~10~100mA~1~5A	$\leq 0.6V$	
	V	1~5~12.5~50~125V	50k $\Omega$ /V	2.5
		500V	10k $\Omega$ /V	5.0
		2500V		
	A	5A	$\leq 1V$	5.0
	V	10~50~250~500~2500V	10k $\Omega$ /V	
	$\Omega$	5k $\Omega$ ~50k $\Omega$ ~500k $\Omega$ ~5M $\Omega$ ~100M $\Omega$	20 $\Omega$ 中心	2.5
	CX	0~1 $\mu$ F~1000 $\mu$ F(阻尼<8s)	10 $\mu$ F 中心	10.0
		0~10nF~10 $\mu$ F(阻尼<4s)	100nF 中心	5.0
		0~100pF~0.1 $\mu$ F(阻尼<4s)	1nF 中心	
	蜂鸣器	供电电源 9V 外电阻 0~150 $\Omega$ 发声		
输出功率	0~0.1~10W			
dB	10~+22dB			

#### 4. 常用兆欧表

(1)兆欧表的选择 兆欧表的选用,主要是选择兆欧表的电压及其

测量范围。表 5-7 例举了一些在不同情况下选择兆欧表的要求。

表 5 7 兆欧表的选择举例

被 测 对 象	被测设备的额定电压(V)	所选兆欧表的电压 (V)
线圈的绝缘电阻	500 以下	500
线圈的绝缘电阻	500 以上	1000
发电机线圈的绝缘电阻	380 以下	1000
电力变压器、发电机、电动机线圈的绝缘电阻	500 以上	1000~2500
电气设备绝缘	500 以下	500~1000
电气设备绝缘	500 以上	2500
绝缘子、母线、隔离开关		2500~5000

(2)常用兆欧表的型号和规格

表 5-8 常用兆欧表的型号和规格

型 号	准确度等级	额定电压(V)	测量范围(MΩ)
0101	1.0	100	0~100
5050	1.0	500	0~500
1010	1.0	1000	0~1000
2525	1.0	250	0~250
ZC25-1	1.0	100	0~100
ZC25-2	1.0	250	0~250
ZC25-3	1.0	500	0~500
ZC25-4	1.0	1000	0~1000
ZC11-1	1.0	100	0~500
ZC11-2	1.0	250	0~1000
ZC11-3	1.0	500	0~2000
ZC11-4	1.0	1000	0~5000
ZC11-5	1.5	2500	0~10000
ZC11-6	1.0	100	0~20

(续)

型 号	准确度等级	额定电压(V)	测量范围(MΩ)
ZC11-7	1.0	250	0~50
ZC11-8	1.0	500	0~100
ZC11-9	1.0	1000	0~200
ZC11-10	1.5	2500	0~2500
ZC28	1.5	500	0~200
ZC30-1	1.5	2500	0~50000
ZC30-2	1.5	5000	0~100000

## 5. 常用功率表

表 5-9 常用单、三相功率表的型号和规格

名 称	型 号	准确度等级	额定电压(V)	额定电流(A)	备 注
三相有功功率表 三相无功功率表	1D1-W var	2.5	100,127,200	5	开关板式三相功率表,
三相有功功率表 三相无功功率表	1D5-W var	2.5	127,220	5	1L1-W,6L2-W var,
三相有功功率表 三相无功功率表	19D1-W var	2.5	127,220,380	5	42L6-W var 等
单相功率表	D26-W	0.5	75~150~300, 125~250~500, 150~300~600	0.5~1, 1~2, 2.5~5, 5~10, 10~20	开关板式单相功率表: 6L2-W、 42L6-W 等 便携式三相功率表: D33-W 等
单相功率表	D44-W	0.5	30~75~150 ~300~450	0.5~1, 1~2, 2.5~5, 5~10	便携式单相功率表: D9-1-W、 D19-W、 D41-W 等
低功率因数功率表	D5-W ( $\cos\varphi_0=0.1$ )	1.0	75~150~300 ~600	0.25~0.5 ~1, 2.5~5~10	低功率因数功率表: D34-W、 D37-W 等

### 三、万用表的简单设计

#### 1. 表头灵敏度及内阻的测定

(1)表头灵敏度的测定 可用图 5-1 的实验电路,通常选择标准微安表  $P_0$  的测量上限要略大于被测表头  $P_x$  的测量上限。测量表头灵敏度时,开关  $S$  置于位置 1,调  $R_x$  使被测表头  $P_x$  满刻度偏转,这时标准微安表  $P_0$  的刻度数就是表头的实际测量上限,它是设计中的一个重要依据。

#### (2)表头内阻的测定

1)代替法 在图 5-1 中,将开关  $S$  置于 2 的位置,调  $R_x$  使标准表  $P_0$  的读数与开关  $S$  在位置 1 时的它的读数相同,这时由旋转电阻箱上读得的电阻数值就是被测表头的内阻。

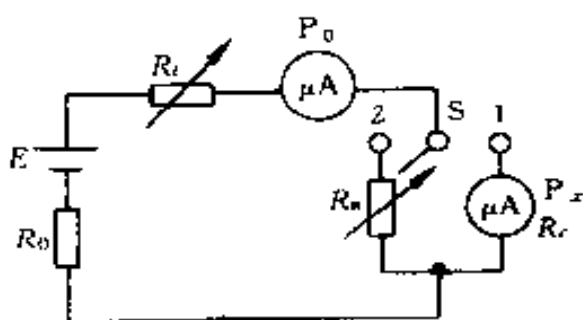


图 5-1 测量表头灵敏度及用代替法测表头内阻的电路

$P_x$ —被测表头     $P_0$ —标准微安表  
 $R_x$ —旋转电阻箱     $R_x$ —可调电阻  
 $R_0$ —限流电阻     $E$ —干电池  
 $S$ —单刀双投开关

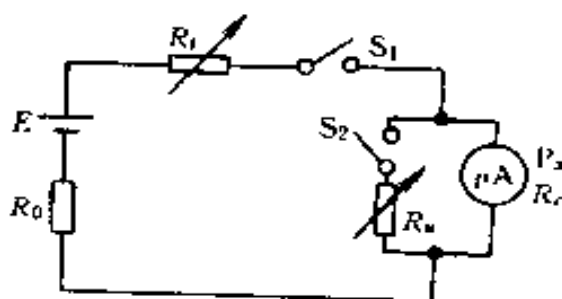


图 5-2 用半偏转法测表头内阻的电路

2)半偏转法 若被测表头的测量上限是可信的,不需测量它的灵敏度,此外又无法得到标准微安表,这时可采用图 5-2 所示的电路。

在测量时,首先合上开关  $S_1$ (开关  $S_2$  断开),调节可调电阻  $R_x$  使被测表头  $P_x$  的指针偏转到满刻度,然后再合上  $S_2$ ,调节电阻箱  $R_x$  使被测表头  $P_x$  的指针偏转到满刻度的一半,这时被测表头的内阻可以用下式求出:

$$R_c = \frac{R_x(R_0 + R_f)}{R_0 + R_f - R_x}$$

式中  $R_0, R_f, R_x$  都可由电阻箱直接读出数值。若  $(R_0 + R_f) \gg R_x$ , 可近似取  $R_c = R_x$ 。

## 2. 万用表直流电流档各分流电阻的计算

电路如图 5-3 所示, 计算公式如下:

$$R_{fL} = \frac{R_c I_c}{I_{m \min} - I_c}$$

$$R_{f1} = \frac{R_{fL} I_{m \min}}{I_{m1}}$$

$$R_{f2} = \frac{R_{fL} I_{m \min}}{I_{m2}} - R_{f1}$$

$$R_{f3} = \frac{R_{fL} I_{m \min}}{I_{m3}} - (R_{f1} + R_{f2})$$

式中  $R_{fL}$  —— 闭路式分流器的总电阻;

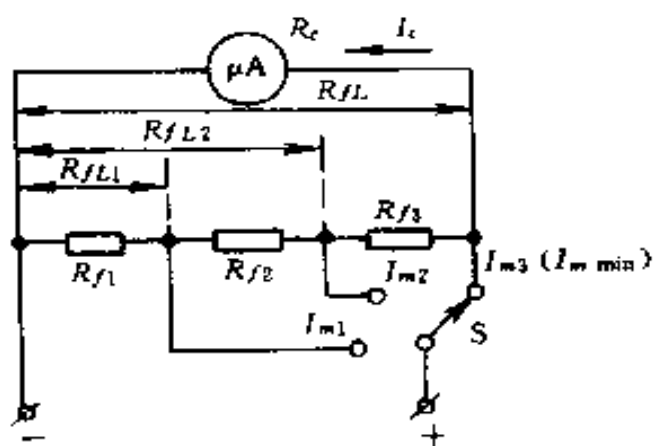


图 5-3 万用表直流电流档电路

$I_c$  —— 表头的灵敏度 (mA);

$R_c$  —— 表头内阻;

$I_{m \min}$  —— 扩大量限中的最小电流档的额定电流 (mA);

$I_{m1}, I_{m2}, I_{m3}$  —— 各电流档所需扩大的量限 (mA), 其中最小的测量电流量限为  $I_{m3}$ , 依次为  $I_{m2}, I_{m1}$  …… (最小的量限同时也就是  $I_{m \min}$  的数值);

$R_{f1}, R_{f2}, R_{f3}$  …… —— 各电流档的分流电阻器的电阻值。

## 3. 万用表直流电压档附加电阻的计算

电路图如图 5-4。计算公式

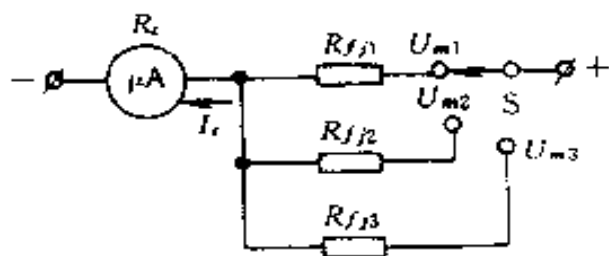


图 5-4 万用表直流电压档的电路

如下：

$$R_{f1} = \frac{U_m}{I_c} - R_c$$

式中  $R_{f1}$  ——附加电阻( $\Omega$ )；  
 $U_m$  ——测量电压  
 量限(V)；  
 $I_c$  ——表头量限(A)；  
 $R_c$  ——表头内阻( $\Omega$ )。

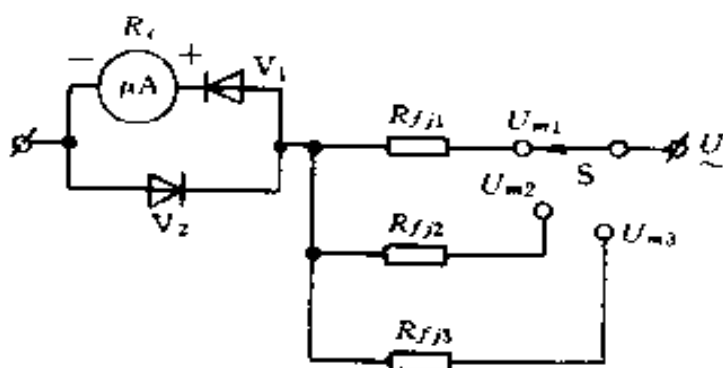


图 5-5 万用表半波整流的交流电压档电路

#### 4. 万用表交流电压档

##### 附加电阻的计算

(1) 采用半波整流电路 电路图如图 5-5 所示, 计算公式如下：

$$R_{fj} = \frac{U_m}{2.22I_c} - R_c - R_v$$

式中  $R_{fj}$  ——附加电阻( $\Omega$ )；  
 $U_m$  ——扩大的电压档的量限(V)；  
 $I_c$  ——表头量限(A)；  
 $R_c$  ——表头内阻( $\Omega$ )；  
 $R_v$  ——整流元件的正向电阻。

(2) 采用桥式全波整流电路 电路图如图 5-6 所示, 计算公式如下：

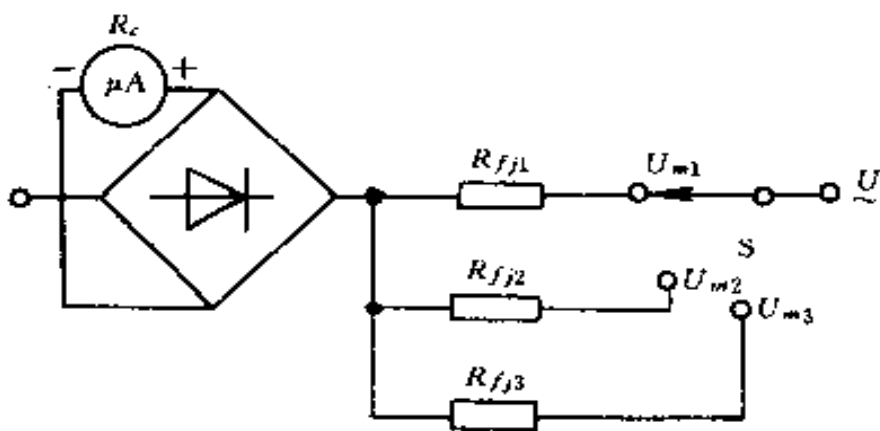


图 5-6 万用表桥式全波整流的交流电压档电路

$$R_f = \frac{U_m}{1.11I_c} - R_c - 2R_v$$

式中符号同前所述。

### 5. 万用表测量电阻档各元件的计算

万用表测量电阻的电路如图 5-7 所示,它包含有  $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$  和  $R \times 1k$  的倍率档,其中  $R \times 1$ 、 $R \times 10$  和  $R \times 100$  倍率档用于电池  $U$ , $R \times 1k$  倍率档用于电池  $U'$ 。 $R$  为一串联电阻。 $R \times 1$  档的分流电阻为  $R_1$ , $R \times 10$  档的分流电阻为  $R_{10}$ , $R \times 1k$  档的串联电阻为  $R'$ 。

(1) 电阻档“欧姆中心值”的决定 欧姆表的指针偏转至满刻度的一半(标尺的几何中心位置)时,所指示的欧姆值,称为欧姆中心值。它正好等于该量程欧姆表的总内阻值。低压高倍率档的欧姆中心阻值  $R_M$  为

$$R_M = \frac{U_L}{I_c} \quad (\Omega)$$

式中  $U_L$  —— 干电池最低工作电压(V),一般取  $U_L = 1.25V$ ;

$I_c$  —— 表头的灵敏度(A);

在设计低压(电源电压  $U$ )高倍率档(如图 5-7 的  $R \times 100$  档)及最高倍率档(相应于电源电压增高到  $U'$ )时,为了充分利用表头灵敏度,在电路中总是断开表头的各分流支路。

(2) 零欧姆调整器支路元件参数的计算 从不带分流器的低压高倍率档入手计算,例如  $R \times 100$  档,它相应的简化图如图 5-8 所示。图中  $R'_0$  及  $R_0$  的计算公式为

$$I_c = \frac{U_L}{R_M} \quad I_H = \frac{U_H}{R_M}$$

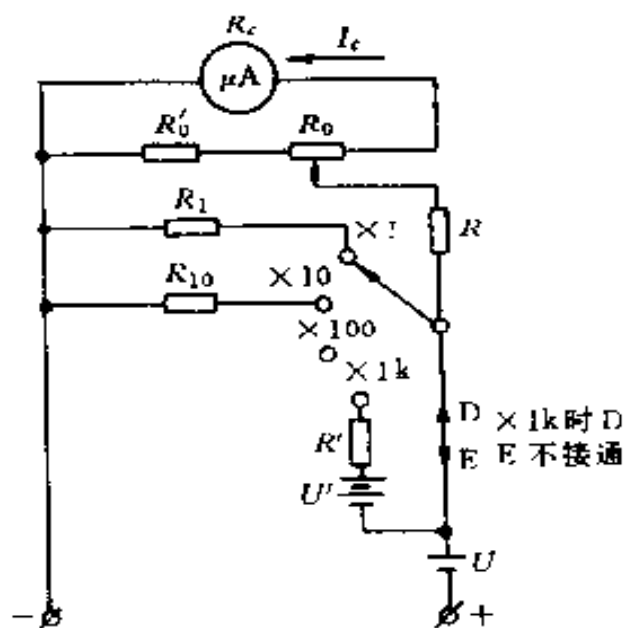


图 5-7 万用表电阻档的电路



$$R_{fL} = R'_0 + R_0 = \frac{R_c I_c}{I_L - I_c}$$

$$R'_0 = \frac{R_{fL} I_L}{I_H}$$

$$R_c = R_{fL} - R'_0$$

式中  $U_L$ ——干电池最低工作电压,  $U_L = 1.25V$ ;

$U_H$ ——干电池最高工作电压  $U_H = 1.7V$ 。

(3) 串联电阻  $R$  的计算 接入  $R$  后低压高倍率档的总内阻应等于其欧姆中心值  $R_M$ 。故

$$R = R_M \frac{(R_c + \frac{1}{2}R_0)(R'_0 + \frac{1}{2}R_0)}{(R_c + \frac{1}{2}R_0) + (R'_0 + \frac{1}{2}R_0)}$$

式中后一项是考虑到表头支路与零欧姆调整器支路的等效电阻而引入的, 在这里假定可动端处在  $R_0$  的中心。

(4) 低压电源较低倍率档分流电阻的计算 图 5-7 中的电阻  $R_{10}$ 、 $R_1$  可按下式求得

$$R_{10} = \frac{R_M R_{M10}}{R_M - R_{M10}}$$

$$R_1 = \frac{R_M (R_M - R_U)}{R_M - (R_{M1} - R_U)}$$

式中  $R_{M10}$ —— $R \times 10$  档的欧姆中心值,  $R_{M10} = \frac{1}{10} R_M$ ;

$R_{M1}$ —— $R \times 1$  档的欧姆中心值,  $R_{M1} = \frac{1}{100} R_M$ ;

$R_U$ ——干电池内阻, 对于一节  $1.5V$  的干电池  $R_U = 1\Omega$ 。

(5) 测量电阻的最高倍率档的考虑 由于最高倍率档的欧姆中心值  $R'_M$  比  $R_M$  大 10 倍, 其高压电源电压  $U'$  也应增加到  $U$  的 10 倍。此外

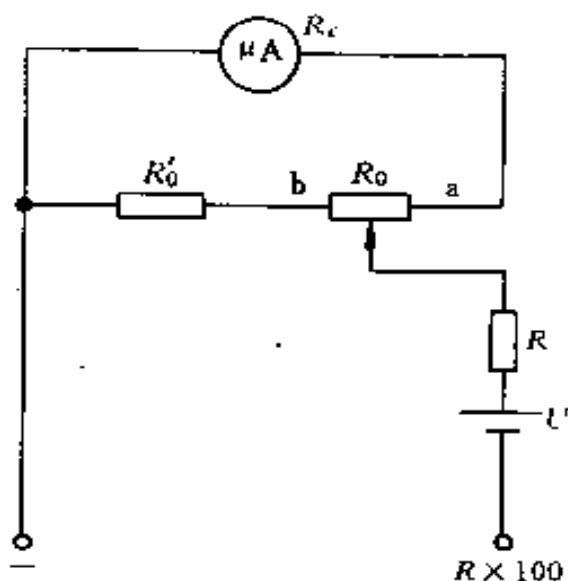


图 5-8 万用表低压高倍率档的电路

串联电阻  $R'$  为

$$R' = R'_M - R_M - R_{U'}$$

式中  $R_{U'}$  ——所用的高压叠层电池的内阻。

#### 四、电流和电压的测量

##### 1. 测量仪表的选择

###### (1) 电压、电流的量值

表 5-10 电压、电流的量值

量 值	直 流		交 流	
	电流(A)	电压(V)	电流(A)	电压(V)
大量值	$10^2 \sim 10^5$	$10^2 \sim 10^6$	$10^3 \sim 10^6$	$10^3 \sim 10^5$
中量值	$10^{-6} \sim 10^2$	$10^{-4} \sim 10^2$	$10^{-3} \sim 10^3$	$10^{-9} \sim 10^{-4}$
小量值	$10^{-17} \sim 10^{-6}$	$10^{-9} \sim 10^{-4}$	$10^{-7} \sim 10^3$	$10^{-7} \sim 10^{-3}$

###### (2) 测量电流用仪器仪表的范围和误差

表 5 11 测量电流用仪器仪表的范围和误差

仪器仪表	测量范围(A)	误差范围(%)
指示仪表	直流 $10^{-7} \sim 10^2$	2.5~0.1
	交流 $10^{-4} \sim 10^2$	2.5~0.1
直流电位差计	直流 $10^{-7} \sim 10^4$ ①	0.1~0.005
分流器	直流 $10 \sim 10^4$ ②	0.5~0.02
霍尔效应大电流仪	直流 $10^3 \sim 10^5$	2~0.2
直流互感器	直流 $10^3 \sim 10^5$	2~0.2
交流互感器	交流 $10^{-1} \sim 10^4$ ②	0.2~0.005
磁位计	直流 交流 $10^2$ 以上	0.1
检流计	直流 $10^{-11} \sim 10^{-6}$	根据定标
电子测量放大器	直流 $10^{-12} \sim 10^{-4}$	2~0.1
	交流 $10^{-15} \sim 10^{-4}$	0.5~0.1
电容放大器	直流 $10^{-15} \sim 10^{-5}$	5~2

① 根据选用的辅助设备而定。

② 指扩大量限器具性能。

### (3) 测量电压用仪器仪表的范围和误差

表 5-12 测量电压用仪器仪表的范围和误差

仪器仪表	测量范围(V)	误差范围(%)
指示仪表	直流 $10^{-3} \sim 5 \times 10^5$ ②	2.5~0.1
	交流 $10^{-3} \sim 5 \times 10^5$	2.5~0.1
直流电位差计	直流 $10^{-4} \sim 2$	0.1~0.001
交流电位差计	交流 $10^{-4} \sim 2$	0.5~0.1
数字电压表	直流 $10^{-4} \sim 10^3$	0.1~0.002
	交流 $10^{-4} \sim 10^3$	0.1~0.05
附加电阻	直流 $10 \sim 10^5$ ①	0.5~0.01
	交流 $10 \sim 10^3$ ①	0.5~0.01
分压器	直流 $10 \sim 10^3$ ①	0.2~0.001
	交流 $10 \sim 10^5$ ①	0.2~0.001
电压互感器	交流 $10^2 \sim 10^5$ ①	0.5~0.005
检流计	直流 $10^{-9} \sim 10^{-7}$	根据定标
电子测量放大器	直流 $10^{-7} \sim 10^{-3}$	2.5~0.1
	交流 $10^{-7} \sim 10^{-2}$	0.5~0.1

① 指扩大量程器具性能。

② 静电系电压表可直接测量交、直流线路中的高电压。

## 2. 中量值电流、电压的测量

测量线路图如图 5-9 所示。

测量电流时至少应满足

$$\frac{r}{R} \leq \frac{1}{5} \frac{\gamma}{100}$$

式中,  $r$ 、 $R$  见图 5-9。  $\gamma$  为允许的相对误差。

否则仪表串入后将改变被测电流值。

测量电压时, 至少应满足

$$\frac{R}{r_v} \leq \frac{1}{5} \frac{\gamma}{100}$$

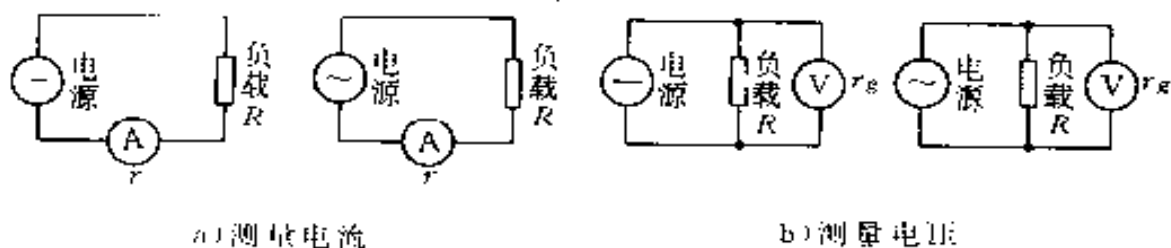


图 5-9 电流、电压的测量

### 3. 分流器和倍压器

#### (1) 分流器的计算

$$R_{FL} = \frac{R_c}{n - 1}$$

式中  $R_{FL}$  —— 电流表的分流电阻 ( $\Omega$ );

$R_c$  —— 电流表测量机构内阻 ( $\Omega$ );

$n$  —— 量限扩大倍数, 等于扩大后量限除以扩大前量限。

#### (2) 倍压器计算

$$R_{FL} = (m - 1)R_c$$

式中  $R_{FL}$  —— 电压表的倍压电阻 ( $\Omega$ );

$m$  —— 量限扩大倍数, 等于扩大后的电压量限除以扩大前的电压量限;

$R_c$  —— 电压表测量机构内阻 ( $\Omega$ )。

## 五、功率和电能的测量

### 1. 各种功率、电能测量仪器仪表

表 5-13 功率、电能测量仪器仪表

被测量	仪器仪表	测量范围	误差(%)
直流功率	电流表、电压表	1~600V, 0.1mA~50A	2.5~0.1
	功率表	1~1000V, 0.025~10A	2.5~0.1
	电位差计	由分压器分流器测量范围而定	0.1~0.005
	数字功率表	直接接通 100V, 5A	0.1~0.02

(续)

被测量	仪器仪表	测量范围	误差(%)
直流电能	直流电度表		2~1
单相交流功率	功率表	1~1000V, 0.025~10A	2.5~0.1
	交流电位差计	小功率	0.5~0.1
	交直流比较仪	10~100V, 0.01~10A	0.1~0.01
	数字功率表	直接接通 1000V, 5A	0.1~0.02
单相交流电能	交流电度表	110~220V, 1~50A	2
	标准电度表	5A, 100V	0.5~0.2
三相交流功率和电能	三相功率表、二个单相功率表、一个单相功率表	直接接通 1~1000V 0.025~10A	2.5~0.1
	三相电度表	由电压互感器电流互感器测量范围而定	

## 2. 直流功率的测量

(1) 用电流表、电压表测量 利用电流表和电压表分别测出负载  $R$  上的电流与电压, 间接测得直流功率为  $P=UI$ 。测量线路如图 5-10。注意图 a 和图 b 的接法不同, 其测量结果略有误差, 在一般情况下多采用图 a 接法, 在低压大电流或精密测量时, 采用图 b 的接法为宜。

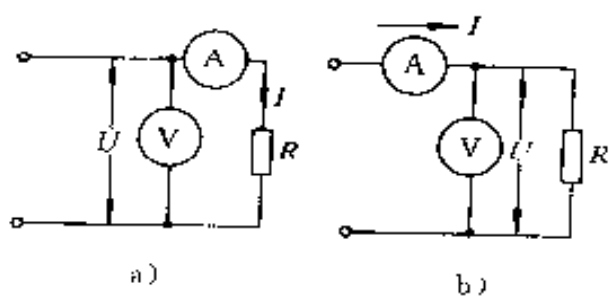


图 5-10 用电流表电压表测功率

(2) 用功率表测量 其测量线路见图 5-11。图中功率表电压线圈的二种接法都有方法误差, 在一般情况下多采用图 a 接法, 在低压大电流或精密测量时, 采用图 b 的接法为宜。

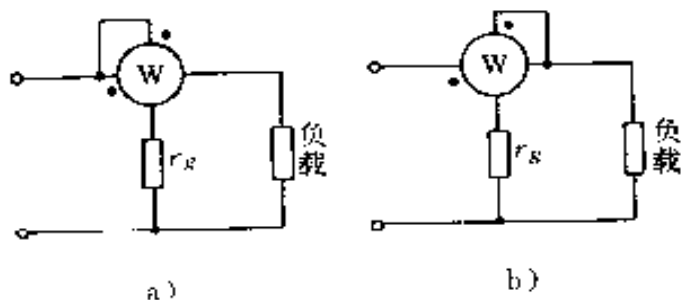


图 5-11 用功率表测量功率

中的接线 如图 5-12 所示。

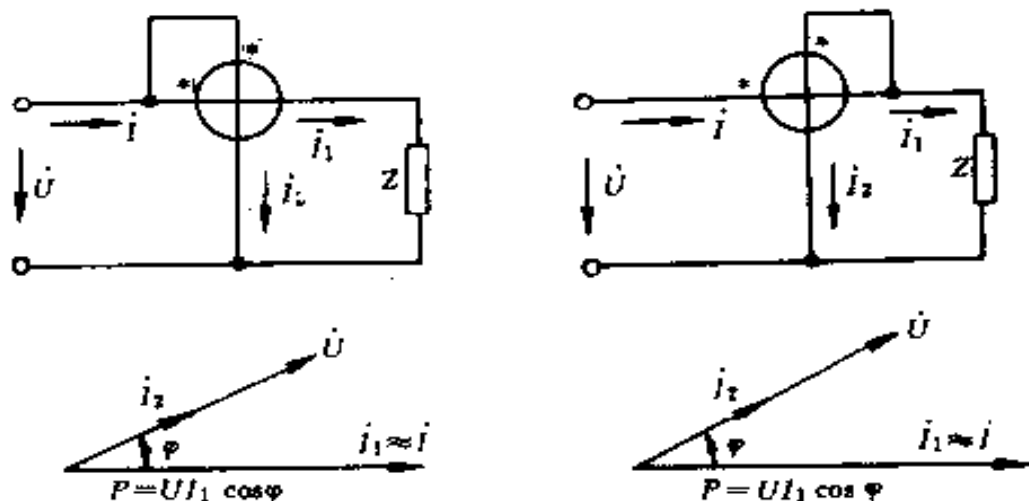


图 5-12 单相功率表的接线

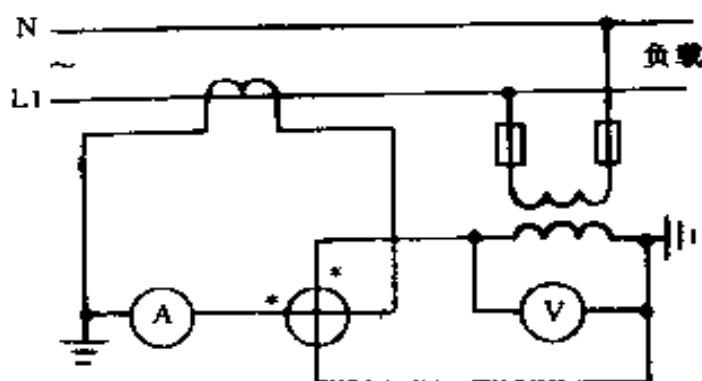


图 5-13 功率表通过电流、电压互感器在电路中的接线

### 3. 交流功率的测量

(1)功率表的选择 功率表的选择必须使功率表的额定电压、额定电流和额定功率因数,略大于或等于被测电路的相应参数。

(2)单相交流电路有功功率的测量

1)单相功率表直接接入电路

2)单相功率表通过电流、电压互感器接入电路中的接线 如图 5-13 所示。

3)功率表的读数方法

$$P = C\alpha$$

$$C = \frac{U_n I_n}{a_m}$$

式中  $P$  —— 实际功率值 (W);

$C$  ——分格常数(W/格);

$U_n$  ——所使用功率表的额定电压(V);

$I_n$  ——所使用功率表的额定电流(A);

$a_m$  ——功率表标度尺满刻度的格数。

### (3) 三相有功功率的测量

1) 用一个功率表测量对称三相四线制电路的有功功率的接线如图 5-14 所示。三相电路的总功率

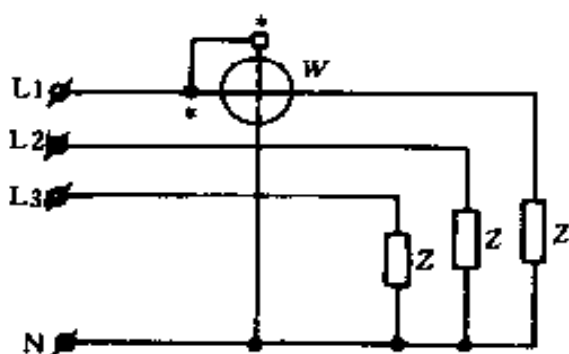


图 5-14 用一个功率表测量对称三相四线制电路功率

$$P = 3W$$

式中  $W$  ——功率表的读数。

2) 用两个功率表测量三相功率的接线如图 5-15 所示,三相总功率

$$P = W_1 + W_2$$

式中  $W_1, W_2$  ——两个功率表的读数。

3) 用三个功率表测量不对称三相四线制功率的接线如图 5-16 所示,三相总功率

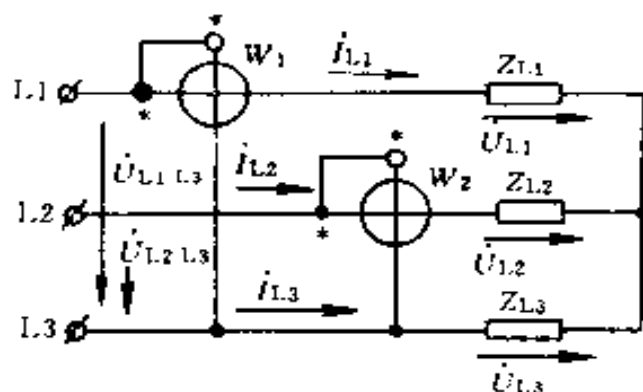


图 5-15 用两个功率表测量三相功率

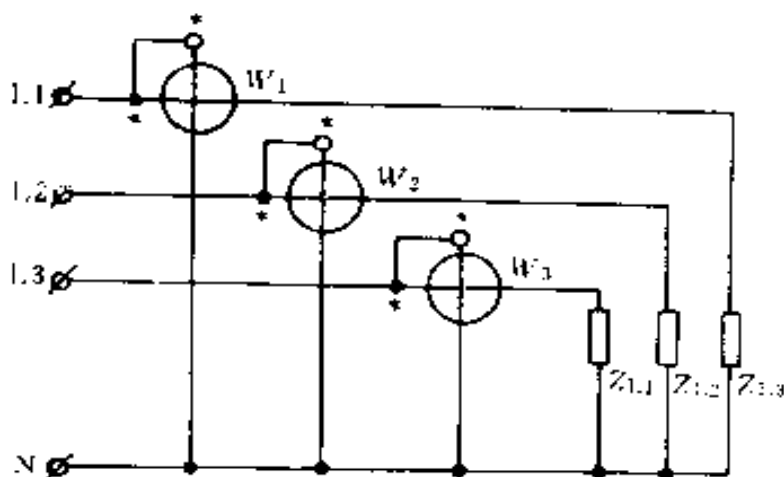


图 5-16 用三个功率表测量不对称三相四线制的功率

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

式中  $W_1, W_2, W_3$  ——分别为三个功率表的读数。

(4) 三相无功功率的测量

1) 用一个功率表测量完全对称三相电路的无功功率的接线如图 5-17 所示, 三相无功功率

$$Q = \sqrt{3} W$$

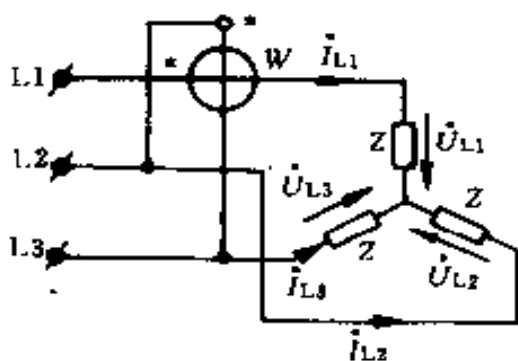


图 5-17 用一个功率表测量完全对称三相电路无功功率

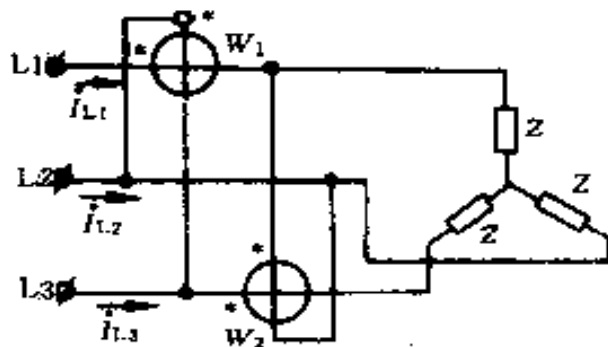


图 5-18 用两个功率表测量完全对称三相电路的无功功率

2) 用两个功率表测量完全对称三相电路的无功功率的接线如图 5-18 所示, 三相无功功率

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2} (W_1 + W_2)$$

3) 借助人工中性点用两表法测量简单不对称的三相电路的无功功率的接线如图 5-19 所示, 图中  $R$  与两个功率表的电压支路的附加电阻的大小一样, 三者构成一个人工中性点。三相无功功率

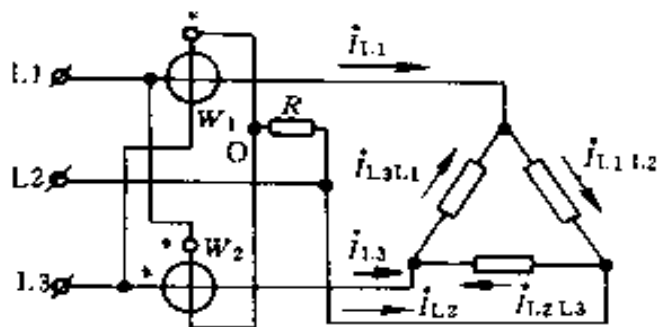


图 5-19 借助人工中性点用两表法测量简单不对称的三相电路的无功功率

$$Q = \sqrt{3} (W_1 + W_2)$$

4) 用三个功率表测量三相电路无功功率的接线如图 5-20 所示, 三



### 相无功功率

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (W_1 + W_2 + W_3)$$

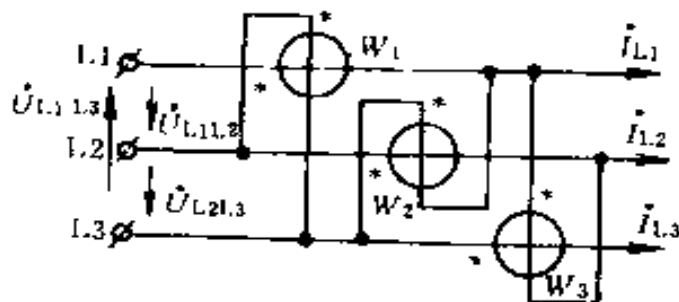


图 5-20 用三个功率表测量三相电路无功功率

### 4. 交流电能的测量

#### (1) 单相电度表的接线线路

1) 单相电度表直接接线线路见图 5-21。

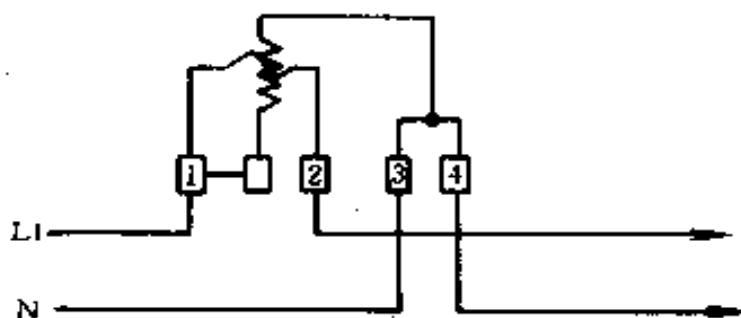


图 5-21 单相电度表直接接线

2) 单相电度表经电流互感器接线线路见图 5-22。

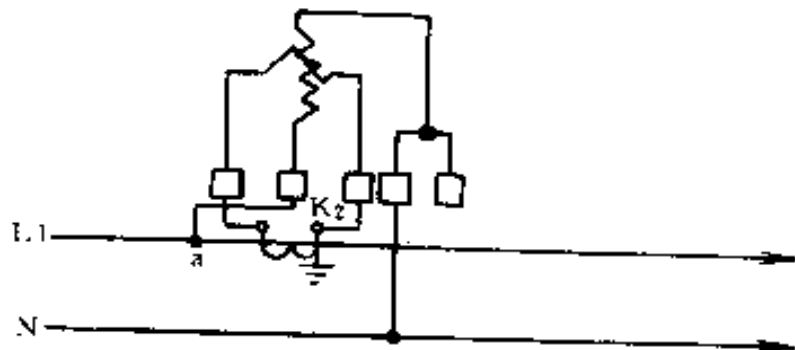


图 5-22 单相电度表经电流互感器接线

#### (2) 三相三线制电度表的接线线路

- 1) 三相三线有功电度表直接接线线路见图 5-23。
- 2) 三相三线有功电度表经电流互感器接线线路见图 5-24。

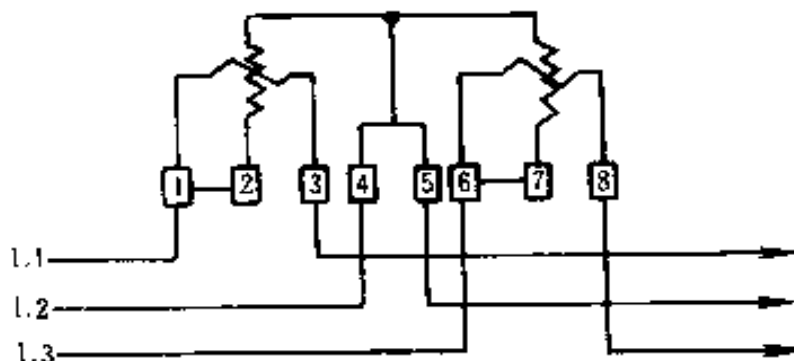


图 5-23 三相三线有功电度表直接接线

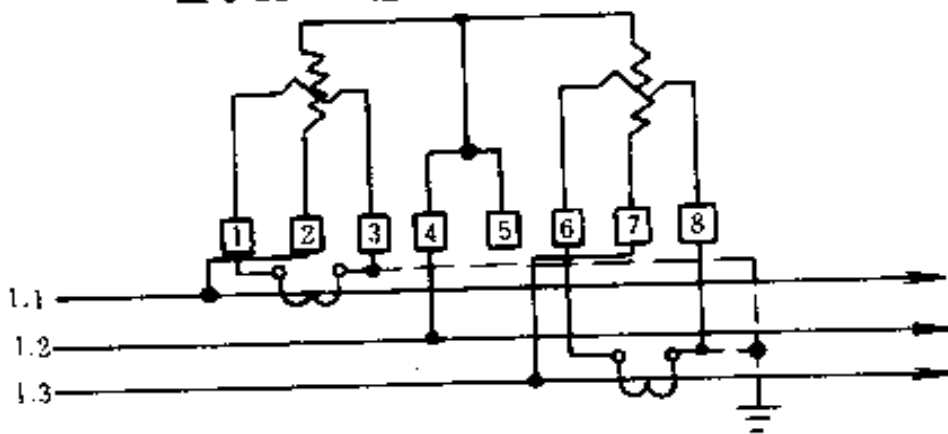


图 5-24 三相三线有功电度表经电流互感器接线

(3) 三相四线制电度表的接线线路

- 1) 三相四线制有功电度表直接接线线路见图 5-25。

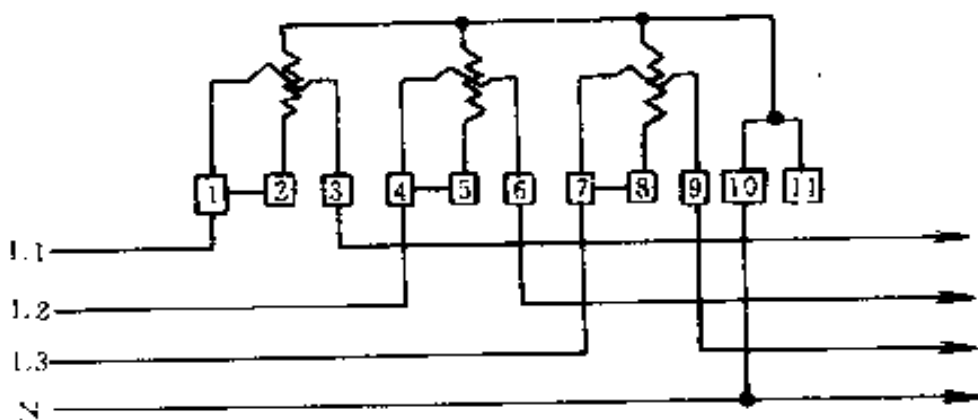


图 5-25 三相四线制有功电度表直接接线

2)三相四线制有功电度表经电流互感器接线线路见图 5-26。

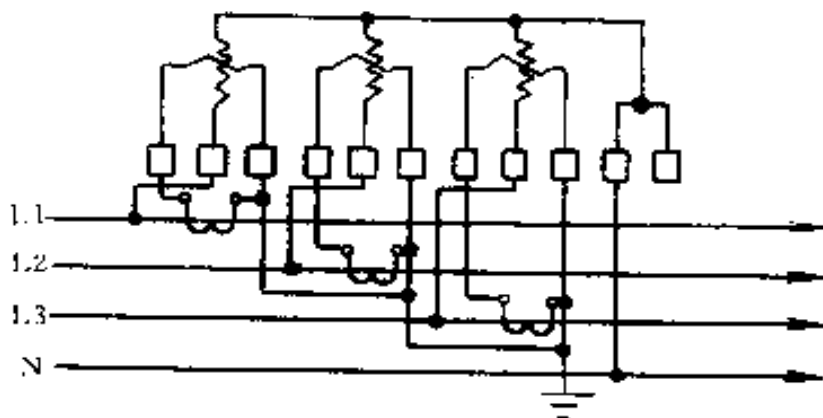


图 5-26 三相四线制有功电度表经电流互感器接线

3)三相四线制有功电度表经二只电流互感器接线线路见图 5-27。

4)用三只单相电度表经三只电流互感器测量三线四线制用电量的接线线路见图 5-28。

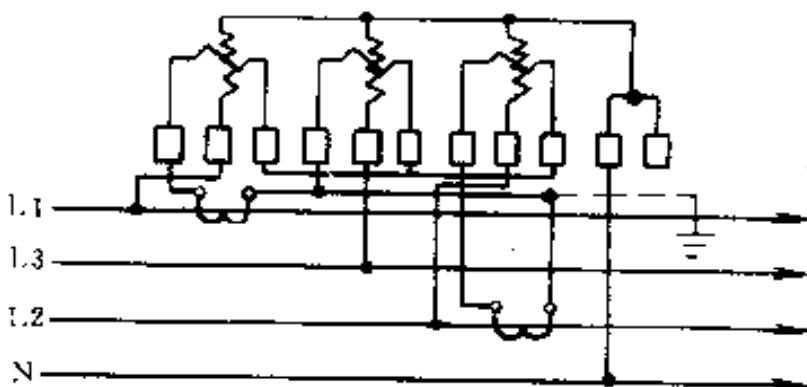


图 5 27 三相四线制有功电度表经二只电流互感器接线

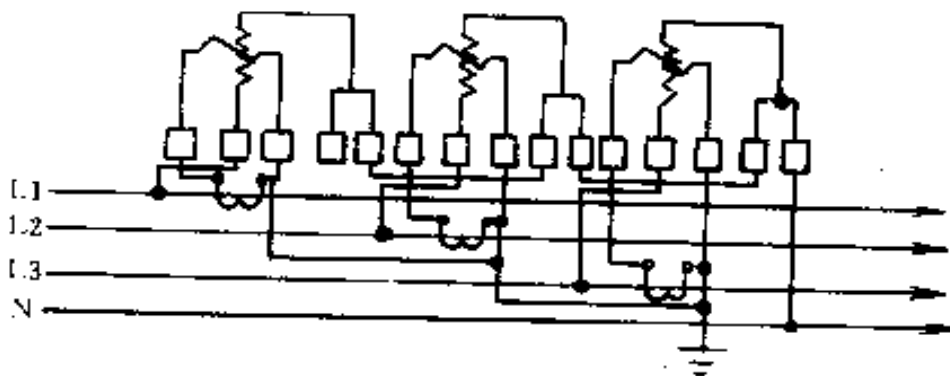


图 5-28 三只单相电度表经三只电流互感器接线

(4)无功电能的测量

- 1) 用单相电度表测量无功电能的接线线路见图 5-29。
- 2) 三相无功电度表直接接线线路见图 5-30。
- 3) 三相无功电度表经电流互感器的接线线路见图 5-31。

(5) 常用电工仪表的安装线路

1) 三相三线有功电度表、三只交流电流表经二只电流互感器的联合接线线路见图 5-32。

应用范围: 上述线路适用于测量三相三线制电路上的电流和用电量。

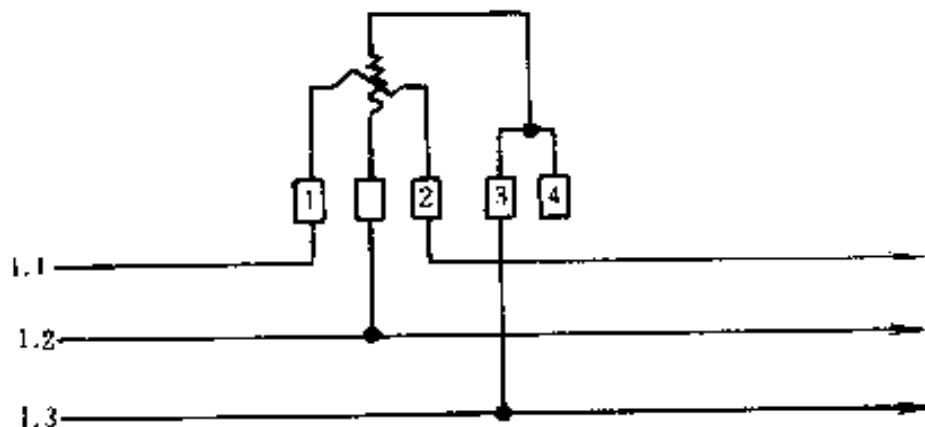


图 5-29 用单相电度表测量无功电能的接线

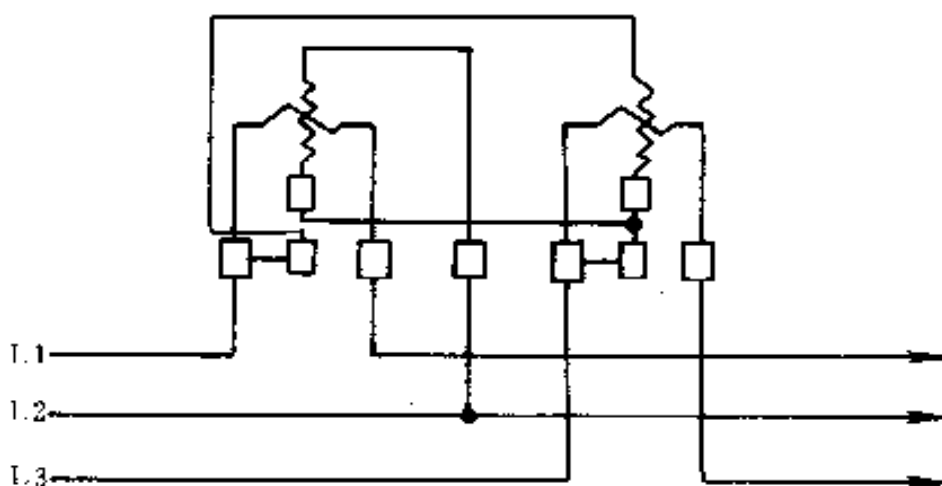


图 5-30 三相无功电度表直接接线

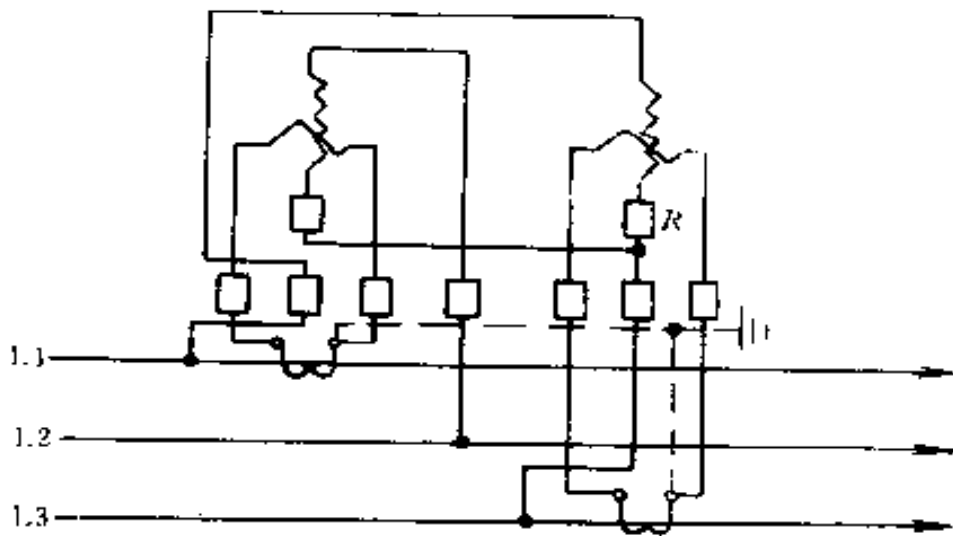


图 5-31 三相无功电度表经电流互感器的接线

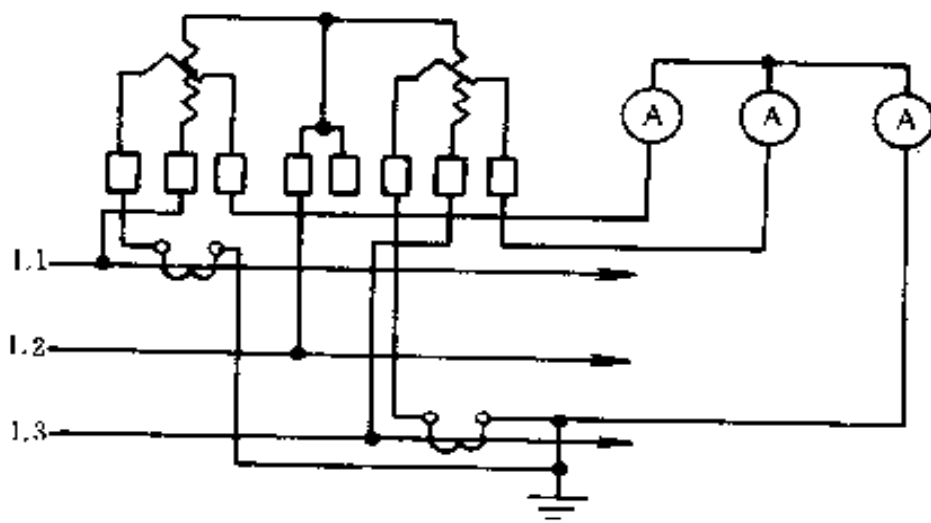


图 5-32 三相三线制联合接线

2) 三相四线有功电度表、三只交流电流表经三只电流互感器的联合接线线路见图 5-33。

应用范围：上述线路适用于测量三相四线制电路上的电流和用电量。

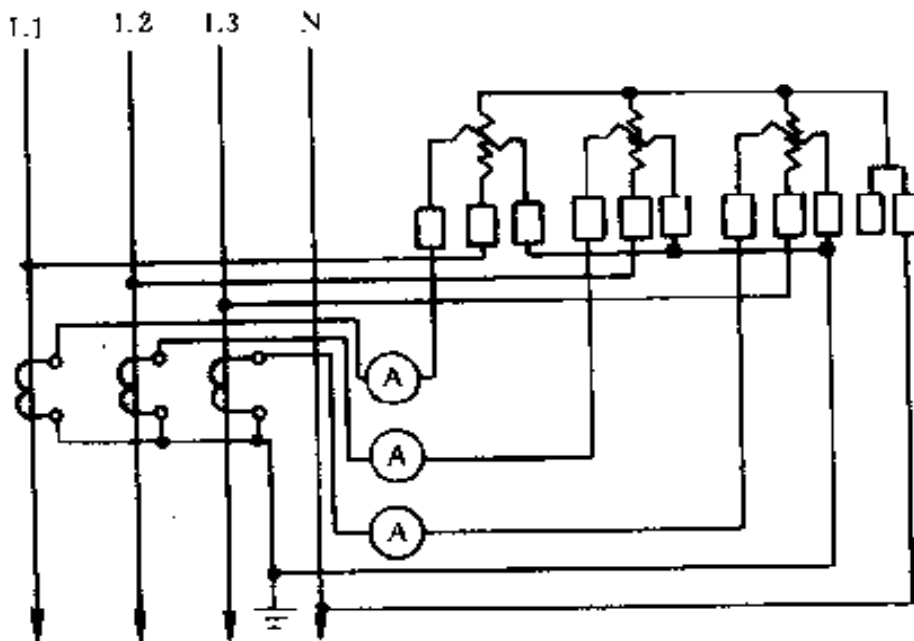


图 5-33 三相四线制联合接线

## 六、电路参数的测量

### 1. 直流电阻的测量

#### (1) 直流电阻测量仪器仪表的测量范围

表 5-14 直流电阻测量仪器仪表的测量范围

测量手段	测量范围 ( $\Omega$ )	误差范围 (%)
双电桥	$10^{-6} \sim 10^2$	2~0.01
安培表、毫伏表	$10^{-8} \sim 10^6$	1~0.2
欧姆表	$10^{-2} \sim 10^6$	5~0.5
单电桥	$10 \sim 10^6$	1~0.01
电位差计	$10^{-2} \sim 10^6$	0.1~0.005
数字欧姆表	$10^{-2} \sim 10^8$	0.1~0.02
检流计	$10^6 \sim 10^{12}$	5~1
直流放大器	$10^4 \sim 10^{12}$	5~0.5

(续)

测量手段	测量范围( $\Omega$ )	误差范围(%)
电容充放电	$10^{11} \sim 10^{14}$	1~0.1
超高阻电桥	$10^8 \sim 10^{13}$	1~0.03
	$10^{14} \sim 10^{17}$	5~1
三次平衡电桥	$10^{-6} \sim 10^3$	2~0.01

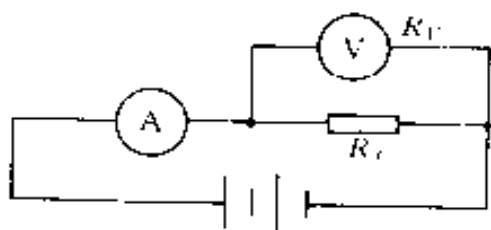


图 5-34 电流表、电压表测电阻

(2)中、小值电阻的测量 图 5-34 为电流表、电压表法测量线路,在中值电阻测量时用毫安表、伏特表,在小值电阻测量时用安培表、毫伏表。被测电阻  $R_x = U / (I - (U/R_V))$ ,  $U$ 、 $I$  分别为电压表、电流表的读数,  $R_V$  为电压表内阻,当  $R_V \gg R_x$  时,  $R_x \approx U/I$ 。  $I/I_V$  或  $R_V/R_x$  的比值越大,方法误差越小。由于通过被测电阻的电流受电阻元件允许功率的限制,不可能随意增加。

## 2. 交流电参量的测量

### (1) $R$ 、 $L$ 、 $C$ 参数测量

表 5-15  $R$ 、 $L$ 、 $C$  参数测量

对象	方法	量限	工作频率(Hz)	误差(%)
$R$	电桥法	$0.01 \sim 10^4 \Omega$	1000	0.1~0.01
	1)交流阻抗电桥 2)直流下测出 $R_x$ 用时间常数桥测 $\tau$		1000	
$C$ $10^{-6} \sim 10^2 \text{pF}$	电桥法	下限到 $10^{-6} \text{pF}$	50~10000 (常用 1000)	0.02~1
	1)交流阻抗电桥		1000, 1592	0.0001~0.1
	2)变压器电桥 3)数字电容电桥		120, 400, 1000, 1592, 10 <sup>6</sup>	0.1

(续)

对象	方法	量限	工作频率(Hz)	误差(%)
C 10 <sup>-6</sup> ~ 10 <sup>2</sup> pF	谐振法 Q表	30~500pF	30k~100M	1
	直读法 电子式pH计	1~50pF	1000	1
C 10 <sup>2</sup> pF~ 10 <sup>3</sup> μF	电桥法 1)交流阻抗电桥	10 <sup>2</sup> pF~10 <sup>3</sup> μF	50~10000 (常用1000)	0.02~1
	2)变压器电桥	上限到10 <sup>4</sup> pF	1592	0.0001~0.1
	3)数字电容电桥	上限到10 <sup>3</sup> μF	120,400,1000, 1592	0.1
	直读法 1)电流、电压表法 2)电磁系或电动系 法拉计(少用)	1~10μF	- 50	1 1
	C >1000μF	电桥法 低频四臂电桥	1000μF~10F	≤50
	充电法	下限到1000μF	直流	5~10
C (电解 电容) 1~ 2000μF	电桥法 1)交流阻抗桥(需外 加直流偏置,若无 偏置,施加电容上 电压应小于0.5 ~1V)	1~10 <sup>3</sup> μF	50	1
	2)数字电桥(有的允 许加偏置,有的不 允许加偏置)	1~10μF	100	1



(续)

对象	方法	量限	工作频率(Hz)	误差(%)
电感 $L$ (空心)	电桥法 1)交流阻抗电桥 2)变压器电桥	0.1 $\mu$ H~1000H 10 <sup>-2</sup> $\mu$ H~10 <sup>6</sup> H	50~10000(1000) 1000,1592	0.1~1 0.01
	谐振法 Q表	0.1~100mH	50k~300M	1
电感 $L$ (有 直流偏置 铁心电感)	电桥法 交流阻抗电桥 (应允许加直流偏置)	<1000H	50~1000	1
电感 $L$ (无直流 偏置的铁 心电感)	直读法 电流、电压表法	>1mH	50	2~5
	电桥法 交流阻抗电桥 (当工作电流小,不 计铁心非线性时)	<1000H	50~1000	

## (2) $\tau$ 、 $\text{tg}\delta$ 、 $Q$ 、 $M$ 参数测量

表 5-16  $\tau$ 、 $\text{tg}\delta$ 、 $Q$ 、 $M$  参数测量

对象	方法	量限	工作频率(Hz)	误差(%)
电阻时间 常数 $\tau$	电桥法 1)六臂交流电桥 2)时间常数电桥 3)变压器电桥	10 <sup>-9</sup> ~10 <sup>-7</sup> s	1000	—
电容介质 损耗 $\text{tg}\delta$	电桥法 1)交流阻抗电桥 2)西林电桥 3)数字电桥		1000 50 1000	0.5 0.5 0.1
	谐振法 Q表	0.0001~1	50k~300M	1

(续)

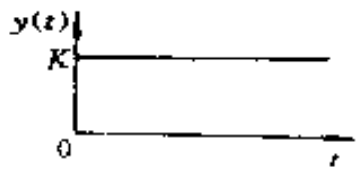
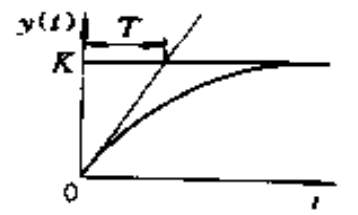
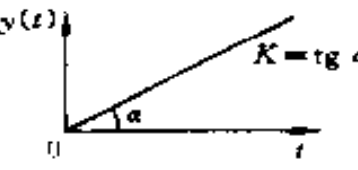
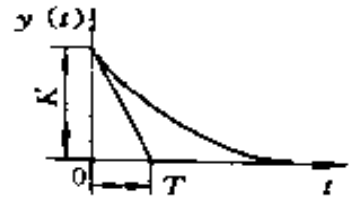
对 象	方 法	量 限	工作频率(Hz)	误差(%)
电 感 线 圈 品 质 因 数 $Q$	电 桥 法 (通过测 $L$ 及 $r$ , $Q = \frac{\omega L}{r}$ )	—	100	1
	谐 振 法 $Q$ 表	20~800	50k~100M 最高可达 300M	5~10 此时精度略有下降
互 感 $M$	电 桥 法 1) 交流阻抗电桥 2) 互感电桥		1000 1000	0.5 0.5
	直 读 法 电 流 电 压 表 法	—	50	1
	冲 击 检 流 计 法	—	—	1

## 第六章 自动控制理论基础

### 一、自动控制系统的数学模型

#### 1. 典型环节的传递函数及单位阶跃响应

表 6-1 典型环节的传递函数及单位阶跃响应

环节名称	传递函数	单位阶跃响应
比例环节	$K$	
非周期环节	$\frac{K}{Ts+1}$	
积分环节	$\frac{K}{s}$	
实际微分环节	$\frac{KTs}{Ts+1}$	

(续)

环节名称	传递函数	单位阶跃响应
振荡环节	$\frac{K}{T^2s^2 + 2\zeta Ts + 1}$ $(0 < \zeta < 1)$	
延迟环节	$e^{-ts}$	

## 2. 简单电网络的传递函数

表 6-2 简单电网络的传递函数

名称	电路	传递函数
积分电路		$\frac{1}{RCs+1}$
微分电路		$\frac{RCs}{RCs+1}$
超前校正网络		$\frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot \frac{R_1Cs+1}{\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot R_1Cs+1}$

(续)

名称	电路	传递函数
滞后校正网络		$\frac{R_2Cs+1}{\frac{R_1+R_2}{R_2}R_2Cs+1}$
滞后超前校正网络		$\frac{(R_1C_1s+1)}{R_1R_2C_1C_2s^2} \times (R_2C_2s+1)$ $+ (R_1C_1+R_2C_2+R_1C_2)s+1$
运算放大器电路的一般形式		$-\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$ <p> <math>Z_1(s)</math> — 输入变换阻抗  <math>Z_2(s)</math> — 输出变换阻抗                 </p>
一阶惯性环节		$-\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1+R_2Cs}$
比例-积分调节器 (PI)		$-\frac{1+R_2Cs}{R_1Cs}$

### 3. 方框图的等效变换

对于复杂系统的传递函数的计算,可先求得各组成环节的传递函数,然后利用表 6-3 所列方块图等效变换法则综合得到系统的传递函数。

表 6-3 方框图的等效变换

变 换	原方框图	等效方框图
连续分叉点 变换次序		
连续汇交点 变换次序		
分叉点移到 环节后面		
分叉点移到 环节前面		
汇交点移到 环节后面		
汇交点移到 环节前面		

(续)

名称	原方框图	等效方框图
串联		
并联		
反馈联接		

#### 4. 典型环节的频率特性

表 6-4 给出了五个典型环节的幅相频率特性,对数频率特性的表达式及相应的频率特性图。幅相频率特性图系当  $\omega$  从 0 到  $\infty$  变化时,幅相频率特性在复平面上走过的轨迹。对数频率特性图系以  $\omega$  的对数分度为横轴,  $L_{\infty}M(\omega)$  (dB) 及  $\varphi(\omega)$  (rad) 为纵轴绘出的曲线。

表 6-4 典型环节的频率特性

环节名称	频率特性	幅相频率特性图	对数频率特性图
比例环节 $G(s) = K$	$G(j\omega) = Ke^{j0}$ $L_{\infty}M(\omega) = 20\lg K$ $\varphi(\omega) = 0$		

(续)

环节名称	频率特性	幅相频率特性图	对数频率特性图
积分环节 $G(s) = \frac{1}{s}$	$G(j\omega) = \frac{1}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$ $L_m M(\omega) = -20 \lg \omega$ $\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2}$		
非周期环节 $G(s) = \frac{1}{Ts+1}$	$M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \omega T$ $L_m M(\omega) = -20 \times \lg \sqrt{1+\omega^2 T^2}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \omega T$		
振荡环节 $G(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1}$	$M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2 T^2)^2 + (2\zeta \omega T)^2}}$ $\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\zeta \omega T}{1-\omega^2 T^2}$		
延迟环节 $G(s) = e^{-\tau s}$	$G(j\omega) = e^{-j\omega\tau}$ $L_m M(\omega) = 0$ $\varphi(\omega) = -\omega\tau$		



## 二、自动控制系统分析

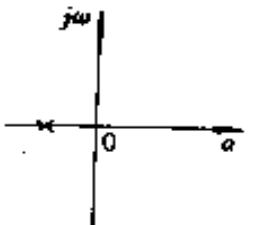
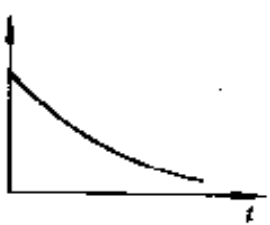
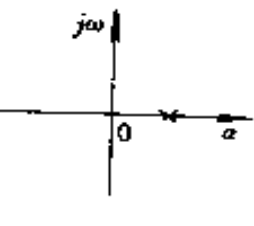
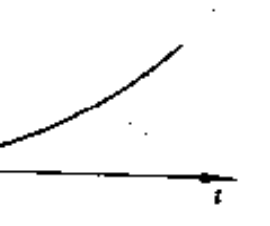
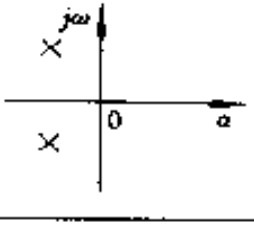
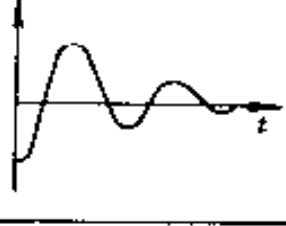
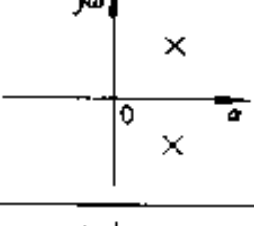
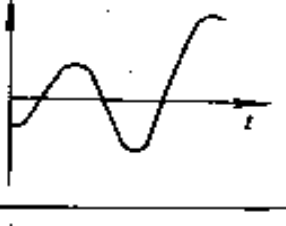
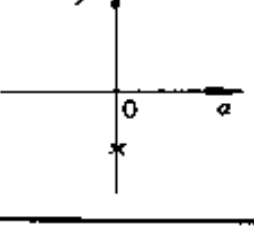
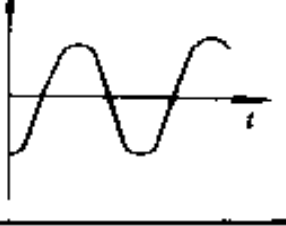
### 1. 线性系统稳定性与特征方程根的关系

对于线性单输入单输出系统,其特征方程为:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

相应系统特征方程式的根与其稳定性关系见表 6-5。显然,若特征

表 6-5 系统稳定性与特征方程根的关系

情况	根的性质		根在复数平面上的位置	自然运动分量
1	实根 $s = a$	$a < 0$		
2		$a > 0$		
3	一对复根 $s = a \pm j\omega$	$a < 0$		
4		$a > 0$		
5		$a = 0$		

方程的所有根具有负实部,则系统是稳定的。

## 2. 控制系统的稳态误差

系统在一定形式输入信号作用下,由原来平衡状态过渡到新的平衡状态,系统的实际输出与希望输出之间的偏差,称为稳态误差,即:

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} [r(t) - y(t)]$$

(1) 随动控制系统的稳态误差 对于随动控制系统,主要输入信号来源于参考输入,相应误差传递函数(见图 6-1a)为

$$E_r(s) = \frac{1}{1+G(s)H(s)}R(s) = \frac{1}{1+G_K(s)}K(s)$$

随动系统结构一般按开环传递函数中所包含积分环节数目来划分,若控制系统开环传递函数

$$G_K(s) = \frac{K(T_{\nu}s+1)\cdots(T_ms+1)}{s^{\nu}(T_1s+1)\cdots(T_ns+1)}$$

当  $\nu=0,1,2,\dots$  时,系统分别称为 0 型,1 型,2 型……系统。

表 6-6 列出了随动控制系统在不同参考输入信号作用下系统的稳态误差。

表 6-6 系统在不同输入信号下的稳态误差

系 统	阶跃输入	斜坡输入	抛物线输入
	$r(t)=1(t)$	$r(t)=t$	$r(t)=\frac{1}{2}t^2$
0 型	$\frac{1}{1+K}$	$\infty$	$\infty$
1 型	0	$\frac{1}{K}$	$\infty$
2 型	0	0	$\frac{1}{K}$

(2) 定值控制系统的稳态误差 对于定值控制系统,其输入信号主要来源于外部扰动,扰动输入作用下的误差传递函数(图 6-1b)为

$$E_f(s) = -\frac{G_D(s)H(s)}{1+G_K(s)}F(s)$$

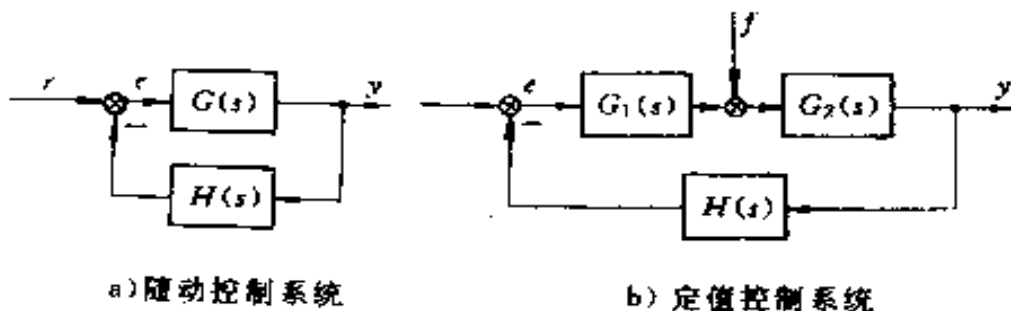


图 6-1 随动控制系统与定值控制系统

单位阶跃扰动输入作用下的稳态误差为：

$$e_{ss} \approx \frac{1}{G_1(0)} \quad (G_k(0) \gg 1 \text{ 时})$$

其中,  $G_1(0) = \lim_{s \rightarrow 0} G_1(s)$ , 即当开环放大系数足够大时, 扰动输入引起稳态误差, 主要取决于扰动作用点以前系统前向通路的传递函数。如果扰动作用点以前系统前向通路传递函数中包含有积分环节时, 则系统在阶跃扰动作用下的稳态误差趋近于零。

### 3. 二阶系统的瞬态响应性能指标

典型二阶系统参考输入通道传递函数为

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\omega_n \zeta s + \omega_n^2}$$

式中  $\zeta$ ——二阶系统阻尼系数；  
 $\omega_n$ ——无阻尼自然振荡频率。

对于欠阻尼系统 ( $0 < \zeta < 1$ ) 在单位阶跃参考输入作用下二阶系统输出为

$$y(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \left( \omega_d t + \arctg \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

式中  $\omega_d$ ——阻尼振荡频率,  $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ 。

相应性能指标如下：

上升时间 
$$t_r = \frac{\pi - \arctg \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

峰值时间 
$$t_p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

超调量(%) 
$$\sigma_p = (e^{-\zeta\pi / \sqrt{1-\zeta^2}}) \times 100$$

调节时间 
$$t_s = \frac{3 \sim 4}{\zeta\omega_n}$$

对于定值系统(如采用比例控制器的过程控制系统),系统扰动通路传递函数可化为

$$G_F(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

在单位阶跃扰动信号作用下相应的过程控制系统性能指标为

衰减率 
$$\psi = 1 - e^{-\zeta\pi / \sqrt{1-\zeta^2}}$$

最大动态偏差 
$$y_{\max} = K \left( 1 + e^{-\zeta\pi / \sqrt{1-\zeta^2}} \right)$$

稳态误差 
$$y_{\infty} = -\frac{1}{G_F(0)}$$

振荡周期 
$$T = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

调节时间 
$$t_s = \frac{3 \sim 4}{\zeta\omega_n} \quad (\text{对应误差带 } \delta = \pm 2\% \sim 5\%)$$

### 三、自动控制系统的校正

#### 1. 超前(微分)校正

典型超前校正网络见图 6-2a。相应传递函数为

$$G_c(s) = \frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \alpha \frac{Ts+1}{aTs+1} = \frac{1}{K_d} \cdot \frac{Ts+1}{\frac{T}{K_d}s+1}$$

式中  $T=R_1C$

$$\alpha = \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$K_d = \frac{R_1+R_2}{R_2}$$

相应幅相频率特性和对数频率特性见图 6-2b、c。

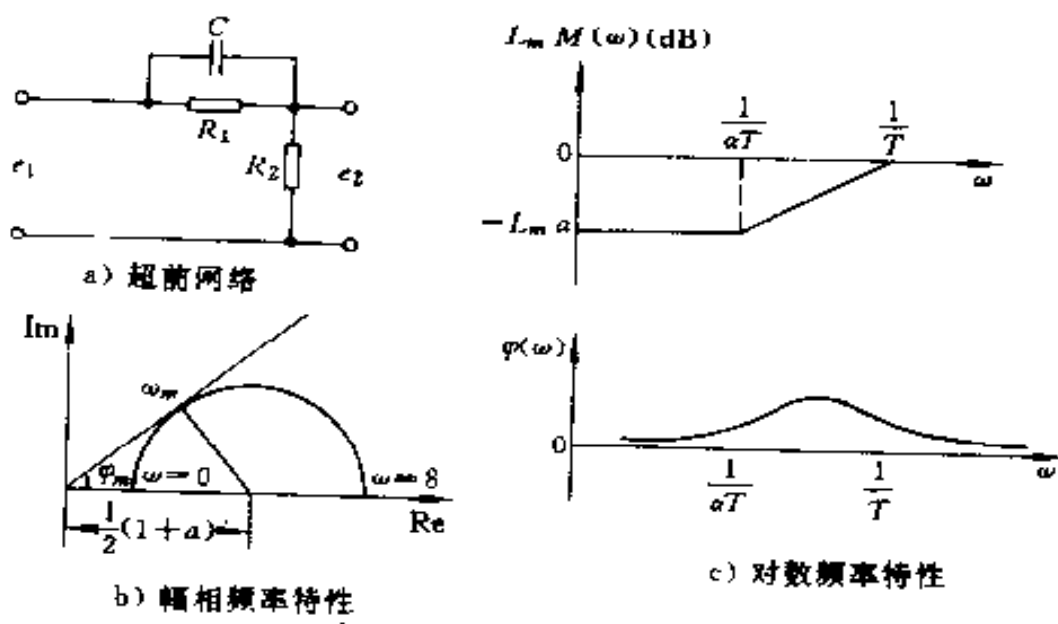


图 6-2 超前校正网络的频率特性

## 2. 滞后(积分)校正

典型滞后校正网络见图 6-3a。其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{Ts + 1}{\beta Ts + 1}$$

式中  $T = R_2C$

$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

相应幅相频率特性和对数频率特性见图 6-3b、c。

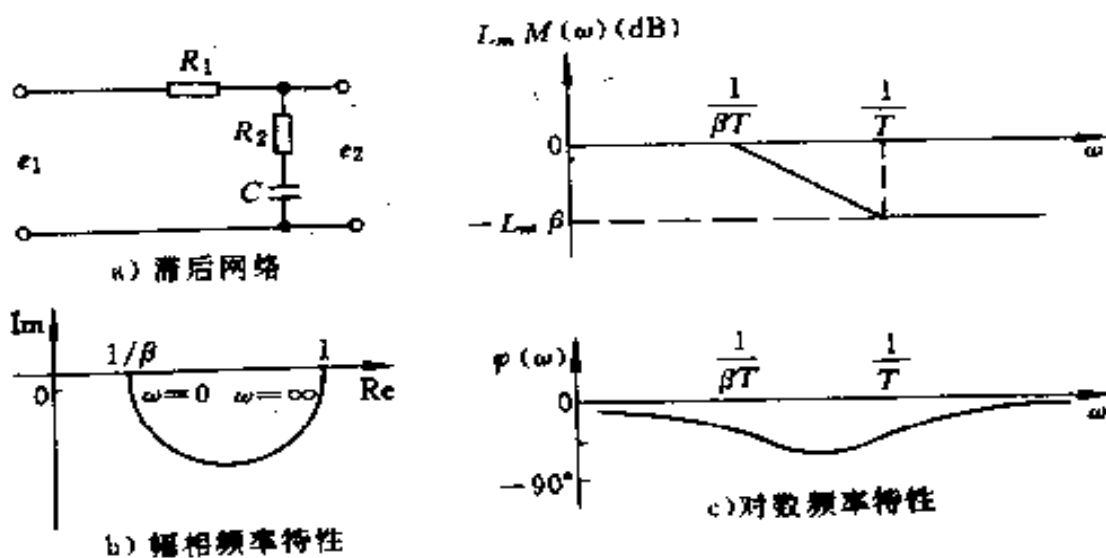


图 6-3 滞后校正网络的频率特性

### 3. 滞后-超前校正

典型滞后-超前校正网络见图 6-4a, 其传递函数为

$$G_c(s) = \frac{E_2(s)}{E_1(s)} = \frac{(T_2s+1)(T_2s+1)}{\left(\frac{T_1}{\beta}s+1\right)(\beta T_2s+1)}$$

式中  $T_1 = R_1C_1$

$T_2 = R_2C_2$

$$\frac{T_1}{\beta} + \beta T_2 = R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2 \quad (\beta > 1)$$

相应幅相频率特性和对数频率特性见图 6-4b、c。

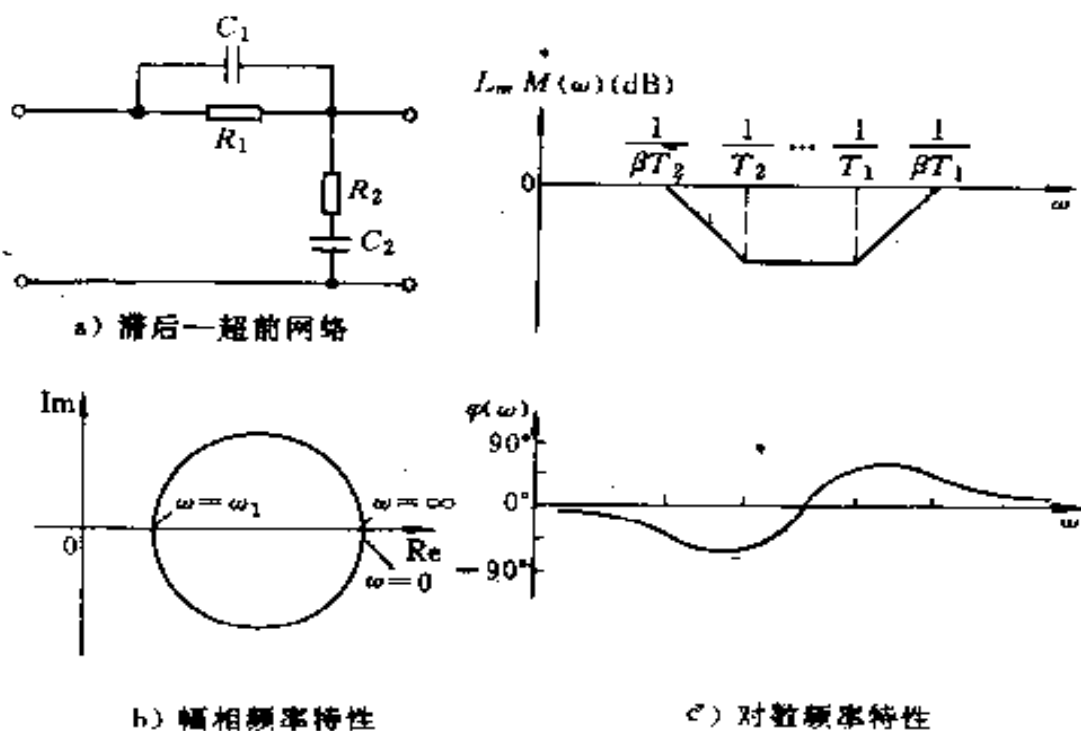


图 6-4 滞后-超前网络的频率特性

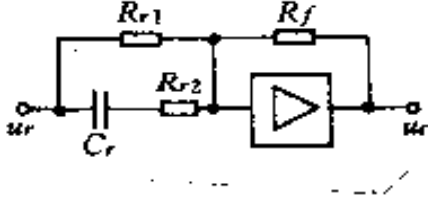
#### 4. 常用调节器线路图与传递函数

表 6-7 常用的调节器

名 称	线 路 图	传 递 函 数
比 例 (P)		$W(s) = K_P$ $K_P = -\frac{R_f}{R_r}$
惯 性 (T)		$W(s) = K_P \frac{1}{1 + \tau_T s}$ $K_P = -\frac{R_f}{R_r}$ $\tau_T = R_f C_f$
积 分 (I)		$W(s) = -\frac{1}{\tau_I s}$ $\tau_I = R_r C_f$
比例积分 (PI)		$W(s) = K_P + \frac{1}{\tau_I s} = K_P \frac{1 + \tau_D s}{\tau_I s}$ $K_P = -\frac{R_f}{R_r}$ $\tau_I = R_r C_f$ $\tau_D = R_f C_f$
微 分 (D)		$W(s) = -\frac{\tau_D s}{1 + \tau_r s}$ $\tau_D = R_f C_r$ $\tau_r = R_r C_r$



(续)

名称	线路图	传递函数
比例微分 (PD)		$W(s) = K_P \frac{(\tau_{r1} + \tau_{r2})s + 1}{\tau_{r2}s + 1}$ $K_P = -\frac{R_f}{R_{r1}}$ $\tau_{r1} = R_{r1}C_r$ $\tau_{r2} = R_{r2}C_r$

## 第七章 袖珍电子计算器与微型电子计算机

### 一、袖珍电子计算器

#### 1. 常用电子计算器类型、功能和部分型号

表 7-1 常用电子计算器类型、功能和部分型号

类型	通用型		函数型	
功能	四则混合计算、累加、累减、连乘、连除、平方、开方、整常指数幂、百分比、倒数等		除具有通用型功能外,还有:开立方、乘方、三角函数、反三角函数、对数、反对数、阶乘、双曲函数、反双曲函数、排列组合、单变量数理统计、复数运算、矢量、定积分等	
型号	B-1 CQ-81 CX-8138AN EL-210 EL-211 EL-257 EL-8131 EL-8158 FT-808 LC-8005 M-1 M-8 M-8S ML-80 ML-81	MODEL-280 SS-2 SS-122 SWAN-1338 801MR 805MD 广州 121A	EL-501 EL-504 EL-505 EL-506 EL-5001 EL-5002 EL-5003 EL-5811 EL-5812 fx-31 fx-39 fx-80 fx-81 fx-100 fx-120 fx-140	fx-150 fx-330 fx-505 fx-602 fx-2200 fx-2500 fx-2600 fx-3100 fx-7100 LC-8008 SS-534 SS-538 广州 8031 大连 DS-5

## 2. 检验计算器是否正常工作的操作方法

表 7-2 检验计算器的操作方法

机 型	操 作	显 示
fx-3100 fx-150 fx-140 fx-120	111111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.2345678 16
EL-5003 EL-5812 EL-504 EL-506	999999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	9.9999999 19
EL-5001	111111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.234567898 16
	999999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	9.999999998 19
EL-5002	111111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.234567899 16
	999999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	9.999999998 19
fx-2600 fx-2500 fx-330 fx-81	11111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.23456 14
fx-80 fx-39 fx-31	99999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	9.99999 15
fx-7100	11111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.23457 14
	99999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1. 16
EL-5811 EL-501	11111111 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	1.2345678 14
	99999999 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	9.9999998 15

(续)

机 型	操 作	显 示
EL-505	11111111 $\times$ $=$	1.2345 14
	99999999 $\times$ $=$	9.9999 15
通用型	1.1111111 $\times$ $=$	1.2345678

### 3. 常用函数型电子计算器规格

表 7-3 常用函数型电子计算器规格

牌号	型 号	显 示 元 件	显 示 位 数				额 定 电 压 (V)	耗 电 量 (W)	所 配 电 池
			普通记数法		科学记数法				
			正 数	负 数	正 数	负 数			
CASIO	fx-140	荧光管	10	10	8	7	3	0.75	五 号
	fx-120	荧光管	10	10	8	7	3	0.8	五 号
	fx-39	荧光管	8	8	6	5	3	0.75	五 号
	fx-31	荧光管	8	8	6	5	3	0.25	五 号
	fx-3100	液 晶	10	10	8	7	3	0.0007	扣 式
	fx-150	液 晶	10	10	8	7	3	0.0004	五 号
	fx-7100	液 晶	8	8	6	5	3	0.008	扣 式
	fx-2600	液 晶	8	8	6	5	3	0.0004	扣 式
	fx-2500	液 晶	8	8	6	5	3	0.0006	扣 式
	fx-330	液 晶	8	8	6	5	3	0.0007	扣 式
	fx-81	液 晶	8	8	6	5	3	0.0007	五 号
	fx-80	液 晶	8	8	6	5	3	0.0007	五 号
SHARP	EL-5001	荧光管	10	10	10	10	3	0.35	五 号
	EL-5002	荧光管	10	10	10	10	3	0.35	五 号
	EL-501	荧光管	8	8	8	8	3	0.3	五 号
	EL-5003	液 晶	10	10	8	8	3	0.0005	五 号
	EL-5812	液 晶	10	10	8	8	3	0.0005	五 号
	EL-504	液 晶	10	10	8	7	3	0.0005	五 号
	EL-506	液 晶	10	10	8	8	3	0.0004	扣 式
	EL-5811	液 晶	8	8	8	8	3	0.0005	五 号
	EL-505	液 晶	8	8	5	5	3	0.0005	五 号

## 二、微处理器

### 1. 通用微处理器性能

见表 7-4。

表 7-4 通用微处理器性能

性能	型 号	Motorola MC14500	Intel 4004	Intel 4040	Fair child 2片F8	Intel 8008	Intel 8080A	Intel 8085	MOS 6502
加工工艺		CMOS	PMOS	PMOS	NMOS	PMOS	NMOS	NMOS	NMOS
字长:数据/指令(bit)		1/4	4/8	4/8	8/8	8/8	8/8	8/8	8/8
直接寻址范围(Byte)		0	4K	8K	64K	16K	64K	64K	64K
基本指令数		16	46	60	69	48	78	80	56
最大时钟频率(MHz)		1	0.74	0.74	2	0.8	2.6	5.5	4
时钟相数		1	2	2	1	2	2	1	1
指令时间:最短/最长( $\mu$ s)		1/1	10.8/21.6	10.8/21.6	2/13	12.5/37.5	1.5/3.75	0.8/5.2	0.5/3.5
二进制制运算		无	有	有	有	有	有	有	有
片上中断级数		1	1	1	1	1	1	4	1
内部寄存器数		1	16	24	64	6	8	8	0
栈寄存器数		0	3×12	7×12	RAM	7×14	RAM	RAM	RAM
直接存储器存取		无	无	无	无	无	有	有	无
引出线数		16	16	24	40	18	40	40	40
工作电压(V)		3~18	15	15	5,12	5~9	5,12,-5	5	5
汇编语言开发系统		无	有	有	有	有	有	有	有
高级语言		无	有	有	有	有	有	有	有
分时交叉软件		无	有	有	有	有	有	有	有

(续)

性能	型号	Motorola 6800	NEC $\mu$ PD7800	RCA 1802	Zilog Z80	Intel 8086	Intel 8088	Motorola 68000	Zilog Z8000	Zilog 8002
加工工艺		NMOS	NMOS	CMOS	NMOS	HMOS	HMOS	HMOS	NMOS	NMOS
字长: 数据/指令 (bit)		8/8	8/8	8/8	8/8	16/16	8/16	16/16	16/16	16/16
直接寻址范围 (Byte)		64K	64K	64K	64K	1M	1M	16M	8M	1M
基本指令数		72	140	91	150	97	97	61	110	46
最大时钟频率 (MHz)		2	1	5	6	5	5	8	8	5
时钟相数		2	1	1	1	1	1	1	1	1
指令时间: 最短/最长 ( $\mu$ s)		1/2.5	2/4	3.2/4.8	0.7/4.2	0.25/37.8	0.4/37.8	0.5---	0.75/90	0.75/90
二进制制运算		有	有	无	有	有	有	有	有	有
片上中断级数		1		1	1	1	1	1	1	1
内部寄存器数		0	128+16	16	14	8	8	16	16	16
栈寄存器数		RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM	RAM
直接存储器存取		有	有	有	有	有	有	有	有	有
引出线数		40	64	40	40	40	40	64	48	40
工作电压 (V)		5	5	4-10.5	5	5	5	5	5	5
汇编语言开发系统		有	有	有	有	有	有	有	有	有
高级语言		有	无	有	有	有	有	有	有	有
分时交叉软件		有	有	有	有	有	有	有	有	有

## 2. 单片微型机性能

表 7-5 单片微型机性能

性能	型号	AMI	Motorola	NEC	Rockwell	Texas	Zilog
		2000	MC141300	$\mu$ PD548	PPS-4	TMS2170	Z8
加工工艺		NMOS	CMOS	PMOS	PMOS	PMOS	NMOS
字长, 数据/指令 (bit)	4/8	4/8	4/8	4/10	4/8	4/8	8/8
片上 RAM 容量 (bit)	64×4	64×4	64×4	96×4	0	128×4	124×8
片上 ROM/PROM 容量 (bit)	1024×8	1024×8	1024×8	1920×10	0	2048×4	2048×8
片外存储器扩展	有	无	无	有	有	无	有
基本指令数	51	43	43	72	50	45	47
最大时钟频率 (kHz)	900	600	600	200	200/400	550	8000
指令时间: 最短/最长 ( $\mu$ s)	4.5/9	10/10	10/10	10/20	5/15	45	1.5/3.75
片上中断级数	无	无	无	2	1	1	6
子程序嵌套数	3	1	1	4	2	4	RAM
I/O 线条数	30	30	23	35	12	19	32
引出线数	40	40	28	42	42	28	40
工作电压 (V)	9	3~6	3~6	-10	-17/+5, -12	-9	5
汇编语言	有	有	有	有	有	有	有
高级语言	有	有	无	无	无	无	有
分时交叉软件	有	有	有	有	有	有	有

## 第八章 电工材料

### 一、常用导电材料

#### 1. 导电金属

##### (1) 导电用纯金属的性能、特性和用途

表 8-1 常用导电用纯金属的性能

名称	符号	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	熔点 (°C)	抗拉强度 (MPa)	电阻率 (20°C) (10 <sup>-8</sup> Ω·m)	电阻温度系数 (20°C) (10 <sup>-3</sup> /°C)
银	Ag	10.50	961.93	156.8~176.4	1.59	3.80
铜	Cu	8.90	1084.5	196~215.6	1.69	3.93
金	Au	19.30	1064.43	127.4~137.2	2.40	3.40
铝	Al	2.70	660.37	68.6~78.4	2.65	4.23
钠	Na	0.97	97.8		4.60	5.40
钼	Mo	10.20	2620	686~980	4.77	3.30
钨	W	19.30	3387	980~1176	5.48	4.50
锌	Zn	7.14	419.58	107.8~147	6.10	3.70
镍	Ni	8.90	1455	392~490	6.90	6.0
铁	Fe	7.86	1541	245~323.4	9.78	5.0
铂	Pt	21.45	1772	137.2~156.8	10.5	3.0
锡	Sn	7.30	231.96	14.7~26.5	11.4	4.20
铅	Pb	11.37	327.5	9.8~29.4	21.9	3.90
汞	Hg	13.55	-38.87		95.8	0.89



表 8-2 导电金属的主要特性和用途

名 称	主 要 特 性	主 要 用 途
银	有最好的导电性和导热性,抗氧化性好,易压力加工,焊接性好	航空导线、耐高温导线、射频电缆等导体和镀层,瓷电容器极板等
铜	有好的导电性和导热性,良好的耐腐蚀性和焊接性,易压力加工	各种电线、电缆用导体,母线和载流零件等
金	导电性仅次于银和铜,抗氧化性特好,易压力加工	电子材料等特殊用途
铝	有良好的导电性、导热性、抗氧化性和耐蚀性,密度小,易压力加工	各种电线、电缆用导体,母线,载流零件和电缆护层等
钠	密度特小,延展性好,熔点低,活性大,易与水作用	有可能作实用的导体
钨	有高的硬度和抗拉强度,耐磨,熔点高,性脆,高温易氧化,需特殊加工	超高温导体,电焊机电极,电子管栅极丝及支架等
钨	抗拉强度和硬度很高,耐磨,熔点高,性脆,高温易氧化,需特殊加工	电光源灯丝,电子管灯丝及电极,超高温导体和电焊机电极等
锌	耐蚀性良好	导体保护层和干电池阴极等
镍	抗氧化性好,高温强度高,耐辐照性好	高温导体保护层,高温特殊导体,电子管阳极和阴极等零件
铁	机械强度高,易压力加工,电阻率比铜大 6~7 倍,交流损耗大,耐蚀性差	在输送功率不大的线路上作广播线、电话线和爆破线等
铂	抗氧化性和抗化学剂性特好,易压力加工	精密电表及电子仪器的零件等
锡	塑性高,耐蚀性好,强度和熔点低	导体保护层,焊料和焊丝等
铅	塑性高,耐蚀性好,密度大,熔点低	焊丝,蓄电池极板和电缆护层等
汞	液体,沸点为 357℃,加热易氧化,蒸汽对人体有害	汞弧整流器,汞灯和汞开关等

(2) 导电铜合金和铝合金的品种及性能

表 8-3 导电铜合金和铝合金的品种及性能

分 类	合 金 名 称	性 能				
		电 导 率 (%IACS)①	抗 拉 强 度 (MPa)	硬 度 HB	延 伸 率 (%)	软 化 温 度 (°C)
1	银铜(Cu-0.1Ag)	96	343~441	95~110	2~4	280
	铁铜(Cu-0.1Fe-0.03P)	92	402~451	100~120	7~10	425
	镉铜(Cu-1Cd)	85	588	100~115	2~6	280
	铬铜(Cu-0.5Cr)	85	490	110~130	15	500
	锆铜(Cu-0.2Zr)	90	392~471	120~130	10	480
	铈铜(Cu-0.5Cr-0.15Zr)	80	539	140~160	10	520
2	镍硅铜(Cu-4Ni <sub>2</sub> -Si)	55	588~686	150~180	6	450
	钴镍铜(Cu-0.3Be-1.5Co)	50	735~883	210~240	5~10	400
	铁钴锡铜(Cu-1.5Fe-0.8Co-0.6Sn)	50	588~686	150~180	5~10	475
3	铍铜(Cu-2Be-0.3Co)	22~25	1275~1442	350~420	1~2	400
	钛铜(Cu-4.5Ti)	10	883~1079	300~350	2	450
	镍锡铜(Cu-9Ni-6Sn)	11	1177~1373	350~400	2	450
	铋磷青铜(Cu-7Sn-0.2P)	10~15	686~883	200~250	7	300
	硅锰青铜(Cu-1Mn-3Si)	11~13	637~735	150~200	2~5	350
锌白铜(Cu-15Ni-20Zn)	8~10	785~922	230~270	2	300	

(续)

分类	合金名称	性 能				
		电导率 (%IACS) <sup>①</sup>	抗拉强度 (MPa)	硬 度 HB	延伸率(%)	软化温度 (°C)
铝 合 金	铝硅(Al-0.5~0.9Mg-0.3~ 0.7Si)	>53	294~353		4	
	铝镁(Al-0.65~0.9Mg)	53~55	226~255		2	
	铝镁铁(Al-0.5~0.8Fe-0.2Mg)	58~61	113~127		>15	
	铝锆(Al-0.1Zr)	58~60	177~186		2	
	铝硅(Al-0.5~1Si)	50~53	255~324		0.5~1.5	

① 1913年国际电工学会规定,退火工业纯铝在20°C时的电阻率等于 $1.7241 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ,为标准电导率,以100%IACS表示, IACS即指国际退火工业纯铝标准。

## 2. 电磁线

(1) 漆包线的主要品种及其特点与用途

表 8-4 漆包线的主要品种及其特点与用途

产品名称	型号	规格(mm)	特点			主要用途
			耐温指数 (°C)	优点	局限性	
油性漆包线	Q	0.02~2.50	105	1. 漆膜均匀 2. 介质损耗角正切小	1. 耐刮性差 2. 耐溶剂性差 (对使用溶剂漆应注意)	中、高频线圈及仪表、电器的线圈
缩醛漆包圆铜线	QQ-1 QQ-2 QQ-3 QQ-B	0.02~2.50 a边 0.3~5.6 b边 2.0~18.0	—	1. 热冲击性优 2. 耐刮性优 3. 耐水解性良好	漆膜卷绕后产生湿裂(浸渍前须在120°C左右加热1h以上,消除裂痕)	普通中小型电机、微电机绕组,油浸变压器线圈,电器仪表用线圈
聚氨酯漆包圆铜线	QA-1 QA-2	0.015~1.00	—	1. 在高频条件下,介质损耗角正切小 2. 可直接焊接,无需刮去漆膜 3. 着色性好	1. 过载性能差 2. 热冲击及耐刮性尚可	要求Q值稳定的高频线圈、电视线圈和仪表用的微细线圈
聚酯漆包圆铜线	QZ-1/155/I QZ-2/155/I QZ-1/155/II QZ-2/155/II QZB	0.02~2.50 a边 0.3~5.6 b边 2.0~18.0	155	1. 耐压性能优 2. 软化击穿性能优	1. 耐水解性差 2. 与含氟高分子化合物不相容	通用中小型电机绕组、干式变压器和电器仪表的线圈

(续)

产品名称	型号	规格(mm)	特点			主要用途
			耐温指数(C)	优点	局限性	
改性聚酯亚胺漆 包圆铜线 改性聚酯亚胺漆 包扁铜线	QZYH-1 QZYH-2 QZYHB	0.06~2.50 a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0	180	1. 热冲击性能优 2. 软化击穿性能优 3. 耐冷冻剂性能优 4. 耐热性能优	与含氯高分子化合物不相容	高温电机、致冷装置中电机的绕组,干式变压器线圈,仪器仪表的线圈
聚酰胺亚胺漆 包圆铜线 聚酰胺亚胺漆 包扁铜线	QXY-1 QXY-2	0.06~2.50	200	1. 耐热性、热冲击性、软化击穿性能优 2. 耐刮性优 3. 耐化学药品性、耐冷冻剂性能优	与含氯高分子化合物不相容	高温、重载电机、牵引电机、致冷装置的绕组、干式变压器和仪器仪表的线圈
聚酰胺亚胺漆包圆铜线	QY-1 QY-2	0.02~2.50	220	1. 耐热性最优 2. 软化击穿热冲击性优、能承受短期过载 3. 耐低温性优 4. 耐辐照性优 5. 耐溶剂、耐化学药品性优	1. 耐刮性尚可 2. 耐碱性差 3. 耐水解性差 4. 漆膜经卷绕后产生裂纹(浸渍前须在150°C左右加热1h以上,消除裂痕)	耐高温电机、干式变压器线圈,密封继电器及电子元件

(续)

产品名称	型号	规格(mm)	特点			主要用途
			耐温指数 (°C)	优点	局限性	
耐冷剂漆包圆铜线	QF	0.5~2.50	105	在密闭装置中能耐潮,耐致冷剂	漆膜经卷绕后,产生湿裂(浸渍前须在120°C左右加热1h以上,消除裂痕)	空调设备和致冷设备电机的绕组
自粘性漆包圆铜线	QAN	0.10~0.44	120	不需要浸渍处理,经一定温度烘焙后能自行粘合成型	不推荐在过载条件下使用	电子元件和无骨架线圈
耐热型自粘性漆包圆铜线	QZN	0.05~0.80	130	同上 耐化学药品性良好 粘接力强 有阻燃性		微电机、仪表、电视、无骨架线圈 白瓷器和无骨架线圈
		0.05~0.50	120			
改性聚酯亚胺-聚酯胺亚胺复合漆包圆铜线	QZYH/QZY	0.06~2.50	180	1. 耐热冲击性能优 2. 软化击穿性能优 3. 耐冷冻剂性能优 4. 耐化学药品性能优	与含氟高分子化合物不相容	高温电机,致冷装置电机的绕组,干式变压器线圈
		a边 0.8~5.6 b边 2.0~18.0				

(2) 绕包线的主要品种及其特点与用途

表 8-5 绕包线的主要品种及其特点与用途

产品名称	型号	规格(mm)	特点			主要用途
			耐温指数 (°C)	优点	局限性	
纸包圆铜线 纸包扁铜线	Z ZB	1.0~5.6 a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	105	用作油浸变压器 线圈,耐电击穿性 优	绝缘纸容易破裂	油浸变压器 的线圈
聚酰胺纤维纸 (Nomex)纸包圆铜 线 聚酰胺纤维纸 (Nomex)纸包扁铜 线	- -	- -	200	1. 能经受严酷的 加工工艺 2. 与干、湿式变 压器通常使用原材 料能相容 3. 无工艺污染		用于高温干 式变压器的线 圈、中型高温电 机的绕组
双玻璃丝包圆铜 线 双玻璃丝包扁铜 线	SBECC SBECCB	0.25~6.0 a边 0.9~5.6 b边 2.0~18.0	130 155 180	1. 过负载性优 2. 耐电晕性优	1. 弯曲性较差 2. 耐潮性较差	中型、大型电 机的绕组
双玻璃丝包空心 扁铜线	-	-	130	通过氢冷可降低 周围温度	线硬加工困难	大型电机、汽 轮机发电机、水轮 发电机的绕组
聚酰胺薄膜绕包 圆铜线 聚酰胺薄膜绕包 扁铜线	Y YB	2.5~6.0 a边 2.0~5.6 b边 2.0~16.0	220	1. 耐热性和耐低 温性优 2. 耐辐照性优 3. 高温下耐电压 性优	在含水密封系统 中易水解	高温电机和 特殊场合使用 电机绕组

(3)常用电磁线的规格

表 8-6 常用电磁线的规格

直 径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	漆包线最大外径(mm)		
		Q	QQ	QZ, QZL, QY
0.05	0.00196	0.065	—	—
0.06	0.00283	0.075	0.09	0.09
0.07	0.00385	0.085	0.10	0.10
0.08	0.00503	0.095	0.11	0.11
0.09	0.00636	0.105	0.12	0.12
0.10	0.00785	0.120	0.13	0.13
0.11	0.00950	0.130	0.14	0.14
0.12	0.01131	0.140	0.15	0.15
0.13	0.0133	0.150	0.16	0.16
0.14	0.0154	0.160	0.17	0.17
0.15	0.01767	0.170	0.19	0.19
0.16	0.0201	0.180	0.20	0.20
0.17	0.0227	0.190	0.21	0.21
0.18	0.0255	0.200	0.22	0.22
0.19	0.0284	0.210	0.23	0.23
0.20	0.0314	0.225	0.24	0.24
0.21	0.0346	0.235	0.25	0.25
0.23	0.0415	0.255	0.28	0.28
0.25	0.0491	0.275	0.30	0.30
0.27	0.0573	0.31	0.32	0.32
0.29	0.0661	0.33	0.34	0.34
0.31	0.0755	0.35	0.36	0.36
0.33	0.0855	0.37	0.38	0.38
0.35	0.0962	0.39	0.41	0.41
0.38	0.1134	0.42	0.44	0.44
0.41	0.1320	0.45	0.47	0.47
0.44	0.1521	0.49	0.50	0.50
0.47	0.1735	0.52	0.53	0.53
0.49	0.1886	0.54	0.55	0.55
0.51	0.204	0.56	0.58	0.58
0.53	0.221	0.58	0.60	0.60
0.55	0.238	0.60	0.62	0.62
0.57	0.255	0.62	0.64	0.64



(续)

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	漆包线最大外径(mm)		
		Q	QQ	QZ、QZL、QY
0.59	0.273	0.64	0.66	0.66
0.62	0.302	0.67	0.69	0.69
0.64	0.322	0.69	0.72	0.72
0.67	0.353	0.72	0.75	0.75
0.69	0.374	0.74	0.77	0.77
0.72	0.407	0.78	0.80	0.80
0.74	0.430	0.80	0.83	0.83
0.77	0.466	0.83	0.86	0.86
0.80	0.503	0.86	0.89	0.89
0.83	0.541	0.89	0.92	0.92
0.86	0.581	0.92	0.95	0.95
0.90	0.636	0.96	0.99	0.99
0.93	0.679	0.99	1.02	1.02
0.96	0.724	1.02	1.05	1.05
1.00	0.785	1.07	1.11	1.11
1.04	0.849	1.12	1.15	1.15
1.08	0.916	1.16	1.19	1.19
1.12	0.985	1.20	1.23	1.23
1.16	1.057	1.24	1.27	1.27
1.20	1.131	1.28	1.31	1.31
1.25	1.227	1.33	1.36	1.36
1.30	1.327	1.38	1.41	1.41
1.35	1.431	1.43	1.46	1.46
1.40	1.539	1.48	1.51	1.51
1.45	1.651	1.53	1.56	1.56
1.50	1.767	1.58	1.61	1.61
1.56	1.911	1.64	1.67	1.67
1.62	2.06	1.71	1.73	1.73
1.68	2.22	1.77	1.79	1.79
1.74	2.38	1.83	1.85	1.85
1.81	2.57	1.90	1.93	1.93
1.88	2.78	1.97	2.00	2.00
1.95	2.99	2.04	2.07	2.07
2.02	3.20	2.12	2.14	2.14
2.10	3.46	2.20	2.23	2.23
2.26	4.01	2.36	2.39	2.39
2.44	4.68	2.54	2.57	2.57

(4)电磁线的选用要点 选用电磁线时应根据使用条件合理选用以下性能项目的参数,使其能满足要求。

- 1)热寿命和其他热性能。
- 2)占空系数。
- 3)绝缘层在弯曲时不开裂,耐刮性和介电强度。
- 4)绝缘层能承受过载能力和环境因素。
- 5)与浸渍漆的相容性、耐溶剂性及耐化学药品性等。

## 二、常用软磁材料

### 1. 电磁纯铁热轧厚板(GB6984—86)

(1)牌号和用途

表 8-7 电磁纯铁热轧厚板的牌号和用途

	牌 号	用 途
电铁 3 电铁 3 高	DT3 DT3A	一般电磁元件
电铁 4 电铁 4 高 电铁 4 特 电铁 4 超	DT4 DT4A DT4E DT4C	无磁时效电磁元件

(2)电磁纯铁的磁性 见表 8-8。

表 8-8 电磁纯铁热轧厚板的电磁性能

牌 号	矫顽力 $H_c$ (A/m) 不大于	矫顽力 时效增 值 $\Delta H_c$ (A/m) 不大于	最大磁 导率 $\mu$ (H/m) $\times 10^{-3}$ 不小于	磁感应强度(T) 不小于						
				$B_{200}$	$B_{300}$	$B_{500}$	$B_{1000}$	$B_{2500}$	$B_{5000}$	$B_{10000}$
DT3	96.0	—	7.5	1.20	1.30	1.40	1.50	1.62	1.71	1.80
DT4		9.6								
DT3A	72.0	—	8.8							
DT4A		7.2								
DT4E	48.0	4.8	11.3							
DT4C	32.0	4.0	15.1							

注： $B_{200}$ 、 $B_{300}$ 、 $B_{500}$ …… $B_{10000}$ 分别表示在磁场强度为 200A/m、300A/m、500A/m……10000A/m 时的磁感应强度。

2. 电工用热轧硅钢薄钢板(GB5212-85)

表 8-9 电工用热轧硅钢薄钢板的牌号

分 类	检验条件	牌 号	原 牌 号	钢板厚度(mm)	
低 硅 钢	强 磁 场	DR530-50	D22	0.50	
		DR510-50	D23	0.50	
		DR490-50	D24	0.50	
		DR450-50	—	0.50	
		DR420-50	—	0.50	
		DR400-50	—	0.50	
高 硅 钢	强 磁 场	DR440-50	D31	0.50	
		DR405-50	D32	0.50	
		DR360-50	D41	0.50	
		DR315-50	D42	0.50	
		DR290-50	D43	0.50	
		DR265-50	D44	0.50	
		DR360-35	D31	0.35	
		DR325-35	D32	0.35	
		DR320-35	D41	0.35	
		DR280-35	D42	0.35	
		DR255-35	D43	0.35	
		DR225-35	D44	0.35	
	高 频 率	高 频 率	DR1750G-35	DG41	0.35
			DR1250G-20	DG41	0.20
			DR1100G-10	DG41	0.10

注：牌号 DR530-50 执行到 1988 年底废止。

表 8-10 强磁场检验条件下的性能

牌 号	厚 度 (mm)	最小磁感应强度(T)			最大铁损(W/kg)		最低弯曲 次数 不小于	理论密度 $D_{20}$ (g/cm <sup>3</sup> )		叠 装 系 数
		$B_{25}$	$B_{50}$	$B_{100}$	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$		未酸洗 钢	酸洗 钢板	
		DR530-50	0.50	1.51	1.61	1.74	2.20	5.30		
DR510-50	0.50	1.54	1.64	1.76	2.10	5.10				
DR490-50	0.50	1.56	1.65	1.77	2.00	4.90				
DR450-50	0.50	1.54	1.64	1.76	1.85	4.50		7.75	7.70	
DR420-50	0.50	1.54	1.64	1.76	1.80	4.20				
DR400-50	0.50	1.54	1.61	1.76	1.65	4.00				
DR440-50	0.50	1.46	1.57	1.71	2.00	4.40				
DR405-50	0.50	1.50	1.61	1.74	1.80	4.05	4	7.65	—	
DR360-50	0.50	1.45	1.55	1.68	1.60	3.60				
DR315-50	0.50	1.45	1.55	1.68	1.35	3.15				
DR290-50	0.50	1.44	1.55	1.67	1.20	2.90	1.0	7.55	—	
DR265-50	0.50	1.44	1.55	1.67	1.10	2.65				
DR360-35	0.35	1.46	1.57	1.71	1.60	3.60	5.0	7.65	—	
DR325-35	0.35	1.50	1.61	1.74	1.40	3.25				

提 供  
数 据

(续)

牌号	厚度 (mm)	最小磁感应强度(T)			最大铁损(W/kg)		最低弯曲 次数 不小于	理论密度 D:		系数	装 数
		B <sub>25</sub>	B <sub>50</sub>	B <sub>100</sub>	P <sub>10/50</sub>	P <sub>15/30</sub>		酸洗钢板	未酸洗 钢板		
DR320-35	0.35	1.45	1.55	1.58	1.35	3.20					
DR230-35	0.35	1.45	1.55	1.58	1.15	2.80					
DR255-35	0.35	1.44	1.54	1.66	1.05	2.55	1.0	7.55	-		供 据
DR225-35	0.35	1.44	1.54	1.66	0.90	2.25					

注 1: 低硅钢板 B<sub>100</sub> 不做判定依据, 如需保证时, 应在合同中注明

2. P<sub>10/50</sub>, P<sub>15/30</sub> 表示当用 50Hz 反复磁化和按正弦波形变化的磁感应强度最大值 1.0、1.5T 时的总单位铁损(W/kg)
3. 经供需双方协议, 供方应提供磁化曲线。
4. 叠装系数仅作参考, 暂不作交货条件。
5. 理论密度仅用于计算试样断面积, 不作交货条件。

表 8-11 高频率检验条件下的性能

牌号	厚度 (mm)	最小磁感应强度(T)			最大铁损(W/kg)		电阻系数 ( $\mu\Omega \cdot m$ ) 不小于	最低弯曲 次数 不小于
		B <sub>5</sub>	B <sub>10</sub>	B <sub>25</sub>	P <sub>7.5/400</sub>	P <sub>10/400</sub>		
DR1750G-35	0.35	1.23	1.32	1.44	10.90	17.50	0.57	1
DR1250G-20	0.20	1.21	1.33	1.42	7.20	12.50	0.57	2
DR1100G-10	0.10	1.20	1.29	1.40	6.30	11.00	0.57	3

注: 1. B<sub>5</sub>, B<sub>10</sub>, B<sub>25</sub> 表示当磁场强度(A/cm)等于字母后相应数值时, 基本换向磁化曲线上磁感应强度(T)。

2. P<sub>7.5/400</sub>, P<sub>10/400</sub> 表示当用 400Hz 反复磁化和按正弦波形变化的磁感应强度最大值 0.75、1.0CT 时的总单位铁损(W/kg)。

### 3. 冷轧电工钢带(GB2521—81)

表 8 12 冷轧电工钢带牌号和性能

	公称厚度 (mm)	牌 号	最大铁损 $P_{15/50}(W/kg)$	最小磁感 $B_{50}(T)$	理论密度 $D(g/cm^3)$
	无取向 钢带 (片)	0.35	DW270-35	2.70	1.58
DW310-35			3.10	1.60	7.65
DW360-35			3.60	1.61	7.65
DW435-35			4.30	1.65	7.70
DW500-35			5.00	1.65	7.75
DW550-35			5.50	1.66	7.75
0.50		DW315-50	3.15	1.58	7.60
		DW360-50	3.60	1.60	7.65
		DW400-50	4.00	1.61	7.65
		DW465-50	4.65	1.65	7.70
		DW540-50	5.40	1.65	7.75
		DW620-50	6.20	1.66	7.75
		DW800-50	8.00	1.69	7.80
	DW1050-50	10.50	1.69	7.85	
DW1300-50	13.00	1.69	7.85		
DW1550-50	15.50	1.69	7.85		
	公称厚度 (mm)	牌 号	最大铁损 $P_{17/50}(W/kg)$	最小磁感 $B_{50}(T)$	理论密度 $D(g/cm^3)$
	0.30	DQ122G-30	1.22	1.88	7.65
DQ133G-30		1.33	1.88		
DQ133-30		1.33	1.79		
DQ147-30		1.47	1.77		
DQ162-30		1.62	1.74		
DQ179-30		1.79	1.71		
DQ198-30		1.96	1.68		
取向 钢带 (片)					

(续)

取向 钢带 (片)	公称厚度 (mm)	牌 号	最大铁损 $P_{17/50}$ (W/kg)	最小磁感 $B_{10}$ (T)	理论密度 $D$ (g/cm <sup>3</sup> )
	0.35	DQ126G-35 DQ137G-35 DQ151-35 DQ166-35 DQ183-35 DQ200-35 DQ230-35	1.26 1.37 1.51 1.66 1.83 2.00 2.30	1.88 1.88 1.77 1.74 1.71 1.68 1.63	7.65

注:1. 经双方协议,可供应上表以外的牌号。如厚度为0.28mm的DQ125-28,DQ140-28取向钢带(片),其铁损值 $P_{15/50}$ 为:DQ125-28 $\leq$ 0.89W/kg,DQ140-28 $\leq$ 0.95W/kg。

2. DW500-35至DW550-35和DW540-50至DW1550-50的钢带(片),经双方协议,可以半工艺型(即平整或冷轧状态)交货,其冲压退火后的磁性应符合表中的规定(退火工艺为750~900℃,脱碳气氛或非氧化气氛,具体工艺由供方提供)。

3.  $P_{15/50}$ 和 $P_{17/50}$ 分别表示频率为50Hz,波形为正弦的磁感峰值为1.5,1.7T(特斯拉)的单位重量铁损(W/kg)。 $B_{10}$ 和 $B_{50}$ 分别表示频率为50Hz磁感强度最大值为1000A匝/m(安匝/米),5000A匝/m时,按正弦波形变化的磁感峰值(T)。

### 三、常用绝缘材料

#### 1. 绝缘材料的极限工作温度及其耐热等级

表 8-13 绝缘材料的耐热等级

级 别	绝 缘 材 料 类 别	极 限 工 作 温 度(℃)
Y	木材、棉花、纸、纤维等天然纺织品 以醋酸纤维和聚酰胺为基础的纺织品 易于热分解和熔点较低的塑料(酚醛树脂)	90

(续)

级 别	绝 缘 材 料 类 别	极限工作温度(°C)
A	工作于矿物油中的 Y 级材料 用油或油树脂复合胶浸过的 Y 级材料 漆包线、漆布、漆丝的绝缘及油性漆、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、乙酸乙酯耐热漆包线	120
B	聚酯薄膜、经合适树脂粘合式浸涂复的云母、 玻璃纤维、石棉等制品 聚酯漆、聚酰胺漆包线	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脂和醇酸类材料、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 机橡胶聚酰胺复合玻璃布、复合薄膜、聚酰胺漆 等	180
C	不采用任何有机粘合剂及浸渍剂的无机物， 如：石英、石棉、云母、玻璃和陶瓷材料等	180 以上

## 2. 绝缘油

(1) 矿物油的性能 见表 8-14。



表 8-14 矿物油的性能

性 能	变 压 器 油			电 容 器 油		电 缆 油	
	10 号	25 号	45 号	1 号	2 号	高压充油	35kV 油
运动粘度( $\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ) 20℃	$\leq 30$	$\leq 30$	$\leq 30$	30~45	37~45	8~18	—
50℃	7.5~9.6	8.5~9.6	6~9.6	9~12	9~12	3.5~6	—
闪点(闭口杯)(℃)不低于	135	135	135	135	135	125	250
凝点(℃)不高于	-10	-25	-45	-45	-45	-60	-12
酸值(mgKOH/g)不大于	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.008	0.01
灰分(%)不大于	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	—	—
体积电阻率( $\text{c}\Omega \cdot \text{m}$ ) 20℃	—	—	—	—	$10^{14} \sim 10^{15}$	—	—
100℃	—	—	—	—	$\geq 10^{13}$	—	—
介质损耗角正切 $\times 10^{-3}$							
20℃	$\leq 5$	0.5~5.5	5(70℃)	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 1.5$	10~13
(50Hz) 100℃	2.5~25	1~25	—	$\leq 2$ ①	$\leq 2$ ①	—	—
介电常数(50Hz) 20℃	—	—	—	—	2.1~2.3	—	—
介电强度(kV/mm) 20℃	16~18	18~21	—	20~23	20~23	$\geq 20$	14~16

①在  $10^3 \text{Hz}$  下。

(2) 合成油的主要性能

表 8-15 合成油的主要性能

性 能	烷基苯	苯基二甲 基乙烷 (PXE)	烷基萘	异丙基 联 苯 (MIPB)	苯甲基 硅 油	聚丁烯	三氯联苯 (PCB)
运动粘度( $\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ )							
20℃	6.5~ 8.5	—	3.2 (30℃)	—	100~200 (25℃)	13820	—
50℃	3~4	—	—	5.3 (40℃)	—	—	—
闪点(闭口杯)(℃)不低于	125	148	154	142	280②	165②	173②
凝点(℃)不高于	-65	—	—	-48	-40	-10	-23
酸值(mgKOH/g)不大于	0.008	—	—	—	—	0.3	0.0025

(续)

性能	烷基苯	苯基二甲 基乙烷 (PXE)	烷基萘	异丙基 联苯 (MIPB)	苯甲基 硅油	聚丁烯	三氯联苯 (PCB)
体积电阻率( $\Omega \cdot m$ ) 100℃	—	$2.5 \times 10^{14}$ ①	$2.5 \times 10^{14}$ ①	$3.7 \times 10^{14}$	$\geq 10^{14}$	$\geq 10^{14}$	$8 \times 10^{12}$
介质损耗角正切( $\times 10^{-3}$ ) (50Hz)100℃	30~40	30①	30①	40	$\leq 20$ ①	$\leq 50$ ①	300
介电常数(50Hz) 20℃	2.2	2.5	2.5	2.5 ~2.6	2.6 ~2.8	2.1 ~2.3	4.6~ 4.7
介电强度(kV/mm) 20℃	$\geq 24$	37	—	$\geq 24$	35~40	35~50	5.9

①在80℃下,②开口杯。

### 3. 绝缘漆

#### (1) 浸渍漆

##### 1) 常用有溶剂浸渍漆的品种、性能和用途

表 8-16 常用有溶剂浸渍漆的品种、性能和用途

名称	型号	耐热等级	干燥时间 (h)	击穿强度 (kV/mm) (常态)	体积电阻率 ( $\Omega \cdot m$ ) (常态)	用途
沥青漆	1010	A	5~6 (105℃)	55~90		耐潮性好,供浸渍不要求耐油性的电机线圈
油改性醇酸漆	1030	B	1.5~2 (105℃)	70~90		耐油性和弹性好,供浸渍在油中工作的线圈和绝缘零部件
三聚氰胺醇酸漆	1032	B	1.5~2 (105℃)	70~95		耐潮性、耐油性、内干性较好,机械强度较高,且耐弧。供浸渍在湿热地区用的线圈

(续)

名称	型号	耐热等级	干燥时间 (h)	击穿强度 (kV/mm) (常态)	体积电阻率 ( $\Omega \cdot m$ ) (常态)	用途
环氧酯漆	1033	B	1~2 (120℃)	70~95	$10^{12} \sim 10^{14}$	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	H 30-6	B	<1.5 (105℃)	60~95		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	F	1~3 (130℃)	65~100	$10^{12} \sim 10^{13}$	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	H	1.5~2 (200℃)	65~100	$10^{12} \sim 10^{13}$	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
聚酰胺亚胺浸渍漆	PAI-2	H	<1/6 (180℃)	90~110	$10^{12} \sim 10^{13}$	耐热性优于有机硅漆,电气性能优良,粘结力强,耐辐射性好。供浸渍耐高温或在特殊条件下工作的电机、电器线圈

## 2)常用无溶剂漆的品种、性能和用途

表 8-17 常用无溶剂漆的品种、性能和用途

名称	型号	耐热等级	胶化时间 (min)	贮存稳定性	击穿强度 (kV/mm) (常态)	体积电阻率 ( $\Omega \cdot m$ ) (常态)	用途
环氧无溶剂漆	110	B	—	1月	70~35	$10^{12}$ ~ $10^{13}$	粘度低,击穿强度高,贮存稳定性好,可用于沉浸小型低压电机、电器线圈
	672-1	B	3~4① (130°C)	30 小时	18~25	$>10^{14}$	挥发物少,固化快,体积电阻高,适于滴浸小型电机、电器线圈
	111	B	8~12 (120°C)	30 小时	70~90	$10^{12}$ ~ $10^{13}$	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
	9101	B	30~60② (140°C)	6月	20~30	$10^{11}$ ~ $10^{15}$	粘度低,固化较快,体积电阻高,贮存稳定性好,可用于沉浸中型高压电机、电器线圈
	1034	B	6~12③ (120°C)	24 小时	20~35	$10^{12}$ ~ $10^{12}$	挥发物少,固化快,耐毒性较差,用于滴浸小型低压电机、电器线圈
环氧聚酯树脂无溶剂漆	5152-2	B	—	3月	70~95	$10^{12}$ ~ $10^{13}$	粘度低,击穿强度高,贮存稳定性好,用于沉浸小型低压电机、电器线圈
不饱和聚酯无溶剂漆	319-2	F	180② (155°C)	6月	20~30	$>10^{13}$	粘度较低,电气性能较好,贮存稳定性好,可用于沉浸小型F级电机、电器线圈

①四孔法 ②试管法 ③热板法

(2)常用覆盖漆的品种、性能和用途

表 B-18 常用覆盖漆的品种、性能和用途

名称	型号	耐热等级	干燥时间 (h)	击穿强度 (kV/mm) (常态)	表面电阻率 ( $\Omega$ )(常态)	用途
醇干醇酸 漆	1231	B	10~20 (20℃)	70~95		晾干或低温干燥,漆膜的弹性、电气性能、耐气候性和耐油性较好。用于覆盖电器或绝缘零部件
醇酸灰磁 漆	1320	B	2~3 (105℃)	30~60	$>10^{11}$	烘焙干燥,漆膜坚硬,机械强度高,耐电弧性和耐油性较好。用于覆盖电机、电器线圈
醇干环氧 脂漆	9120	B	$<24$ (25℃)	30~60		晾干或低温干燥;干燥快,漆膜附着力好,耐潮、耐油和耐气候性好,有弹性。用于覆盖电器或绝缘零部件,可用于湿热地区
环氧酯灰 磁漆	163	B	$<2$ (120℃)	35~45	$>10^{11}$	烘焙干燥,漆膜硬度大,耐潮耐霉,耐油性好,用于覆盖电机、电器线圈,可用于湿热地区
醇干有机 硅红磁漆	167	H	$<24$ (20℃)	$>30$	$>10^{12}$	晾干或低温干燥,漆膜耐热性高,电气性能好,用于覆盖耐高温电机、电器线圈或绝缘零部件表面修饰
有机硅红 磁漆	1350 W32-3	H	$<2$ (120℃)	$>40$	$>10^{13}$	烘焙干燥,漆膜耐热性、电气性能比167好,且硬度大、耐油。用途同167型漆

(3) 硅钢片漆的品种、用途和特性

表 8-19 硅钢片漆的品种、用途和特性

名 称	型 号	耐热等级	特性和用途
油性漆	1811	A	在高温(100~500℃)下干燥快,漆膜厚度均匀,坚硬,耐油。供涂敷一般用途小型电机、电器用硅钢片
醇酸漆	9161 5364	B	在 300~350℃ 下干燥快,漆膜有较好的耐热性和耐电弧性。供涂敷一般电机、电器用硅钢片,但不宜涂敷磷酸盐处理硅钢片
环氧酚醛漆	H52 1 E 9 111	F	附着力强,在 200~350℃ 下干燥快,有较好的耐热性、耐潮性、耐腐蚀性和电气性能。供涂敷大型电机、电器用硅钢片,且适宜涂敷磷酸盐处理硅钢片和其他硅钢片
有机硅漆	947S W35-1	H	漆膜耐热性和电气性能优良。供涂敷高温电机、电器用硅钢片,但不宜涂敷磷酸盐处理硅钢片
聚酰胺酰亚胺漆	PAI-Q	H	漆的涂敷工艺性和干燥性好,漆膜附着力强,耐热性高,耐溶剂性优越。供涂敷高温电机、电器用各种硅钢片,贮存期 6 个月

## 4. 绝缘纤维制品

### (1) 绝缘纸的品种、规格和用途

表 8-20 绝缘纸的品种、规格和用途

品种	型号	厚度(mm)	特点和用途
电缆纸	DL-08	0.08	主要用作 35kV 以下的电力电缆、控制电缆和通信电缆的绝缘
	DL-12	0.12	
	DL-17	0.17	
	GDL-045	0.045	介质损耗角正切值低。适用于 110kV 以上的高压电缆绝缘。纸愈薄,击穿强度愈高
GDL-075	0.075		
GDL-125	0.125		
	GDL-175	0.175	
<b>绝缘皱纹纸</b>			
电话纸	DH-50	0.05	用作高压充油电缆和各种接头盒绝缘 主要用作电信电缆绝缘,也可作为云母箔的补强材料用于电机绝缘
	DH-75	0.075	
电容器纸	A-1	4,5,6,7,8,10,12	主要用作电子工业用电容器的极间介质 B类主要用作电力电容器的极间介质 BD型在 60~120°C 时的介质损耗角正切值较低,用作电力电容器的极间介质,可提高电力电容器的运行温度
	B-1	10,12,15	
	B-1	8,10,12,15	
	BD-1	10,12,15	
	BD-1	8,10,12,15	
	BD-6	15	

(续)

品 种	型 号	厚度(mm)	特 点 和 用 途
卷绕绝缘纸		0.07	主要用于制造绝缘管、筒,也用于包绕电器零部件
聚酯纤维纸 (聚酯无纺布)		0.08	可与聚酯薄膜制成复合制品,用于B级电机槽绝缘
耐高温合成纤维纸		0.08,0.15	常与聚酯薄膜、聚酯亚胺膜组成复合制品,主要用于F、H级电机槽绝缘和导线换位绝缘
金属化纸和半导电纸			用作电缆以及高压充油电缆各种接头盒的屏蔽层,金属化电容器纸用作直流电容器极板和极间绝缘

(2) 绝缘纸板和纸管的品种及用途

表 8-21 绝缘纸板和纸管的品种及用途

品 种	结 构	用 途
50/50 型	木质纤维和棉纤维各半	具有良好的耐弯曲性、耐热性,适用于电机、电器的绝缘和保护材料以及耐振绝缘零部件等
100/00 型 (薄型纸或硬型纸)	不掺棉纤维	用作E级电机槽绝缘,也可单独作为绕组绝缘保护层; 厚型纸板可制作某些绝缘零件和保护层
硬型纸板 (硬哥罗白纸)	由无胶的棉纤维厚纸经氧化粹处理后再用水漂洗,再经热压而成	组织紧密,有良好的机械加工性,适用于小型低压电机槽模和其他绝缘零件



(续)

品 种	结 构	用 途
制 纸 管	由氧化锌处理的无胶楠纤维纸经卷绕后用水漂洗而成	有良好的机械加工性,在100℃下长期工作其外形和理化性能无明显变化,吸油性小,灭弧性好,适用于熔断器、避雷器的管芯和电机用线路套管
玻璃钢复合制纸管 (高压消弧管)	用环氧树脂或聚酯树脂的无捻玻璃纤维堆用湿法缠绕在钢管上制得	具有很好的灭弧能力和电气性能,机械强度高,耐热、耐潮、耐寒、耐日照,可用作10~110kV熔断器和避雷器的消弧管

(3) 无碱玻璃纤维带的技术条件和用途

表 8-22 无碱玻璃纤维带的技术参数

牌 号	厚度(公差) (mm)	宽 度 (mm)	单 纤 维 公 称 直 径 ( $\mu\text{m}$ )	抗 张 力 (N) 10mm $\times$ 100mm 不 小 于	主 要 用 途
无碱带-60	0.060 $\pm$ 0.005	8,10,12, } $\pm 1$ 15,20	6	130	适用于作电机、电器的绕组 和绑扎绝缘
无碱带 80	0.080 $\pm$ 0.010			200	
无碱带-100	0.100 $\pm$ 0.010	25,30,35, } $\pm 2$ 40,50		200	
无碱带-170	0.170 $\pm$ 0.015			300	
无碱带-200	0.200 $\pm$ 0.020			400	

#### (4) 玻璃纤维绳的规格、性能和用途

表 8-23 玻璃纤维绳的规格、性能和用途

型 号	公称直径(mm)	抗拉强度(N)
BS05	$0.5 \pm 0.05$	>49
BS10	$1 \pm 0.1$	>98
BS15	$1.5 \pm 0.15$	>196
BS20	$2 \pm 0.2$	>343
BS25	$2.5 \pm 0.25$	>588

注：用于电机、电器绕组的绑扎。

#### (5) 涤玻绳的规格、性能和用途

表 8-24 涤玻绳的规格、性能和用途

外套直径 (mm)	面 层		芯 线		标称质量 (g/m)	断裂强度(N) (绳芯)	伸长率 (%)
	涤纶纱 规格	锭×根	无蜡纱 规格 支×根	根			
10	20 支	40×8	10×50	4	25.8	2120~3000	35~41
12		52×10		8	41.3	2800~3980	40~45
16		52×15		8	56.6	2400~4000	37~60
22		52×20		8	164.7	18300~24000	37~43

注：可作 B 级电机的线圈端部绑扎。

### 5. 浸渍纤维制品

(1) 漆布的品种、用途和特性 见表 8-25。

表 8 25 漆布的品种、用途和特性

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,可用于有变压器油或汽油浸蚀的环境中工作的电机、电器的衬垫或线圈绝缘
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,适用于有变压器油或汽油浸蚀的环境中工作的电机、电器的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	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,并且有一定的防霉性。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		
醇酸薄玻 璃漆布	—	B	具有良好的弹性和韧性,较高的机械性能、电气性能和耐热性,并具有一定的防霉性和耐油性。可代替漆绸作电器线圈的绝缘
醇酸薄玻璃- 聚酯交织漆布			
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,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		

(续)

名称	型号	耐热等级	特性和用途
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
有机硅薄玻璃漆布		H	具有较高的耐热性,良好的柔软性和耐寒性。适用于H级特种用途电器的线圈绝缘
硅橡胶玻璃漆布	2550	H	具有较高的耐热性,良好的柔软性和耐寒性。适用于特种用途的低压电机端部绝缘和导线绝缘
聚酰亚胺玻璃漆布	2560	C	具有很高的耐热性,良好的电气性能,耐溶剂和耐辐照性好,但较脆。适用于工作温度高于200℃的电机槽绝缘和端部衬垫绝缘,以及电器线圈和衬垫绝缘
有机硅防电晕玻璃漆布	2650	H	具有稳定的低电阻率,耐热性好。适于作高压电机定子线圈防电晕材料

(2)常用浸渍漆与漆布的相容性

表 8-26 常用浸渍漆与漆布的相容性

浸渍漆 漆布	漆									
	油性漆-石油溶剂	醇酸漆-苯类溶剂	醇酸酯漆-苯醇溶剂	醇酸-聚酰胺漆-苯-石油溶剂	环氧树脂-脂-苯醇溶剂	聚酯漆-苯类溶剂	有机硅漆-苯类溶剂	二苯醚漆-酮类溶剂	聚酰亚胺漆-强极性溶剂	
油性漆布	优	良	良	良	良	○	○	○	○	
沥青醇酸玻璃漆布	良	良	良	良	良	○	○	○	○	
醇酸玻璃漆布	良	优	优	优	良	○	○	○	○	
环氧玻璃漆布	○	良	良	良	优	○	○	○	○	
有机硅玻璃漆布	○	○	○	○	○	○	良	可	○	
硅橡胶玻璃漆布	○	○	○	○	○	○	可	可	○	
聚酰亚胺玻璃漆布	○	○	○	○	○	○	○	○	可	

注:相容性顺序是:优、良、可、○表示不推荐。

(3)漆管的品种、用途和性能

表 8-27 漆管的品种、用途和性能

名称	型号	耐热等级	击穿电压(kV)				特性和用途
			常态	缠绕后	受潮后	热态	
油性漆管	2710	A	5~7	2~6	1.5~5	—	具有良好的电气性能和弹性,但耐热性、耐潮性、耐毒性差。可作电机、电器、仪表等设备的引出线和连接线绝缘
油性玻璃漆管	2714	E	>5	>2	>2.5	—	
聚氨酯漆管		F	3~5	2.5~3	2~4	3~5 (105℃)	具有良好的弹性和一定的电气性能和机械性能。适用于电机、电器、仪表等设备的引出线和连接线绝缘
醇酸玻璃漆管	2730	B	5~7	2~6	2.5~5	—	具有良好的电气性能和机械性能,耐油性和耐热性好,但弹性稍差。可代替油性漆管作电机、电器、仪表等设备引出线和连接线绝缘
聚氯乙烯玻璃漆管	2731	B	5~7	1~6	2.5~4	—	具有优良的弹性和一定的电气性能、机械性能和耐化学性。适于作电机、电器、仪表等设备的引出线和连接线绝缘

(续)

名称	型号	耐热等级	击穿电压(kV)				特性和用途
			常态	缠绕后	受潮后	热态	
有机硅 玻璃漆管	2750	H	4~7	1.5~4	2~6	—	具有较高的耐热性和耐潮性,良好的电气性能。适于作H级电机、电器等设备的引出线和连接线绝缘
硅橡胶 玻璃丝管	2751	H	4~9	—	2~7	3~7 (180℃)	具有优良的弹性、耐热性和耐寒性,电气性能和机械性能良好。适用于在60~180℃工作的电机、电器和仪表等设备的引出线和连线绝缘

注:各种漆管贮存期6个月

(4) 绑扎带的性能和用途

表 8-28 绑扎带的性能

性能名称	聚酯绑 扎带	环氧 绑扎带	聚芳烷基醚 酚绑扎带	聚胺 酰亚胺 绑扎带
胶含量(%)	27±3	25±2	27±3	30±3
其中可溶性树脂占总 胶量(%)	97	93	—	—
挥发物(%)	3±0.5	3±0.5	—	—
环抗张力(N/cm <sup>2</sup> )常态	80000~110000	90000~124000	—	>60000
环抗张力(N/cm <sup>2</sup> )热态	保留60%~ 65%(130℃)	保留60%~ 65%(130℃)	>6000 (180℃)	>5000 (180℃)
耐热等级	B	F	H	H
贮存期(月)	3	—	3	1
	5℃	1	—	—
工作预热温度(℃)	80~100	80~100	—	80~100

(续)

性能名称	聚酯绑 扎带	环氧 绑扎带	聚芳酰胺 酚绑扎带	聚胺·酰亚胺 绑扎带
缠绕拉力(N/cm)	140~200	140~200	140~200	140~200
烘焙固化工艺温度和时间 (C/h)	①80~90/2 ②110~ 120/2 ③130~ 140/17~20	①80~90/2 ②110~ 120/2 ③130~ 155/17~20	①80~90/2 ②140/2 ③160/2 ④180/15~16	①80/2 ②100~ 120/4 ③160/2 ④180/2 ⑤200/2

## 6. 层压制品

### (1) 层压板的品种、用途和特性

表 8-29 层压板的品种、用途和特性

品种		型号	耐热 等级	特性和用途
纸 质	酚醛层 压纸板	3020	E	具有高的介电性能,耐油性好。适用于电 器设备中作绝缘结构件,可在变压器油中使用
		3021	E	耐油。机械强度高。适用于变压器油中以及 电气设备中作绝缘结构件
		3022	E	有较高耐潮性,适用于高湿度环境下工作的 电气设备中作绝缘结构件
		3023	E	介质损耗小。用作无线电、电话及高频设 备中的绝缘结构件
布 质	酚醛层 压布板	3025	E	机械强度高。适用于电器设备中的绝缘结 构件,并可在变压器油中应用
		3027	E	吸水性小,介电性能好。适用于高频无线 电装置中作绝缘结构件

(续)

品 种	型 号	耐 热 等 级	特 性 和 用 途
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。适用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板好,粘合强度与布板相近。可代替布板用作电机、电器中的绝缘结构件
环氧酚醛层 压玻璃布板	3240	B	具有高的机械性能、介电性能和耐水性。适用于电机、电器设备中作绝缘结构零部件,可在变压器油中的潮湿条件下使用
有机硅环氧 层压玻璃布板	3250	H	具有较高的耐热性、机械性能和介电性能。适用于热带型电机、电器中作绝缘结构件使用
有机硅 层压玻璃布板	3251	H	耐热性好,其机械强度稍低于3250板,适用于耐热180℃及热带型电机、电器中作绝缘结构零部件使用
聚酰亚胺层 压玻璃布板		C	●具有很好的耐热性、耐辐照。用作H级电机、电器的绝缘结构件
聚二苯醚层 压玻璃布板		H	具有优良的耐热性和机械性能,耐辐照,耐腐蚀,能熄灭电弧。适于作H级电机、电器绝缘结构件

玻璃布质



(续)

品 种	型 号	耐 热 等 级	特 性 和 用 途	
特 种 层 压 板	酚醛纸 复铜箔板	3420 (双面) 3421 (单面)	E	具有高的抗剥性能,较好的机械性能和电气性能、机械加工性能。适用作无线电、电子设备和其他电器设备中的印制电路板
	环氧酚醛玻璃 布复铜箔板	3440 (双面) 3441 (单面)	F	具有较高的抗剥性能和机械强度,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制电路板
	防电晕环氧 玻璃布板		F	具有较稳定的低电阻,适于作高压电机槽部的防晕材料

(2)层压管的品种、用途和特性

表 8 30 层压管的品种、组成、特性和用途

品 种	型 号	耐 热 等 级	特 性 和 用 途
酚 醛 纸 管	3520	E	电气性能好,适于作电机、电器绝缘结构件。可在变压器油中使用
	3522	E	电气性能好,介质损耗较小。适于作无线电和电信装置中的绝缘结构件
	3523	E	具有良好的机械加工性。适于作电机、电器绝缘结构件,可在变压器油中使用
酚 醛 布 管	3526	E	具有较高的机械强度和一定的电气性能。适用于作电机、电器绝缘结构件,可在变压器油中使用
环 氧 酚 醛 玻 璃 布 管	3640	B、F	具有高的电气性能和机械强度、耐潮性和耐热性较好。适于作电机、电器绝缘结构件,可在高电场强度、潮湿环境或变压器油中使用
有 机 硅 玻 璃 布 管	3650	H	具有高的耐热性,耐潮性好。适于作H级电机、电器绝缘结构件

(3)层压棒的品种、用途和性能

表 8-31 层压板的品种、用途和性能

名称	耐热等级	相对密度	吸水率 (%)	耐油性 (%)	抗变强度 (N/cm <sup>2</sup> )	抗张强度 (N/cm <sup>2</sup> )	平行层可绝缘电阻 (Ω)		平行层向击穿电压 (kV) (在变压器油中)		特性和用途
							常态	浸水后	20±5℃	50±2℃	
酚醛纸棒 3721	E	1.25	-	105%	10000 ~ 25000	7000~ 16000	$2 \times 10^{10}$ $>10^{10}$	-	8 ~ 22	-	具有一定的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
酚醛布棒 3721	E	1.25	<10.0	-	12000 ~ 18000	3000 ~ 17000	$>10^8$	-	10 ~ 40	-	具有较好的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件,并可在变压器油中使用
环氧酚醛 玻璃布棒 3810	B、 F	1.75 ~ 2.0	-	-	35000 ~ 56000	20000 ~ 42000	$10^{10}$ ~ $10^{12}$	$10^7$ ~ $10^{10}$	15 ~ 30	-	具有良好的电气性能和机械性能。适于作电机、电器及其他电工设备中的绝缘结构件,可在湿热地区或变压器油中使用

在变压器油中 4h; 2 系内电阻率( $\rho$ : Ω·m); 3 系电极间距离为 10mm。

注: 表中品种贮存期均为 18 个月。

## 7. 云母制品

### (1) 云母带及粉云母带的品种、性能和用途

表 8-32 云母带及粉云母带的品种、性能和用途

名称	型号	耐热等级	厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	抗张力 (N)	特性和用途
沥青绸云母带	5032	A~E	0.13, 0.16	16~25	0.5~0.6	柔软性、防潮性和介电性能好, 贮存较长(6个月), 作线圈绕组绝缘, 易麻线, 但绝缘厚度偏差大, 耐热性较低。可用于高压电机主绝缘
沥青玻璃云母带	5031	E	0.13, 0.16	16~25	0.5~1.0	
醇酸纸云母带	5430	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	0.3~0.6	耐热性较高, 但防潮性较差, 可作直流电机电机线圈和低压电机线圈的绕组绝缘
醇酸绸云母带	5432	B	0.13, 0.16	16~25	0.5~1.0	
醇酸玻璃云母带	5431	B	0.10, 0.13, 0.16	16~25	0.7~1.4	
环氧聚酯玻璃粉云母带	5437-1	B	0.14, 0.17	20~35	0.7~1.4	热弹性较高, 在室温下贮存期可达6个月, 但介质损耗较大。可代替醇酸云母带作电机匝间绝缘和端部绝缘, 不宜作高压电机上绝缘
环氧玻璃粉云母带	5438-1	B	0.14, 0.17	24~45	1~2	含胶量大, 厚度均匀, 固化后电气、机械性能较好, 但贮存期较短(半个月)。适用于模压或液压成型的高压电机线圈绝缘

(续)

名称	型号	耐热等级	厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	抗张力 (N)	特性和用途
无机性环氧玻璃粉母带	9541-1	B	0.14, 0.17	24~45	1~2	柔软性好, 绕包工艺性好, 由于胶粘剂流动性大, 故固化时间长。适宜作液压成型的高压电机的主绝缘
环氧玻璃粉云母带		B	0.11, 0.13	24~45	1~2	贮存期长, 适用于皱纹式中型高压电机的主绝缘
有机非玻璃云母带	5450	H	0.11, 0.13, 0.16	16~25	0.7~1.7	耐热性高, 主要用于要求耐高温电机或牵引电机线圈绝缘
有机硅玻璃粉云母带	5450-1	H	0.14, 0.17	16~30	0.7~1.7	
有机硅玻璃金云母带	5450-2	H	0.10, 0.13, 0.16	16~20	0.7~1.7	

(2) 柔软云母纸和塑型云母板的品种、性能和用途 见表 8-33。

表 8-33 柔软云母板和塑型云母板的品种、性能和用途

名称	型号	耐热等级	击穿强度 (kV/mm)				体积电阻率 (cΩ·m)		用途
			厚 0.15 mm	厚 0.2~0.25 mm	厚 0.3~0.5 mm	厚 0.6~1.2 mm	常态	受潮 48 h 后	
醇酸纸柔软云母板	5130	B	15~28	20~30	15~26	-	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>10</sup>	供作低压交流电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸纸柔软粉云母板	5130-1	B	16~35	18~55	>16	-	-	-	
醇酸玻璃柔软云母板	5131	B	16~20	18~25	16~22	-	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>10</sup>	用于一般电机槽衬和端部层间绝缘
醇酸玻璃柔软粉云母板	5131-1	B	16~25	18~25	16~22	-	-	-	
沥青玻璃柔软云母板	5135	E	16~25	18~25	16~22	-	>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>10</sup>	用于低压电机槽绝缘
环氧纸柔软粉云母板	5136-1	B	>16	>18	>16	-	-	-	用作电机槽绝缘及层间绝缘
环氧玻璃柔软粉云母板	5137-1	B	>25	>30	>30	-	-	-	用于低压电机槽绝缘和端部层间绝缘或外包绝缘
环氧薄玻璃柔软粉云母板	5138-1	B	>35	>35	>35	-	-	-	用于高压电机定子线圈匝间和换位绝缘或其他衬垫绝缘

(续)

名称	型号	耐热等级	击穿强度 (kV/mm)				体积电阻率 (cΩ·m)		用途
			厚 0.15 mm	厚 0.2~0.25mm	厚 0.3~0.5mm	厚 0.6~1.2mm	常态	受潮 48 h 后	
醇酸柔软云母板	5133	B	25~30	25~22	23~28		>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	用于高压电机定子线圈匝间和换位绝缘或其他衬垫绝缘
有机硅柔软云母板	5150	H	>20	>25	>20		>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>10</sup>	
有机硅玻璃柔软云母板	5151	H	16~26	18~28	16~26		>10 <sup>12</sup>	>10 <sup>10</sup>	用于H级电机槽部或端部层间绝缘
有机硅玻璃柔软云母板	5151-1	H	>15	>25	>20		-	-	
醇酸塑型云母板	5230	B	35~50	35~50	30~40	25~30	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	用于电机换向器 V 型环和电容器绝缘结构件
虫胶塑型云母板	5231	B	33~47	35~17	30~38	>25	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	
醇酸塑型云母板	5235	B	35~50	35~50	30~40	>25	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	用于温升较高, 转速较快的电机换向器 V 型环和绝缘结构件
虫胶塑型云母板	5236	B	35~50	35~50	30~40	25~30	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	
有机硅塑型云母板	5250	H	35~50	35~50	30~40	>25	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup>	用于耐热电机、电器、仪表绝缘结构件

(3)云母箔的品种、性能及用途

表 8-34 云母箔的品种、性能及用途

名称	型号	耐热等级	标称厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	用途	
醇酸纸云母箔	5830	B	0.15	16~35	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘	
			0.20			
			0.25			
			0.30			
醇酸纸粉云母箔	5830-1	B	0.17	25~40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘	
			0.22			
虫胶纸云母箔	5831	E~B	0.15	16~35		用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
			0.20			
			0.25			
			0.30			
虫胶纸粉云母箔	5831-1	E~B	0.15	25~40	用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘	
			0.20			
			0.25			
虫胶纸金云母箔	5831-2	E~B	0.15	16~30		用于一般电机、电器卷烘绝缘、磁极绝缘
			0.20			
			0.25			
			0.30			

(续)

名称	型号	耐热等级	标称厚度 (mm)	击穿强度 (kV/mm)	用途
醇酸玻璃云母箔	5832	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	用于要求机械强度较高的电机、电器卷烘绝缘,磁极绝缘
虫胶玻璃云母箔	5833	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	
虫胶玻璃全云母箔	5833-2	B	0.15 0.20 0.25 0.30	16~30	
环氧玻璃粉云母箔	5835-1	B	0.15 0.20 0.25	25~50	
有机硅玻璃云母箔	5850	H	0.15 0.20 0.25 0.30	16~35	



## 8. 薄膜、复合制品及粘带

### (1) 常用电工薄膜的性能、特性和用途

表 8-35 电工常用薄膜的性能

品 种	耐热等级	结晶定向程度	厚 度 (mm)	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	抗张强度 (N/mm <sup>2</sup> )		击穿强度 (kV/mm)		体积电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )	
					纵 向	横 向	常 态	热 态	常 态	热 态
聚丙烯薄膜		定向	0.006~ 0.02	0.89~ 0.92	>120	>140	>180		10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	
聚酯薄膜 (涤纶薄膜)	E	定向	0.006~ 0.10	1.38~ 1.40	150~ 210	150~ 200	130~ 230	100~180 (130℃)	10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>14</sup>
聚萘烯薄膜	F	定向	0.02~ 0.10	1.35~ 1.40	140~ 250	210~ 250	>210	155 (155℃)	10 <sup>16</sup>	
芳香族聚酰胺薄膜	H	不定向	0.03~ 0.06	—	90~ 120	80~ 110	90~ 130	87 (180℃)	10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	—
聚酰亚胺薄膜	C	不定向	0.03~ 0.06	1.38~ 1.41	100~ 170	—	100~ 190	80~130 (200℃)	10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	10 <sup>12</sup> ~10 <sup>13</sup> (200℃)

(续)

品 种	耐热等级	结晶定向程度	厚度 (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	抗张强度 (N/mm <sup>2</sup> )		击穿强度 (kV/mm)		体积电阻率 (cΩ·m)	
					纵向	横向	常态	热态	常态	热态
聚四氟乙稀薄膜	C	定向	0.01~0.10	2.1~2.3	>30	>30	>60 (直流)	-	10 <sup>16</sup> ~10 <sup>17</sup>	-
		半定向	0.04~0.12	-	>15	>15	>50 (直流)	-	>10 <sup>16</sup>	-
		不定向	0.02~0.50	2.1~2.3	>10	>10	>40 (直流)	-	10 <sup>15</sup> ~10 <sup>16</sup>	-
全氟乙丙稀薄膜	C	不定向	0.01~0.50	2.15	18~20	-	196	-	10 <sup>16</sup> ~10 <sup>19</sup>	-
聚苯乙稀薄膜	Y以下	定向	0.02~0.10	0.93	>50	>50	>110	-	10 <sup>17</sup>	-
聚乙稀薄膜	Y以下	不定向	0.02~0.20	0.93	>10	>10	>40	-	10 <sup>17</sup>	-

表 8 36 电工常用薄膜的特性和用途

品 种	特 性	用 途
聚丙烯薄膜	具有较高电气性能,机械性能和化学稳定性,介质损耗比电容纸低,浸渍性能较差	可用作电容器介质
聚酯薄膜(涤纶薄膜)	具有较高的抗张强度,较高的绝缘电阻和击穿强度,易醇解和水解,耐碱性和耐电晕性差	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	耐气候性优良,弹性好,易水解但比聚酯薄膜慢	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	耐溶剂性好,具有一定电气和机械性能,耐变压器油性能好	可用作F、H级电机槽绝缘
聚酰亚胺薄膜	能耐所有的有机溶剂和酸,不耐强碱,不推荐油中使用,有较好的耐磨、耐电弧、辐照性能	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
聚四氟乙烯薄膜	具有很高的耐热耐寒性能,超过300℃性能下降,有良好的电气及化学稳定性,在电弧作用下不碳化,此种薄膜不易粘结	可用作工作温度为-60~250℃电容器介质,电器、仪表、无线电装置的层间衬垫绝缘和耐热电磁铁、安装线、耐油电缆、耐热导线绝缘
全氟乙丙烯薄膜	具有优良的高频特性,介质损耗小,吸湿性小,化学稳定性好,在高温高压下可自粘或与其他材料粘结	可用作电线、同轴电缆的包覆层和印制电路板
聚苯乙烯薄膜	有良好的电气性能,介质损耗小,耐热性和柔软性差,抗冲击、抗撕裂强度低	可用作高频电信电缆绝缘和电容器介质
聚乙烯薄膜	机械性能和耐热性较差,长期工作温度为70℃	可用作电信电缆绝缘及工作温度不超过70℃的电缆绝缘护层

(2)复合制品的品种、性能和用途

表 8-37 复合制品的品种、性能和用途

品 种	型 号 (代号)	厚 度 (mm)	耐 热 等 级	抗 张 力 (N)		击 穿 电 压 (kV)				体 积 电 阻 率 ( $c\Omega \cdot m$ )			用 途
				纵 向	横 向	常 态	弯 折	受 潮 后	热 态	常 态	受 潮 后	热 态	
聚酯薄膜 绝缘纸 复合箔	6520	0.15~ 0.30	F	180~ 330	120~ 300	6.5~ 12	5~12	4.5~ 12	—	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	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	250~ 330	200~ 300	8~12	6~8	5~10	—	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>12</sup>	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~ 0.35	B	180~ 270	150~ 220	10~12	9~12	8~12	8~11 (130℃)	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	
聚酯薄膜 芳香族 聚酯胶纤 纸复合 箔	NMN	0.25~ 0.30	F	>90	>70	10~11	9~11	11	8~9 (155℃)	10 <sup>15</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	用于 F 级电机槽绝 缘,端部层间绝缘、匝 间绝缘和衬垫绝缘
聚酯薄膜 芳香族 聚酯胶纤 纸复合 箔	NHN	0.25~ 0.30	F	130~ 280	100~ 210	7~12	6~11	7~9	—	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	同上,但适用于 H 级电机

(3)常用粘带的品种、主要性能和用途

表 8-38 常用粘带的品种、主要性能和用途

品种	厚度 (mm)	抗张强度 (N/mm) (纵向)	延伸率 (%) (纵向)	击穿强度 (kV/mm)			体积电阻率 ( $\text{c}\Omega \cdot \text{m}$ )			介质损耗 角正切 (10 <sup>6</sup> Hz)	特性和用途
				常态	受潮后	热态	常态	受潮后	热态		
聚乙烯薄膜 粘带	0.22~ 0.26	12.5~ 15.6	4600~ 4800	>30	-	-	10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	-	-	0.02~ 0.03	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 粘带	0.10	60	-	>10	-	-	-	-	-	-	包扎潮湿,使用方便,可代替黑胶布带作电线接头包扎绝缘
聚氯乙烯 薄膜粘带	0.14~ 0.19	-	-	>10	-	-	-	-	-	-	性能与聚乙烯薄膜粘带相似。供作电压500~6000V电线接头包扎绝缘
聚酯薄膜 粘带	0.055~ 0.17	-	-	>100	-	-	-	-	-	-	耐热性较好,机械强度高。可用作半导体器件密封绝缘和电机线圈绝缘
聚酯亚胺 薄膜粘带	0.045~ 0.07	108~ 125	250~ 450	190~ 210	120~ 150	130~ 150 (180℃)	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>12</sup> (180℃)	0.003	电气、机械、耐热性优良,成型温度较高(180~200℃)。可作H级电机线圈和槽绝缘

薄膜粘带

(续)

品名	厚度 (mm)	抗张强度 (N/mm)	延伸率 (%) (纵向)	击穿强度 (kV/mm)			体积电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )			介质损耗 角正切 (10 <sup>5</sup> Hz)	特性和用途
				常态	受潮后	热态	常态	受潮后	热态		
薄膜粘带 聚酰亚胺 薄膜粘带	0.05	90~100	400~500	>120	—	80 (180℃)	>10 <sup>16</sup>	—	>10 <sup>15</sup> (180℃)	0.001	同上,但成型温度更高(300℃以上),可用于H或C级电机,漆油电机线圈绝缘或槽绝缘
织物粘带 环氧玻璃 粘带	0.17	抗张力 >120N	—	击穿电压 >6kV	弯折后 3.8	—	>10 <sup>14</sup>	>10 <sup>13</sup>	>10 <sup>12</sup> (130℃)	—	具有较高的电气和机械性能。供作变压器铁心绑扎材料,属B级绝缘
硅橡胶 玻璃粘带	—	抗张力 >120N	—	击穿电压 3~5kV	—	—	10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	—	—	同上,但柔软性较好
自粘性硅 橡胶三角带	—	5~8	350~ 500	20~30	—	—	10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	—	—	0.0014 ~0.01	具有耐热、耐潮、抗振动、耐化学腐蚀等特性;抗张强度较低。适用于半叠包法作高压电机线圈绝缘
自粘性丁 基橡胶粘带	—	>1.5	>4000	>30	—	—	10 <sup>15</sup>	—	—	0.02	有硫化型、非硫化型两种,胶带弹性好,伸缩性大,包扎紧密性好。主要用于电力电缆联接和端头包扎绝缘

## 第九章 电 机

### 一、三相异步电动机

#### 1. 三相异步电动机的基本计算公式

##### (1) 旋转磁场的转速

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中  $n_1$  —— 旋转磁场的转速(同步转速)(r/min);

$f$  —— 电源频率(Hz);

$p$  —— 极对数。

##### (2) 电动机的转速

$$n = (1-s)n_1 = (1-s)\frac{60f}{p}$$

式中  $n$  —— 电动机的转速(r/min);

$s$  —— 转差率,

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \times 100\%$$

在额定运转状态下,  $s = 2\% \sim 5\%$ 。交流异步电动机的转速与极数的关系如表 9-1 所示。

表 9-1 交流异步电动机的转速与极数的关系

极数	2	4	6	8	10
极对数	1	2	3	4	5
同步转速(r/min)	3000	1500	1000	750	600
额定转速(r/min)	2900 左右	1450 左右	960 左右	730 左右	570 左右

##### (3) 电压、电动势和主磁通的关系

$$U_1 = E_1 = 4.44K_1 f N_1 \Phi$$

式中  $U_1$  ——电源电压(V);  
 $E_1$  ——定子每相绕组的感应电动势(V);  
 $K_1$  ——定子绕组系数,  $K_1 < 1$ ;  
 $f$  ——电源频率(Hz);  
 $N_1$  ——定子每相绕组串联的线圈匝数;  
 $\Phi$  ——旋转磁场的每极磁通最大值(Wb)。

国产异步电动机, 在空载时  $E_1 \approx 97\%U_1$ , 在额定负载时  $E_1 \approx 92\%U_1$ 。

#### (4) 转子电参数

##### 1) 转子电流频率

$$f_2 = sf_1 = \frac{n_1 - n}{n_1} f_1 \quad (\text{Hz})$$

式中  $f_1$  ——定子绕组外加电源频率((Hz);  
 $s$  ——转差率。

##### 2) 转子感应电动势

$$E_2 = sE_{20} = s \times 4.44K_2f_1N_2\Phi \quad (\text{V})$$

式中  $K_2$  ——转子绕组系数,  $K_2 < 1$ ;  
 $N_2$  ——转子每相绕组的匝数;  
 $\Phi$  ——旋转磁场的每极磁通的最大值(Wb);  
 $E_{20}$  ——当转子静止时的感应电动势(V), 即  $n=0, s=1$  时,  $E_2 = E_{20}$ 。

##### 3) 转子相阻抗

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2} \quad (\Omega)$$

式中  $R_2$  ——转子绕组每相电阻( $\Omega$ );  
 $X_2$  ——转子绕组每相电抗( $\Omega$ ),

$$X_2 = sX_{20}$$

$$X_{20} = 2\pi f_1 L_2$$

式中  $X_{20}$  ——转子静止时转子绕组的每相电抗( $\Omega$ );  
 $L_2$  ——转子每相绕组的漏电感(H)。

##### 4) 转子相电流



$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2}$$

5) 转子功率因数

$$\cos\varphi = \frac{R_2}{Z_2}$$

(5) 电磁转矩、额定转矩和过载能力

$$T = C_M \Phi I_2 \cos\varphi_2$$

式中  $T$  —— 电动机的电磁转矩 (N·m);

$C_M$  —— 与电动机结构参数有关的常数;

$\Phi$  —— 气隙磁场的每极磁通量 (Wb);

$I_2$  —— 转子电流的折算值 (A);

$\cos\varphi$  —— 转子每相电路的功率因数。

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

$$T_m = \lambda_M T_n$$

$$T_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$$

$$s \sim s_n (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1})$$

式中  $P_n$  —— 电动机额定功率 (kW);

$n_n$  —— 电动机额定转速 (r/min);

$\lambda_M$  —— 电动机过载倍数,  $\lambda_M = 1.8 \sim 2.5$ ;

$s_n$  —— 电动机额定转差率。

(6) 损耗和效率

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

式中  $\Delta P$  —— 电动机的损耗 (kW);

$P_1$  —— 电动机的输入功率 (kW);

$P_2$  —— 电动机的输出功率 (kW)。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} \times 100\%$$

式中  $\eta$  —— 电动机的效率, 通常当电动机的负载率为  $(0.75 \sim 0.8)P_n$  时, 效率最高。

## 2. 三相异步电动机绕组的有关计算

参见本章四节。

## 3. 三相异步电动机改做发电机的有关计算

(1) 绕线转子异步电动机改做发电机的计算 往绕线转子异步电动机转子绕组里通入直流电(方法有配置直流励磁机或整流变压器),用原动机带动其转子以同步转速旋转,则电动机就成为了同步发电机。

1) 转子绕组两相串联供电时的励磁电压和电流(图 9-1a)

$$E_n = 1.41s_n U_{20}$$

$$I_n = 1.23I_{2n}$$

式中  $E_n$  —— 额定励磁电压(V);

$I_n$  —— 额定励磁电流(A);

$s_n$  —— 异步电动机的额定转差率;

$U_{20}$  —— 异步电动机转子静止时,转子线电压(V);

$I_{2n}$  —— 异步电动机转子额定电流(A)。

2) 转子绕组两相并联与一相串联时的励磁电压和电流(图 9-1b)

$$E_n = 1.23s_n U_{20}$$

$$I_n = 1.41I_{2n}$$

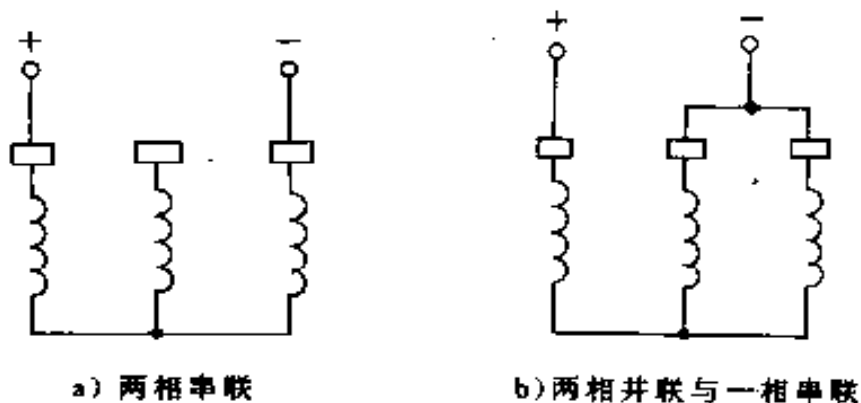


图 9 1 转子绕组的接线图

(2) 笼型异步电动机改做发电机的计算

1) 空载励磁电容的计算(如图 9-2)

$$C_0 = \frac{I_0}{2\pi f \sqrt{3} U_n} \times 10^6$$

式中  $C_0$  ——空载励磁电容  
( $\mu\text{F}/\text{相}$ )；

$I_0$  ——异步电动机空载  
电流(A)；

$U_n$  ——异步电动机额定  
线电压(V)；

$f$  ——电流频率(Hz)。

有时也可用下述公式计算

$$C_0 = \frac{Q_0}{2\pi f \times 3U_p^2} \times 10^6$$

式中  $Q_0$  ——异步电动机空载  
无功功率(kvar)；

$U_p$  ——电源相电压(V)。

## 2) 负载补偿电容计算(满载运行状态)

$$C_f = 1.25C_0 + \frac{Q}{2\pi f U_n^2} \times 10^6$$

式中  $C_f$  ——负载补偿电容( $\mu\text{F}/\text{相}$ )；

$C_0$  ——空载励磁电容( $\mu\text{F}/\text{相}$ )；

$Q$  ——感应发电机的负载无功功率(kvar)

$$Q = S_n \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi_n}$$

式中  $S_n$  ——感应发电机的额定容量(kVA)；

$P_n$  ——异步电动机的额定功率(kW)；

$\cos \varphi_n$  ——异步电动机的额定功率因数；

$\cos \varphi$  ——感应发电机的负载的功率因数。

## 4. 电动机的选择

参见第二十一章一节。

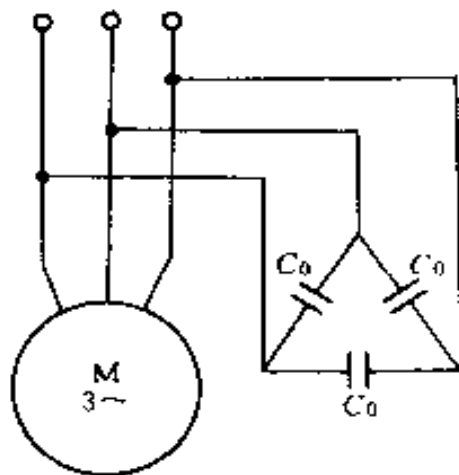


图 9-2 空载励磁电容的接线

## 5. 常用三相异步电动机的技术数据

(1) Y 系列(IP44)三相异步电动机主要技术数据


表 9-2 Y 系列(IP44)三相异步电动机主要性能

型 号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	堵转电流	堵转转矩	最大转矩
					额定电流	额定转矩	额定转矩
Y80L-2	0.75	380	1.81	2830	7.0	2.2	2.2
Y802-2	1.1	380	2.52	2830	7.0	2.2	2.2
Y90S-2	1.5	380	3.44	2840	7.0	2.2	2.2
Y90L-2	2.2	380	4.74	2840	7.0	2.2	2.2
Y100L-2	3.0	380	6.39	2870	7.0	2.2	2.2
Y112M-2	4.0	380	8.17	2890	7.0	2.2	2.2
Y132S <sub>1</sub> -2	5.5	380	11.1	2900	7.0	2.0	2.2
Y132S <sub>2</sub> -2	7.5	380	15.0	2900	7.0	2.0	2.2
Y160M <sub>1</sub> -2	11	380	21.8	2900	7.0	2.0	2.2
Y160M <sub>2</sub> -2	15	380	29.4	2930	7.0	2.0	2.2
Y160L-2	18.5	380	35.5	2930	7.0	2.0	2.2
Y180M-2	22	380	42.2	2940	7.0	2.0	2.2
Y200L <sub>1</sub> -2	30	380	56.9	2950	7.0	2.0	2.2
Y200L <sub>2</sub> -2	37	380	69.8	2950	7.0	2.0	2.2
Y225M-2	45	380	83.9	2970	7.0	2.0	2.2
Y250M-2	55	380	103	2970	7.0	2.0	2.2
Y280S-2	75	380	140	2970	7.0	2.0	2.2
Y280M-2	90	380	167	2970	7.0	2.0	2.2
Y80L-4	0.55	380	1.51	1390	6.5	2.2	2.2
Y802-4	0.75	380	2.01	1390	6.5	2.2	2.2
Y90S-4	1.1	380	2.75	1400	6.5	2.2	2.2
Y90L-4	1.5	380	3.65	1400	6.5	2.2	2.2
Y100L <sub>1</sub> -4	2.2	380	5.03	1430	6.5	2.2	2.2
Y100L <sub>2</sub> -4	3.0	380	6.82	1430	7.0	2.2	2.2
Y112M-4	4.0	380	8.77	1440	7.0	2.2	2.2
Y132S-4	5.5	380	11.6	1440	7.0	2.2	2.2
Y132M-4	7.5	380	15.4	1440	7.0	2.2	2.2
Y160M-4	11	380	22.6	1460	7.0	2.2	2.2
Y160L-4	15	380	30.3	1460	7.0	2.2	2.2
Y180M-4	18.5	380	35.9	1470	7.0	2.0	2.2
Y180L-4	22	380	42.5	1470	7.0	2.0	2.2

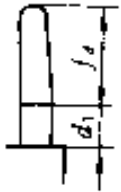
(续)

型 号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定转速 (r/min)	堵转电流	堵转转矩	最大转速
					额定电流	额定转矩	额定转矩
Y200L-4	30	380	56.8	1470	7.0	2.0	2.2
Y225S-4	37	380	69.8	1480	7.0	1.9	2.2
Y225M-4	45	380	84.2	1480	7.0	1.9	2.2
Y250M-4	55	380	103	1480	7.0	2.0	2.2
Y280S-4	75	380	140	1480	7.0	1.9	2.2
Y280M-4	90	380	164	1480	7.0	1.9	2.2
Y90S-6	0.75	380	2.25	910	6.0	2.0	2.0
Y90L-6	1.1	380	3.15	910	6.0	2.0	2.0
Y100L-6	1.5	380	3.97	940	6.0	2.0	2.0
Y112M-6	2.2	380	5.61	940	6.0	2.0	2.0
Y132S-6	3.0	380	7.23	960	6.5	2.0	2.0
Y132M <sub>1</sub> -6	4.0	380	9.40	960	6.5	2.0	2.0
Y132M <sub>2</sub> -6	5.5	380	12.6	960	6.5	2.0	2.0
Y160M-6	7.5	380	17.0	970	6.5	2.0	2.0
Y160L-6	11	380	24.6	970	6.5	2.0	2.0
Y180L-6	15	380	31.4	970	6.5	1.8	2.0
Y200L <sub>1</sub> -6	18.5	380	37.7	970	6.5	1.8	2.0
Y200L <sub>2</sub> -6	22	380	44.6	970	6.5	1.8	2.0
Y225M-6	30	380	59.5	980	6.5	1.7	2.0
Y250M-6	37	380	72	980	6.5	1.8	2.0
Y280S-6	45	380	85.4	980	6.5	1.8	2.0
Y280M-6	55	380	104	980	6.5	1.8	2.0
Y132S-8	2.2	380	5.81	710	5.5	2.0	2.0
Y132M-8	3.0	380	7.72	710	5.5	2.0	2.0
Y160M <sub>1</sub> -8	4.0	380	9.91	720	6.0	2.0	2.0
Y160M <sub>2</sub> -8	5.5	380	13.3	720	6.0	2.0	2.0
Y160L-8	7.5	380	17.7	720	5.5	2.0	2.0
Y180L-8	11	380	25.1	730	6.0	1.7	2.0
Y200L-8	15	380	34.1	730	6.0	1.8	2.0
Y225S-8	18.5	380	41.3	730	6.0	1.7	2.0
Y225M-8	22	380	47.6	730	6.0	1.8	2.0
Y250M-8	30	380	63.0	730	6.0	1.8	2.0
Y280S-8	37	380	78.2	740	6.0	1.8	2.0
Y280M-8	45	380	93.2	740	6.0	1.8	2.0

表 9-3 Y 系列(IP44)三相异步电动机技术数据

功率 (kW)	极数	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	铁心 长度 (mm)	气隙 长度 (mm)	定子 槽数	转子 槽数	斜槽 度	转子 内径 (mm)	每槽 线数	绕组 型式	线规	跨距	并联 支路 数	绕组 平均 匝长 (mm)																			
																d <sub>1</sub> (mm)	f <sub>d</sub> (mm)																	
0.75	2	120	67	65	0.3	18	16	1	26	111	单层交叉	1-∅0.63	1~9	1	219.7	15	45																	
1.1																																		
1.5																																		
2.2																																		
3	4	155	84	100	0.4	24	20	1	38	40	单层间心	1-∅1.18	1~12	1	218.6	15	50.5																	
4																																		
5.5																																		
7.5																																		
11																																		
15																																		
18.5																																		
22																																		
30																																		
37																																		
45																																		
55																																		
75	6	290	160	175	3.8	30	26	1	48	48	单层间心	1-∅1.06	1~16	1	306.9	20	75.5																	
30																																		
37																																		
45																																		
55																																		
75																																		
90																																		
110																																		
132																																		
160																																		
160																		8	327	182	180	1.0	36	28	1	75	28	双层	2-∅1.12, 2-∅1.18	1~14	2	474.5	25	87
30																																		
37																																		
45																																		
55																																		
75																																		
90																																		
110																																		
132																																		
160																																		
160	10	400	225	195	1.2	42	34	1.25	85	20	双层	3-∅1.4, 1-∅1.5	1~16	2	614.5	25	102.8																	
30																																		
37																																		
45																																		
55																																		
75																																		
90																																		
110																																		
132																																		
160																																		

(续)



功率 (kW)	极数	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子槽数	转子槽数	斜槽度	转子内径 (mm)	每槽线数	绕组型式	线规	跨距	并联支路数	绕组平均匝长 (mm)	fd (mm)	
																d1 (mm)	fd (mm)
0.35	4	120	75	65	0.25	24	22		26	128	梳式	1-0.56	1~6	1	163.3	15	21.3
0.75				80						178.3							
1.1				90						191.7							
1.5				120						221.7							
2.2	4	155	98	105	0.3	32	38		41	单层交叉	2-0.71	1~9	1	224.2	15	26.8	
3				135					254.2								
4				175					264.8								
5.5				115					267.2								
7.5	4	210	136	160	0.4	36	48		47	双层交叉	1-0.9	2~10	1	312.2	15	37.7	
11				115					334.9								
15				195					374.9								
18.5				190					395.5								
22	4	260	170	220	0.5	25	60		28	双层交叉	2-1.06	1~11	2	425.5	20	44.5	
30				230					456								
37				200					475.7								
45				235					510.7								
55	4	327	210	240	0.65	48	70		32	双层交叉	2-1.18	1~12	2	537.5	20	63.8	
75				200					575.7								
90				245					649.8								
110				235					657								
132	4	400	260	240	0.7	50	80		46	双层交叉	2-1.3	1~14	4	649.8	25	77.3	
150				200					687								
180				245					747								
220				235					787								
250	4	445	300	240	0.8	64	85		20	双层交叉	2-1.25	1~15	4	747	25	92	
300				200					787								
350				245					847								
400				235					887								
450	4	520	350	290	0.9	72	100		26	双层交叉	3-1.3	1~16	4	849.8	25	92	
500				290					887								
550				325					947								
600				290					987								
650	4	520	350	290	1.2	64	110		17	双层交叉	2-1.5	1~16	4	949.8	25	92	
700				290					987								
750				325					1047								
800				290					1087								
850	4	520	350	290	1.2	64	110		14	双层交叉	4-1.4	1~16	4	1049.8	25	92	
900				290					1087								
950				325					1147								
1000				290					1187								
1050	4	520	350	290	1.2	64	110		12	双层交叉	5-1.3	1~16	4	1149.8	25	92	
1100				290					1187								
1150				325					1247								
1200				290					1287								

(续)

功 率 (kW)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	斜 槽 度	转 子 内 径 (mm)	每 槽 线 数	绕 组 型 式	线 规	跨 距	并 联 路 数	平均 距 长 (mm)		
															$d_1$ (mm)	$f_a$ (mm)	
0.75	6	130	86	100	0.25	36	33	1	30	77	链 式	1-0.67	1~6	1	183.1	15	16.9
1.1										60		1-0.75			208		17.2
1.5										53		1-0.85			193.9		19.3
2.2										44		1-1.06			212.2		
3			110	0.3													
4		210	148	140	0.35				48	38		1-0.85 1-0.9			227.2		24.1
5.5			180	180					42	52		1-1.06			257.2		
7.5		260	180	145	0.4				38	42		1-1.25			291.2		
11		290	205	195					60	38		2-1.12			281.7		26.3
15				200	0.45				70	28		4-0.95			331.7		
18.5		327	230	195		54	44		75	34		1-1.5			363.3		30.8
22				220	0.5					32		1-1.12 1-1.18	1~9	2	370.1		31.8
30		368	260	210					80	28		2-1.25			395.1		
37		400	285	225	0.55				85	26		1-1.3 2-1.4			408.4		40.2
45				260					100	28		1-1.12 2-1.18	1~12	3	454.1		47.3
55		445	325	260	0.65					26		2-1.3 1-1.4			468.1		
75				290		72	58			22		1-1.4 2-1.5			513.1		54
90				340	1.0				110	38		1-1.3 2-1.4			572		
110		520	375	380						32		1-1.4 2-1.5	1~11	5	622		70
132				450						28		2-1.4 2-1.5			662		
										24		5-1.5			732		



(续)

功 率 (kW)	板 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	转 子 槽 数	斜 槽 度	转 子 内 径 (mm)	每 槽 线 数	绕 组 型 式	线 规	跨 距	并 联 路 数	平均匝长 (mm)	
															$d_1$ (mm)	$f_d$ (mm)
2.2	8	210	148	110	0.35	48	44	1	48	38	链 式	1-1.12	1~6	1	208.6	18.6
3				140						30						
4				110					60	49		1-1.25			15	19.1
5.5		260	180	145	0.4				39		2-1.0			223.7		
7.5				195					30		1-1.12 1-1.18			258.7		
11		290	205	200	0.45				70	46		2-0.9			20	23.1
15		327	230	195		54			75	38	1-1.06 1-1.12		1~7	2		
18.5		368	260	170	0.5				30	32		2-1.4			25	30.2
22				210										2-1.5		
30		400	285	225	0.55				35	22		3-1.3				
37		445	325	215	0.65		58		100	40		2-1.3			4	412.7
45				260									34			
55		520	390	290	0.9	72			110	58		3-1.0	1~9	8	522	51
75				380								22		4-1.4		
90				420					20		5-1.4		8	652		
110				480					34		3-1.5			712		

(2)Y系列(IP23)三相异步电动机主要技术数据

表 9-4 Y系列(IP23)三相异步电动机主要性能

型号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	满载时			堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
			额定转速 (r/min)	额定电流 (A)	效率 (%)			
Y160M-2	15	380	2930	29.6	87.5	0.88	1.7	2.2
Y160L-2	18.5	380	2930	35.7	88.5	0.89	1.8	2.2
Y160L2-2	22	380	2930	42.2	89	0.89	1.9	2.2
Y180M-2	30	380	2935	57.2	89.5	0.89	1.7	2.2
Y180L-2	37	380	2935	70.2	90	0.89	1.8	2.2
Y200M-2	45	380	2950	84.9	90.5	0.89	1.8	2.2
Y200L-2	55	380	2950	103.2	91	0.89	1.8	2.2
Y225M-2	75	380	2955	139.9	91.5	0.89	1.8	2.2
Y250S-2	90	380	2965	167.9	91.5	0.89	1.6	2.2
Y250M-2	110	380	2965	201.9	92	0.90	1.6	2.2
Y280M-2	132	380	2965	240.9	92.5	0.90	1.6	2.2
Y160M-4	11	380	1455	22.6	87	0.85	1.9	2.0
Y160L-4	15	380	1455	30.1	88	0.86	2	2.0
Y160L2-4	18.5	380	1455	36.9	88.5	0.86	2	2.0
Y180M-4	22	380	1465	43.7	89	0.86	1.9	2.0
Y180L-4	30	380	1465	58.2	90	0.87	1.9	2.0
Y200M-4	37	380	1470	71.1	90.5	0.87	2	2.0
Y225L-4	45	380	1470	85.1	91	0.87	2	2.0
Y225M-4	55	380	1475	103.8	91.5	0.88	1.8	2.0
Y250S-4	75	380	1480	140.8	92	0.88	2	2.0
Y250M-4	90	380	1480	168.9	92	0.88	2.1	2.0
Y280S-4	110	380	1480	205.3	92.5	0.88	1.7	2.0

(续)

型号	额定功率 (kW)	额定电压 (V)	满载时			堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
			额定转速 (r/min)	额定电流 (A)	效率 (%)			
Y230M-4	132	380	1480	245.1	93	7	1.8	2.7
Y150M-6	7.5	380	970	17.0	85	6.5	2	1.8
Y160L-6	11	380	970	21.5	86.5	6.5	2	1.8
Y180M-6	15	380	975	32.0	88	6.5	1.7	1.8
Y180L-6	18.5	380	975	38.3	88.5	6.5	1.7	1.8
Y200M-6	22	380	970	41.2	89	6.5	1.7	1.8
Y200L-6	30	380	975	52.2	89.5	6.5	1.7	1.8
Y225M-6	37	380	980	72.2	90.5	6.5	1.8	1.8
Y250S-6	45	380	980	87.4	91	6.5	1.8	1.8
Y250M-6	55	380	980	105.6	91	6.5	1.8	1.8
Y280S-6	75	380	985	143.1	91.5	6.5	1.8	1.8
Y280M-6	90	380	985	168.9	92	6.5	1.8	1.8
Y160M-8	5.5	330	720	13.7	83.5	6.0	2	1.8
Y160L-8	7.5	330	720	18.1	85	6.0	2	1.8
Y180M-8	11	330	725	26.1	86.5	6.0	1.8	1.8
Y180L-8	15	330	725	34.5	87	6.0	1.7	1.8
Y200M-8	18.5	330	725	40.7	88.5	6.0	1.6	1.8
Y230L-8	22	330	730	48.2	89	6.0	1.7	1.8
Y225M-8	30	330	730	63.7	89.5	6.0	1.7	1.8
Y250S-8	37	330	735	78.1	90	6.0	1.6	1.8
Y250M-8	45	330	735	94.4	90.5	6.0	1.7	1.8
Y280S-8	55	330	740	114.8	91	6.0	1.8	1.8
Y280M-8	75	330	740	155.7	91.5	6.0	1.8	1.8

表 9-5 Y 系列(IP23)三相异步电动机技术数据

功率 (kW)	极数	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子槽数	转子槽数	斜槽度	转子内径 (mm)	每槽线数	绕组型式	线规	跨距	并联路数	绕组平均半匝长 (mm)	
															$d_1$	$f_d$
15	2	290	160	100	0.8	36	28	1	70	24	双	2- $\varnothing$ 1.06, 1- $\varnothing$ 1.12	1~14	1	383	64
18.5				125						20		1- $\varnothing$ 1.40, 1- $\varnothing$ 1.50			408	
22				135						18		1- $\varnothing$ 1.50, 1- $\varnothing$ 1.60			418	
30	2	327	182	160	1.0	36	28	1	75	32	层	2- $\varnothing$ 1.30	1~14	2	450	71
37				27						2- $\varnothing$ 1.40		474				
45	2	368	210	155	1.1	42	34	1	80	24	叠	2- $\varnothing$ 1.25, 1- $\varnothing$ 1.30	1~16	2	504	79
55				21						3- $\varnothing$ 1.40		534				
75	2	400	235	185	1.2	42	34	1	85	18	绕	3- $\varnothing$ 1.60	1~16	2	563	31
90				16						2- $\varnothing$ 1.30, 3- $\varnothing$ 1.40		594				
110				14						4- $\varnothing$ 1.50, 1- $\varnothing$ 1.60		619				
132	2	493	280	200	1.6	42	34	1	160	12	绕	6- $\varnothing$ 1.50	1~16	2	651	37
				195											25	



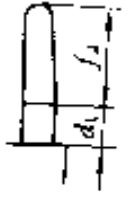
(续)

功率 (kW)	极数	定子 外径 (mm)	定子 内径 (mm)	铁心 长度 (mm)	气隙 长度 (mm)	定子 槽数	转子 槽数	斜槽 度	转子 内径 (mm)	每槽 线数	绕组 型式	线规	路数	空 组 电 阻 值 ( $\Omega$ )	图
11	4	290	100	130	0.55	48	44	1	70	31	双	1- $\phi$ 1.18	2	298	a
			42							1- $\phi$ 1.30					
15	4	290	187	150	0.55	48	44	1	70	18	双	1- $\phi$ 1.40 1- $\phi$ 1.50	1	314	b
			35							2- $\phi$ 1.12					
22	4	327	135	175	0.65	48	44	1	75	28	层	2- $\phi$ 1.30	2	344	c
			26							1- $\phi$ 1.12 2- $\phi$ 1.18					
37	4	358	155	185	0.7	48	44	1	80	22	叠	3- $\phi$ 1.30	2	308	d
			40							1- $\phi$ 1.25 1- $\phi$ 1.30					
45	4	400	185	185	0.8	60	50	1	85	34	叠	2- $\phi$ 1.25 2- $\phi$ 1.30	4	471	e
			40							1- $\phi$ 1.25 1- $\phi$ 1.30					
55	4	445	185	215	0.9	60	50	1	100	32	绕	1- $\phi$ 1.25 2- $\phi$ 1.30	2	390	f
			21							1- $\phi$ 1.25 4- $\phi$ 1.40					
75	4	493	200	240	1.0	60	50	1	110	20	绕	1- $\phi$ 1.25 4- $\phi$ 1.40	4	533	g
			20							4- $\phi$ 1.40					
90	4	493	330	240	1.0	60	50	1	110	20	绕	1- $\phi$ 1.25 4- $\phi$ 1.40	4	574	h
			20							4- $\phi$ 1.40					
110	4	493	330	240	1.0	60	50	1	110	20	绕	1- $\phi$ 1.25 4- $\phi$ 1.40	4	574	i
			20							4- $\phi$ 1.40					
132	4	493	330	240	1.0	60	50	1	110	20	绕	1- $\phi$ 1.25 4- $\phi$ 1.40	4	574	j
			20							4- $\phi$ 1.40					

(续)

功率 (kW)	极数	定子外径 (mm)	定子内径 (mm)	铁心长度 (mm)	气隙长度 (mm)	定子槽数	转子槽数	斜槽度	转子直径 (mm)	每槽线数	绕组形式	线规	槽型	并路数	绕组半长 (mm)	槽宽 $f_d$ (mm)	槽深 $f_a$ (mm)
7.5		290	205	95	0.45		32		70	32	单	1- $\phi$ 1.40		1	250		28
11				125			24			24	双	2- $\phi$ 1.13			248		
15				155		54	34		75	34	双	1- $\phi$ 1.40			300		32
18.5		327	230	155		54	36	44		36	双	2- $\phi$ 1.05		2	330	26	
22				155			36			36	双	2- $\phi$ 1.13			326		35
30	6	368	230	165			30	1	80	30	单	1- $\phi$ 1.30 1- $\phi$ 1.40			355		
37		400	285	175	0.55		30		85	30	单	1- $\phi$ 1.13 1- $\phi$ 1.25			398		42
45				165			28		100	28	绕	2- $\phi$ 1.40			408		45
55		445	325	195	0.65	72	24	58		24	绕	4- $\phi$ 1.05		3	438	25	
75				185			22		110	22		3- $\phi$ 1.40			468		
90		493	360	240	0.70		18			18		3- $\phi$ 1.50			503		49

(续)

功 率 (kW)	极 数	定 子 外 径 (mm)	定 子 内 径 (mm)	铁 心 长 度 (mm)	气 隙 长 度 (mm)	定 子 槽 数	斜 转 子 槽 度	转 子 内 径 (mm)	每 槽 线 数	绕 组 型 式	线 规	跨 距	并 联 路 数	绕 组 平 均 半 匝 长 (mm)		
															$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
5.5	8	290	205	95	0.45	54	1	70	42	双	1- $\phi$ 1.30	1~7	1	226	31	23
7.5				125	32			1- $\phi$ 1.0, 1- $\phi$ 1.05	256							
11	8	327	230	155	0.50	50	1	75	56	层	2- $\phi$ 0.90	1~7	2	267	24	24
15				135				44	2- $\phi$ 1.0		297					
18.5	8	368	260	165	0.55	72	1	80	44	叠	1- $\phi$ 1.6	1~9	2	289	26	26
22				175				36	2- $\phi$ 1.25		318					
30	8	400	285	175	0.55	58	1	85	50	绕	1- $\phi$ 1.40	1~9	4	351	31	31
37				165	46			1- $\phi$ 1.06, 1- $\phi$ 1.12	355							
45	8	445	325	195	0.65	58	1	100	38	绕	1- $\phi$ 1.18, 1- $\phi$ 1.25	1~9	4	385	32.5	32.5
55				185	36			1- $\phi$ 1.30, 1- $\phi$ 1.40	390							
75	8	493	360	240	0.70	58	1	110	28	绕	1- $\phi$ 1.50, 1- $\phi$ 1.60	1~9	4	445	36	36
75				240	28			1- $\phi$ 1.50, 1- $\phi$ 1.60	445							

## 二、直流电机

### 1. 直流电机基本计算公式

#### (1) 电动势方程式

$$E = C_e \Phi n$$

式中  $E$  ——电枢电动势(V);  
 $C_e$  ——电机的电动势常数;  
 $\Phi$  ——每极气隙磁通(Wb);  
 $n$  ——电机转速(r/min)。

#### (2) 转矩方程式

$$T = C_T \Phi I_a$$

式中  $T$  ——电机的电磁转矩(N·m);  
 $C_T$  ——电机的转矩常数;  
 $\Phi$  ——每极气隙磁通(Wb);  
 $I_a$  ——电枢电流(A)。

#### (3) 电动势平衡方程式

##### 1) 直流发电机电动势平衡方程式

$$U = E - R_a I_a$$

或

$$I_a = \frac{E - U}{R_a}$$

式中  $U$  ——电枢端电压(V);  
 $R_a$  ——电枢内阻( $\Omega$ );  
 $I_a$  ——电枢电流(A)。

##### 2) 直流电动机电动势平衡方程式

$$U = E + R_a I_a$$

或

$$I_a = \frac{U - E}{R_a}$$

将  $E = C_e \Phi n$  代入上式可得

$$I_a = \frac{U - C_e \Phi n}{R_a}$$

或

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \Phi}$$



(4) 直流电动机的额定转矩

$$T_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$$

式中  $T_n$  —— 直流电动机的额定转矩(N·m);  
 $P_n$  —— 直流电动机的额定功率(kW);  
 $n_n$  —— 直流电动机的额定转速(r/min)。

(5) 直流电动机转矩平衡方程式

$$T_E = T_l + T_0$$

式中  $T_E$  —— 电动机的电磁转矩(N·m);  
 $T_l$  —— 负载转矩(N·m);  
 $T_0$  —— 电动机的空载转矩(N·m)。

(6) 直流电动机机械特性方程

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e \Phi C_T \Phi} T_k$$

式中  $n_0$  —— 理想空载转速,  $n_0 = \frac{U}{C_e \Phi}$

由  $T_E = 0$  时  $n = n_0$  和  $T_E = T_n$  (额定转矩) 时,  $n = n_n$  (额定转速), 可以在坐标系上确定出两点。根据这两点画出一条直线, 代表上述机械特性方程 (图 9-3), 这条直线叫直流并励电动机的机械特性曲线。

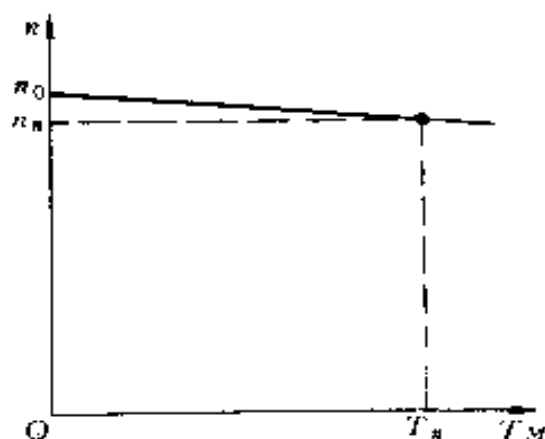


图 9-3 直流并励电动机的机械特性曲线

(7) 过载系数

$$\lambda = \frac{I_{max}}{I_n} = \frac{T_{max}}{T_n}$$

式中  $\lambda$  —— 过载系数;  
 $I_{max}$  —— 最大允许电流(A);  
 $I_n$  —— 额定电流(A);  
 $T_{max}$  —— 最大允许转矩(N·m);  
 $T_n$  —— 额定转矩(N·m)。

## 2. 直流电动机的技术数据

表 9 6 Z2 系列小型直流电动机技术数据

外壳防护等级:IP23,基本冷却方式:IC01 绝缘等级:B和F 功率 0.4~200kW,电压 110、220V,转速 600~3000r/min  
他励、并励(带有少量串励绕组)

电机型号	额定功率(kW)				
	3000r/min	1500r/min	1000r/min	750r/min	600r/min
Z2-11 Z2-12	0.8(75) 1.1(76.5)	0.4(67) 0.6(71)			
Z2-21 Z2-22	1.5(78) 2.2(80)	0.8(73.5) 1.1(76.5)	0.4(66) 0.6(71.5)		
Z2-31 Z2-32	3(79.5) 4(81)	1.5(78.5) 2.2(81)	0.8(73.5) 1.1(76)	0.6(70) 0.8(73.5)	
Z2-41 Z2-42	5.5(82) 7.5(82.5)	3(80) 4(81.5)	1.5(76.5) 2.2(78.5)	1.1(71.5) 1.5(73.5)	
Z2-51 Z2-52	10(83) 13(83.5)	5.5(82.5) 7.5(83.5)	3(79.5) 4(81.5)	2.2(77) 3(78.5)	
Z2-61 Z2-62	17(84) 22(85)	10(84.5) 13(85)	5.5(82.5) 7.5(82.5)	4(79) 5.5(80)	
Z2-71 Z2-72	30(85.5) 40(86.5)	17(86) 22(86.5)	10(83) 13(83.5)	7.5(81) 10(81.5)	
Z2-81 Z2-82		30(87) 40(87.5)	17(84) 22(84.5)	13(82) 17(83)	
Z2-91 Z2-92		55(88) 75(88.5)	30(86) 40(86.5)	22(84) 30(85)	17(81) 22(83.5)
Z2-101 Z2-102		100(89) 125(89.5)	55(87.5) 75(88.5)	40(86) 55(86.5)	30(84.5) 40(85)
Z2-111 Z2-112		160(90) 200(90)	100(89) 125(89.5)	75(88)	55(86.5)

注:1. 柜内电动机的电压有 110V 及 220V 两种,柜外电动机电压仅有 220V 一种。

2. 额定功率 kW 数后括号内的数值是 220V 电动机的效率%。

表 9-7 Z4 系列直流电动机主要技术数据

型 号	功率 (kW)	电压 (V)	电 流 (A)	转 速 $n_n/n_F$ (r/min)	励磁 电压 (V)	效率 $\eta$ (%)	转动惯量 $J$ (kg·m <sup>2</sup> )	重量 (kg)
Z4-100-1	2.2	160	18	1500/3000	180	67.6	0.044	60
	1.5		13.5	1000/2000		59.2		
	4		11	3000/3600		80.1		
	2.2	440	7	1500/3000		70.6		
	1.5		5	1000/2000		83.2		
Z4-112/2-1	5.5	440	15	3000/3600	180	81.1	0.076	74
	3		9.5	1500/3000		72.9		
	2.2		8	1000/2000		63.6		
	3	160	26.5	1500/3000		65.8		
	2.2		19.5	1000/2000		62.1		
Z4-112/2-2	7.5	440	20	3000/3600	180	83.5	0.093	82
	4		11.5	1500/3000		76		
	3		9.5	1000/2000		67.3		
	4	160	30.5	1500/3000		72.8		
	3		25.5	1000/2000		66.8		
Z4-112/4-1	5.5	160	43	1500/3000	180	73.4	0.128	84
	4		34	1000/2000		65.4		
	11		29	3000/4000		83.4		
	5.5	440	15.5	1500/3000		76.7		
	4		12.5	1000/2000		68.8		
Z4-112/4-2	5.5	160	43.6	1000/2000	180	70	0.156	92
	1.5		33.6	3000/4000		35.5		
	7.5	440	21	1500/3000		78.7		
	5.5		16.2	1000/2000		72		
Z4-132-1	18.5	440	47.5	3000/3600	180	85.4	0.32	123
	11		30	1500/3000		80.8		
	7.5		21.5	1000/2000		74.5		
Z4-132-2	22	440	55.5	3000/3600	180	88.2	0.4	142
	15		39.5	1500/3000		83.3		
	11		31	1000/2000		77.6		
Z4-132-3	30	440	75	3000/3600	180	88.6	0.48	162
	18.5		48	1500/3000		81.7		
	15		41	1000/2000		80.5		
Z4-160-11	37	440	93.4	3000/3500	180	88.86	0.64	202
	22		58.1	1500/3000		83.59		
Z4-160-21	45	440	112.5	3000/3500	180	89.94	0.76	224
	18.5		50.3	1000/2000		79.57		

(续)


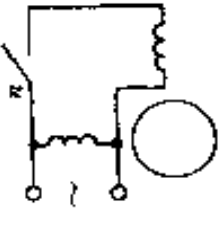
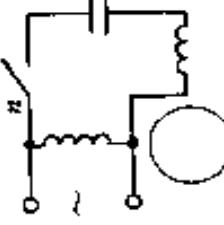
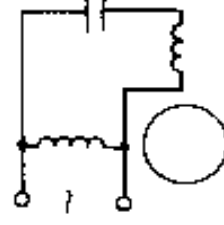
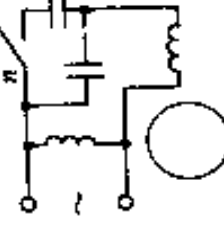
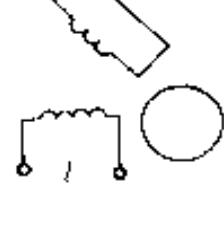
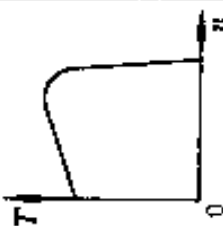
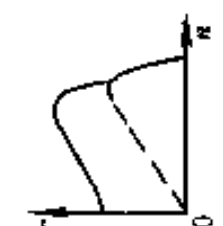
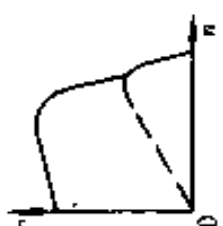
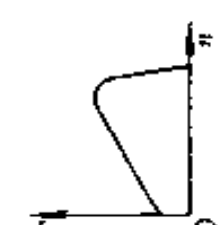
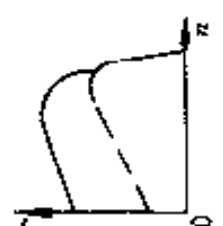
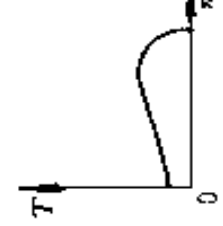
型 号	功率 (kW)	电压 (V)	电 流 (A)	转 速 $n_n/n_F$ (r/min)	励磁 电压 (V)	效率 $\eta$ (%)	转动惯量 $J$ (kg·m <sup>2</sup> )	重量 (kg)
Z4-160-31	55	440	136.3	3000/3500	180	90.4	0.88	250
	30		76.4	1500/3000		36.6		
	22		58.7	1000/2000		82.4		
Z4-180-11	37	440	95	1500/3000	180	86.51	1.52	280
	18.5		51.2	750/1900		78.06		
	15		43.8	600/2000		74.06		
Z4-180-21	75	440	185	3000/3400	180	90.67	1.72	310
	45		115	1500/2800		86.76		
	30		79	1000/2000		83.73		
	22		60.3	750/1400		79.7		
	18.5		52	600/1600		76.8		
Z4-180-31	37	440	97.5	1000/2000	180	83.58	1.92	340
	22		62.1	600/1250		76.63		
Z4-180-42	90	440	221	3000/3200	180	91.33	2.2	370
Z4-180-41	55	440	140	1500/3000	180	87.06	2.2	370
	30		80.6	750/2250		81.13		
Z4-200-	110	440	270	3000/3000	180	91.64	3.68	445
	45		117	1000/2000		85.46		
	37		97.8	750/2000		83.54		
	22		61.6	500/1350		78.64		
Z4-200-21	75 30	440	188 82.1	1500/3000 600/1000	180	89.6 80.42	4.2	490
Z4-200-	132	440	332	3000/3200	180	92.37	4.8	540
	99		225	1500/2800		89.78		
	55		140	1000/2000		87.09		
	45		118	750/1400		84.14		
	37		99.5	600/1600		81.96		
	30		82.7	500/750		79.46		

### 三、小功率电动机

#### 1. 常用小功率异步电动机的特性

见表 9-8。

表 9-8 常用小功率异步电动机的特性

电机类型	单相异步电动机				磁极	
	三相异步电动机	电阻起动	电容起动	电容运转		双值电容
原理线路						
机械特性 $\frac{T}{T_n} = f(n)$ $T_n$ —额定转矩						
最大转矩倍数	>2.4	>1.8	>1.8	>1.6	>2	>1.3
最初起动转矩倍数	>2.2	1.1~1.5	2.5~2.8	0.35~0.6	>1.8	>0.3
最初起动电流倍数	<6	6~9	4.5~6.5	5~7		

## 2. 常用小功率电动机的特点及应用

表 9.9 常用小功率电动机的特点及应用

电机种类	性能特点			功率范围(W)	转速①(r/min)	同机座号电动机功率级数	同机座号电动机价格级数	典型应用
	启动转矩 $T_{st}$	力能指标	调速特点 其他					
三相异步电动机	较大 $T_{st} > 2.2$	高	变化不大 可逆转	10以上	3000 1500	100	100	有三相电源场所,如小型机床、泵、电站
单相电阻启动异步电动机	中等 $T_{st} = 1.1 \sim 1.6$	不高	变化不大 可逆转,启动电流大	60~370	3000 1500	50	120	低惯量,不需启动、转速基本不变的机械,如小车床、医疗器械
单相电容启动异步电动机	大 $T_{st} = 2.5 \sim 2.8$	不高	变化不大 启动电流中等,可逆转	120~370	3000 1500	50	135	驱动空压机、泵、制冷压缩机等要求负载启动容易机械
单相电容运转异步电动机	小 $T_{st} = 0.35 \sim 0.6$	高	可调速 噪声低,可逆转,不宜轻载运行	6~1100	3000 1500	75	110	直接与工业机械负载,要求噪声低场合,如风机、鼓风机、洗衣机
单相双电容异步电动机	大 $T_{st} > 1.8$	高	可调速 噪声低	180~3000	3000 1500	80~100		负载启动及要求噪声低的场合,如小型机床、泵、家用电器
罩极异步电动机	小 $T_{st} < 0.5$	低	可调速 不能逆转	2~10	3000 1500	25	60~70	启动转矩要求不高,运行时瞬时场合,如排风机、小型器械
永磁直流电动机	较大 $T_{st} = 2 \sim 5$	高	可调速 可逆转,机械特性较硬	3.15~77	1500~3000, 3000~12000	65~70		小功率直流驱动如摄影、电动玩具,电动机具、汽车电器、音响设备
单相串励电动机	大	高	调速宽、转感高、可逆转	8~750	4000~20000	110~160	110	转速随负载变化或高速驱动,如电动工具等

① 对异步电动机指同步转速。

### 3. 常见的规定用途小功率电动机

表 9-10 常见的规定用途小功率电动机

名称	电机类型	功率范围(W)	转速 $n$ (r/min)	特点
洗衣机电动机	单相电容运转异步电动机	90~250	1500	开启式自冷,主副绕组相同,正反转运行
	单相串励电动机	60~370	1000~15400	用于自动洗衣机,带电子调速器
(洗衣机用)脱水电动机	单相电容运转异步电动机	25	1500	开启式自冷,单向旋转,短时运行请转转速大
	罩极异步电动机	40~60	1500	立式安装,单向旋转
离合器电动机	三相异步电动机 单相异步电动机	120~550	3000,1500	带离合器及拨篮式防震底座,多用于驱动工业缝纫机电动机
家用缝纫机电动机	单相串励电动机	40~75	11000~8000	断续定额,带控制器执行起、停和调速
台扇电动机	单相电容运转异步电动机	35~70(输入)	1500	台扇的机头部分
	单相罩极异步电动机	40~50	3000	小型台扇机头部分
吊扇电动机	单相电容运转异步电动机	46~80(输入)	170~500	扇翼直径 900~1800mm
	单相罩极异步电动机	50~90	1000~500	老式吊扇
机床冷却用电泵	三相或单相异步电动机	25~370	3000	立式结构,电机与单级离心泵组合为一体,泵送循环冷却液用
冰箱压缩机电动机	单相电容启动或电阻启动异步电动机	90~370	1000	电动机与压缩机组合,在氟里昂介质中工作
空调器风扇电动机	单相电容运转异步电动机	6~370	1000,1500	双轴伸,拨篮式减震底座,噪声低
录音机电动机	稳速永磁直流电动机	0.11~0.27	1000,2200	电子稳速,高启动转矩,低噪声,电压 6~12V
转页式风扇转页用电动机	爪极式永磁同步电动机	输入功率 3W 以下	500,375	不对称爪极永磁同步电动机转速低,转矩大,带齿轮减速器
排气扇电动机	单相电容运转异步电动机或单相罩极异步电动机 三相异步电动机	输入功率 65~850	1500,1000	与轴流式风扇组合为一体

①对异步电动机指同步转速。

## 四、交流电动机绕组的有关计算

### 1. 三相异步电动机绕组的基本计算

(1) 极距 任意两相邻磁极轴线之间的距离称为极距,用符号  $\tau$  表示。

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

式中  $Z$  —— 定子槽数;

$2p$  —— 极数。

(2) 节距 每个元件(绕圈)的两条直线边(有效边)所跨的定子槽数,叫做元件的节距,用符号  $Y$  表示。

$$Y = K\tau = K \frac{Z}{2p}$$

式中  $K$  —— 元件节距  $Y$  与极距  $\tau$  的比值,叫做短距比,一般  $K = 0.8 \sim 0.9$ 。

### (3) 电角度

$$\text{电角度} = \text{机械角度} \times \text{磁极对数} = 360^\circ \times p$$

(4) 每极每相槽数 每相绕组在每个磁极下所分到的槽数,叫做每极每相槽数,用符号  $q$  表示。

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

式中  $m$  —— 相数。

### 2. 三相异步电动机改变绕组电压的计算

#### (1) 改接改压方法

$$u\% = \frac{U'_n}{U_n} \times 100\%$$

式中  $U_n$  —— 电动机改接前的线电压(V);

$U'_n$  —— 电动机改接后所要求的线电压(V)。

按计算出来的  $u\%$ ,查表 9-11 找出改接的方案。



表 9-11 三相绕组改变接线的电压比

改压后的接线 绕组原接线	一路Y接	二路Y接	三路Y接	四路Y接	五路Y接	六路Y接	八路Y接	九路Y接	十路Y接	一路△接	二路△接	三路△接	四路△接	五路△接	六路△接	七路△接	八路△接	九路△接	十路△接
一路Y接	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	5			
二路Y接	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11			
三路Y接	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	23	17			
四路Y接	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	30	22			
五路Y接	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29			
六路Y接	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35			
八路Y接	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46			
十路Y接	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58			
一路△接	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10			
二路△接	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20			
三路△接	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30			
四路△接	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40			
五路△接	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50			
六路△接	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60			
八路△接	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80			
十路△接	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100			

(2) 改压重绕计算

$$N_1' = \frac{U_1''}{U_1'} N_1$$

$$S_1' = \frac{U_1''}{U_1'} S_1$$

式中  $N_1'$  ——重绕后绕组的每槽匝数；

$N_1$  ——重绕前绕组的每槽匝数；

$S_1'$  ——重绕后的导线截面积( $\text{mm}^2$ )，如果较大，可并绕或增加并联支路数；

$S_1$  ——重绕前的导线截面积( $\text{mm}^2$ )。

3. 三相异步电动机改变绕组极数的计算

(1) 确定三相异步电动机极数的方法

$$2p \leq \frac{Z}{Y}$$

式中  $Z$  ——电动机定子槽数；

$Y$  ——电动机绕组节距。

当  $Z/Y$  为偶数时， $2p$  就等于此偶数值；当  $Z/Y$  为小数时，则  $2p$  为较这小数小而接近的偶数值。

(2) 三相异步电动机改变绕组极数的方法 根据原有绕组的技术数据，在保持接法和并联支路数不变以及绕组系数基本不变的情况下，通过改变每相绕组串联导线数和导线直径实现变极数的计算方法见表 9-12。

表 9-12 绕组变极导线数据

极数改变	每相串联导线数 $Z$	导线直径 $d$	功率 $P$
2 极 → 4 极	$Z_4 = (1.85 \sim 1.90)Z_2$	$d_4 = (0.73 \sim 0.74)d_2$	$P_4 = (0.55 \sim 0.60)P_2$
4 极 → 2 极	$Z_2 = 0.85Z_4$	$d_2 = 1.09d_4$	$P_2 = (1.13 \sim 1.18)P_4$
4 极 → 6 极	$Z_6 = \frac{3}{2}Z_4$	$d_6 = 0.82d_4$	$P_6 = 0.6P_4$
6 极 → 4 极	$Z_4 = 0.9Z_6$	$d_4 = 1.05d_6$	$P_4 = 1.15P_6$
6 极 → 8 极	$Z_8 = \frac{4}{3}Z_6$	$d_8 = 0.86d_6$	$P_8 = 0.7P_6$
8 极 → 6 极	$Z_6 = 0.9Z_8$	$d_6 = 1.05d_8$	$P_6 = (1.13 \sim 1.15)P_8$

#### 4. 三相异步电动机空壳重绕的计算

(1) 确定电动机极数

$$2p \approx (0.35 \sim 0.4) \frac{Zb}{h} \text{ (取双数)}$$

式中  $2p$  ——电动机极数；  
 $Z$  ——定子槽数；  
 $b$  ——定子槽宽(mm)；  
 $h$  ——定子轭高(mm)。

(2) 确定电动机容量 常用比较法进行估计,如所求电动机在型式、主要尺寸、工作条件和生产年份方面与已知容量的相同电动机进行比较,即可得出所求电动机的参考容量。另外也可根据图 9-4 所示关系曲线查得电动机的近似容量,从而确定其标准容量。

(3) 确定电动机工作电流

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} \eta U_1 \cos \varphi} \times 10^3$$

式中  $P$  ——电动机容量(kW)；  
 $I_1$  ——电动机线电流(A)；  
 $U_1$  ——电源线电压(V)；  
 $\eta$  ——电动机效率；  
 $\cos \varphi$  ——电动机功率因数。  
 $\eta$  及  $\cos \varphi$  均由比较法进行估计。

(4) 绕组计算

1) 选定绕组型式。参照同型式电动机,确定绕组型式,计算出绕组的各项参数。

在一般情况下,10kW 以上的电动机采用双层绕组;10kW 及以下的电动机采用单层绕组。在单层绕组中,当每极每相槽数  $q=2$  时,采用单层链式绕组;当  $q=3$  时,采用单层交叉绕组;当  $q=4$  时,采用单层三平面同心绕组或单层链式同心绕组。

2) 确定每槽的有效导体数。按下式计算

$$N_s = \frac{45U_p t_1 2p}{B_p D_1^2 l}$$

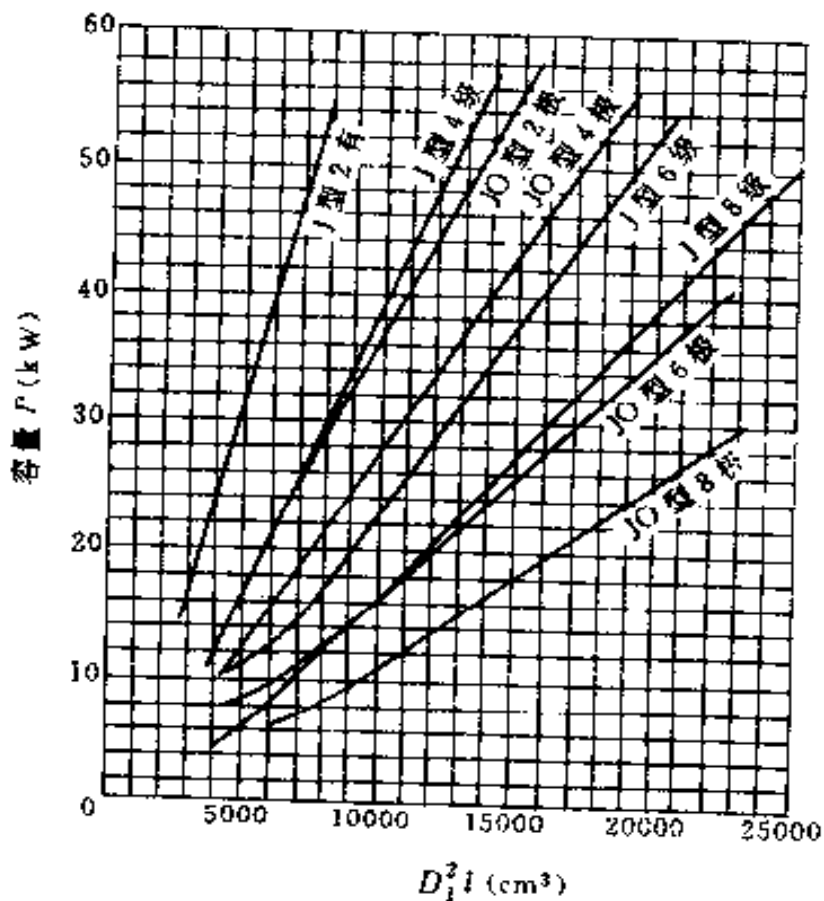


图 9-4 国产系列三相异步电动机  $D_1^2 l$  与容量的关系曲线

$D$  —— 定子铁心内径 (cm)  $l$  —— 定子铁心长度 (cm)

- 式中  $N_s$  —— 每槽有效导体数 (根/槽), 双层绕组取  $N_s$  为双数;  
 $U_p$  —— 电动机相电压 (V);  
 $t_1$  —— 定子槽数,  $t_1 = \frac{\pi D_1}{Z_1}$  (cm);  
 $2p$  —— 电动机极数;  
 $B_t$  —— 气隙磁通密度 (T), 参照表 9-13 选取 (当电动机为旧式产品时, 应取表中略低数值)。

表 9 13 中小型异步电动机气隙磁通密度 (T)

极 数 型 式	极 数			
	2	4	6	8
封闭式	0.55~0.65	0.67~0.8	0.70~0.80	0.67~0.80
开启式	0.65~0.75	0.70~0.85	0.75~0.85	0.70~0.85

3) 计算导线截面积

$$S_1 = \frac{I_p}{\delta_1 a n}$$

- 式中  $S_1$  ——导线截面积 ( $\text{mm}^2$ );  
 $I_p$  ——电动机相电流 (A);  
 $\delta_1$  ——电流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ ), 按表 9-14 选取;  
 $a$  ——绕组并联支路数, 参考表 9-15;  
 $n$  ——并绕根数。

表 9 14 中小型电动机定子电流密度 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )

极 数 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

表 9 15 三相绕组并联支路数

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

根据  $S_1$ , 查表 8 6 求出线径为  $d_1$  的绝缘导线。

应当指出, 对于早年生产的旧式电动机, 表 9-14 中所列数值应酌情降低 10%~15%。

4) 每槽实际导线数

$$N = a N_n$$

式中  $N$  ——每槽实际导线数 (根/槽);

$a$  ——绕组并联支路数；  
 $N_a$  ——每槽有效导体数(根/槽)。

5) 验算槽满率

$$F_k = \frac{Nnd^2}{S} \times 100$$

式中  $F_k$  ——槽满率(%)；  
 $N$  ——每槽实际导线数(根/槽)；  
 $n$  ——并绕导线根数，一般不超过 3~4 根；  
 $d$  ——线径(mm)；  
 $S$  ——槽有效面积(mm<sup>2</sup>)。

### 5. 确定电动机某些参数的简易计算法

(1) 确定电动机的容量 利用定子铁心尺寸和要求电动机磁极数计算电动机的容量。

$$2 \text{ 极电动机 } P = \frac{D_1^3 l \times 0.28}{1000}$$

$$4 \text{ 极电动机 } P = \frac{D_1^3 l \times 0.14}{1000}$$

$$6 \text{ 极电动机 } P = \frac{D_1^3 l \times 0.08}{1000}$$

$$8 \text{ 极电动机 } P = \frac{D_1^3 l \times 0.058}{1000}$$

式中  $D_1$  ——定子铁心内径(cm)；  
 $l$  ——定子铁心长度(cm)；  
 $P$  ——电动机容量(kW)。

#### (2) 电动机绕组的确定

1) 每相串联匝数。根据所确定的电动机容量和极数由图 9-5 所示曲线中查出每相绕组串联匝数。

2) 导线截面。电源电压 380V 的电动机，每千瓦满载电流为 2A；较小容量或低速电动机每千瓦的满载电流  $\geq 2A$ ；较大容量或高速电动机每千瓦的满载电流  $\leq 2A$ 。

根据上述估计，可以求出绕组导线截面积为

$$S_1 = \frac{I_n}{\delta}$$

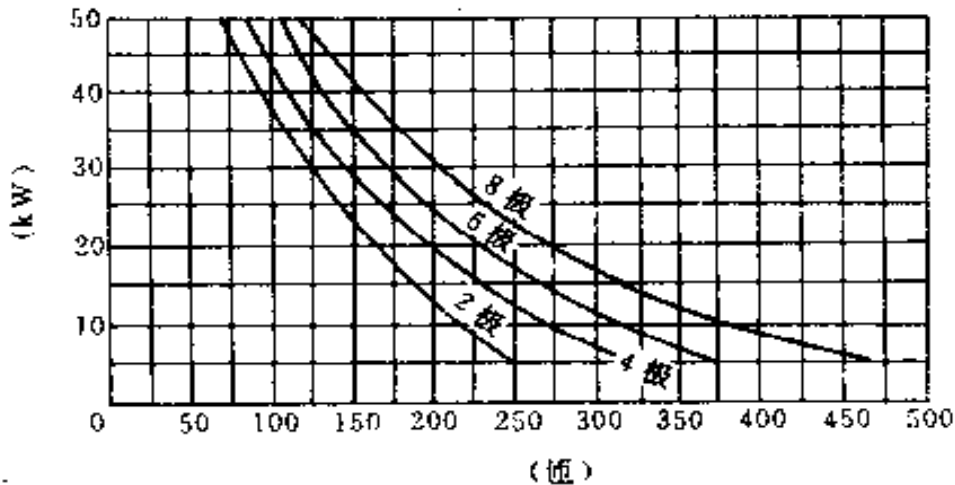
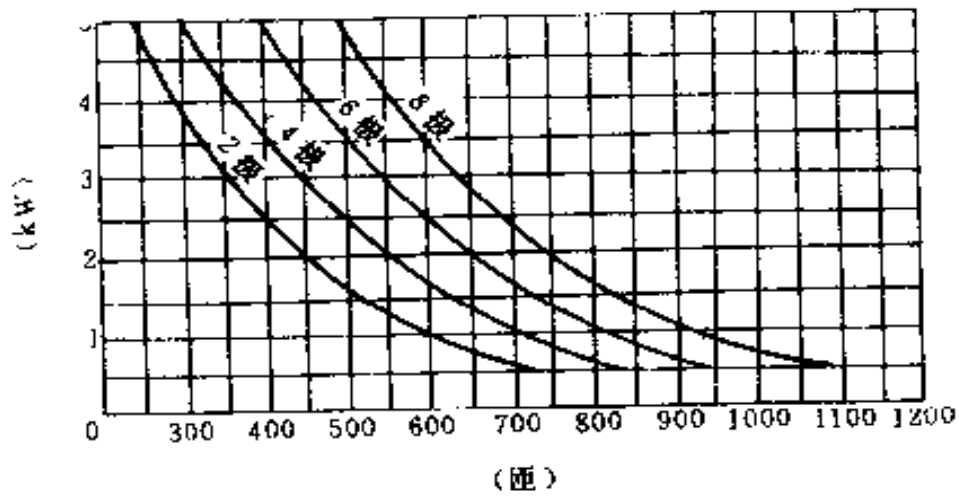


图 9-5 绕组每相串联导线匝数

式中  $I_n$  ——电动机的满载电流(A);

$\delta$  ——电流密度(A/mm<sup>2</sup>),一般电动机  $\delta=4\sim6$ A/mm<sup>2</sup>;

$S_1$  ——导线截面积(mm<sup>2</sup>)。

(3)校验槽线的配合 每槽的导线截面确定后,能否恰当地安放在槽里,其配合程度如何,应加以校验,方法如下:

1)比较法。求出铜线总截面积与槽面积比值,设比值为  $K$ ,即

$$K = \frac{\text{铜线总截面积}}{\text{槽面积}}$$

当  $K$  值满足(a)双纱包线时, $K=0.32$ 左右;

(b)纱漆包线时, $K=0.38$ 左右;

(c)漆包线时,  $K=0.42$  左右。

则槽线配合认为可以。如与上述值相差过多, 则槽内不是太松就是太紧, 这时需另行调整。

2) 实测法。如有现成的纱包线, 可用一条青壳纸测量一下槽子的展开长度。如所有导线均箍在青壳纸的记号范围之内, 而稍有松动, 则表示能够嵌进; 反之不能嵌进导线, 说明该铁心不能在计划的极数下达到预期的功率, 这时应该适当减少电动机的功率或转速, 凑到合适为止。

### 6. 三相电动机改为单相电动机的计算

通过一具体实例加以说明。一台三相异步电动机, 定子槽数  $Z_1=24$ , 极数  $2p=4$ , 定子内径  $D_1=112\text{mm}$ , 定子叠片外径  $D_2=182\text{mm}$ , 定子铁心叠片长度  $l=115\text{mm}$ , 定子背部厚度  $h=15.5\text{mm}$ , 定子槽面积  $S_A=125\text{mm}^2$ 。现改为单相异步电动机, 电源电压  $220\text{V}$ , 试做绕组计算。

解:

1) 确定此电动机的最少可能极数, 可据公式

$$2p \geq 0.5 \frac{D_1}{h}$$

确定。

在此  $2p \geq 0.5 \times \frac{112}{15.5} = 3.6$  取  $2p \geq 4$

这表明此电动机的最少可能极数为 4。

2) 工作绕组的槽数应占定子槽数的  $2/3$ 。

即  $Z_P = \frac{2}{3} Z_1 = \frac{2}{3} \times 24 = 16$  槽

3) 起动绕组的槽数应占定子总槽数的  $1/3$ 。即

$$Z_s = Z_1 - Z_P = 24 - 16 = 8 \text{ 槽}$$

4) 定子的内径周长

$$l_c = \pi D_1 = 3.14 \times 112 = 350\text{mm}$$

5) 定子膛孔面积。定子铁心叠片的实际长度应考虑除去通风槽的长度, 即

$$l_1 = Kl = 0.9 \times 115 = 103.5\text{mm}$$

式中  $K$  ——系数, 即 0.9。

定子膛孔面积为



$$S_p = l \cdot l_1 = 350 \times 103.5 = 36300 \text{ mm}^2 = 363 \text{ cm}^2$$

6) 极距面积。通过一个极的定子镗孔面积叫极距面积, 即

$$S_p = \frac{S_p}{2p} = \frac{363}{4} = 91 \text{ cm}^2$$

7) 工作绕组的匝数。串联匝数比

$$W_1 = \frac{22000}{S_g} = \frac{22000}{91} = 242 \text{ 匝}$$

工作绕组的实际匝数应等于 3 倍  $W_1$ , 即

$$W_p = 3W_1 = 3 \times 242 = 726 \text{ 匝}$$

工作绕组占有  $Z_p = 16$  个槽, 这样每槽匝数为

$$\frac{W_p}{Z_p} = \frac{726}{16} = 45.4 \text{ 匝/槽}$$

取 45 匝/槽, 则工作绕组的准确匝数为

$$W_p = 45 \times 16 = 720 \text{ 匝}$$

8) 工作绕组占槽面积

$$S_p = K S_A = 0.4 \times 125 = 50 \text{ mm}^2$$

式中  $K$  ——槽填充系数, 取  $K = 0.35 \sim 0.45$ ;

$S_A$  ——槽面积 ( $\text{mm}^2$ );

$S_p$  ——绕组占槽面积 ( $\text{mm}^2$ ), 一般绕组占槽面积仅为槽面积的 35%~45%, 其余部分供绝缘和槽楔用。

9) 工作绕组导线的确定。由每槽匝数

$$\frac{W_p}{Z_p} = \frac{720}{16} = 45 \text{ 匝/槽}$$

和其在槽内所占面积  $S_p = 50 \text{ mm}^2$ , 可以求出每根导线所占面积为

$$G_p = \frac{50}{45} = 1.11 \text{ mm}^2$$

查表 8-6 得导线直径为  $d_1 = 1.20 \text{ mm}$  ( $G_p = 1.13 \text{ mm}^2$ )。

10) 起动绕组。通常取起动绕组匝数等于工作绕组的匝数, 即

$$W_n = W_p = 720 \text{ 匝}$$

式中  $W_n$  ——起动绕组匝数。

由于  $Z_n = \frac{1}{2} Z_p = \frac{1}{2} \times 16 = 8$  槽

所以起动绕组的每槽匝数为

$$\frac{W_n}{Z_n} = \frac{720}{8} = 90 \text{ 匝/槽}$$

为了把这些导线配置在一个槽内,与工作绕组相比,起动绕组导线截面积要减少一半,即

$$G_n = \frac{1}{2} G_r = \frac{1}{2} \times 1.11 = 0.55 \text{ mm}^2$$

查表 8-6 得导线直径  $d_1 = 0.86 \text{ mm}$  ( $G_n = 0.58 \text{ mm}^2$ )。

11) 电动机改为单相时的近似功率,对于小型电动机,取电流密度  $\delta = 6 \text{ A/mm}^2$ ,额定电流  $I_n = \delta G_r = 6 \times 1.13 = 6.78 \text{ A}$ 。

功率

$$P = U_n I_n = 220 \times 6.78 = 1492 \text{ W} = 1.49 \text{ kW}$$

(约等于原三相电动机功率 2.2kW 的 60%)。

## 第十章 变压器、电容器

### 一、变压器的基本计算公式

#### 1. 电压比与电压、电流的关系

##### (1) 电压比

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

式中  $U_1, U_2$  —— 一、二次电压(V);

$E_1, E_2$  —— 一、二次绕组的感应电动势(V);

$N_1, N_2$  —— 一、二次绕组的匝数。

##### (2) 电压、电流关系

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

式中  $I_1, I_2$  —— 一、二次电流(A)。

#### 2. 变压器的电压平衡方程和磁通势平衡方程

##### (1) 电压平衡方程

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 R_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 R_2$$

式中  $X_1, X_2$  —— 变压器一、二次绕组漏电抗( $\Omega$ );

$R_1, R_2$  —— 变压器一、二次绕组电阻( $\Omega$ )。

##### (2) 磁通势平衡方程

$$\dot{I}_{10} N_1 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2$$

式中  $\dot{I}_{10}$  —— 变压器空载一次电流(A)。

#### 3. 变压器的电压和磁通的关系

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$U_2 \approx E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

式中  $f$  —— 交流电频率(Hz);

$\Phi_m$  ——变压器铁心中磁通最大值(Wb)。

#### 4. 变压器的电压变化率

$$\Delta U = \frac{U_{2n} - U_2}{U_{2n}} \times 100\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\%$$

式中  $\Delta U$  ——电压变化率；

$U_{2n}$  ——变压器二次额定电压(V)；

$U_{20}$  ——变压器二次空载电压(V),  $U_{20} = U_{2n}$ ；

$U_2$  ——变压器二次电压(V)。

在额定负载情况下,  $\Delta U = 3\% \sim 8\%$ 左右。

#### 5. 变压器的损耗和效率

##### (1) 变压器的损耗

1) 有功损耗 由铜损和铁损两部分组成。其计算公式为

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \Delta P_d \left( \frac{S_\mu}{S_n} \right)^2$$

式中  $\Delta P_T$  ——变压器的有功损耗(kW)；

$\Delta P_0$  ——变压器的空载损耗,也叫铁损(kW);可由本章二节3条的表中查得；

$\Delta P_d$  ——变压器额定状态时的短路损耗(kW),也叫铜损,可由本章二节3条的表中查得；

$S_n$  ——变压器的额定容量(kVA)；

$S_{js}$  ——变压器的计算负荷(kVA)。

2) 无功损耗 由用来产生主磁通以及消耗在漏电抗上的无功损耗两部分组成,其计算公式为

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_d \left( \frac{S_\mu}{S_n} \right)^2$$

式中  $\Delta Q_T$  ——变压器的无功损耗(kvar)；

$\Delta Q_0$  ——用于产生主磁通部分的无功损耗(kvar),  $\Delta Q_0 = I_0\% S_n$ ；

$I_0\%$  ——变压器的空载电流,可由本章二节3条的表中查得；

$\Delta Q_d$  ——消耗在漏电抗上的无功损耗(额定值)(kvar),  $\Delta Q_d = u_d\% S_n$ ；

$u_d\%$ ——变压器的阻抗电压,可由本章第二节3条的表中查得。

(2) 变压器的效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{P_2}{P_2 - \Delta P_T} \times 100\%$$

式中  $\eta$  ——变压器的效率;

$P_2$  ——输出有功功率(kW);

$P_1$  ——输入有功功率(kW);

$\Delta P_T$  ——变压器的有功损耗(kW)。

或 
$$\eta = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi}{U_2 I_2 \cos \varphi + \Delta P_T} \times 100\% \text{ (单相变压器)}$$

式中  $U_2$  ——变压器二次电压(V);

$I_2$  ——变压器二次电流(A);

$\cos \varphi$  ——变压器功率因数;

$\Delta P_T$  ——变压器的有功损耗(W)。

对于三相变压器

$$\eta = \frac{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi}{\sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi + \Delta P_T}$$

变压器的效率与其负载情况有关,用

$$K_L = \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{S_{\mu}}{S_n}$$

表示变压器的负载系数,则变压器的效率与负载系数的关系如图 10-1 所示。

当铜损等于铁损时,变压器的效率最高,其条件为

$$K_L^2 \Delta P_d = \Delta P_0$$

则

$$K_{Lm} = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_d}}$$

实际表明  $K_{Lm} = 0.5 \sim 0.6$ 。

## 6. 变压器的特性阻抗

(1) 空载阻抗

$$Z_m = \frac{U_{10}}{I_{10}}$$

式中  $Z_m$  ——空载阻抗( $\Omega$ );

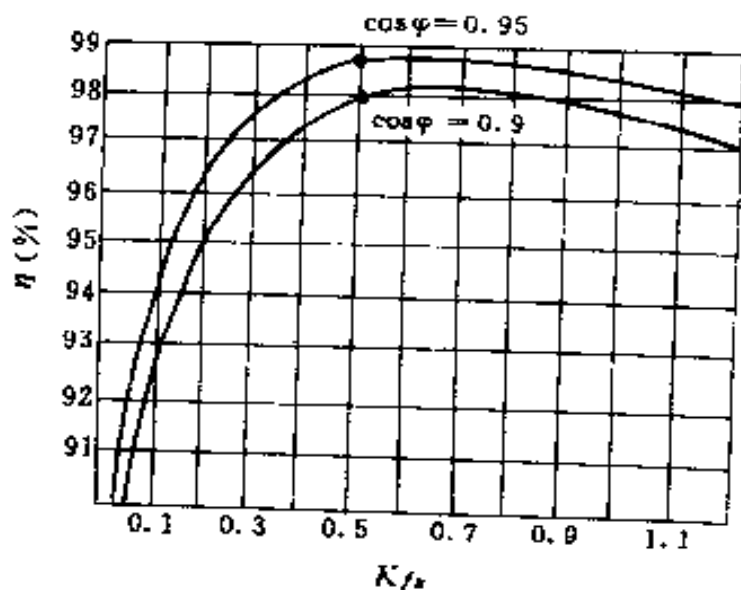


图 10-1 变压器的效率曲线

$U_{1n}$ ——一次额定电压(V);

$I_{10}$ ——一次空载电流(A)。

(2) 短路阻抗

$$Z_d = \frac{U_d}{I_{1n}}$$

式中  $Z_d$  ——短路阻抗( $\Omega$ );

$U_d$  ——一次短路电压(V), 即当变压器二次绕组短路时, 一次电流为额定值时的一次电压;

$I_{1n}$  ——一次额定电流(A)。

(3) 阻抗电压

$$u_d \% = \frac{U_d}{U_{1n}} \times 100 \%$$

式中  $u_d \%$  ——阻抗电压, 一般双线圈电力变压器的阻抗电压约为 4%~10%, 其数值可由本章二节 3 条的表中查得。

(4) 阻抗变换关系

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = K^2$$

即

$$\frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} = K$$

式中  $Z_1$  —— 一次阻抗( $\Omega$ );  
 $Z_2$  —— 二次阻抗( $\Omega$ )。

## 二、电力变压器

### 1. 电力变压器的基本数据

#### (1) 油浸式电力变压器额定电压组合

表 10-1 油浸式电力变压器额定电压组合

容量 (kVA)	电压组合 (kV)		联结组标号
	高压	低压	
30~1600	6.10	0.4	Y,yn0
630~6300	6.10	3.15,6.3	Y,d11
50~1600	35	0.4	Y,yn0
800~31500	35(38.5)	3.15~10.5	Y,d11
		(3.3~11)	(YN,d11)

#### (2) 双绕组变压器常用的联结组

表 10-2 双绕组变压器常用的联结组

联结组	相量图和接线图	特性及应用
单相 I, I <sub>0</sub>		<p>用于单相变压器时没有单独特性。不能接成 Y,y 联结的三相变压器组, 因此时三次谐波磁通完全在铁心中流通, 三次谐波电压较大, 对绕组绝缘极为不利; 能接成其他联结的三相变压器组</p>
三相 Y,yn0		<p>绕组导线填充系数大, 机械强度高, 绝缘用量少, 可以实现三相四线制供电, 常用于小容量三相三柱式铁心的配电变压器上。但有三次谐波磁通(数量上不是很大), 将在金属构件中引起涡流损耗</p>

(续)

联结组	相量图和接线图	特 性 及 应 用
三相 Y,zn11		<p>在二次或一次侧遭受冲击过电压时,同一心柱上的两个半绕组的磁通势互相抵消,一次侧不会感应过电压或逆变过电压,适用于防雷性能高的配电变压器上。但二次绕组需增加15.5%的材料用量</p>
三相 Y,d11		<p>二次侧采用三角形联结,三次谐波电流可以循环流动,消除了三次谐波电压。中性点不引出,常用于中性点非有效接地的大、中型变压器上</p>
三相 YN,d11		<p>特性同上。中性点引出,一次侧中性点是稳定的,用于中性点有效接地的大型高压变压器上</p>

### (3) 变压器的温升限值

表 10-3 变压器的温升限值

型 式	部 位	温 升 限 值 (°C)
油浸式	绕组,绝缘耐热等级 A	65 (电阻法测量值)
	顶层油	55 (温度计测量值)
	铁心本体	使相邻绝缘材料不受损伤的温升
	油箱及结构件表面	80
干式	绕组,绝缘耐热等级 A	60
	E	75
	B	80 (均为电阻法的测量值)
	F	100
	H	125
	C	150
	铁心和其他部分	使铁心本体和其他部分不受损伤的温升



#### (4) 电力变压器调压方式和范围

表 10-4 电力变压器调压方式和范围

方式	额定电压 (kV)	调压范围 (%)	分接间隔 (%)	级数	常用调压形式	分接开关
无励磁 调压	6~63①	±5	5	3	中性点、中部调压	中性点、中部开关
	35~220②	±2×2.5	2.5	5	中部调压	中部开关
有载 调压	6,10	±4×2.5	2.5	9	中性点、中部调压	有载或选择开关
	35	±3×2.5	2.5	7	中性点、中部调压	有载或选择开关
	63~220	±8×1.25	1.25	17	中性点调压	有载开关

①35kV 级是 6300kVA 及以下,63kV 级是 6300kVA 以下。

②35kV 级是 6300kVA 以上,63kV 级是 6300kVA 及以上。

#### (5) 变压器外部绝缘的最小距离

表 10-5 变压器外部绝缘的最小距离 (mm)

电压等级 (kV)	套管带电部分间		套管带电部分对地间	
	海拔 ≤1000m	海拔 1001~2500m	海拔 ≤1000m	海拔 1001~2500m
6	80	95	80	95
10	110	130	110	130
15	150	180	150	180
35	300	350	320	370
110	840	970	880	1100

## 2. 电力变压器的运行

(1) 并联运行 几台变压器一、二次绕组端子各自并联的运行称为并联运行。此时,应满足以下三个条件:

1) 联结组相同。如不同,在一定条件下可以改变其线端排列而使其相同。在 I~IV 各组(表 10-6)中改变端子排列顺序,使低压(或高压)相位移动 120°,则在同一组中均能使组别变换。在不同组间,相应地对调两个相别,偶数两组 I、II 中线电压相位不变,组别不变;奇数两组 III、IV 中则使原来的右行结线变为左行结线,以顺时针 2h 改变,组间亦可变换组别,见表 10-7。

表 10-6 三相变压器同组中联结组别的端子变换法

组 类	组 别	相位移(°)	联结组合	极 性	线 端 排 列
偶数组 I	0	0	Y,y	相同	A、B、C a、b、c
	4	120	D,d		A、B、C c、a、b
	8	240	D,z		A、B、C b、c、a
偶数组 II	6	180	Y,y	相反	A、B、C a、b、c
	10	300	D,d		A、B、C c、a、b
	2	60	D,z		A、B、C b、c、a
奇数组 III	11	330	Y,d	相同	A、B、C a、b、c
	3	90	D <sup>0</sup> ,y		A、B、C c、a、b
	7	210	Y,z		A、B、C b、c、a
奇数组 IV	5	150	Y,d	相反	A、B、C a、b、c
	9	270	D <sup>0</sup> ,y		A、B、C c、a、b
	1	30	Y,z		A、B、C b、c、a

①此处 D 形结线为左行结线,其余 D、d、z 形结线均为右行结线。

表 10 7 Y,d、Y,z 组合奇数组 III、IV 间联结组别的端子变换法

线 端 排 列	组 别 变 换	
A、B、C a、b、c	11、3、7	5、9、1
C、B、A (A、C、B 或 B、A、C) c、b、a (a、c、b 或 b、a、c)	1、5、9	7、11、3

2)电压比相同。如不同,而在任何一台都不会过载时可以并联运行,但应避免空载运行。

3)阻抗电压相同。如不同,而在任何一台都不会过载时也可并联运行,这就宜于使容量大的变压器的阻抗电压偏小一些,以改善负载的分配。

(2)过载运行 考虑正常温度变化而相对应的允许过载率  $K_2$  和允许运行时间,见表 10-8。表中  $K_2 \leq 1.5$  为正常过载运行,  $K_2 > 1.5$  为事故过载运行,而等效起始负载率  $K_1$  是把实际日负载曲线简化为直角曲线而得到的,如图 10-2 所示。

表 10 8 油浸式变压器过载运行时的允许过载率  $K_2$

1)油浸自冷和风冷,热时间常数 3h													
等效起始负载率 $K_1$		0.50			0.70			0.90			1.00		
冷却介质温度(°C)		0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20	40
过载时间 $t_2$ (h)	0.5	+	+	1.77	+	1.93	1.58	+	1.69	--	1.93	--	--
	2	1.73	1.53	1.30	1.67	1.46	1.18	1.58	1.32	--	1.52	--	--
	6	1.37	1.21	1.01	1.35	1.18	0.96	1.32	1.12	--	1.30	--	--
	24	1.16	1.00	0.82	1.16	1.00	0.82	1.16	1.00	--	1.16	--	--
2)强油循环风冷和水冷,热时间常数 2h													
等效起始负载率 $K_1$		0.50			0.70			0.90			1.00		
冷却介质温度(°C)		0	20	40	0	20	40	0	20	40	0	20	40
过载时间 $t_2$ (h)	0.5	1.73	1.57	1.39	1.68	1.51	1.31	1.60	1.41	--	1.55	--	--
	2	1.45	1.30	1.14	1.42	1.27	1.10	1.38	1.21	--	1.36	--	--
	6	1.26	1.12	0.97	1.26	1.11	0.95	1.24	1.09	--	1.23	--	--
	24	1.14	1.00	0.84	1.14	1.00	0.84	1.14	1.00	--	1.14	--	--

注:“+”表示  $K_2 > 2.0$ 。

(3)短路运行 短路后绕组的最大平均温度  $\theta_1$  应小于绕组最大允许平均温度  $\theta_2$ (见表 10-9)。

$$\theta_1 = \theta_0 + \alpha \delta^2 t \times 10^{-3} (\text{°C})$$

式中  $\theta_0$  ——绕组起始温度,油浸风冷、油浸水冷、干式 B 级和 H 级绝

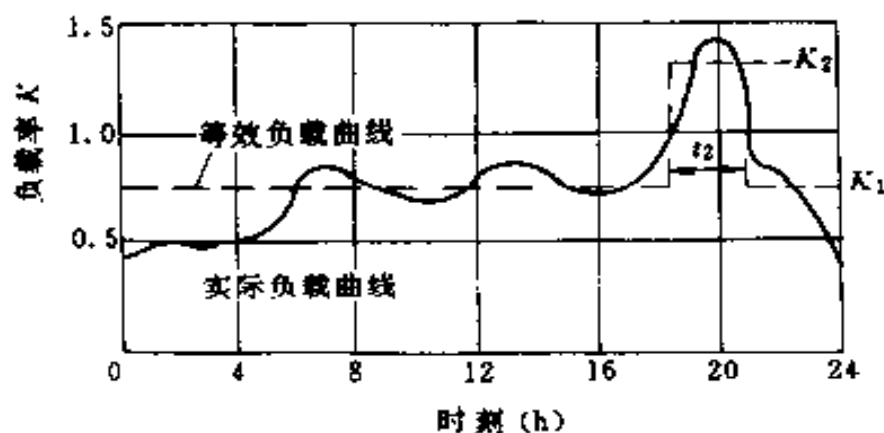


图 10-2 变压器日负载曲线图

缘时分别为 105°C、95°C、120°C 和 165°C；

$\alpha$  ——  $(\theta_0 + \theta_2)/2$  的函数，见表 10-10；

$\delta$  —— 短路电流密度 (A/mm<sup>2</sup>)；

$t$  —— 短路持续时间 (s)，如果没有特殊情况，短路持续时间为 2s。

表 10-9 短路后绕组平均温度最大允许值  $\theta_2$

变压器型式	绝缘等级	$\theta_2$ (°C)	
		铜	铝
油浸式	A	250	200
	A	180	180
干式	B	250	200
	C	350	200
	F、H	350	—

表 10-10  $\alpha$  的数值

$\frac{1}{2}(\theta_0 + \theta_2)$	$\alpha$		$\frac{1}{2}(\theta_0 + \theta_2)$	$\alpha$	
	铜	铝		铜	铝
110	7.41	16.5	220	8.99	—
160	7.80	17.4	240	9.39	—
180	8.20	18.3	260	9.78	—
200	8.59	19.1			

### 3. 常用电力变压器的技术数据

(1) 常用 10kV 级电力变压器

表 10-11 S7 系列电力变压器主要技术数据

型号 S7-	额定容量 (kVA)	额定电压(kV)		阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	联结组	损耗(W)		
		高压	低压				空载	短路	总损耗
50/10	50	6.0±5% 6.3±5% 10±5%	0.4	4.0	2.2	Y,yn0	175	875	1050
100/10	100				2.1		295	1450	1745
160/10	160				1.8		462	2080	2542
200/10	200				1.5		505	2470	2975
250/10	250				1.5		600	2920	3520
315/10	315				1.5		720	3470	4170
400/10	400				1.5		865	4160	5025
500/10	500				1.45		1030	4920	5950
630/10	630				5.0		0.82	1250	5800
800/10	800			0.80			1500	7200	8700
1000/10	1000			0.75			1750	10000	11750
1250/10	1250			0.70			2050	11500	13550
1600/10	1600			0.65			2500	14000	16500

注: S7 系列为铜线双绕组无励磁调压变压器。

表 10-12 S9 系列电力变压器主要技术数据

型号 S9	额定 容量 (kVA)	额定电压(kV)		空载 损耗 (kW)	阻抗电压(%)	空载 电流 (%)	负载损耗(kW)	联结组
		高压	低压					
30/10	30	6.0±5% 6.3±5% 10±5%	0.4	0.13	4	2.1	0.6	Y,yn0
50/10	50			0.17		2.0	0.87	
63/10	63			0.2		1.9	1.04	
80/10	80			0.24		1.8	1.25	
100/10	100			0.29		1.6	1.5	
125/10	125			0.34		1.5	1.80	
160/10	160			0.40		1.4	2.20	
200/10	200			0.48		1.3	2.60	
250/10	250			0.56		1.2	3.05	
315/10	315			0.67	1.1	3.65		
400/10	400			0.80	1.0	4.3		
500/10	500			0.96	1.0	5.1		
630/10	630			4.5	1.2	0.9	6.2	
800/10	800				1.2	0.8	7.5	
1000/10	1000				1.10	0.7	1.03	
1250/10	1250	1.95	0.6		1.20			
1600/10	1600	2.40	0.6		1.45			

注: S9 系列为铜线双绕组无励磁调压变压器。

表 10-13 SL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

容量 (kVA)	联结组	电压组合(kV)		损耗(W)		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	
		高压	低压	空载	短路			
30	Y,yn0	6.6.3.10	0.4	150	800	4	2.5	
50				190	1150		2.8	
63				220	1400		2.8	
80				270	1650		2.7	
100				320	2000		2.6	
125				370	2450		2.5	
160				460	2850		2.4	
200				540	3400		2.4	
250				640	4000		2.3	
315				760	4800		2.3	
400				920	5800		2.1	
500				1080	6900		2.1	
630				Y,d11	$\frac{6.6.3}{10}$		$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$	1300
800	Y,yn0	6.6.3.10	0.4	1540	9900	4.5 5.5	1.7	
	Y,d11	$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$					
1000	Y,yn0	6.6.3.10	0.4	1800	11600		1.4	
	Y,d11	$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$					
1250	Y,yn0	6.6.3.10	0.4	2200	13800		1.4	
	Y,d11	$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$					
1600	Y,yn0	6.6.3.10	0.4	2650	16500		1.3	
	Y,d11	$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$					
2000		$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$	3100	19800		5.5	1.2
2500		$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$	3650	23000		1.2	
3150		$\frac{6.6.3}{10}$	$\frac{(3.15)}{(3.15)6.3}$	4400	27000	1.1		
4000		10	(3.15)6.3	5300	32000	1.1		
5000		10	(3.15)6.3	6400	36700	1.0		
6300		10	(3.15)6.3	7500	41000	1.0		

注:1. 括号内数据尽量不采用。

2. SL7 系列为铝线双绕组无励磁调压变压器。

表 10-14 SZL7 系列低损耗电力变压器的主要技术数据

容量 (kVA)	联结组	电压组合(kV)		损耗(W)		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)
		高压	低压	空载	短路		
200	Y,yn0	6.6, 3, 10	0.4	540	3400	4	3.5
250				640	4000		3.2
315				760	4800		3.2
400				920	5800		3.2
500				1080	6900		3.2
630	Y,d11	6.6, 3 10	(3, 15) (3, 15)6.3	1400	8500	1.5 5.5	3.0
800				1660	10400		2.5
1000				1930	12180		2.5
1250				2350	14490		2.5
1600				3000	17300		2.5
2000		35	6.3, 10, 5	3600	20800	6.5	2.5
2500		35, 38.5		4250	24150	6.5	2.2
3150				5050	28900	7.0	2.2
4000				6050	34100	7.0	2.2
5000				7250	40000	7.0	2.0
6300	8800		43000	7.5	2.0		

注: 1. 括号内数据尽量不采用。

2. SZL7 系列为铝线双绕组有载调压变压器。

(2)常用 35kV 级电力变压器

表 10-15 SL7、SFL7 系列电力变压器主要技术数据

型号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		空载损耗 (kW)	阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	负载损耗 (kW)	联结组	
		高压	低压						
SL7-50/35	50	35		0.26	6.5	2.8	1.35	Y,yn0	
-100/35	100			0.37		2.6	2.25		
-125/35	125			0.42		2.5	2.65		
-160/35	160			0.47		2.4	3.15		
-200/35	200			0.55		2.2	3.7		
-250/35	250			0.4		2.0	4.4		
-315/35	315			0.76		2.0	5.3		
-400/35	400			0.92		1.9	6.4		
-500/35	500			1.08		1.9	7.7		
-630/35	630			1.3		1.8	9.2		
-800/35	800			1.54		1.5	11.1		
-1000/35	1000			0.4, 3.15, 6.3, 10.5		1.8	1.4		13.5
-1250/35	1250			6.3, 10.5		2.2	1.2		16.3
-1600/35	1600					2.65	1.1		19.5
-2000/35	2000					3.4	1.1		19.8
-2500/35	2500					4	1.1		23
-3150/35	3150	3.15, 6.3, 10.5	4.75	1.0	27				
-4000/35	4000	10.5	5.65	1.0	32	Y,d11			
-5000/35	5000	35, 38.5	6.75	0.9	36.7				
-6300/35	6300		8.2	0.9	41	Y,d11			
-8000/35	8000		11.5	0.8	45				
SFL7-10000/35	10000		13.6	0.8	53	YN,d11			
-12500/35	12500	35, 38.5	11, 10.5, 16	0.8	63				
-16000/35	16000	±2×	6.6, 6.3, 19	0.7	77				
-20000/35	20000	2.5%	3.3, 3.15	0.7	93				
-25000/35	25000		26.6	0.6	110				
-31500/35	31500		31.6	0.6	132				

注:SL7、SFL7 系列为铝线双绕组无励磁调压变压器。



表 10-16 SZL7 系列电力变压器主要技术数据

型号 SZL7	额定容量 (kVA)	额定电压(kV)		空载 损耗 (kW)	阻抗电压(%)	空载 电流 (%)	负载损耗(kW)	联结组
		高压	低压					
2000/35	2000	35	10.5, 6.3	3.6	6.5	1.4	20.8	Y,d11
2500/35	2500			4.25		1.4	24.15	
3150/35	3150			5.05	1.3	28.9		
4000/35	4000			6.05			7	
5000/35	5000			7.25	1.2	40		
6300/35	6300			8.8	7.5	1.2	43	

注:SZL7 系列为铝线双绕组有载调压变压器。

### 三、小型变压器

#### 1. 小型单相变压器的计算

对于容量在 1000VA 以下,电源频率为 50Hz 的小型单相变压器,可用下述简化方法计算。

##### (1) 确定铁心截面

$$A_c = K_c \sqrt{S}$$

式中  $A_c$  ——铁心截面积( $\text{cm}^2$ );

$S$  ——变压器容量(VA);

$K_c$  ——截面系数,  $K_c = 1.2 \sim 2.0$ ,  $K_c$  值大小由硅钢片质量决定,一般硅钢片  $B = 0.8 \sim 1\text{T}$ ,  $K_c$  取 1.25;较好的硅钢片  $B \geq 1\text{T}$ ,  $K_c$  可取较小值;较差的硅钢片  $B \leq 0.6\text{T}$ ,  $K_c$  可取 2。

##### (2) 求每伏匝数

$$N_0 = \frac{45}{BA_c}$$

式中  $N_0$  ——每伏匝数(匝/V);

$B$  ——铁心最大磁通密度(T);

$A_c$  ——铁心截面积( $\text{cm}^2$ )。

(3)求一、二次绕组匝数

$$N_1 = U_1 N_0$$

$$N_2 = U_2 N_0$$

式中  $N_1$  ——一次绕组匝数(匝);

$N_2$  ——二次绕组匝数(匝)。

(4)求导线截面或线规

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{\delta}}$$

式中  $d$  ——导线直径(mm);

$I$  ——导线电流(A);

$\delta$  ——允许电流密度( $\text{A}/\text{mm}^2$ ),  $\delta$  与变压器的使用条件和容量大小有关。一般 100VA 以下连续使用的变压器,取  $\delta = 2.5 \text{A}/\text{mm}^2$ ; 大于 100VA 的取  $\delta = 2 \text{A}/\text{mm}^2$ ; 高压油浸式变压器,取  $\delta = 4 \sim 5 \text{A}/\text{mm}^2$ 。

(5)核算铁心窗口是否能容纳一、二次绕组 一般层间绝缘用厚度为 0.05mm 的牛皮纸。如果线径较粗,层间可用厚度为 0.12mm 的青壳纸或较厚的牛皮纸;如线径较细,则可用厚度为 0.05~0.02mm 的白玻璃纸。线圈间电压不超过 500V 时,可用 2~3 层牛皮纸或青壳纸。

变压器框架的有效长度为铁心窗口高度的 0.9 倍,绕组总厚度小于铁心窗口宽度。

## 2. 小功率变压器常用标准铁心每匝伏数

见表 10-17。

表 10-17 小功率变压器常用标准铁心每匝伏数

铁心片 型号	铁心 规格	中间铁 心截面 (cm <sup>2</sup> )	最大磁感应强度值 (T)												
			每匝伏数 (V/匝)												
			0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0	1.1	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5
GE110	10×12.5	1.14	0.0177	0.0189	0.0202	0.0214	0.0227	0.0240	0.0253	0.0278	0.0303	0.0315	0.0328	0.0354	0.0379
	10×15	1.37	0.0212	0.0227	0.0242	0.0257	0.0272	0.0289	0.0304	0.0334	0.0364	0.0379	0.0394	0.0425	0.0456
	10×17.5	1.59	0.0246	0.0264	0.0281	0.0299	0.0316	0.0335	0.0353	0.0388	0.0423	0.0440	0.0458	0.0494	0.0529
	10×20	1.82	0.0282	0.0302	0.0322	0.0342	0.0362	0.0384	0.0404	0.0444	0.0484	0.0504	0.0524	0.0565	0.0606
GE112	12×15	1.64	0.0254	0.0272	0.0290	0.0308	0.0326	0.0346	0.0364	0.0400	0.0436	0.0454	0.0472	0.0509	0.0546
	12×18	1.97	0.0305	0.0327	0.0348	0.0370	0.0392	0.0415	0.0437	0.0480	0.0524	0.0545	0.0567	0.0612	0.0656
	12×21	2.28	0.0353	0.0378	0.0403	0.0428	0.0453	0.0481	0.0506	0.0556	0.0606	0.0631	0.0656	0.0708	0.0759
	12×24	2.62	0.0406	0.0434	0.0463	0.0492	0.0521	0.0552	0.0581	0.0639	0.0696	0.0725	0.0754	0.0814	0.0872
GE114	14×18	2.29	0.0355	0.0380	0.0405	0.0430	0.0455	0.0483	0.0508	0.0558	0.0609	0.0634	0.0659	0.0711	0.0762
	14×21	2.68	0.0415	0.0444	0.0474	0.0504	0.0533	0.0565	0.0594	0.0654	0.0713	0.0742	0.0772	0.0833	0.0892
	14×24	3.06	0.0474	0.0508	0.0541	0.0575	0.0609	0.0645	0.0679	0.0746	0.0814	0.0847	0.0881	0.0951	0.1019
	14×28	3.57	0.0553	0.0592	0.0632	0.0671	0.0710	0.0753	0.0792	0.0871	0.0949	0.0989	0.1028	0.1109	0.1189
GE116	16×20	2.91	0.0451	0.0483	0.0515	0.0547	0.0579	0.0614	0.0646	0.0710	0.0774	0.0806	0.0838	0.0904	0.0969
	16×24	3.49	0.0541	0.0654	0.0617	0.0656	0.0694	0.0736	0.0874	0.0851	0.0928	0.0966	0.1005	0.1084	0.1162
	16×28	4.08	0.0632	0.0677	0.0722	0.0767	0.0812	0.0861	0.0905	0.0995	0.1085	0.1130	0.1175	0.1268	0.1358
	16×32	4.66	0.0722	0.0773	0.0825	0.0876	0.0927	0.0983	0.1034	0.1137	0.1239	0.1290	0.1342	0.1448	0.1551
GE119	19×24	4.15	0.0643	0.0688	0.0734	0.0780	0.0826	0.0875	0.0921	0.1012	0.1104	0.1149	0.1195	0.1289	0.1382
	19×28	4.84	0.0750	0.0803	0.0856	0.0910	0.0963	0.1021	0.1074	0.1181	0.1290	0.1340	0.1394	0.1504	0.1611
	19×32	5.53	0.0857	0.0918	0.0979	0.1039	0.1100	0.1166	0.1227	0.1349	0.1471	0.1532	0.1592	0.1718	0.1841
	19×38	6.57	0.1018	0.1090	0.1163	0.1235	0.1307	0.1386	0.1458	0.1603	0.1747	0.1820	0.1892	0.2042	0.2186

(续)

铁心片 型号	铁心 规格	中间铁 心截面 (cm <sup>2</sup> )	最大磁感应强度值 (T)														
			每匝电压 (V/匝)														
			0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0	1.1	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5		
GE1B22	22×28	5.62	0.0871	0.0933	0.0994	0.1056	0.1118	0.1185	0.1247	0.1371	0.1495	0.1556	0.1618	0.1746	0.1871		
	22×33	6.61	0.1024	0.1097	0.1170	0.1242	0.1315	0.1394	0.1467	0.1613	0.1758	0.1931	0.1903	0.2054	0.2201		
	22×38	7.61	0.1179	0.1263	0.1347	0.1430	0.1514	0.1605	0.1689	0.1857	0.2024	0.2108	0.2191	0.2365	0.2534		
	22×44	8.81	0.1365	0.1462	0.1559	0.1656	0.1753	0.1858	0.1955	0.2149	0.2343	0.2440	0.2537	0.2738	0.2933		
GE1B26	26×33	7.81	0.1210	0.1296	0.1382	0.1468	0.1554	0.1648	0.1734	0.1906	0.2077	0.2163	0.2249	0.2427	0.2600		
	26×39	9.23	0.1443	0.1532	0.1633	0.1735	0.1836	0.1947	0.2049	0.2252	0.2455	0.2556	0.2658	0.2868	0.3073		
	26×45	10.6	0.1643	0.1759	0.1876	0.1992	0.2109	0.2236	0.2353	0.2586	0.2819	0.2936	0.3053	0.3294	0.3530		
	26×52	12.3	0.1906	0.2041	0.2177	0.2312	0.2447	0.2595	0.2730	0.3001	0.3272	0.3407	0.3542	0.3822	0.4096		
GE1B30	30×38	10.4	0.1612	0.1726	0.1841	0.1955	0.2069	0.2194	0.2308	0.2537	0.2766	0.2881	0.2995	0.3232	0.3463		
	30×45	12.3	0.1906	0.2041	0.2177	0.2312	0.2447	0.2595	0.2730	0.3001	0.3272	0.3407	0.3542	0.3822	0.4096		
	30×52	14.2	0.2200	0.2357	0.2513	0.2669	0.2826	0.2996	0.3152	0.3464	0.3777	0.3933	0.4089	0.4413	0.4728		
	30×60	16.4	0.254	0.2722	0.2903	0.3083	0.3263	0.3460	0.3650	0.4001	0.4362	0.4543	0.4723	0.5097	0.5461		
GE1B35	35×44	14.0	0.217	0.2324	0.2478	0.2632	0.2786	0.2954	0.3108	0.3416	0.3724	0.3878	0.4032	0.4351	0.4662		
	35×52	16.6	0.257	0.2755	0.2938	0.3120	0.3303	0.3502	0.3685	0.4050	0.4415	0.4598	0.4781	0.5159	0.5528		
	35×60	19.1	0.296	0.3170	0.3380	0.3590	0.3801	0.4030	0.4240	0.4660	0.5080	0.5290	0.5501	0.5936	0.6360		
	35×70	22.3	0.345	0.3702	0.3947	0.4192	0.4437	0.4705	0.4950	0.5441	0.5932	0.6177	0.6422	0.6930	0.7426		
GE1B40	40×50	18.2	0.282	0.3021	0.3221	0.3421	0.3622	0.3840	0.4040	0.4441	0.4841	0.5041	0.5241	0.5656	0.6060		
	40×60	21.8	0.338	0.3618	0.3858	0.4098	0.4338	0.4599	0.4838	0.5319	0.5799	0.6038	0.6288	0.6775	0.7259		
	40×70	25.5	0.395	0.4233	0.4513	0.4794	0.5074	0.5380	0.5661	0.6222	0.6783	0.7063	0.7344	0.7925	0.8491		
	40×80	29.1	0.451	0.4830	0.5150	0.5471	0.5791	0.6140	0.6460	0.7109	0.7740	0.8060	0.8381	0.9044	0.9690		

### 3. 小型变压器铁心数据

表 10-18 GE 系列变压器硅钢片技术数据

硅钢片型号	硅钢片中 间舌宽 $a$ (mm)	叠片厚度 $b$ (mm)	额定输出 功率 (VA)	铁心截 面积 $A_c$ ( $\text{cm}^2$ )	每 伏 匝 数 $N_0$ (匝/V)	
					1T	0.6T
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
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	31	1.5	1.9
GEIB-50	50	62	600	33	1.5	1.8
GEIB-50	50	66	700	35	1.4	1.7
GEIB-50	50	70	781	35	1.3	1.6
GEIB-50	50	80	1020	40	1.1	1.4

#### 4. 小型三相变压器的计算

小型变压器有四种接法:Y,y、Y,d、D,y 和 D,d。下面以 Y,d 接法为例进行参数计算。

##### (1) 电参数计算

1) 电压关系 设一次线电压为  $U_{1l}$ , 一次相电压为  $U_{1p}$ ; 二次线电压为  $U_{2l}$ , 二次相电压为  $U_{2p}$ 。则它们的关系为

$$U_{1l} = \sqrt{3} U_{1p}$$
$$U_{2l} = U_{2p}$$

2) 电流关系 设一次线电流为  $I_{1l}$ , 一次相电流为  $I_{1p}$ ; 二次线电流为  $I_{2l}$ , 二次相电流为  $I_{2p}$ 。则它们的关系为

$$I_{1l} = I_{1p}$$
$$I_{2l} = \sqrt{3} I_{2p}$$

3) 容量关系 设一次容量为  $S_1$ , 二次容量为  $S_2$ 。则它们的关系为

$$S_1 = 3U_{1l}I_{1p} = \sqrt{3} U_{1l}I_{1l}$$
$$S_2 = 3U_{2l}I_{2p} = \sqrt{3} U_{2l}I_{2l}$$

##### (2) 结构参数计算

1) 每柱铁心截面积

$$A_c = \sqrt{\frac{S_n}{3}} = ab$$

式中  $a$  ——铁心柱宽(cm);  
 $b$  ——铁心柱净叠厚(cm);  
 $S_n$  ——变压器额定容量(VA)。

参见图 10-3 变压器铁心尺寸。

2) 每伏匝数

$$N_0 = \frac{10^4}{4.44fB_m A_c}$$

式中  $N_0$  ——每伏匝数(匝);  
 $f$  ——频率(Hz);  
 $B_m$  ——磁通密度的幅值(T), 对于 50Hz, 5000VA 以下的变压器取  $B_m = 0.8 \sim 1.0T$ 。

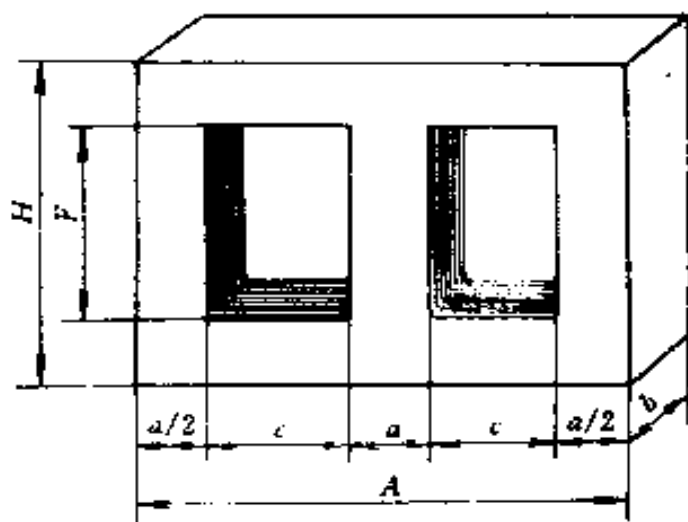


图 10-3 变压器铁心尺寸

3) 绕组匝数 根据每伏匝数可以算出一、二次绕组匝数各为

$$N_1 = U_1 N_0$$

$$N_2 = U_2 N_0$$

式中  $N_1$  ——一次绕组匝数(匝);

$N_2$  ——二次绕组匝数(匝);

$U_1$  ——一次绕组电压(V);

$U_2$  ——二次绕组电压(V)。

4) 导线截面积

$$S_d = \frac{I}{\delta} \quad (\text{mm}^2)$$

对于圆形导线直径

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{\delta}} \quad (\text{mm})$$

式中  $I$  ——导线电流(A);

$\delta$  ——允许电流密度(A/mm<sup>2</sup>),一般取  $\delta = 2.5 \text{ A/mm}^2$ 。

5) 核算铁心窗口面积 根据绕组匝数、导线直径、绝缘厚度核算绕组所占铁心窗口的面积。通常规定每相绕组所占窗口面积应小于实际窗口面积的一半(即  $Fc/2$ , 见图 10-3), 如不能满足, 则需适当加大铁心截面, 重新计算, 直到满足为止。

## 5. 小型自耦变压器的计算

### (1) 电参数计算

$$I_1 = \frac{S_T}{U_1}$$

$$I_2 = \frac{S_T}{U_2}$$

式中  $S_T$  ——自耦变压器容量(VA);

$I_1$  ——输入电流(A);

$I_2$  ——输出电流(A)。

### (2) 结构参数计算

#### 1) 铁心截面

$$A_c = \frac{U}{4.44fB_mNK} \times 10^4$$

式中  $A_c$  ——铁心截面( $\text{cm}^2$ );

$U$  ——相应电压(V);

$f$  ——频率(Hz);

$B_m$  ——最大磁通密度(T),  $B_m = 0.8 \sim 1.0\text{T}$ ;

$K$  ——系数,  $K = 0.3$ ;

$N$  ——相应绕组匝数(匝)。

#### 2) 绕组匝数(如图 10-4) 按升压和降压两种情况分别为

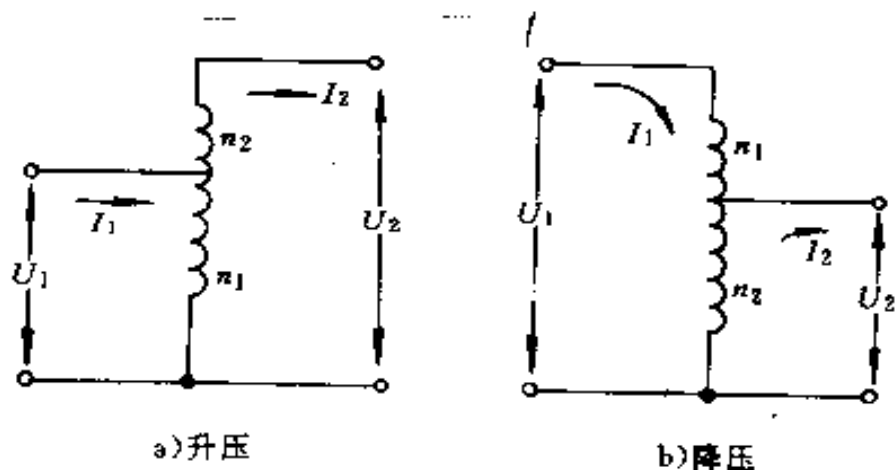


图 10-4 自耦变压器



$$\text{升压 } N_1 = \frac{48U_1}{A_c} \quad N_2 = \frac{54(U_2 - U_1)}{A_c}$$

$$\text{降压 } N_1 = \frac{48(U_1 - U_2)}{A_c} \quad N_2 = \frac{54U_2}{A_c}$$

式中  $U_1, U_2$  ——自耦变压器的输入、输出电压(V);

$A_c$  ——铁心截面积( $\text{cm}^2$ );

$N_1, N_2$  ——自耦变压器串联绕组、公共绕组的匝数(匝)。

### 3) 每伏匝数

$$N_0 = \frac{N}{U} = \frac{45}{B_m A_c}$$

### 4) 导线直径

$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi\delta}}$$

式中  $d$  ——导线直径(mm);

$I$  ——电流(A);

$\delta$  ——电流密度( $\text{A}/\text{mm}^2$ )。

对于 100VA 以下:  $\delta = 2\text{A}/\text{mm}^2$ , 则  $d = 0.8 \sqrt{I}$ ; 对于大于 100 到 300VA:  $\delta = 1.6\text{A}/\text{mm}^2$ , 则  $d = 0.9 \sqrt{I}$ ; 对于大于 300 到 1000VA:  $\delta = 1.2\text{A}/\text{mm}^2$ , 则  $d = \sqrt{I}$ 。

### 5) 窗口面积

$$S_D = \frac{2IN}{K_0\delta}$$

式中  $S_D$  ——窗口面积( $\text{cm}^2$ );

$\delta$  ——电流密度( $\text{A}/\text{cm}^2$ ), 取  $\delta = 300\text{A}/\text{cm}^2$ ;

$K_0$  ——系数, 取  $K_0 = 0.93$ ;

$I$  ——电流(A);

$N$  ——绕组匝数(匝)。

## 6. 常用 E 型硅钢片规格

见表 10-19。

表 10-19 常用 E 型硅钢片规格 (mm)

$a$	$c$	$F$	$A$	$H$
5	4.5	12	19.5	17.5
10	6.5	18	36	31
12	8	22	44	38
13	7.5	22	40	34
15	10	28	56	48
16	9	24	50	40
19	12	33.5	67	57.5
22	11	33	66	55
28	14	42	84	70
32	16	48	96	80
38	19	57	114	95
44	22	66	132	110
48	25.5	75	152	126
50	25	75	150	125
56	28	84	168	140
64	32	96	192	160

注：表中尺寸见图 10-3。

## 四、电力电容器

### 1. 电力电容器的主要用途及分类

表 10-20 电力电容器的分类

型号	类别		额定电压 (kV)	主要用途
BW BWF BGF BBF BBM BFF BFM	并联 电容器	高压	1.05~19.0	提高电力系统及负荷的功率因数,调整电压
		低压	0.23~1.0	
CY CGF CWF	串联 电容器		0.6~2.0	降低线路电压降落;提高输电线的输送容量和稳定性,控制电力潮流分布
RY RWF	电热 电容器		0.375~2.0	改善 40~24000Hz 感应加热设备的功率因数
OY OWF	耦合 电容器		35~750	用于高压工频输电线路中作载波通信及抽取电能
JY JWF	断路器 电容器		20~180	并联在断路器的断口上,作均匀电压用

(续)

型号	类别	额定电压 (kV)	主要用途
MY MYF MWF ZY DY	储能、直流电容器	1~500	储能电容器主要用于实验室中产生冲击高压、冲击大电流,组成振荡回路,作冲击分压。直流电容器则主要用于产生直流高压,作整流滤波等
AWF AGF	交流滤波电容器	1.25~18.0	滤除电力系统或负荷的高次谐波,并提高系统的功率因数
YD YL	标准电容器	100~1100	与高压电桥配合,测量损耗因数及电容,也可用作分压电容
EW	电动机电容器	0.25~0.66	单相异步电容分相电动机起动或增大转矩,三相异步电动机单相运行

## 2. 并联电容器

(1) 确定并联电容器容量的方法 参见第十七章一节 3 条。

(2) 并联电容器装置的组成和接线 并联电容器装置通常由主电容器、串联电抗器、放电线圈、熔断器、断路器、继电保护和控制屏等部分组成。其全接线如图 10-5 所示。

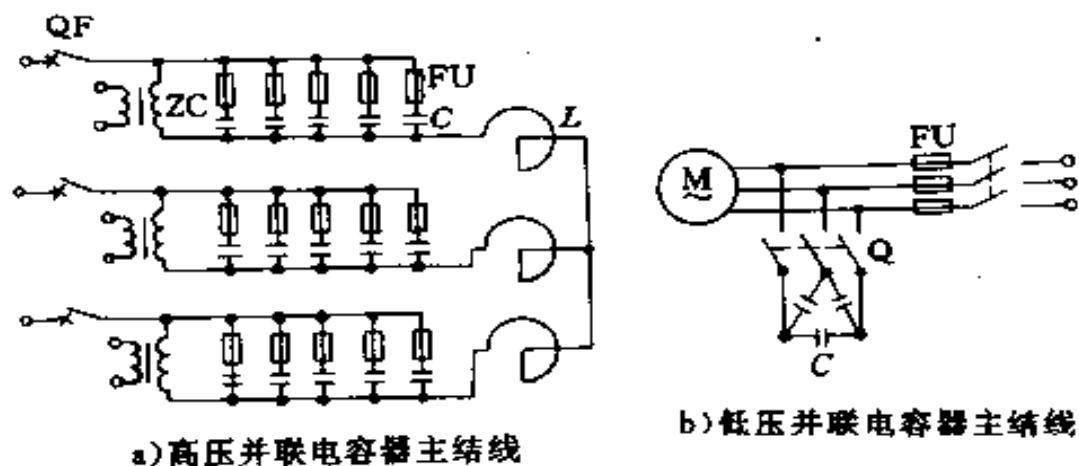


图 10-5 并联电容器装置的主接线原理图

FU—熔断器 C—电容器 L—串联电抗器 ZC—放电线圈  
QF—断路器 M—负荷 Q—开关

### (3) 串联电抗器的选择

$$Q_L \geq \frac{Q_C}{n^2} \times 100\%$$

式中  $Q_L$  —— 串联电抗器的容量；

$Q_C$  —— 电容器组容量；

$n$  —— 高次谐波次数。

$Q_L$  也可按表 10-21 选取。目前国产的铁心油浸式串联电抗器的性能指标见表 10-22。

表 10-21 串联电抗器容量选取

$n$ (次)	3	5	7	9
$Q_L/Q_C$ (%)	12~13	6	3	2

表 10-22 串联电抗器性能指标

项 目	性 能 指 标
最大长期允许使用电流	1.35 $I_N$ (额定电流有效值)
允许过电流冲击	25 $I_N$ , 2s
容量偏差	+10% -0%
线圈温升	1.35 $I_N$ , 下不高于 55℃
油面温升	1.35 $I_N$ , 下不高于 50℃

(4) 放电装置及其选择 从安全和限制涌流以及过电压的要求出发,在并联电容器内部应设置放电电阻,此电阻应能在 10min 内把电容器上的残留电压自  $\sqrt{2}U_N$  降到 75V 或更低。当电容器可能在很短的时间间隔内投切时,在电容器组的端子上应按图 10-5a 所示并接放电线圈,使电容器再次投入时,端子上的电压不高于其额定电压有效值的 10%。此放电线圈的二次线圈还可作电压测量和继电保护用。放电线圈的电压等级和绝缘水平应与电容器相同,线圈温升在 55℃ 以下,油面温升在 50℃ 以下。

(5)常用并联电容器技术数据

表 10-23 并联电容器技术性能

型 号	额定电压 (kV)	标称容量 (kvar)	标称电容 ( $\mu\text{F}$ )	频率 (Hz)	相数
BW0.4-10-1TH	0.4	10	199	50	1
BW0.4-10-3TH	0.4	10	199	50	3
BW0.4-12-1	0.4	12	239	50	1
BW0.4-12-1TH	0.4	12	239	50	1
BW0.4-12-3	0.4	12	239	50	3
BW0.4-12-3TH	0.4	12	239	50	3
BW0.4-13-1	0.4	13	259	50	1
BW0.4-13-3	0.4	13	259	50	3
BW0.4-14-1	0.4	14	280	50	1
BW0.4-14-3	0.4	14	280	50	3
BW0.4-14-3W	0.4	14	280	50	3
BW1.05-12-1	1.05	12	34.7	50	1
BW1.05-12-1TH	1.05	12	34.8	50	1
BW1.05-17-1	1.05	17	49.2	50	1
BW6.3-12-1TH	6.3	12	0.964	50	1
BW6.3-16-1W	6.3	16	1.28	50	1
BW11/ $\sqrt{3}$ -16-1W	11/ $\sqrt{3}$	16	1.26	50	1
BW10.5-16-1W	10.5	16	0.46	50	1
BWF0.69-25-1	0.69	25	167	50	1
BWF0.69-25-3	0.69	25	167	50	3
BWF6.3-25-1W	6.3	25	2.0	50	1
BWF6.3-50-1W	6.3	50	4.01	50	1
BWF6.3-100-1W	6.3	100	8.0	50	1
BWF6.3-120-1W	6.3	120	9.63	50	1
BWF11/ $\sqrt{3}$ -25-1W	11/ $\sqrt{3}$	25	1.94	50	1
BWF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	4.01	50	1
BWF11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.87	50	1
BWF11/ $\sqrt{3}$ -120-1W	11/ $\sqrt{3}$	120	9.45	50	1

(续)

型 号	额定电压 (kV)	标称容量 (kvar)	标称电容 ( $\mu\text{F}$ )	频率 (Hz)	相数
BWF10.5-25-1W	10.5	25	0.72	50	1
BWF10.5-30-1W	10.5	30	0.87	50	1
BWF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1
BWF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1
BWF10.5-120-1W	10.5	120	3.47	50	1
BWF12.5-25-1W	12.5	25	0.51	50	1
BWF12.5-40-1W	12.5	40	0.82	50	1
BWF12.5-100-1W	12.5	100	2.04	50	1
BWF12.5-120-1W	12.5	120	2.45	50	1
BWF12.5-150-1W	12.5	125	3.06	50	1
BWM6.3-100-1W	6.3	100	8	50	1
BWM6.3-200-1W	6.3	200	16	50	1
BWM6.3-334-1W	6.3	334	26.8	50	1
BWM11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1
BWM11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.89	50	1
BWM11/ $\sqrt{3}$ -200-1W	11/ $\sqrt{3}$	200	15.78	50	1
BWM11/ $\sqrt{3}$ -334-1W	11/ $\sqrt{3}$	334	26.40	50	1
BWM10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1
BWM10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1
BWM10.5-200-1W	10.5	200	5.77	50	1
BWM10.5-334-1W	10.5	334	9.65	50	1
BFF6.3-100-1W	6.3	100	8.02	50	1
BFF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1
BFF11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.9	50	1
BFF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1
BFF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1
BGM6.3-45-1W	6.3	45	3.61	50	1
BGM6.3-50-1W	6.3	50	4.01	50	1
BGM6.3-100-1W	6.3	100	8.02	50	1
BGM11/ $\sqrt{3}$ -100-1W	11/ $\sqrt{3}$	100	7.89	50	1
BGM10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1
BGM10.5-100-1W	10.5	100	2.89	50	1
BGF6.3-50-1W	6.3	50	4.0	50	1
BGF11/ $\sqrt{3}$ -50-1W	11/ $\sqrt{3}$	50	3.95	50	1
BGF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	50	1

### 3. 电力电容器成套装置

表 10-24 TBB 型并联补偿成套装置技术数据

型 号	额定电压 (kV)	总标称容量 (kvar)	单台标称容量 (kvar)	频率 (Hz)	联结方式
TBB10.5-750/25	10.5	750	25	50	双Y
TBB10.5-1000/33.4	10.5	1000	33.4	50	双Y
TBB10.5-1500/25	10.5	1500	25	50	双Y
TBB10.5-1500/50	10.5	1500	50	50	双Y
TBB10.5-2000/33.4	10.5	2000	33.4	50	双Y
TBB10.5-2250/25	10.5	2250	25	50	双Y
TBB10.5-3000/25	10.5	3000	25	50	双Y
TBB10.5-3000/33.4	10.5	3000	33.4	50	双Y
TBB10.5-3000/50	10.5	3000	50	50	双Y
TBB10.5-3750/25	10.5	3750	25	50	双Y
TBB10.5-4000/33.4	10.5	4000	33.4	50	双Y
TBB10.5-4500/25	10.5	4500	25	50	双Y
TBB10.5-4500/50	10.5	4500	50	50	双Y
TBB10.5-5000/33.4	10.5	5000	33.4	50	双Y
TBB10.5-5250/25	10.5	5250	25	50	双Y
TBB10.5-6000/25	10.5	6000	25	50	双Y
TBB10.5-6000/33.4	10.5	6000	33.4	50	双Y
TBB10.5-6000/50	10.5	6000	50	50	双Y

注：技术数据摘自北京电力电容器厂产品数据。

# 第十一章 高压开关、避雷器与绝缘子

## 一、高压开关概述

### 1. 高压开关的分类

表 11-1 高压开关的分类

分类	主要作用	负载电流			短路电流		
		长期承载	开断	关合	短时承载	开断	关合
断路器	控制、保护	○	○	○	○	○	○
负荷开关	控制	○	○	○	○	×	⊗
隔离开关	安全隔离	○	×	×	○	×	×
接地开关	保护	×	×	×	○	×	⊗

注：○——有；×——无；⊗——有时具有。

### 2. 高压开关的基本组成及其功能

表 11-2 高压开关的基本组成及其功能

基本组成	主要零部件	功能
开闭装置	主灭弧室(包括主触头、载流回路、均压电容等)、辅助切换装置(包括辅助触头和并联电阻等)	开断及关合线路或安全隔离电源
绝缘支撑	瓷瓶、瓷套或其他型式绝缘子	支承开闭装置,并保证对地绝缘
传动系统	各种连杆、齿轮、拐臂以及液压或空气导管等	给开闭装置传递操作命令和操动力
基座	底座(架)或罐体	支承和安装基础
操动机构	弹簧、电磁、液压、气动及手动机构的本体及其配件	控制操作程序,提供操作能量



### 3. 高压开关的主要技术参数

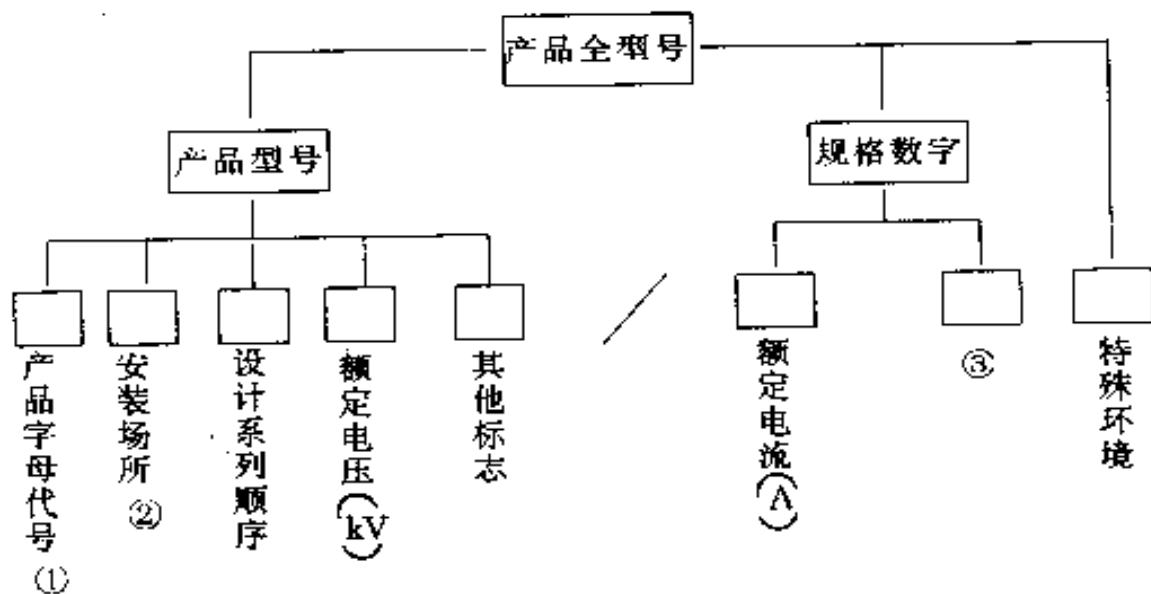
表 11-3 高压开关主要技术参数

名 称	代号	单 位	定 义
额定电压	$U_n$	kV	产品铭牌上标明的正常工作线电压有效值
最高工作电压	$U_{MV}$	kV	制造厂所保证的产品可以长期运行的最高线电压有效值
额定电流	$I_n$	A	产品铭牌上标明的可以长期承载的电流有效值
额定短路开断电流	$I_{nb}$	kA	在规定条件下,开关能开断的最大短路电流有效值
额定短路关合电流	$I_{mk}$	kA	在规定条件下,开关能顺利关合的最大短路电流峰值
额定动稳定电流 (极限通过电流)	$I_{pzw}$	kA	开关在合闸状态下,能承载的峰值电流
额定热稳定时间	$t_{rw}$	s	开关在合闸状态下,能承载额定短路开断电流的时间
开断时间	$t_b$	s 或 ms	从开关接到分闸命令到各相中的电弧最终熄灭为止的一段时间
关合时间	$t_c$		从开关接到合闸命令到各相各回路中触头均接通为止的一段时间
自动重合闸无电流间歇时间	$t_d$		从开关各相均熄弧时起,至任意相电流重新通过时为止的一段时间
短路合闸金属短接时间	$t_{ms}$		从开关各相均接通时起,至分闸操作中各相触头均分离时为止的一段时间

注:额定短路关合电流和额定动稳定电流数值相等,且为额定短路开断电流的 2.5 倍。

#### 4. 高压开关设备型号编制办法

##### (1) 高压开关产品全型号的组成形式



①见表 11-4。

②安装场所代号：户内—N，户外—W。

③对断路器、熔断器为额定开断能力(MVA 或 kA)；对负荷开关为最大开断电流(A)；对隔离开关为动稳定电流(kA)。

表 11-4 产品字母代号

少油断路器	多油断路器	空气断路器	六氟化硫断路器	真空断路器	磁吹断路器	产气断路器	负荷开关	熔断器	隔离开关	接地短路器	全封闭组合电器	敞开式组合电器	操动机构
S	D	K	L	Z	C	Q	F	R	G	J	ZF	ZH	C

举例：

S            N            10 - 10 /    3000 - 750  
 |            |            |            |            |            |  
 少油断路器 户内型 序号10 10kV    3000A    750MVA

即10kV3000A750MVA10型户内高压少油断路器。

(2) 操动机构产品全型号的组成形式

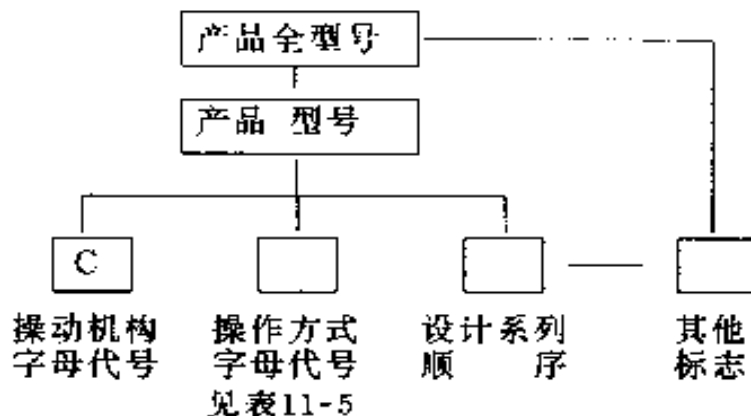
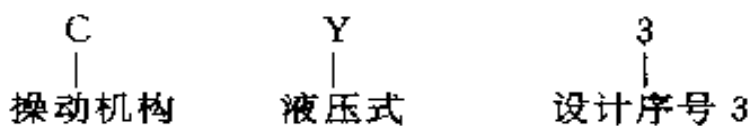


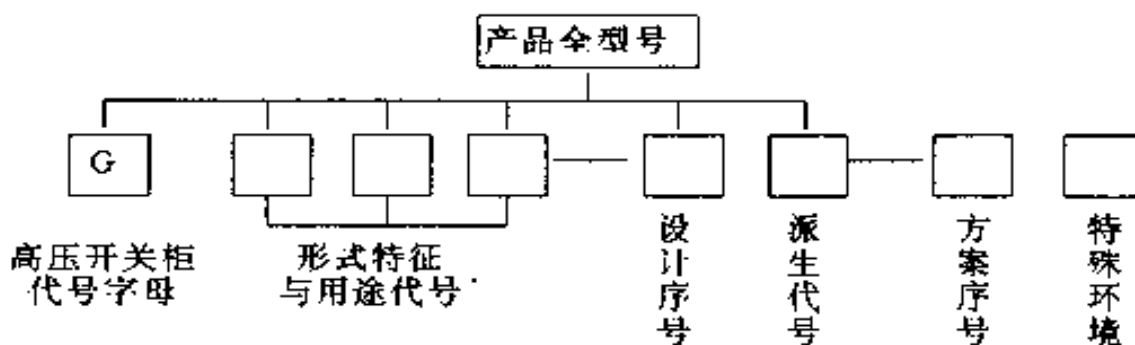
表 11-5 操动机构操作方式字母代号

操作方式	手动	电磁	电动机	弹簧	重锤	气动	液压
字母代号	S	D	J	T	Z	Q	Y

举例：



(3) 开关柜产品全型号的组成形式



形式特征与用途字母代号：

C — 手车式, F — 防护式, 封闭式, 发电机用, G — 固定式、干式。

(4) 其他标志代号及特殊环境条件代号

G — 产品的部分改进    D — 隔离开关带接地闸刀    X — 操动机构带箱子  
F — 可分相操作    Z — 带有重合闸装置    T — 带有脱扣器。

## 5. 断路器、隔离开关、熔断器的选择

表 11-6 断路器、隔离开关、熔断器的选择

项 目 设 备	按工作电 压选择	按工作电 流选择	按断路容 量选择	按动稳定 校验	按热稳定 校验
断路器	$U_n \geq U^{①②}$	$I_n \geq I$	$S_{dn} \geq S''(S_{0.2})$ 或 $I_{nb} \geq I''(I_{0.2})$	$I_{pew} \geq i_{cj}^{(3)}$	$I_t \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_j}{t}}$
隔离开关	$U_n \geq U^{①}$	$I_n \geq I$	—	$I_{pew} \geq i_{cj}^{(3)}$	$I_t \geq I_{\infty} \sqrt{\frac{t_j}{t}}$
熔断器	$U_n \geq U^{③}$	$I_{nR} \geq I_{nj}$ $> I^{④}$	$I_{dn} \geq I''$ 或 $S_{dn} \geq S''$	—	—

①当海拔高度超过 1000m 时,应与制造厂联系是否需要加强绝缘。

②当断路器安装在低于额定电压回路(其电压为  $U$ )中时,其断流容量可按下列式计算

$$S_{dn}(U) = S_{dn} \frac{U}{U_n}$$

③但对充填石英砂有限流作用的熔断器还必须满足  $U = U_{nR}$ ,即熔断器的额定电压等于其工作电压。

④除满足此条件外,在投入空载变压器、静电电容器时,要避免由于正常的冲击电流而引起误动作。

- 表中  $U_n$  ——设备额定电压(kV);  
 $U$  ——回路工作电压(kV);  
 $I_n$  ——设备额定电流(A);  
 $I$  ——回路工作电流(A);  
 $S_{dn}$  ——设备额定断流容量(MVA);  
 $S''$  ——0s 的短路容量(MVA);  
 $I_{nb}$  ——设备额定短路开断电流(kA);  
 $I''$  ——短路次暂态电流(A);  
 $S_{0.2}$  ——0.2s 的短路容量(MVA);  
 $I_{0.2}$  ——0.2s 的短路电流(A);  
 $I_{pew}$  ——设备极限通过电流峰值(kA);  
 $i_{cj}^{(3)}$  ——回路中可能发生的三相短路电流最大冲击值(kA);  
 $I_t$  ——设备在  $t$ (s) 内的热稳定电流(kA);  
 $I_{\infty}$  ——回路中可能通过的最大稳态短路电流(kA);  
 $t_j$  ——短路电流作用的假想时间(s);  
 $t$  ——热稳定电流允许的作用时间(s);  
 $I_{nR}$  ——熔断器的额定电流(A);  
 $I_{nj}$  ——熔断器熔件的额定电流(A);  
 $U_{nR}$  ——熔断器的额定电压(kV)。

## 二、高压断路器

### 1. 高压断路器的分类

表 11-7 高压断路器的分类

类别	特点	主要性能			主要使用场合
		断口电压 (kV)	开断能力 (kA)	电寿命	
油	多油	≤110	≤31.5	较短	35kV 户外变电所及 10kV 线路柱上安装
	少油	≤145	≤50 ≤80①		330kV 及以下户内或户外变电站
压缩空气	零部件数量多, 需压缩空气装置	≤145	≤100 ≤250①	较长	高压或超高压大容量变电站, 发电机保护等
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )	零部件数量少, 制造精度和装配工艺要求较高	≤363	≤100	长	各电压等级及各种用途均可, 可频繁操作
真空	体积小, 重量轻, 对材料及工艺要求较高	≤63	≤50	长	35kV 及以下户内变电所, 可频繁操作
磁吹	无密封要求, 体积较大, 结构复杂, 价格高	≤35	≤20	较长	10kV 及以下户内频繁操作场合
固体产气	简单, 制造方便, 价廉, 噪声大	≤35	≤10	短	35kV 及以下户外小容量变电所

①对发电机断路器而言。

### 2. 常用高压断路器技术数据

#### (1) 常用高压 SF<sub>6</sub> 断路器技术数据

表 11-8 常用高压 SF<sub>6</sub> 断路器技术数据

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
LW3-10	10	400	6.3	手动机构, 电动机构
LW5-10	10	630	6.3	手力操动
LW8-35	35	1600	25	CT14
LN2-10	10	1250	25	CT14 I
LN2-35	35	1250	16	CT14 I

(2)常用高压少油断路器技术数据

表 11-9 常用高压少油断路器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
SN10-10 系列	10	630	16	CT8
		1000	16	
		1000	31.5	
		1250	40	CD10
		2000	40	
		3000	40	
SN10-15	15	1000	25	CD10
SN10-35	35	1250	16	CD10W
			20	
SW2-35	35	1000	16	CT2 XG CT3 XG CY5
		1500	25	
		2000	25	

(3)常用交流高压多油断路器技术数据

表 11-10 常用交流高压多油断路器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
DN1-10	10	600	5.8 (100MVA)	CD2-40
DW1-35	35	600	6.6	CD2-40
			6.3	CD2-40XG
DW2-35	35	630	16	CD3-X
		1000		CD3-XG
DW2-35 I	35	1250	25	CD3-X I CT14
DW4-10	10	50	2.9(50MVA) 3.15	手动
		100		
		200		
		400		

(续)

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
DW5-10	10	30 100 200	3.15	手动
DW6-35	35	400	5.8(100MVA) 6.6	CS2 CD2 CT10
DW7-10	10	30 50 75 100 200 400	1.73 1.8	本身机构 手动
DW8-35	35	600 800 1000	16.5	CD11-X I
DW10-10	10	50 100 200 400	1.8 2.9 3.15	本身机构手动
DW11-10	10	800	25	CD15-X
DW12-35	35	1600	20	
DW13-35	35	1250 1600	20 31.5	CD11-X
DW14-35	35	1250	20	CD11-X
DW15-10	10	50 100 200 400	6.3	
DWZ1-10 交流高压多油 自动转换开关	10	63 800 100 1600 200	5 70 15 90 25	

(4)常用交流高压真空断路器技术数据

表 11-11 常用交流高压真空断路器技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定短路开断电流 (kA)
ZN3-10	10	600	8.7
		630	12.5
		1000	16
ZN1-10	10	1000	16
		1250	20
ZN5-10	10	630	20
		1000	20
		1250	25
ZN6-27.5	27.5	630	10、16
		1000	
		1250	
ZN7-10	10	1250	31.5
ZN8-10	10	1250	20
ZN9-10	10	1250	20
ZN10-10	10	1250	31.5
3AF-10 高压真空断路器(引进产品)	10	1600	25
		1250	31.5
		2500	31.5
		2000	40
		3150	40

### 三、隔离开关

#### 1. 隔离开关开断电流参考值

表 11-12 隔离开关开断电流参考值

额定电压(kV)	电感电流(A)	电容电流(A)
6、10	4	2
20、35	3	2



## 2. 常用隔离开关的主要规格和特点

表 11-13 常用隔离开关的主要规格和特点

型号系列	主要规格		特 点
	额定电压(kV)	额定电流(A)	
GN1	6~35	200~400	单极式,用绝缘操作棒操作,现仅用作电压互感器的中性点接地闸刀
GN2	10~35	400~3000	三相联动,额定电压为 35kV 级和 10kV。额定电流 1000A 以上的应用广泛。10kV1000A 及以下的因尺寸大、笨重而被 GN6、GN19 系列代替
GN6	6~10	200~1000	为 GN2 系列的改进型,尺寸小、质量轻,但额定电流不大
GN8	6~10	200~1000	将 GN6 系列的一侧或二侧支持绝缘子改为穿墙套管后而成,用于需穿(板)墙的场所
GN19	10	400~1000	系联合设计的新产品,尺寸小、质量轻、散热好、机械强度高,三相联动,有相当于 GN6、8 系列的各种型式
GW1	6~10	200~600	三相联动
GW2	35~110	600~1000	为仿前苏联产品改进型,35kV 的仍广泛采用,110kV 的已淘汰。单极三柱式,可三相联动
GW4	35~110	400~1000	单极双柱式,可三相联动,质量轻、绝缘子少、运行可靠。110kV 的已广泛使用,35kV 的已显示广泛使用前景
GW5	35~110	600~1000	二支持绝缘子底座向里倾斜,与铅垂线成 25°的 V 形结构。单极式,可三相联动,体积小,质量轻,110kV 的已广泛使用

## 四、负荷开关

### 1. 负荷开关的分类和特点

表 11-14 负荷开关的分类和特点

类别	特点	应用场所
压气式	压气活塞与动触头联动,压缩空气吹弧,开断能力较强,能频繁操作,但断口电压较低	供电设备控制
油浸式	利用电弧能量使绝缘油分解和汽化产生气体吹弧,结构简单,但开断能力较低,电寿命短,有火灾危险	户外供电线路控制
固体产气式	利用电弧能量使固体产气材料分解和汽化,产生气体吹弧。结构简单,但开断能力低,电寿命短,噪声大	农村供电支路控制
真空式	在真空容器中灭弧。尺寸小,重量轻,电寿命长,维护工作量少,但截流过电压较高,价格较贵	地下或其他特殊供电场所
压缩空气式	利用预先充入的压缩空气吹弧。开断能力强,能频繁操作,但结构较复杂,噪声大,价格亦贵	国外用于高压电力线路控制
SF <sub>6</sub> 式	利用单压式或旋弧式原理熄弧。断口电压较高,开断性能好,电寿命长,但结构较复杂,对材料和加工精度要求较高	高压电力线路及供用电设备控制

### 2. 常用负荷开关的技术数据

表 11-15 常用负荷开关的技术数据

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
FN1-10 型 (户内)	10	200	0.4	CS3
FN2-10 型 (户内)	10	100	8.4 1.2 16	CS4-T CD10,CT8
FN3-10 型 <sup>①</sup> (户内)	10	400	0.85 1.45 1.5	CS2 CS3 CS4-T
FN4-10 型 (户内)	10	600	3	
FW1-10 型 (户外)	10	400	0.8	CS8-5

(续)

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断电流 (kA)	配用机构
FW2-10 型 (户外)	10	200 400	1.5	手力操动
FW4-10 型 (户外)	10	200 400 600	0.8 1.5	本身机构
FW5-10 型 (户外)	10	200 400	1.5	本身机构
FW6-10 型 (户外)	10	200 400	1.8 2.9	本身机构
FW7-10 型 (户外)	10	20	0.4	
FW9-10 型 (户外)	10	6.3	0.4	本身机构
FW10-10 型 (户外)	10	31.5	20	
FW11-10 型 (户外)	10	400	16	

①压气灭弧,能快速分断和接通,已广泛使用。

## 五、高压熔断器

### 1. 高压限流式熔断器主要技术数据

表 11-16 限流式熔断器主要技术数据

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	熔丝电流(A)	额定开断容量 (MVA)	备注	
RN1-3	3	25	2,3,5,7.5,10,15,20,25	200	单管	
		100	30,40,50,75,100		双管	
		200	150,200		单管	
RN1-6	6	25	2,3,5,7.5,10,15,20,25		双管	
		75	30,40,50,75		单管	
		200	100,200		双管	
RN1-10	10	25	2,3,5,7.5,10,15,20,25		200	单管
		50	30,40,50			双管
		150	75,100,150			单管
RN1-35	35	10	2,3,5,7.5,10			双管
		40	15,20,30,40	单管		
RN2	3	0.5		500		
	6,10,20,35				1000	

## 2. 高压跌落式熔断器主要技术数据

表 11-17 跌落式熔断器的主要技术数据

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断容量(MVA)		型 号 <sup>①</sup>
		上限	下限	
10	50	50	10	RW3-10
		75	15	RW3-10G
	100	75	15	RW4-10G
		100	20	RW7-10
	200	150	30	RW7-10G
		200	40	RW9-10
35	50	150	30	RW3-35
		200	40	RW3-35G
	100	300	60	RW5-35
		400	80	RW5-35G
60	100	400	80	RW6-60
		500	100	RW6-60B

①除有上列基本品种外,还派生了防污型、高原型及切负荷型等品种。

## 3. 高压跌落式熔断器消弧管尺寸推荐表

表 11-18 消弧管尺寸推荐值

额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开断容量(MVA)		管径(内径×外径) (mm)	管长 (mm)
		上限	下限		
10	3~50	50	10	∅9×∅16	250~300
	5~100	100	10~20	∅13×∅19	~300
	100~150	150	20~30	∅13×∅23	~300
	100~200	200	30~40	∅17×∅25	~300
35	5~100	300~400	40~60	∅13×∅23	~600

## 六、操动机构

### 1. 高压开关操动机构类型

表 11 19 高压开关操动机构类型

类别	操 动 原 理	特 点	适 用 范 围
手 动	人力直接驱动开关合闸,人力或储能弹簧分闸	简单,价廉,无需附属设备。操作性能与操作者的技巧、情绪及体力有关,不能遥控合闸及自动重合闸	配负荷开关、隔离开关和接地开关,不能用于断路器
手力储能 CS	人力使弹簧储能,待弹簧过中后使开关合闸(无合闸保持装置),弹簧分闸	简单,价廉,但比手动操动机构要复杂一些。操作性能与操作者的技巧、情绪及体力无关,不能遥控合闸及自动重合闸	配中压小容量断路器及负荷开关
电动机 CJ	电动机经减速装置带动开关合闸与分闸	交流电源操作,动作平稳,速度慢,但要求电源有一定容量,并供电可靠	配隔离开关及接地开关
电 磁 CD	直流电源储能,电磁铁驱动操作杆合闸,弹簧分闸	可遥控及自动重合闸,制造和运行经验丰富,需要大功率直流电源,增大操作功困难	在有大型直流电源的电站,供 110kV 及以下断路器用
重 锤 CZ	重锤自由落下时推动触头合闸	简单,合闸力矩特性好,能遥控和自动重合闸,操作功小,耗材料多,尺寸较大	供小容量中压断路器用
弹 簧 CT	利用弹簧储能,驱动触头合闸与分闸	交直流电都可用,能遥控和快速自动重合闸,结构紧凑,但制造要求较高,增大操作功困难	广泛用于断路器和负荷开关
气 动 CQ	压缩空气推动活塞,使开关合闸和分闸(或储能)	控制方便,操作功大,快速,可遥控和自动重合闸,可连续多次操作,但需要压缩空气装置,噪声大	配各种开关设备
液 压 CY	气体储能,通过液体介质推动活塞使开关合闸与分闸	操作功大,快速,平稳,可遥控和自动重合闸,结构较复杂,制造难度较大	配高压和超高压大容量断路器

## 2. 常用直流电磁操动机构技术数据

表 11-20 常用直流电磁操动机构的技术数据

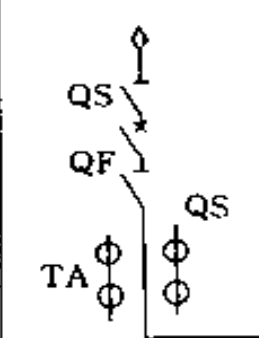
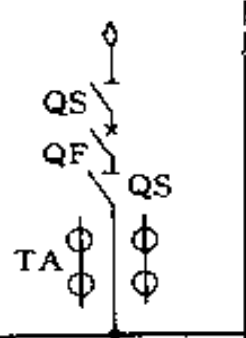
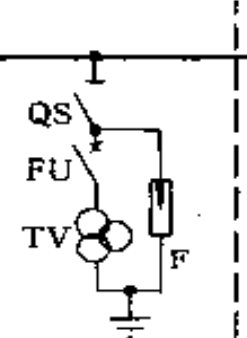
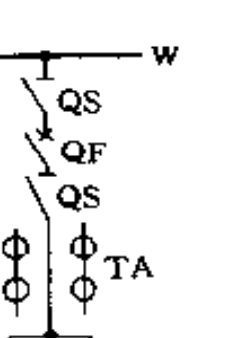
型 号	线圈动作电流(A)						配用断路器型号
	合闸线圈		分闸线圈				
	110V	220V	24V	48V	110V	220V	
CD2	195	97.5	24	12	5	2.5	DN1-10(G)、DW1-35 <sup>D</sup> <sub>GD</sub>
CD3-X	184	92	24	12	5	2.5	DW2-35
CD3-XG	286	143	24	12	5	2.5	SW2-35 I
	340	170	24	12	5	2.5	SW2-35 II
CD10 I	196	99	37	18.5	5	2.5	SN10-10 I
CD10 II	240	120	37	18.5	5	2.5	SN10-10 II, SN10-35
CD10 III	294	147	37	18.5	5	2.5	SN10-10 III
CD11 X	163	81.5	18	9	5	2.5	DW8-35
CD14- I	195	97.5	16	8	3.2	1.6	SN10-10 I
CD14- II	240	120	16	8	3.2	1.6	SN10-10 II

## 七、高压成套开关装置

### 1. 接线方案

接线方案是成套开关设备功能的标志。它是根据电力系统主结线要求,针对使用场合与控制对象,并结合主要电器元件特点确定的,包括电能汇集、输送、分配以及计量和保护等多种功能的标准电气线路。每种型号开关设备有数十种,甚至上百种一次接线单元方案。当一个单元方案不能满足某种主回路接线要求时,可以用几个单元方案组合,高压成套开关设备单元方案组合的主结线示例见表 11-21。

表 11-21 由单元方案组合的主结线

组合线路图	馈电	受电	计量及保护	馈电
				
用途	馈电	受电	计量及保护	馈电
单元名称	架空进(出)线	架空进(出)线经邻柜至主母线		电缆进(出)线

注:Q—断路器;TA—电流互感器;TV—电磁式电压互感器;QS—隔离开关;FU—熔断器;F—避雷器;W—主母线;X—电缆头。

## 2. 常用高压开关柜主要技术数据

表 11-22 常用高压开关柜主要技术数据

型号	类别 型式	电压 等级 (kV)	额定电流 (A)	主开关型号	操动机构 型号	电流互感器 型号	电压互感器 型号	高压熔断器 型号	避雷器 型号	接地开关 型号
JYN1-35		35	1000	SN10-35	CD10 CT8	LCZ-35	JDJ2-35 JDZJ2-35	RN2-35 RW10-35	FZ-35 FYZJ-35	
JYN2-10	单母线 移开式	10	630~2500	SN10-10 I	CD10 CT8	LZZB6-10 LZZQB6-10	JDZ6-10 JDZJ6-10	RM2-10		JN10
KYN-10				SN10-10 II	CD10 CT8	LDJ-10			JN10	
KGN-10	单母线 固定式	10	630, 1000	SN10-10 I	CD10 CT8	LA-10 LAI-10	JDZ-10 JDZJ-10	RM2-10	FCD3	
GFC-15(F)				SN10-10 II ZN3-10	CD10 CT8	LZXZ-10 LMZD-10			JN10	
GFC-7B(F)	单母线 手车式	10	630, 1000	SN10-10 I	CD10 CT8	LZJC-10 LJI-10	JDE-10 JDEJ-10	RN1-10 RN2-10	FS FZ FCD3	
				ZN3-10 ZN5-10	CD10 CT8					

(续)

GFC-10A			1000	SN10-10 ■	CD10 CT8	LCJ-10	RN1-10 RN2-10		
GFC-10B				SN10-10 ■	CD10 ■	LZX-10 LQZQ-10			
GFC-18G			630~2500	IC SN10-10 IC ■	CD10 CT8	LZB6-10 LZX-10			
GG2-10(F)		10		SN10-10 ■ ZN1,2-10 LN1-10	CD10 CT8-1	LFX-10 LMZ-10	RN2-1C RN3-1C	FS FZ FCD3	JN1C(G)
GG1A-10(F)			600~3000	SN10-10 FN3-10	CD10 CT8 CS3,CS7	LMC-10 LDZ-10 LO-10 LA-10			
VC-10			630,1250	VK-10J/ M25	电动弹簧 储能	LZJ-10			
BA/BB-10			530~2500	HB- 六氟化硫	KHB 弹簧 储能	AKS AKV		VKV	



## 八、避 雷 器

### 1. 避雷器的用途和分类

表 11-23 避雷器用途和分类

类别与名称			产品系列号	应用范围	
阀式避雷器	碳化硅避雷器	低压型普通阀式避雷器	FS	用于低压网络保护交流电器、电表和配电变压器低压绕组	
		配电型普通阀式避雷器	FS	用于 3、6、10kV 交流配电系统保护配电变压器和电缆头	
		电站型普通阀式避雷器	FZ	用于保护 3~220kV 交流系统电站设备绝缘	
		保护旋转电机磁吹阀式避雷器	FCD	用于保护旋转电机绝缘	
		电站型磁吹阀式避雷器	FCZ	用于保护 35~500kV 系统电站设备绝缘	
		线路型磁吹阀式避雷器	FCX	用于保护 330kV 及以上交流系统线路设备绝缘	
	直流阀式避雷器	直流磁吹阀式避雷器	FCL	用于保护直流系统电气设备绝缘	
	①金属氧化物避雷器	交流金属氧化物避雷器	低压型金属氧化物避雷器	Y	与 FS 系列低压普通阀式避雷器同
			配电型金属氧化物避雷器		与 FS 系列配电型普通阀式避雷器同
			保护旋转电机金属氧化物避雷器		与 FCD 系列保护旋转电机磁吹阀式避雷器同
			电站型金属氧化物避雷器		与 FZ、FCZ 系列碳化硅避雷器同
中性点保护用金属氧化物避雷器		用于电机或变压器中性点保护			
直流金属氧化物避雷器	直流金属氧化物避雷器	YL	用于保护直流系统电气设备绝缘		
管式避雷器	纤维管式避雷器		GXW	用于电站进线和线路绝缘弱点保护	
	无续流管式避雷器		GSW	用于电站进线、线路绝缘弱点及 6、10kV 交流配电系统电气设备的保护	

①又称氧化锌避雷器。

## 2. 常用避雷器的主要技术数据

### (1) 交流配电用阀式避雷器

表 11 24 交流配电用阀式避雷器主要技术数据

型 号	额定电压 (kV) (有效值)	工频放 电电压 (kV) (有效值)	1.2/50 冲击 放电电压 (kV) (峰值)	标称电流 残 压 (kV) (峰值)	
				3kA	5kA
FS-0.22 FS2-0.22	0.25	0.5~0.9	1.7	1.5	
FS-0.38	0.50	1.1~1.6	3.0	3.0	
FS-3 FS2-3 FS3-3 FS4-3 FS4-3G FS6-3 FS7-3 FS8-3 FS10-3	3.8	9~11	21.0		17.0
FS2-6 FS3-6 FS4-6 FS4-6G FS5-6G FS6-6 FS7-6 FS8-6 FS10-6	7.6	16~19	35.0		3.00
FS2-10 FS3-10 FS4-10 FS4-10G FS5-10G FS6-10 FS7-10 FS8-10 FS10-10	12.7	26~31	50.0		50.0

(2) 常用交流电站用阀式避雷器

表 11-25 常用交流电站用阀式避雷器主要技术数据

型 号	额 定 电 压 (kV) (有效值)	工 频 放 电电压 (kV) (有效值)	1.2/50 冲击 放电电压 (kV) (峰值)	标称电流残压 (kV) (峰值)	
				5kA	10kA
FZ-3	3.3	9~11	20	13.5	
-6	7.6	16~19	30	27	
-10	12.7	26~31	45	45	
-15	20	41~49	73	67	
-20	25	51~61	85	81.5	
-30	25	56~67	110	81.5	
-35	41	82~98	131	131	

(3) 电机用磁吹阀式避雷器

表 11-26 电机用磁吹阀式避雷器主要技术数据

型 号	额 定 电 压 (kV) (有效值)	工 频 放 电电压 (kV) (有效值)	1.2/50 冲击 放电电压 (kV) (峰值)	标称电流残压 (kV) (峰值)	
				3kA	5kA
FCD5-2	2.3	4.5~5.7	6	6	6.4
FCD-3 FCD5-3	3.8	7.5~9.5	9.5	9.5	10
FCD-4 FCD2-4 FCD5-4	4.6	9~11.4	12	12	12.8
FCD-6 FCD5-6	7.6	15~18	19	19	20
FCD-10 FCD5-10	12.7	25~30	31	31	33
FCD2-13 FCD5-13	16.7	33~39	40	40	43
FCD5-15	19	37~44	45	45	49

(4)交流有串联间隙配电型金属氧化物避雷器

表 11-27 交流有串联间隙配电型金属氧化物避雷器主要技术数据

型 号	避雷器额定电压 (kV) (有效值)	工频放电 电 压 (kV) (有效值) 不小于	1-2/30 冲击 放电电压 (kV) (峰值) 不大于	标称电流残压 (5kA) (kV) (峰值) 不大于
Y5C 7.6/30	7.6	16	30	24
12.7/50	12.7	26	50	45

(5)常用无间隙金属氧化物避雷器

表 11-28 常用无间隙金属氧化物避雷器主要技术数据

型 号	避雷器额定电压 (kV) (有效值)	系统额定 电 压 (kV) (有效值)	标称电流下残压 (kV) (峰值) 不大于		
			1.5kA	2.5 (3.0) kA	5kA
Y1.5W-0.28/1.3	0.28	0.22	1.3		
Y1.5W-0.5/2.6	0.5	0.38	2.6		
Y5W-3.8/17	3.8	3.0			
Y2.5W-3.8/9.5	3.8	3.0		(9.5)	17.0
Y3W-7.6/19	7.6	6.0		(19)	
Y5W-7.6/27	7.6	6.0			27.0
12.7/45	12.7	10.0			45.0
-41/134	41.0	35.0			134

## 九、绝 缘 子

### 1. 常用高压绝缘子主要技术数据

表 11-29 常用高压线路针式瓷绝缘子

型 号	额定电压 (kV)	最小公称 爬 距 (mm)	弯曲耐受 负荷 (kN)	工频电压(kV)		雷电冲击耐 受电压 (kV)
				湿耐受	击穿	
P-10T	10	195	1.4	28	95	75
PQ-10T16、 10T、10L		255	2.0	40	130	90
PQ-10LT			4.0			
PQT-10T、10L		450	3.0	50	145	110
PQ-10LT			3.5			
PQ-10BT、10BL			3.0			
PQ-10BLT			3.5			

表 11-30 常用高压线路瓷横担绝缘子

型 号	额定电压 (kV)	全波冲击 耐受电压 (kV)	工频湿 耐受电压 (kV)	最小公称 爬距 (mm)	弯曲破坏 负 荷 (kN)
S-10/2.5	10	165	45	320	2.5
S1-10/2.5	10	185	50	380	2.5
S-10/5	10	165	85	360	5.0
S-35/5	35	250	85	700	5.0
S2-35/5	35	265	100	1120	5.0

表 11-31 常用高压线路柱式绝缘子

型 号	额定电压 (kV)	最小公称 爬距(mm)	工频湿闪 电压(kV)	50%冲击 *闪络电压 (kV)	弯曲破坏 负荷(kN)
PS-15/3	15	300	45	118	3
15/5		360			

表 11-32 常用高压线路蝶式绝缘子

型 号	额定电压 (kV)	工频电压(kV)			机械破坏负荷 (kN)
		干闪	湿闪	击穿	
E-1	10 6	15	27	78	19.6
2		48	23	65	
10		60	32	78	
6		50	26	65	

表 11-33 常用高压线路盘形悬式瓷绝缘子

型 号	机电破 坏负荷 (kN)	最小公称 爬距 (mm)	工频电压(kV)		雷电冲击 耐受电压 (kV)	打击破坏 负荷(kN)
			湿耐受	击穿		
XP 70	70	295	40	110	100	565
XP1-70	70	295	35	110	95	565
XP2-70	70	200	30	90	85	565
XP-100	100	295	40	110	100	678
XP-120	120	295	40	110	100	678
XP-160	160	305	40	110	100	1017
XP2-160	160	330	42	110	105	1017
XP1-210	210	335	42	120	105	1017
XP 300	300	370	45	120	110	1017
XP-400	400	525				
XP1-400	400	550				
XP-530	530	600				
XP1-530	530	640				

## 2. 常用低压线路绝缘子主要技术数据

表 11 34 常用低压线路绝缘子名称、型号、性能及用途

名称	型号	额定电压 (kV)	弯曲破坏负荷 (kN)	用途
针式绝缘子	PD-1T		7.8	直线杆
	1M		7.8	
	2T		4.9	
	2M		4.9	
	2W		4.9	
瓷横担绝缘子	SD1 1	0.5	2.0	
	1 2		2.0	
蝶式绝缘子	ED-1		11.8	耐张杆、转角杆、 终端杆
	2		9.8	
	3		7.8	
	4		4.9	
拉紧绝缘子	J 0.5		4.9	拉紧绝缘
	1		9.8	
	2		19.6	
	4.5		44	
	9		88	
电车绝缘子	WX-01	0.5	1.96	电车线路
	WX-02		1.96	
	WH-01			
	WH-02			

## 第十二章 低压电器

### 一、概 述

#### 1. 低压电器的分类和用途

表 12-1 低压电器的分类和用途

分类	名称	主要品种	用 途
配 电 电 器	断路器	万能式空气断路器 塑料外壳式断路器 限流式断路器 直流快速断路器 灭磁断路器 漏电保护断路器	用作交、直流线路的过载、短路或欠电压保护,也可用于不频繁通断操作电路。灭磁断路器用于发电机励磁电路保护。漏电保护断路器用于人身触电保护
	熔断器	有填料封闭管式熔断器 保护半导体器件熔断器 无填料密闭管式熔断器 自复熔断器	用作交、直流线路和设备的短路和过载保护
	刀 开 关	熔断器式刀开关 大电流刀开关 负荷开关	用作电路隔离,也能接通与分断电路额定电流
	转 换 开 关	组合开关 换向开关	主要作为两种及以上电源或负载的转换和通断电路用
控 制 电 器	接 触 器	交流接触器 直流接触器 真空接触器 半导体接触器	用作远距离频繁地起动或控制交、直流电动机以及接通分断正常工作的主电路和控制电路
	控 制 继 电 器	电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热过载继电器 温度继电器	在控制系统中,作控制其他电器或作主电路的保护之用



(续)

分类	名称	主要品种	用途
控制电器	起动器	电磁起动器 手动起动器 农用起动器 自耦减压起动器 Y△起动器	用作交流电动机的起动或正反向控制
	控制器	凸轮控制器 平面控制器	用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法,以达到电动机起动、换向和调速
	主令电器	按钮 限位开关 微动开关 万能转换开关	用作接通、分断控制电路,以发布命令或用作程序控制
	电阻器	铁基合金电阻器	用作改变电路参数或变电能为热能
	变阻器	励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器	用作发电机调压以及电动机的平滑起动和调速
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重操纵或牵引机械装置

## 2. 低压电器产品的型号

低压电器产品型号组成形式及含义:

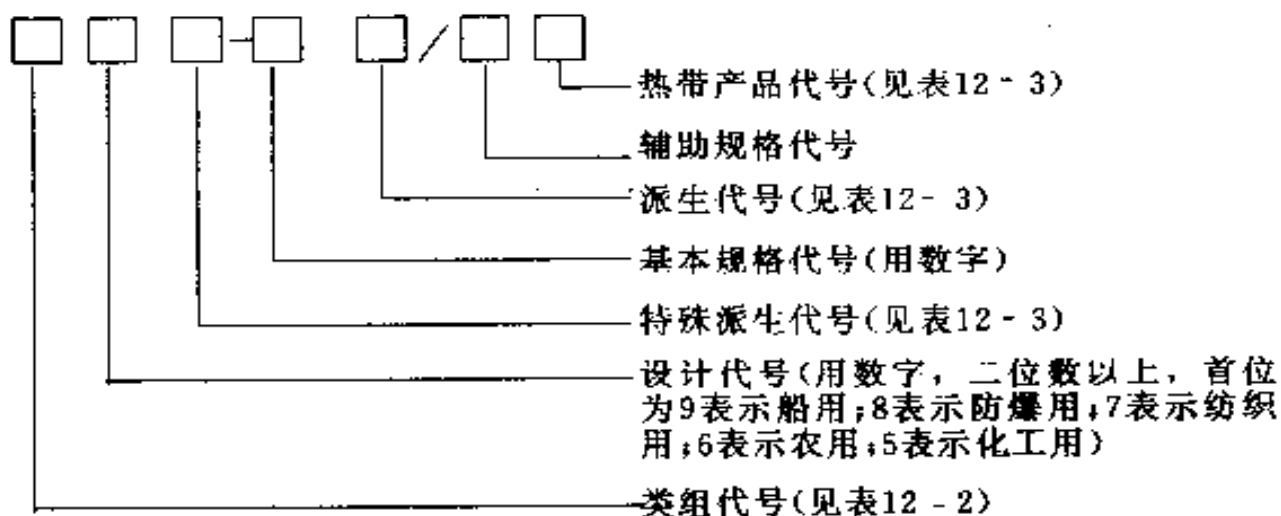


表 12-2 低压电器产品型号类组代号表

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	刀开关和刀形转换开关				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	有填料封闭式管式				其他	自复
D	断路器										灭磁				快速			框架式		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	真空		灭磁	中频			时间	通用				其他	直流
Q	起动器	按钮式						减压							手动		油浸		星三角	其他	综合
J	空制继电器				漏电					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	脚踏开关	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	铁磁合金带型元件	管形元件								非线性电阻	烧结元件	铸铁元件			电阻器	硅碳电阻元件	
B	变阻器			旋臂式						励磁		顺敏启动			石墨	起动调速	油浸启动	液体启动		其他	
T	调整器				电压																
M	电磁铁												牵引					起重		液阻	制动
A	其他		触电保护器	插肖	信号灯		接线盒			电铃											

表 12-3 加注通用派生字母对照表

派生字母	代表意义
A · B · C · D...	结构设计稍有改进或变化
C	插入式
J	交流、防溅式
Z	直流、防震、正向、重任务、自动复位
W	失压、无极性、出口用、无灭弧装置
N	可逆、逆向
S	三相、双线圈、防水式、手动复位、三个电源、有锁住机构
P	单相、电压的、防滴式、电磁复位、两个电源
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	灭磁、母线式、密封式
Q	防尘式、手车式
L	电流的、折板式、漏电保护
F	高返回、带分励脱扣
X	限流
TH	湿热带 } 为热带产品代号, 加注在全型号的最后位置
TA	

### 3. 低压电器产品正常使用的环境条件(根据 GB1497-79)

(1) 海拔高度不超过 2500m

(2) 周围空气温度

1) 不同海拔高度的最高温度, 见表 12-4。

表 12-4 不同海拔高度的最高空气温度

海拔高度(m)	$h \leq 1000$	$1000 < h \leq 1500$	$1500 < h \leq 2000$	$2000 < h \leq 2500$
最高空气温度(C)	40	37.5	35	32.5

2) 最低空气温度

① +5°C (适用于水冷电器);

② -10°C (适用于某些特定条件的电器, 如电子式电器及部件等);

③—25℃；

④—40℃(订货时指明)。

(3)空气相对湿度 最湿月份的月平均最大相对湿度为90%，同时该月的平均最低温度为25℃，并考虑到温度变化发生在产品表面上的凝露。

(4)对安装方法有规定或动作性能受重力影响的电器，其安装倾斜度不大于5°

(5)无显著摇动和冲击振动的地方

(6)在无爆炸危险的介质中，且介质中无足以腐蚀金属和破坏绝缘的气体与尘埃(含导电尘埃)

(7)在没有雨雪侵袭的地方

#### 4. 常用低压电器的检修周期

表 12-5 常用低压电器的检修周期

名 称	频繁工作的检修周期		一般的检修周期	
	大修	小修	大修	小修
断路器	6个月	3个月	1~2年	6个月
按钮	6个月	1个月	—	1个月
刀形开关	2~3年	6个月	2~3年	6个月
万能转换开关	3个月	15天	1年	1个月
控制器	6个月	15天	1年	1个月
限位开关	3个月	15天	6个月	1~2个月
电磁式继电器	1年	15天	1年	1个月
接触器	1年	15天	1年	1个月
熔断器	—	15天	—	1个月
电磁闸	6个月	7天	6个月	15天
电动气阀	—	7天	—	15天
电阻器	1年	3个月	1年	3个月
变阻器	6个月	1个月	6个月	2个月

## 二、刀开关和转换开关

### 1. 刀开关和转换开关的类型及使用场合

表 12-6 刀开关和转换开关的类型及使用场合

类别	系列型号	使用场合	说明	
开关板刀开关	HD(单投) HS(双投)	中央手柄式;用作隔离开关 侧面操作手柄式;用于动力箱 中央正面杠杆操作机构式;用于正面操作,后面维修的开关柜中 侧方正面操作机构式;用于正面两侧操作、前面维修的开关柜中	HD11~14 为全国统一设计产品,可取代 HD1~3	
带有熔断器的刀开关	开启式负荷开关	HK	用于低压线路中,作一般电灯、电阻和电热等回路的控制开关用,也可作为分支线路的配电开关用;二极开关适当降低容量,可用于不频繁地控制小容量异步电动机启动与停止	HK1 系列全国统一设计产品 刀开关熔丝应按产品说明书选择自备
	封闭式负荷开关	HH	有较大的分闸和合闸速度,常用于操作次数较多的小型异步电动机全压启动及线路末端的短路保护;带有中性接线柱的负荷开关可作为照明回路的控制开关	HH4 为全国统一设计产品,可取代同容量的其他系列老产品 60A 以下者为 RC1A 型,100A 以上者为 RT0 型
	刀熔开关	HR	可供配电系统中作为短路保护及电缆、导线过载保护用;还可用于不频繁地接通和分断不大于其额定电流的电路,但不适用于控制电动机	HR3 为全国统一设计产品,可代替低压配电中刀开关和熔断器的组合电器 熔断器为 RT0 系列有填料封闭管式
组合开关	HZ	HZ5 作电流 60A 以下的机床线路的电源开关;控制线路中的转换开关,以及电动机的启动、停止、变速、换向等 HZ10 作电流 100A 以下的换接电源开关;三相电压的测量;调节电热电路中电阻的串接开关;控制不频繁操作的小容量异步电动机的正反转	HZ5 可代替 HZ1~13 系列产品 HZ10 为全国统一设计产品,可取代 HZ1、HZ3 等老产品 HZ-10M 系列气密式,用于一些有腐蚀性气体的场合	

## 2. 常用刀开关和转换开关的技术数据

### (1) 刀开关

#### 1) 刀开关的分断能力

表 12-7 各系列刀开关分断能力

型 号	有无灭 弧室	在下列电源电压下断开电流值(A)			
		交流 $\cos\varphi=0.7$		直流时间常数 $T=0.01s$	
		380V	500V	220V	440V
HD12、13、14 HS12、13	有	$I_n$	$0.5I_n$	$I_n$	$0.5I_n$
HD12、13、14 HS12、13	无	$0.3I_n$	—	$0.2I_n$	—
HD11 HS11	—	用于电路中无电流时开断电路			

注： $I_n$  为刀开关额定电流(A)。

#### 2) 刀开关的电动稳定性和热稳定性电流值

表 12-8 各系列刀开关电动稳定性和热稳定性电流值

额定电流 (A)	电动稳定性电流峰值(kA)		1s 热稳定性电流 (kA)
	中间手柄式	杠杆操作式	
100	15	20	6
200	20	30	10
400	30	40	20
600	40	50	25
1000	50	60	30
1500	—	80	40

### 3) 刀开关的分类及主要技术数据

表 12-9 各系列刀开关的分类及主要技术数据

系列型号	结构形式	转换方向	极数	额定电流等级 (A)	接线方式
HD11-□/□8	中央手柄式	单投	1, 2, 3	100, 200, 400	板前接线
HD11-□/□9 HS11-□/□	中央手柄式	单投 双投	1, 2, 3 1, 2, 3	100, 200, 400, 600, 1000 100, 200, 400, 600, 1000	板后接线 板前接线
HD12-□/□1	侧方正面杠杆操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HS12-□/□1	(装有灭弧室)	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HD12-□/□0	侧方正面杠杆操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000, 1500	板前接线
HS12-□/□0	(不装灭弧室)	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HD13-□/□1	中央正面杠杆操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HS13-□/□1	(装有灭弧室)	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HD13-□/□0	中央正面杠杆操作机构式	单投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000, 1500	板前接线
HS13-□/□0	(不装灭弧室)	双投	2, 3	100, 200, 400, 600, 1000	板前接线
HD14-□/31	侧面操作手柄式 (装有灭弧室)	单投	3	100, 200, 400, 600	板前接线
HS14-□/30	侧面操作手柄式 (不装灭弧室)	单投	3	100, 200, 400, 600	板前接线

注：产品系列型号中的第 1 个□代表额定电流(A)，第 2 个□代表极数。

#### (2) 开启式负荷开关

##### 1) 开启式负荷开关技术性能参数

表 12-10 HK 系列开启式负荷开关技术性能参数

额定电流 (A)	极数	额定电压 (V)	触刀极限分断能力 (cosφ=0.6)	熔丝极限分断能力 (A)	配用熔丝规格						
					熔丝成分 (%)			熔丝线径 (mm)			
					铅	锡	锡				
15 30 60	2	220	30 60 90	500 1000 1500	98	1	1	1.45~1.59			
								2.30~2.52			
								3.36~4.00			
15 30 60	3	380	30 60 90	500 1000 1500							1.45~1.59
											2.30~2.52
											3.36~4.00

## 2)常用开启式负荷开关技术数据

表 12-11 常用开启式负荷开关技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	极数	可控制电动机功率 (kW)	最大分断电流 (A)
HK1-10	220	10	2	1.1	500
HK1-15	380	15	3	2.2	500
HK1-15	220	15	2	1.5	500
HK1-30	380	30	3	4.0	1000
HK2-10	220	10	2	1.1	500
HK2-15		15		1.5	500
HK2-30		30		3.0	1000
HK2-60		60		4.5	1500
HK2-15	380	15	3	2.2	500
HK2-30		30		4.0	1000
HK2-60		60		5.5	1500

## (3)封闭式负荷开关

表 12-12 HH3 系列封闭式负荷开关技术性能参数

额定 电流 (A)	额定 电压 (V)	极数	触头极限接通及分断能力(A)				熔断器极限分断能力(A)			
			交流 440V		直流 500V		交流 440V		直流 500V	
			电流	cosφ	电流	时间常数	电流	cosφ	电流	时间常数
10	交流 440; 直流 500	2,3	40	0.4		0.006~ 0.008	500	0.8		0.006~ 0.008
15			60		22.5		1000		500	
20			80				1000			
30			120		45		2000		2000	
60			240	90	4000	4000				
100			250	150	5000	5000				
200			300	300						
						0.8				



表 12 13 HH4 系列封闭式负荷开关技术性能参数

额定 电流 (A)	额定 电压 (V)	极 数	熔体主要参数			触头极限接通 分断能力(A)		熔断器极限 分断能力(A)	
			额定电流(A)	材料	线径(mm)	电流	cosφ	电流	cosφ
15	380	2.3	6	软铅丝	1.08	60	0.5	500	0.8
			10		1.25				
			15		1.98				
30			20	紫铜丝	0.61	120	1500	0.7	
			25		0.71				
			30		0.80				
60			40		0.92	240	0.4	3000	0.6
			50		1.07				
			60		1.20				
100	440	3	60,80,100		RT10 系列熔 断器	熔管额定 电流与开 关额定电 流相同	300	50000	0.25
200			100,150,200				600		
300			200,250,300				900		
400			300,350,400	1200					

表 12-14 HH11 系列负荷开关技术数据

型号	额定 电流 (A)	额定 电压 (V)	熔断器 额定电流 (A)	熔体 额定电流 (A)	极数	断流 容量 (A)	重量 (kg)
HH11-100/3Z	100	500	100	60,80,100	3+Z	50000	18
HH11-200/3Z	200		200	100,150,200			20
HH11-300/3Z	300		300	200,250,300			25
HH11-400/3Z	400		400	300,350,400			37

注:Z 为中性接线柱。

#### (4) 熔断器式刀开关

表 12-15 熔断器式刀开关品种规格型号

额定 电流 (A)	交流 380V 三极				直流 440V 二极	
	前操作 前检修	前操作 后检修	侧操作 前检修	侧面杠 杆操作	前操作 前检修	前操作 后检修
100	HR3-100/31	HR3-100/32	HR3-100/33	HR3-100/34	HR3-100/21	HR3-100/22
200	HR3-200/31	HR3-200/32	HR3-200/33	HR3-200/34	HR3-200/21	HR3-200/22
400	HR3-400/31	HR3-400/32	HR3-400/33	HR3-400/34	HR3-400/21	HR3-400/22
600	HR3-600/31	HR3-600/32	HR3-600/33	HR3-600/34	HR3-600/21	HR3-600/22

表 12-16 HR3 系列刀熔开关性能技术参数及熔断器技术数据

型 号	刀开关分断能力(A)		熔断器分断能力(A)		额定电 流(A)	熔体额定电流 (A)
	交流 380V $\cos\varphi \geq 0.6$	直流 440V $T=0.0045s$	交流 380V $\cos\varphi \leq 0.3$	直流 440V $T=0.015 \sim 0.02s$		
HR3-100	100	100			100	30,40,50,60,80,100
HR3-200	200	200			200	80,100,120,150,200
HR3-400	400	400	50000	25000	400	150,200,250,300,350,400
HR3-600	600	600			600	350,400,450,500,550,600
HR3-1000	1000	1000			1000	700,800,900,1000

注:交流频率为 50Hz。

#### (5) 组合开关

##### 1) HZ5 系列组合开关接线编号和定位特征

表 12-17 HZ5 系列组合开关接线编号

接线编号	01	02	03	04	05	06	07	08	10
接线 名称	二极 开关 接线	三极 开关 接线	四极 开关 接线	两种 电压 双极 开关 接线	感应 电机 逆转 开关 接线	两种 电压 三极 开关 接线	星-三 角起 动开 关接 线	双速 电机 用开 关接 线	三速 电机 用开 关接 线

表 12-18 HZ5 开关定位特征

定位特征代号	手柄定位角度		
	L		0°
M	60°	0°	60°

2) HZ5 系列组合开关技术数据

表 12-19 HZ5 系列组合开关技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	可控制电动机功率 (kW)	接通分断能力		
				电压 (V)	cosφ	电流 (A)
HZ5-10	交流 50Hz, 380V, 直流 220V	10	1.7	380×110%	0.35±0.05	40
HZ5-20		20	4			80
HZ5-40		40	7.5			160
HZ5-60		60	10			240

3) HZ10 系列组合开关技术数据

表 12-20 HZ10 系列组合开关技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	极数	极限操作电流① (A)		可控制电动机最大容量和额定电流②		额定电压及额定电流下的通断次数			
				接通	分断	容量 (kW)	额定电流 (A)	交流 cosφ		直流时间常数 (s)	
								≥0.8	≥0.3	≤0.0025	≤0.01
HZ10-10	直流 220V, 交流 380V	6	1② 2,3	94	62	3	7	20000	10000	20000	10000
HZ10-25		10									
HZ10-60		25									
HZ10-100		60									
		100						10000	5000	10000	5000

①均指三极组合开关。

②单极接线时的分断电流值为表列数值的 50%。

### 3. 刀开关和转换开关的选用要点

1) 刀开关和转换开关的结构型式的选择,应根据所在线路中的作用及所在配电装置中的安装位置来确定。

2) 刀开关和转换开关的额定电压、额定电流的选定,应等于或大于线路的额定电压、额定电流。

3) 刀开关的电动稳定性电流和热稳定性电流的选择,应等于或大

于线路中可能出现的最大短路电流。

4) 用于控制电动机的开关, 其额定电流应大于电动机的起动电流 (可达电动机额定电流的 6~7 倍, 甚至更大)。

5) 对熔体的选择, 应根据用电设备, 如变压器、电热器、照明电路等来选择, 熔体的额定电流宜等于或稍大于实际负荷电流; 对配电线路, 熔体的额定电流宜等于或略微小于线路的安全电流; 对于电动机, 熔体的额定电流  $I_{nR}$  可按下式计算

$$I_{nR} = kI_{nM}$$

式中  $I_{nM}$ ——电动机的额定电流;

$k$ ——选用系数, 一般取 1.5~2.5。

6) 组合开关的类型和接线方式较多, 选择时除按上述几点来选择之外, 对于电动机负载, 应按产品说明书中规定的可控制电动机的最大容量来选择开关的型号, 决不允许超载运行。

### 三、熔断器

#### 1. 熔断器的类型及使用场合

表 12-21 熔断器的类型及适用场合

类别	特点	适用场合	说明
RC1 系列半封闭插入式	无特殊熄弧措施, 极限分断能力较小, 最大仅 3000A (有效值)	适用于额定电流至 200A 的线路末端或分支电路中作为电缆及电气设备的短路保护	RC1A 为 RC1 系列的改进产品, 性能有较大改善
RL 系列有填料封闭螺旋式	使用石英砂填料, 极限分断能力有所提高, 最大达 50000A (有效值), 并有较大的热惯性	用于配电线路中作为过载及短路保护, 也常用于机床控制线路, 以保护电动机	
RM 系列无填料密闭管式	结构简单, 为可拆换式, 更换熔体方便, 并具有一定的极限分断能力, 最大可达 20000A (有效值)	用于电力网络, 配电设备中, 作短路保护和防止连续过载之用	RM7 可取代 RM1、RM2、RM3 和 RM10 等系列产品

(续)

类别	特点	适用场合	说明
RT0 系列有 填料封闭管式	具有高分断能力,极限分断能力可达 50000A(有效值);安秒特性较稳定,有限流特性;有红色醒目熔断指示器,便于识别故障电路	用于要求较高、短路电流较大的电力网络或配电装置中,作为电缆、导线、电机、变压器及其他电气设备的短路保护和电缆、导线的过载保护	
RT10、RT11 系列有填料封闭 管式	极限分断能力大,可达 50000A(有效值),有熔断显示器,便于识别故障电路	适用于额定电流 100A 及以下的电力网络和配电装置中,作为电缆、导线及电气设备的短路保护和电缆、导线的过载保护	
快速熔断器	RLS 系 列螺旋式	动作速度快,分断能力大,极限分断能力可达 50000A(有效值),可在带电压(不带负载)下,不用工具可安全更换熔体	其结构同 RL 系列
	RS0、RS3 系列有填料 封闭管式	分断速度快,分断能力大,具有较大的限流作用  RS0 适用于交流额定电压 750V 及以下,额定电流 480A 及以下电路中,作硅整流元件及其成套装置的短路保护  RS3 适用于交流额定电压 1000V 及以下,额定电流 700A 及以下电路中,作晶闸管及其成套装置的短路保护  RS0、RS3 亦可在某些不允许过电流的电路中,作过载保护	RS0、RS3 两系列结构完全相同,该两系列又都类似 RT0 系列的结构

## 2. 常用熔断器技术数据

### (1) RC1A 系列半封闭插入式熔断器

表 12-22 RC1A 系列熔断器技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	cosφ	极限分断能力 (A)
RC1A-5	交流 220、 380	5	1、2、3、4、5	0.8	750
RC1A-10		10	2、4、6、10		
RC1A-15		15	4、10、15		
RC1A-30		30	15、20、25、30	0.5	1000
RC1A-60		60	30、40、50、60		
RC1A-100		100	60、80、100		
RC1A-200		200	100、120、150、200		

表 12-23 RC1A 系列熔断器常用熔体规格

额定电流 (A)	熔 体		额定电流 (A)	熔 体	
	直径(mm)	材 质		直径(mm)	材 质
1	0.32	软铜丝	30	0.80	铜丝
2	0.52		10	0.93	
3	0.71		50	1.06	
4	0.82		60	1.20	
5	0.98		80	1.50	
6	1.02		100	1.80	
10	1.51			厚度(mm)	
15	1.98	铜丝	120	0.2	紫铜片(专用、变截面冲片、 出厂配套供货)
20	0.61		150	0.4	
25	0.71		200	0.6	

### (2) RL 系列螺旋式熔断器

表 12-24 RL1 系列熔断器技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	极限分断能力(A)	
				交流 380V(有效值)	直流 440V
RL1-15	交流 380、 直流 440	15	2、4、6、10、15	2500	5000
RL1-60		60	20、25、30、35、40、 50、60	2500	5000
RL1-100		200	60、80、100	50000	10000
RL1-200			100、125、150、200	50000	10000

表 12 25 RL7 系列螺旋式熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流(A)		额定分断能力 (kA)	过电流选 择 比	提供特性
		熔管	熔体			
RL7-25	660	25	2~25	25	1.6:1	时间-电流 特性
RL7-63		63	35~63			
RL7-100		100	80~100			

(3)RM 系列无填料密闭管式熔断器

表 12 26 RM 系列无填料密闭管式熔断器技术数据

型号	熔管 额定电压 (V)	熔管 额定电流 (A)	熔体额定电流等级 (A)	最大 分断能力 (A)
RM7-15	交流 380、 220、 直流 440、 220	15	6,10,15	2000
RM7-60		60	15,20,25,30,40,50,60	
RM7-100		100	60,80,100	
RM7-200		200	100,125,160,200	
RM7-400		400	200,240,260,300,350,400	20000
RM7-600		600	400,450,500,560,600	
RM10-15	交流 500、 380、 220、 直流 440、 220	15	6,10,15	1200
RM10-60		60	15,20,25,30,40,50,60	
RM10-100		100	60,80,100	
RM10-200		200	100,125,160,200	
RM10-350		350	200,240,260,300,350	
RM10-600		600	350,430,500,600	10000
RM10-1000		1000	600,700,850,1000	

(4)RT0、RT10、RT11、NT、RT12、RT14、RT17 系列有填料封闭管式熔断器

表 12-27 RT0 系列熔断器技术数据

型号	熔管 额定电压 (V)	熔管 额定电流 (A)	熔体额定电流等级 (A)	极限分断能力(kA)	
				交流 380V $\cos\varphi=0.1\sim 0.2$	直流 440V $T=15\sim 20ms$
RT0-50	交流 500,	50	5,10,15,20,30,40,50	50  (有效值)	25
RT0-100	380,	100	30,40,50,60,80,100		
RT0-200	220,	200	120,150,200		
RT0-400	直流 440,	400	200,250,300,350,400		
RT0-600	220	600	450,500,550,600		
RT0-1000		1000	700,800,900,1000		

表 12-28 RT10、RT11 系列熔断器技术数据

型号	熔管 额定电压 (V)	熔管 额定电流 (A)	熔体 额定电流等级 (A)	极限分断能力(kA)	
				交流 500V $\cos\varphi=0.25$	直流 440V $T=0.02s$
RT10-20	交流 500,	20	6,10,15,20	50	
RT10-30	380,220,	30	20,25,30		
RT10-60	直流 440,	60	30,40,50,60		
RT10-100	220	100	60,80,100		
RT11-100	交流 500,	100	60,80,100	50	25
RT11-200	380,220,	200	100,120,150,200		
RT11-300	直流 440,	300	200,250,300		
RT11-400	220	400	300,350,400		



表 12-29 NT 系列低压 HRC 熔断器的技术数据

型 号	NT00	NT0	NR1	NT2	NT3	NT4
底座型号	sist101	sist160	sist201	sist140	sist601	sist1301
底座额定电流(A)	160	160	250	400	630	1000
熔断体额定电流(A)	4,6,10,	6,10,16,	80,100,125,	125,160,200,	315,355,	800,1000
	16,20,25,	20,25,32,	160,200,224,	224,250,300,	400,425,	
	32,35,40,	35,40,50,	250,	315,355,400	500,630	
	50,63,80,	63,80,100,				
	100,125,160	125,160				
额定电压(V)	500,600V					
额定分断能力(kA)	120/500V,50/660V					
重 量(kg)	0.35	0.52	1.16	1.85	2.35	5.1

①NT00,NT0 中的 125A,160A,NT1 中的 224A,250A,NT2 中的 355A,400A,NT3 中的 500A,630A 八种规格无 660V

表 12-30 RT12、RT14、RT17 系列有填料封闭管式熔断器的技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流(A)		额定分断能力 (kA)	过电流 选择比	提供特性
		熔管	熔体			
RT12-20	415	20	2,4,6,10, 20	80	2:1	截流特性
RT12-32		32	25,32			
RT12-63		63	40,50,63			
RT12-100		100	80,100			
RT14-20	380	20	2,4,6,10,	100 ( $\cos\varphi=0.1\sim0.2$ )	2:1	时间-电流特 性、门限特性、 截断电流特 性、 $I^2t$ 特性、 电弧电压特性
RT14-32		32	16,20			
RT14-63		63	25,32 40,50,63			
RT17	380	1000	800,1000	100 ( $\cos\varphi=0.1\sim0.2$ )	1.6:1	

(5) RLS 系列螺旋式快速熔断器

表 12-31 RLS1 系列快速熔断器技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	极限分断能力(kA) (有效值)
RLS1	500	10	3,5,10	50 $\cos\varphi\leq 0.25$
		50	15,20,25,30,40,50	
		100	60,80,100	
RLS2		30	16,20,25,30	50 $\cos\varphi=0.1\sim0.2$
		63	35,(45),50,63	
		100	(75),85,(90),100	

(6) RS0、RS3 系列快速熔断器

表 12-32 RS 系列快速熔断器技术数据

型 号	额定电 压(V)	额定电 流(A)	熔体额定电流等级	极限分断 能力(kA)	电路 参数
RS0-250/50	250	50	30,50	50	$\cos\varphi$ $\leq 0.25$
RS0 250/100		100	50,80		
RS0 250/200		200	150		
RS0-250/350		350	350		
RS0-250/500		500	400,480		

(续)

型号	额定电压(V)	额定电流(A)	熔体额定电流等级	极限分断能力(kA)	电路参数
RS0-500/50	500	50	30,50	40	$\cos\varphi \leq 0.25$
RS0-500/100		100	50,80		
RS0-500/200		200	150		
RS0-500/350		350	320		
RS0-500/500		500	400,480		
RS0-750/350	750	350	320	30	
RS3-500/50	500	50	10,15,20,25,30,40,50	50	
RS3-500/100		100	80,100		
RS3-500/200		200	150,200		
RS3-500/300		300	250,300		
RS3-750/200	750	200	150	30	
RS3-750/300		300	250		

表 12-33 RS0 系列快速熔断器过电流时断开时间及  $I^2t$

额定电压(V)	额定电流(A)	过电流倍数	$\cos\varphi$	平均全部断开时间(s)	平均全部断开 $I^2t$ ( $A^2 \cdot s$ )
250	30	6	0.74	0.016	419
		10	0.27	0.087	710
	50	6	0.66	0.018	1129
		10	0.28	0.0076	1420
	80	6	0.69	0.015	3112
		10	0.28	0.0135	5333
	150	6	0.69	0.016	11156
		10	0.56	0.015	15897
	350	6	0.70	0.0085	40555
		10	0.27	0.0074	71610
500	30	6	0.72	0.036	1066
		10	0.27	0.02	1173
	50	6	0.74	0.02	1126
		10	0.27	0.02	2912
	80	6	0.7	0.04	8079
		10	0.27	0.017	6140
	150	6	0.69	0.03	18033
		10	0.27	0.02	15626
	320	6	0.67	0.03	53256
		10	0.27	0.014	64516

### (7)RSF 系列快速熔断器

表 12-34 RSF 系列快速熔断器技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	短路分断能力 (kA)	cosφ
RSF8	800	750	500,600,700	100	0.1~0.2
		1500	1000,1200,1400		
		2250	2100		
RSF10	1000	700	500,600	100	0.1~0.2
		1400	1000,1200		
		1600	1600		
		3200	3200		

### (8)NGT 系列快速熔断器

表 12-35 NGT 系列快速熔断器技术数据

型号	额定电压 (V)	熔断体额定电流 (A)	熔体额定电流 (A)	短路分断能力 (kA)	cosφ
NGT00	380,800	125	25,32,40,50,63,80,100,125	100	0.1~0.2
NGT1	380	250	100,125,160,200,250		
NGT2	660	400	200,250,280,315,355,400		
NGT3	1000	630	355,400,450,500,560,630		

## 3. 常用熔丝规格及技术数据

表 12-36 铅(75%)锡(25%)合金熔丝规格表

直径 (mm)	近似英规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)	直径 (mm)	近似英规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)
0.51	25	2	3	1.63	16	11	16
0.56	24	2.3	3.5	1.83	15	13	19
0.61	23	2.6	4	2.03	14	15	22
0.71	22	3.3	5	2.34	13	18	27
0.81	21	4.1	6	2.65	12	22	32
0.92	20	4.8	7	2.95	11	26	37
1.22	18	7	10	3.26	10	30	44

注:铅锡合金丝的熔断电流是指 2min 内熔断所需的电流。

表 12 37 铅(≥98%)锡(0.3%~1.5%)合金熔丝规格表

直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	近似英 规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)	直径 (mm)	截面积 (mm <sup>2</sup> )	近似英 规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)
0.08	0.005	44	0.25	0.5	0.99	0.60	20	5.0	10
0.15	0.018	38	0.50	1.0	1.02	0.80	19	6.0	12
0.20	0.031	36	0.75	1.5	1.25	1.25	18	7.5	15
0.22	0.038	35	0.80	1.6	1.51	1.79	17	10	20
0.25	0.049	33	0.90	1.8	1.67	2.16	16	11	22
0.28	0.062	32	1.00	2.0	1.75	2.41	15	12	24
0.29	0.066	31	1.05	2.1	1.98	3.08	14	15	30
0.32	0.080	30	1.10	2.2	2.40	4.45	13	20	40
0.35	0.096	29	1.25	2.5	2.78	6.07	12	25	50
0.40	0.126	27	1.50	3.0	2.95	6.84	11	27.5	55
0.46	0.166	26	1.85	3.7	3.11	7.74	10	30	60
0.52	0.212	25	2.00	4.0	3.81	11.40	9	40	80
0.54	0.229	24	2.25	4.5	4.12	13.33	8	45	90
0.60	0.283	23	2.50	5.0	4.44	15.48	7	50	100
0.71	0.400	22	3.00	6.0	4.91	18.93	6	60	120
0.81	0.500	21	3.75	7.5	5.24	21.57	4	70	140

表 12-38 铜熔丝规格表

直径 (mm)	近似英 规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)	直径 (mm)	近似英 规线号	额定电流 (A)	熔断电流 (A)
0.234	34	4.7	9.4	0.70	22	25	50
0.254	33	5.0	10.0	0.80	21	29	58
0.274	32	5.5	11.0	0.90	20	37	74
0.295	31	6.1	12.2	1.00	19	44	88
0.315	30	6.9	13.8	1.13	18	52	104
0.345	29	8.0	16.0	1.37	17	63	125
0.376	28	9.2	18.4	1.60	16	80	160
0.417	27	11.0	22.0	1.76	15	95	190
0.457	26	12.5	25.0	2.00	14	120	240
0.508	25	15.0	29.4	2.24	13	140	280
0.559	24	17.0	34.0	2.50	12	170	340
0.60	23	20.0	39.0	2.73	11	200	400

注：铜丝熔断电流是指 1min 内熔断所需的电流。

## 4. 熔断器的选用要点

### (1) 普通熔断器的选用

1) 根据被保护负载的性质和短路电流的大小, 选择具有相应分断能力的熔断器。例如, 车间配电网路的保护用熔断器的选用, 因网络短路电流一般较大, 因此选用具有高分断能力的熔断器, 甚至要有限流作用, 如 RT0 系列熔断器。电动机过载保护可选用 RL 系列熔断器; 经常发生故障线路的保护可选用“可拆式”熔断器, 如 RL、RM 等熔断器; 在容易着火或有毒气的地方, 可选用封闭式熔断器。

2) 根据网络电压选用相应电压等级的熔断器。

3) 根据被保护负载的性质和容量, 选择熔体的额定电流。

①对于变压器、电热器和电灯等较平稳的负载, 熔体额定电流应大于或等于实际负载电流。

②对于输配电线路, 熔体额定电流应小于或等于线路的安全电流。

③对于电动机过载保护和正常起动保护, 熔体的额定电流, 可按下式选择:

对单台电动机的保护, 应采用:

$$I_{nR} = k I_{nM}$$

式中  $I_{nR}$ ——熔体额定电流;

$I_{nM}$ ——电动机额定电流;

$k$ ——系数, 一般取 1.5~2.5。

对数台电动机的保护, 应采用:

$$I_{nR} = k I_{nM\max} + \sum I_{nM}$$

4) 根据熔体的额定电流等级, 确定熔管的额定电流等级。

5) 在配电系统中, 各级熔断器应互相配合, 以实现保护的选择性。

6) 熔断器的保护特性必须与被保护对象的安全热特性相匹配。

### (2) 快速熔断器的选用

1) 熔断器接入线路方式 快速熔断器接入整流电路的方式有接入交流侧、接入整流桥臂和接入直流侧等三种。接入方式不同, 熔体额定电流的选择方式亦不同。因此, 要根据接入方式来选择熔断器。

2) 熔断器熔体额定电流的选择

①在整流电路中,熔体额定电流的选择应按下列情况选用:

接入交流侧时,其熔体额定电流  $I_{nR}$  可按下式计算:

$$I_{nR} \geq k_1 I_{2max}$$

式中  $I_{2max}$  ——实际使用的最大整流电流;

$k_1$  ——系数,一般在 0.5~1.5 之间。

接入整流桥臂与硅元件串联时,电流  $I_{nR}$  应为:

$$1.57 I_{mC} \geq I_{nR} \geq I_A$$

式中  $I_{mC}$  ——硅整流元件额定电流的平均值;

$I_A$  ——桥臂的实际最大工作电流(有效值)。

接入直流侧时,其电流

$$I_{nR} \geq I_{2max}$$

②在晶闸管整流电路中,熔体额定电流的选择如下:

接入交流侧时,其电流

$$I_{nR} \geq k_1 I_{2max}$$

式中  $k_1$  ——系数,见表 12-39。

表 12-39  $k_1$  系数数值

整流电路的形式	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	双星形六相
$k_1$	1.57	0.785	1.11	0.575	0.816	0.29

接入整流桥臂和直流侧,其电流  $I_{nR}$  的选择方法与整流电路的相同。

3)熔断器额定电压的选择 快速熔断器的额定电压应根据熔断器在熔断后,所承受的实际电压来确定。接入直流侧时,其额定电压应是所在线路直流电压的 1.4~2 倍,才能安全可靠地使用。

4)熔断器的允通能量  $I^2t$  值,要小于硅整流元件的允通能量  $I^2t$  值。

## 四、断 路 器

### 1. 断路器的类型及使用场合

表 12-40 断路器类型和适用场合

类别	产品系列	适用场合	
万能式	DW5 系列	有配电用和保护电动机用两种,分别作配电线路电源设备和电动机的过载、短路和欠电压保护;在正常条件下亦可分别作为电路的不频繁转换和电动机的不频繁起动之用	
	DW10 系列	用于低压交直流配电线路中,作过载、短路及欠电压保护,在正常条件下,亦可作不频繁转换电路之用	
	DW15 系列	用于交流电压至 1140V、电流至 1500A 的电路中作配电和电动机保护用。有配电用开关和保护电动机用开关两种,分别用作配电线路电源设备和电动机的过载、短路及欠电压保护;在正常条件下,亦可分别作电路的不频繁转换和电动机的不频繁起动之用	
	新系列	用作主变压器和电路配电开关,额定电流可达 4000A,具有选择性保护	
塑料外壳式	DZ5 系列	DZ(B)5 型(单极)	主要作开关板控制线路及照明线路的过载和短路保护
		DZ5 20 型(3 极)	作电动机和其他电气设备的过载及短路保护,也可作小容量电动机不频繁的起停操作和线路转换之用
		DZ5 50 型(3 极)	与 DZ5-20 相同,但容量比 DZ5 20 大一级,并可用于交流 500V 及以下电路中
	DZ10 系列	在低压交直流线路中,作不频繁接通和分断电路用,该开关具有过载和短路保护装置,用以保护电气设备,电机和电缆不因过载或短路而损坏	
	DZ6、DZ12、DZ13 型	主要用于照明线路中,作线路过载和短路保护,以及作线路不频繁分断和接通之用	
	DZ15 系列	作为配电、电动机、照明线路的过载和短路保护及晶闸管交流侧的短路保护用,亦可作为线路不频繁转换及电动机不频繁起动用	
	SO60 系列	该系列开关为引进技术的小型开关,适用于交流 50、60Hz、电压 415V 及以下的线路中,作照明线路、电动机的过载和短路保护用	



(续)

类别	产品系列	适用场合	
限流式	DWX15 系列 框架式	具有快速断开和限制短路电流上升的特点,适用于可能发生特大短路的低压网络中,作配电和保护电动机之用;在正常条件下亦可作线路的不频繁转换和电动机的不频繁起动用	
	DZX10 系列 塑料外壳式	在集中配电、变压器并联运行或采用环形供电时,要求高分断能力的分支线路中,作为线路和电源设备的过载、短路和欠电压保护;在正常条件下,亦可作线路的不频繁转换之用	
直流快速	DS7~DS9 系列	单向动作	用于大容量直流机组、硅整流供电装置和晶闸管整流装置等直流供电线路作过载、短路和逆流保护
	DS10 系列	单双向均可动作	
	DS11、DS12 系列	双向动作	
漏电保护	DZ15L 型	适用于电源中性点接地的电路,作漏电保护,亦可作线路和电动机的过载及短路保护,还可作线路的不频繁转换和电动机的不频繁起动用	
	DZ5 20L 型	与 DZ15L 相同,但容量比 DZ15L 小一级,额定电流仅 20A,且无 4 极触头	

## 2. 常用断路器主要技术数据

表 12-41 常用断路器主要技术数据

类别	型号	额定 电流 (A)	过电流脱 扣器范围 (A)	短路通断能力					
				交流			直流		
				电压 (V)	电流(有效 值)(kA)	$\cos\varphi$	电压 (V)	电流 (kA)	时间常数 (s)
万 能 式	DW10	200	100~200	380	10	0.4	440	10	0.01
		400	100~400		15			15	
		600	400~600		15			20	
		1000	400~1000		20			20	
		1500	1000~1500		30			30	
		2500	1000~2500		40			40	
		4000	2000~4000		40			40	
DW5	400	200~400	380	20	0.4	440	—	0.01	
	1000	400~1000		40			40		
	1500	1000~1500		40			40		
DW15	400	200~400	380	①20/5	0.3/0.8				
			660	10/5	0.3				
			1140	10	0.3				
	380	25/8	0.4/0.5						
	660	15/8	0.3						
	1140	10	0.3						
630	300~630	380	30/12.6	0.3					
		660	20/10	0.3					
		1140	12	0.3					
1000	100~1000	380	40/30	0.3					
1500	1500		40/30	0.3					

(续)

类别	型号	额定 电流 (A)	过电流脱 扣器范围 (A)	短路通断能力										
				交 流			直 流							
				电压 (V)	电流(有效 值)(kA)	cosφ	电压 (V)	电流 (kA)	时间常数 (s)					
刀 能 式	DW15	2500	1500~2500	380	60/30	0.25	220	40	0.01					
		4000	2500~4000		60/30	0.25								
	DWX15	200	100~200	380	50	0.25								
		400	200~400		50	0.25								
		630	400~630		70	0.2								
	ME630	630	200~400 350~630	660	50	0.25								
	ME800	800	200~400 350~630 500~800											
	ME1000	1000	200~400 350~630 500~1000											
	ME1250	1250	500~1000 750~1250											
	ME1600	1600	200~400 350~630 500~1000 900~1600											
	ME2000	2000	500~1000 1000~2000											
	ME2500	2500	1500~2500											
	ME3200	3200	8000~16000											
	ME4000	4000	10000~20000											
	AH-6B	600	100~600							660/380	22/22	0.2	250	40
	AH-10B	1000	250~1000								30/42			
	AH-16B	1600	250~1600								45/65			
	AH-20C	2000	500~2000	30/65										
	AH-20CH	2000	500~2000	30/70										
	AH-30C	3200	2000~3200	50/65										
	AH-30CH	3200	2000~3200	50/85										
	AH-40C	4000	4000	85/120										
	3WE13	630	200~630	500	40	0.25								
	3WE23	800	200~800											
3WE33	1000	200~1000												
3WE43	1250	320~1250												
3WE53	1600	320~1600												
3WE63	2000	800~2000												
3WE73	2500	800~2500												
3WE83	3150	800~3150	50				0.2							
			60											
			80											

(续)

类别	型号	额定 电流 (A)	过电流脱 扣器范围 (A)	短路通断能力								
				电压 (V)	交 流		直 流		时间常数 (s)			
					电流(有效 值)(kA)	cosφ	电压 (V)	电流 (kA)				
塑 料	DZ10	100	15~20	380	7	0.4		7	0.01			
			25~30		9			9				
			60~100		2			12				
外 壳 式	DZX10	250	100~250	380	30	0.35		20				
			200~600		50			25				
			100		60~100			30		0.35		
			200		100~200			40		0.30		
外 壳 式	DZ5	10	0.5~10	220	1	0.7	220	1.2	0.01			
			25		0.5~25					2		
			20	0.15~20	380					1.2		
				50						10~50	1.2	
塑 料	DZ12-60	6~60	6	120/220	5/3	0.5 0.7						
	DZX19-63	10~63	10,20,32, 40,50,63	220/380	P-110 P-26							
	S060	40	6,11,16, 20,25,32,40	220/380	3							
外 壳 式	DZ20Y-100	100	16,20,32.	380	18	0.3	220	10	0.01			
	DZ20J-100		40,50,63		35	0.25		15				
	DZ20G-100		80,100		75	0.20		20				
	DZ20Y-200	200	(100),125.	380	25	0.25	220	20				
	DZ20J-200		160,180.		35	0.25		20				
	DZ20G-200		200,(225)		70	0.20		25				
	DZ20Y-400	400	(200),250.	380	30	0.25	380	20				
	DZ20I-400		315,350,400		42	0.25		25				
	DZ20G-400				80	0.2		30				
	DZ20Y-630	630	500,630.	380	30	0.25	380	25				
	DZ20J-630		700,800		65	0.20		30				
	DZ20G-800	800	500,630. 700,800	380	75	0.20	380	35				
DZ20Y-1250	1250	(630),(700), 800,1000, 1250	50		0.20	30						
外 壳 式	TO-100BA	100	50~100		12/8							
	TO-225BA	225	125~225		25/20							
	TO-400BA	400	125~400		30/25							
	TO-600BA	600	450~600		30/25							

(续)

类别	型号	额定 电流 (A)	过电流脱 扣器范围 (A)	短路通断能力						
				交 流			直 流			
				电压 (V)	电流(有效 值)(kA)	cosφ	电压 (V)	电流 (kA)	时间常数 (s)	
塑 料 外 壳 式	TG-30	30	15~30	380/440	30					
	TG-100B	100	15~100		30/25					
	TG-225	225	125~225		40/30					
	TG-400B	400	250~400		42/30					
	TG-600B	600	450~600		65/35					
	TL-100C	100	15~100	180/120						
	TL-225B	225	125~225							
	TH-5SB	50	10~50		3/5					
	TH-5DB	50			5					
	TS-100	100	15~100	500	35					
TS-250	250	125~250	35							
TS-400	400	300~400	35							
直 流 快 速	DS7-10/15	1000	1000~2000				1500	20	电流增长 率(A/s) $2 \times 10^6$	
	DS7-20/15	2000	2000~4000							
	DS7-30/15	3000	3000~6000							
	DS8-3/8	300	200~500				750	10	$2 \times 10^6$	
	DS8-6/8	600	500~1200				750			
	DS8-6/15	600	500~1200				1500			
	DS10	1000						825	80	$5 \times 10^6$
		2000						1500		
	DS11	6000						4800~9600		
	DS12-10/8	1000	800~2000					800	40	$3 \times 10^6$
DS12-20/8	2000	1600~4000								
DS12-30/8	3000	2400~6000	50							
DS12-60/8	6000	4800~12000								
塑 料 外 壳 式 漏 电 保 护 器	NF100-S	100	15~100	550	14		250	10		
	NF225-S	225	125~225		35					
	NF400-S	400	250~400		35			40		
	NF600-S	600	500~600		35			40		
	NF800-S	800	200~800		65			40		
	NF1000-S	1000	1000		65			40		
	NF1200-S	1200	1200		65			40		

①分子为瞬时通断能力,分母为延时通断能力,热磁脱扣或半导体脱扣630A以下等级可带电磁铁操作和有抽屉式,1000A以上等级可带电动机操作。

表 12 42 塑料外壳式漏电保护器主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	过电流脱 扣器范围 (A)	交流短路通断能力			额定漏电 动作电流 (mA)	额定漏电 不动作电 流(mA)	漏电动 作时间 (s)
			电压 (V)	电流(有 效值)(kA)	cosφ			
DZ5 20L	20	1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 5, 10, 15, 20	380	1.5	0.8	30 50 75	15 25 40	≤0.1
DZ15L-40/390	40	6, 10, 15, 20, 30, 40	380	2.5	0.7	30 50 70	15 25 40	≤0.1
DZ15L-40/490	40	6, 10, 15, 20, 30, 40	380	2.5	0.7	50 70 100	25 40 50	≤0.1
DZ15L-60/390	60	10, 15, 20, 30, 40, 60	380	5	0.5	30	15	≤0.1
DZ15L-60/490						50	25	
	75	40						
	75	40						
	100	50						
DZL16	40		210	1	1	15 30	7.5 15	≤0.1
DZL18	20	10, 16, 20	220			15 30	6 15	≤0.1
LD1	25					30	15	≤0.1
	40					100	50	
	63					300	150	
						500	250	

### 3. 断路器的选用要点

- 1) 断路器的额定电压  $\geq$  线路额定电压。
- 2) 断路器的额定电流与过电流脱扣器的额定电流  $\geq$  线路计算负载电流。
- 3) 断路器的额定短路通断能力  $\geq$  线路中最大短路电流, 注意进出线端的短路通断能力是否相等。
- 4) 断路器欠电压脱扣器额定电压 = 线路额定电压。
- 5) 选择型配电断路器需考虑短延时短路通断能力和延时梯级的配合。
- 6) 选择电动机保护用断路器需考虑电动机的起动电流并使其在起动时间内不动作。笼型感应电动机的起动电流按 8~15 倍额定电流计

算。

7) 直流快速断路器需考虑过电流脱扣器的动作方向(极性)、短路电流上升率  $di/dt$ 。

8) 漏电保护断路器需选择合理的漏电动作电流和漏电不动作电流。注意能否断开短路电流,如不能断开短路电流则需和适当的熔断器配合使用。

9) 灭磁断路器选用时需考虑发电机的强励电压,励磁线圈的时间常数、放电电阻及断开强励电流的能力。

## 五、接 触 器

### 1. 接触器的类型及使用场合

表 12-43 接触器的类型及使用场合

类别	产品系列	使用场合
交流接触器	传统产品 CJ8 系列 CJ10 系列 CJ12 系列 CJ15 系列	CJ8、CJ10 系列适用于三相感应电动机的远距离启动、停止、换向、变速、星-三角启动等情况,并作频繁操作 CJ12 系列主要用于轧钢、纺织、起重机等电气设备方面,供远距离接通与分断电路之用,并适用于频繁启动及控制交流电动机 CJ15 系列主要用于工频无芯感应炉控制设备,作为远距离接通和分断电力线路用
	换代产品 CJ20 系列	主要供远距离接通与分断线路及频繁地启动和控制电动机,并适用于和热继电器或电子式保护装置组成电磁起动器
直流接触器	传统在产品 CZ0 系列 CZ3 系列 CZ16 系列 CZ17 系列 CZ18 系列 (换代产品)	CZ0 系列主要用于额定电压 440V、额定电流至 600A 的直流电力线路,控制直流电动机的换向或反接制动,如用于冶金、机床等电气控制设备中 CZ3 系列适用于直流 220V 及以下转换控制电路(如电器的电压线圈、伺服电动机等)、纯电阻负载电路(如照明、电阻、电炉等)、信号电路及励磁电路 CZ16 系列主要供远距离接通与分断额定电压至 600V、额定电流 1000、1500A 的直流电力线路用 CZ17 系列用于直流电压 24~48V、额定电流 150A 的直流电路中,作蓄电池搬运车及铲车等直流电动机的启动、调速和换向之用
	传统在产品 CKJ 系列 换代产品 CKJ5 系列	适用于交流 50Hz、电压至 1140V 的电力线路中,供远距离频繁地接通和分断电路用,并适宜于与其他保护装置组成磁力起动器,用于频繁地启动和停止电动机
低压真空接触器		

## 2. 常用接触器的主要技术数据

### (1) 常用交流接触器

表 12-44 CJ8、CJ10、CJ12 交流接触器的主要技术数据

型 号		主触头			辅助触头			控制三相电动机的最大功率 (kW)			接通与分断能力		
		额定工作电压 (V)	额定工作电流 (A)	极数	额定电压 (V)	额定发热电流 (A)	组合情况	220 (V)	380 (V)	500 <sup>①</sup> (V)	电压 (V)	电流 (A)	
												接通	分断
CJ8 系列	CJ8-10	380	10	3	交流 380	5	2 常开 2 常闭	2.5	4.0	1.5/127V	380	12I <sub>n</sub>	10I <sub>n</sub>
	CJ8-20		20					5.5	10	3/127V			
	CJ8-40		40					11	20	6/127V			
	CJ8-60		60					17	30	9/127V			
	CJ8-100		100					29	50	17/127V			
	CJ8-150		150					43	75	25/127V			
CJ10 系列	CJ10-5	380	5	3	交流 380	5	1 常开 2 常开 2 常闭	1.2	2.2	2.2	1.05 U <sub>n</sub>	12I <sub>n</sub>	10I <sub>n</sub>
	CJ10-10		10					2.2	4	4			
	CJ10-20		20					5.5	10	10			
	CJ10-40		40					11	20	20			
	CJ10-60		60					17	30	30			
	CJ10-100		100					30	50	50			
	CJ10-150		150					43	75	75			
CJ <sup>12</sup> -12B 系列	CJ <sup>12</sup> <sub>12B</sub> -100	380	100	2. 3. 4. 5	交流 380	10	6 对触头可组成 5 组常开或 4 常开 2 常闭或 3 常开 3 常闭		50		0.05 U <sub>n</sub>	12I <sub>n</sub>	10I <sub>n</sub>
	CJ <sup>12</sup> <sub>12B</sub> -150		150						75				
	CJ <sup>12</sup> <sub>12B</sub> -250		250						125				
	CJ <sup>12</sup> <sub>12B</sub> -400		400		直流 220				200			10I <sub>n</sub>	8I <sub>n</sub>
	CJ <sup>12</sup> <sub>12B</sub> -600		600						300				

①对于 CJ8 系列,此项数据为被控电动机额定电压 127V。

表 12-45 CJ20、CJ10、CJ12 系列交流接触器主要技术数据

型 号	额定工作电压 (V)	380V 额定 工作电流(A)	控制电动机最大功率(kW)			操作频率(次/h)		
			380V	660V	1140V	AC-2	AC-3	AC-4
CJ20-6.3	380, 660	6.3	3	3				
CJ20-10		10	4	7				
CJ20-16		16	7.5	11				
CJ20-15		25	11	13				
CJ20-40		40	22	22			380V	
CJ20-63		63	30	35		1200	300	
CJ20-100		100	50	50			660V	
CJ20-160		380,660,1140	160	85	85	85		120
CJ20-250		380,660	250	132	190			
CJ20-400			400	200				
CJ20-630	380,660,1140	630	300	350	400			

表 12-46 CJ15 系列接触器的性能及技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	辅助触头 额定电流 (A)	操作频率 (次/h)	吸引线圈额 定电 压 (V)
CJ15-1000	500,1000	1000	10	60	交流 220 或
CJ15-2000	500,1000	2000	10	60	交流 380
CJ15-4000	1000	4000	10	50	(50Hz)



表 12-47 B 系列交流接触器主要技术数据

序号	交流操作 带叠片式铁心的直流操作 带整块式铁心的直流操作	P9	B12	B16	P25	B30	B37	B45	B65	B85	B105	B170	B250	B370	B460	K40 J1-22	
		BE37 BC37	BE45 BC45	BE65	BE85	BE105	BE170	BE250	BE370	BE460	BE550	BE650	BE750	BE850	BE950	BE1050	BE1150
1	上极数	3 或 4			3											4	
2	额定绝缘电压(V)	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	660
3	最高工作电压(V)	660	660	660	600	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660
4	额定发热电流(A)	16	20	25	40	45	45	60	80	100	140	230	300	410	600	10	
5	380V 时 AC-3, AC-4 额定工作电流(A)	8.5	11.5	15.5	22	30	37	45	65	85	105	170	250	370	475	AC-11 6	
6	660V 时 AC-3, AC-4 额定工作电流(A)	3.5	4.9	6.7	13	17.5	21	25	44	53	82	118	170	268	337		
7	380V 时 AC-3, AC-4 控制功率(kW)	4	5.5	7.5	11	15	18.5	22	33	45	55	90	132	200	250		
8	660V 时 AC-3, AC-4 控制功率(kW)	3	4	5.5	11	15	18.5	22	40	50	75	110	160	250	315		
9	线圈额定 B(VA/W) BE(W) 吸持功率 BC(W)	9/2.29/2.29	2/2.29/2.29	2/2.29/2.29	10/3	10/3	22/5	22/5	30/8	30/8	32/9	60/15	66/16	100/27	140/27	140/27	9/2.2
							12	12	17	17	6	9	12	14	14		7.6

注:1. 接触器的辅助触头基本形式为 2 常开 2 常闭,也可组成 3 常开 3 常闭或 4 常开 4 常闭多种形式。

2. 当需要主极数为 4 个时,则须在订货时指明,此时将减少一个辅助触头。

3. K40, KC40 亦称为中间继电器。

表 12-48 3TB 系列交流接触器主要技术数据

型 号	额定工作 电流(A)		可控电动机 功率(kW)		AC-1 工作制 可控电动机 功率(kW)		辅助触头额 定工作电流(A)			线圈功率 (VA)	
	380V	660V	380V	660V	380V	660V	AC-11		DC-11	吸合	起动
							380V	660V	220V		
3TB40	9	7.2	4	5.5	1.4	2.4	6	2	0.45	10	68
3TB41	12	9.5	5.5	7.5	1.9	3.3	6	2	0.45	10	68
3TB42	16	13.5	7.5	11	3.5	6	6	2	0.45	10	69
3TB43	22	13.8	11	11	4	6.6	6	2	0.45	10	69
3TB44	32	18	15	15	7.5	11	4	2.5	0.9	10	71

注:辅助触头数量可为1常开或1常闭或1常开和1常闭或2常开和2常闭。

(2)常用直流接触器

表 12-49 CZ0 系列直流接触器的性能及技术数据

型 号	主触头			辅助触头				吸引 线圈		动作 时间 (ms)		通断能力		临界 分断 电流 (A)	操作 频率 (次/ h)						
	额定 工作 电压 (V)	额定 工作 电流 (A)	触头 数目 常开 常闭	额定电压		额定 发热 电流 (A)	组合情况		额定 电压 (V)	消耗 功率 (W)	闭 合	断 开	电 压 (V)			电 流 (A)					
				交流	直流		常开	常闭													
CZ0-40/20	440	40	2	380	110, 220	5	2	2	24 48 110 220	22	100	30	1.05U <sub>N</sub>	0.2I <sub>N</sub>	1200						
CZ0-40/02			—													2	24	90	45	2.5I <sub>N</sub>	600
CZ0-100/10		100	1				2	2		1	24	70				50	24	110	30	4I <sub>N</sub>	1200
CZ0-100/01			—																		
CZ0-100/20		150	2				2	2		2	30	130				35	30	130	30	4I <sub>N</sub>	1200
CZ0-150/10			1																		
CZ0-150/01		250	—				2	2		1	25	60				90	25	60	90	2.5I <sub>N</sub>	600
CZ0-150/20			2																		
CZ0-250/10		400	1				10	共有5 对触头, 其中一对 为固定常 开,另外 4对常 闭常开可 任意组合		220	31	180				60	40	220	60	4I <sub>N</sub>	600
CZ0-250/20			2																		
CZ0-400/10		600	1				50	200		90	28	200				50	43	250	70	4I <sub>N</sub>	600
CZ0-400/20			2																		
CZ0-600/10		1	50				200	90		4I <sub>N</sub>	600										

表 12-50 CZ16 系列直流接触器的性能及技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	吸引线圈 额定电压 (V)	消耗功率 (W)		固有动作时间 (s)	
				起动 瞬间	吸合 以后	吸合	释放
CZ16-1000/10	660	1000	110,220	495	38	0.22	0.06
CZ16-1500/10	660	1500	110,220	745	80	0.15	0.04

表 12-51 CZ17 系列直流接触器的性能及技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	操作频率 (次/h)	触头型式 及数目		带灭 弧罩
				常开	常闭	
CZ17-150W/10	直流 24,48	150	600	1		带
CZ17-150/11		150		1	1	不带
CZ17-150/10		150		1		不带

表 12-52 CZ18 系列直流接触器的性能及技术数据

额定绝缘电压 $U_j$ (V)		440				
额定工作电压 $U_n$ (V)		440				
额定发热电流 $I_R$ (A)		40	80	160	315	640
额定工作电流 $I_n$ (A)		40	80	160	315	640
主触头接通与分断能力 (AC-3)		接通	$4I_n \cdot 1.1U_n, 25$ 次			
		分断	$4I_n \cdot 1.1U_n, 25$ 次			
额定操作频率(次/h)		1200			600	
辅助触头	组合情况	常开	2			
		常闭	2			
	额定发热电流(A)	6			10	
	电寿命(万次)	50			30	
吸合电压		$(85\% \sim 110\%)U_n$				
释放电压		$(10\% \sim 75\%)U_n$				
取代老产品型号		CZ0				

### 3. 接触器的选用要点

(1) 额定电压的选择 接触器的额定电压应大于或等于负载的额定电压。

(2)额定电流的选择 接触器的额定电流应大于或等于电动机(或负载)的额定电流。如果接触器用作电动机的频繁起动或反接制动时,其接通电流很大,为防止触头的烧蚀和过早损坏,应将接触器的额定电流降低一级使用。

(3)操作频率的选择 操作频率就是指接触器每小时通断的次数。当通断电流较大及通断频率过高时,会引起触头严重发热,甚至熔焊。一般产品说明上是有规定的,操作频率若超过规定数值,应选用额定电流大一级的接触器。

(4)线圈额定电压的选择 吸引线圈的额定电压应与所控电路的额定电压一致,通常采用 380 或 220V,如果从安全角度考虑,必须用较低电压时也可以选用 36、110 或 127V,但要通过变压器对接触器的线圈供电。

## 六、起 动 器

### 1. 起动器的类型及使用场合

表 12-53 起动器的类型及使用场合

类别	产 品 系 列	使 用 场 合
直 接 起 动 器	QC 系列	QC0 系列 主要供远距离直接起动和在额定运转时,断开容量分别至 10kW、20kW 交流笼型电动机。起动器的吸引线圈可兼作失电压保护用,带有热继电器的起动器能对电动机的过载起保护作用
		QC8 系列 供远距离直接控制三相笼型电动机起动、停止及反向运转用,并具有失电压保护作用,带热继电器的起动器具有保护作用
		QC10 系列 供远距离直接控制三相笼型异步电动机起动、停止、可逆运转用,当电压消失时,起动器起失电压保护作用,带热继电器的起动器具有过载保护作用,起动器由 CJ10 交流接触器与 JR15 热继电器组成
		QC12 系列 用于远距离直接控制笼型电动机起动、停止、反向运转,在线路电压消失时可兼作失电压保护用,带有热继电器的起动器,能对电动机的过载起保护作用,起动器由 CJ10 交流接触器和 JR16 热继电器组成

(续)

类别	产 品 系 列		使 用 场 合	
直接起 动器	手动 起 动 器	QC 系列	主要用于远方控制三相笼型异步电动机启动、停止,及正反方向运转,带热继电器的启动器具有电动机的过载保护及断相运转保护作用,其接触器在电网电压消失时兼作失电压保护	
		QC2B 系列		
	综合 起 动 器	QJ56 系列	适用于交流 50Hz、额定电压 380V、功率 2.2kW 以下的三相异步电动机的直接启动和停止	
减 压 起 动 器	星- 角 起 动 器	QZ610 系列 (农用型)	适用于三相笼型异步电动机作不频繁直接启动及停止用,启动器带有热继电器,能对电动机的过载单相运转起保护作用,该启动器亦适用于农业机械及潜水泵作保护启动器用	
		QZ73 系列	用于远距离直接启动、停止,功率至 13kW 的三相笼型电动机,启动器有短路、过载、失电压等保护	
		QX1 系列(手动型)	用于交流 50Hz、电压至 380V、功率至 1.5kW 的三相异步电动机的直接启动、停止及逆转	
		QX3 系列(自动型)	用于功率至 30kW 的三相笼型异步电动机的启动、停止,在启动过程中,通过双金属时间继电器,能自动将所控制的电动机定子绕组由星形联结启动后换接至三角形联结,启动器带有热继电器作过载保护,其接触器能在电网电压消失时兼作失电压保护	
无 触 点 减 压 起 动 器	自 耦 变 压 器 起 动 器	QX4 系列	适用于交流 380V、功率 75kW 以下,运行时定子绕组接成三角形的三相笼型异步电动机减压启动用,利用定子绕组由星形至三角形换接的方法,以改善电动机启动时对供电网络的影响	
		QX10 系列	作三相笼型异步电动机星形、三角形换接启动及停止用,在启动过程中,启动器通过双金属时间继电器控制电动机的定子绕组由星形联结转换至三角形联结	
自 耦 变 压 器 起 动 器	自 耦 变 压 器 起 动 器	QJW6 系列	用于笼型异步电动机作减压启动及停止用,也可用于绕线转子异步电动机的启动、停止及调速,以及作为三相交流功率调节器使用,实现对负载功率的连续控制,并具有短路、三相过载及断相保护	
		QJ 系列 (手动型)	QJ3 系列	用于三相笼型异步电动机不频繁启动及停止,并装有超载脱扣器和失电压脱扣等保护装置
			QJ10 系列	适用于三相笼型异步电动机作不频繁减压启动及停止,利用自耦变压器降低电压的方法以改善电动机启动时对输电电网的影响,并带有过载、断相、欠电压保护装置
		XJ01 系列(自动型)		

## 2. 常用起动器的主要技术数据

### (1) 常用电磁起动器

表 12 54 QCO 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	所控制电动机最大功率(kW)			吸引线圈额定电压 (V)	热继电器整定电流调节范围 (A)			
			127 (V)	220 (V)	380 (V)					
QC0-10	380	20	3.2	5.8	10	交流 50Hz±3%, 110,220, 380	0.6~1.1~1.6			
QC0-10W							1.6~2.5~2.5~4			
QC0-10K							4~6.4~6.4~10			
QC0-10WK							10~16~16~25			
QC0-20		40	7	12	20		6.4~10~16			
QC0-20W							16~25~25~40			
QC0-20K										
QC0-20WK										
QC0N-10		20	3.2	5.8	10		0.6~1.1~1.6			
QC0N-10W							1.6~2.5~2.5~4			
QC0N-10K							4~6.4~6.4~10			
QC0N-10WK							10~16~16~25			
QC0N-20							7	12	20	6.4~10~16
QC0N-20W										16~25~25~40
QC0N-20K										
QC0N-20WK										

表 12 55 QC8 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	所控制电动机最大功率(kW)			热继电器型号	热继电器刻度电流调节范围 (A)
			127 (V)	220 (V)	380 (V)		
QC8-2/3 QC8-2/5 QC8-2/4 QC8-2/7 QC8-2/6 QC8-2/2 QC8-2/8	380	10	1.5	2.5	4	JB15-10	0.25~0.35 0.32~0.50 0.45~0.72 0.68~1.10 1.00~1.60 1.50~2.40 2.20~3.50 3.20~5.00 4.50~7.20 6.80~11.0
QC8-3/3 QC8-3/3 QC8-3/4 QC8-3/5 QC8-3/6 QC8-3/7 QC8-3/8		20	3	5.5	10	JR15-40	6.8~11.0 10~16 15~24
QC8-4/2 QC8-4/3 QC8-4/4 QC8-4/5 QC8-4/6		40	6	11	20	JR15-40	15~24 22~33 30~45
QC8-4/7 QC8-4/8		40	6	11	20	JR15-40	15~24 22~33 30~45
QC8-6/2 QC8-6/3 QC8-6/4 QC8-6/5 QC8-6/6 QC8-6/7 QC8-6/8		100	17	28	50	JR9-300A	56~86 85~125
QC8-7/2 QC8-7/3 QC8-7/4 QC8-7/5 QC8-7/6 QC8-7/7 QC8-7/8		150	25	43	75	JR9-300A	85~125 124~175

表 12-56 QC10 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	吸引线圈 额定电压 (V)	所控制电动机最大功率 (kW)		起 动 器 等 级	类 型	有 无 热 保 护
			220V	380V			
QC10-1/2	5		1.2	2.4	1	不可逆	有
QC10-1/3						可 逆	无
QC10-1/4						可 逆	有
QC10-1/5						不可逆	无
QC10-1/6						不可逆	有
QC10-1/7						可 逆	无
QC10-1/8						可 逆	有
QC10-2/2						10	交流 50Hz 36,110, 127,220, 380,直流 48,110, 220
QC10-2/3	可 逆	无					
QC10-2/4	可 逆	有					
QC10-2/5	不可逆	无					
QC10-2/6	不可逆	有					
QC10-2/7	可 逆	无					
QC10-2/8	可 逆	有					
QC10-3/2	20		5.5	10	3		
QC10-3/3						可 逆	无
QC10-3/4						可 逆	有
QC10-3/5						不可逆	无
QC10-3/6						不可逆	有
QC10-3/7						可 逆	无
QC10-3/8						可 逆	有
QC10-4/2						40	
QC10-4/3	可 逆	无					
QC10-4/4	可 逆	有					



表 12-57 QC12 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	吸引线圈 额定电压 (V)	控制电动机最大功率 (kW)		起动器 等 级	热继电器整定 电流调节范围 (A)
			220V	380V		
QC12-1	20	交流 50Hz36, 110,220, 380-	1.2	2.2	1	0.25~0.35 0.32~0.50 0.45~0.72 0.66~1.10 1.00~1.60 1.50~2.40 2.20~3.50 3.20~5.00
QC12-2	20		2.2	4	2	0.25~0.35 0.32~0.50 0.45~0.72 0.68~1.40 1.00~1.60 1.50~2.40 2.20~3.50 3.20~5.00 4.50~7.20 6.80~11.0
QC12-3	20		5.5	10	3	0.80~11.0 10.0~16.0 14.0~22.0
QC12-4	60		11	20	4	14.0~22.0 20.0~32.0 28.0~45.0
QC12-5	60		17	30	5	28.0~45.0 40.0~63.0
QC12-6	150		29	50	6	53.0~85.0 75.0~120
QC12-7	150		47	75	7	75~120 100~160

表 12-58 QC20 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定 电流 (A)	结构 型式	控制电动机最大功率 (kW)		起动器 等 级	继电器整定 电流调节范围 (A)
			220V	380V		
QC20-1H/1 QC20-2H/1 QC20-3H/1 QC20-4H/1	15	保护式	4	7.5	1	0.25~0.35 0.32~0.5 0.45~0.72 0.68~1.1 1.00~1.6 1.5~2.4 2.2~3.5 3.2~5.0 4.5~7.2 6.8~11.0 10.0~16.0
QC20-1H/2 QC20-2H/2 QC20-3H/2 QC20-4H/2	32	保护式	10	17	2	10.0~16.0 14.0~22 22~35
QC20-1K/3 QC20-2K/3 QC20-3K/3 QC20-4K/3	63	开启式	17	30	3	20~32 28~45 40~63
QC20-1K/4 QC20-2K/4 QC20-3K/4 QC20-4K/4	80	开启式	22	40	4	40~63 53~85

(2)常用手动起动器

表 12-59 QS6 型手动起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制电动机功率 (kW)	常开触头数
QS6	交流 220	6	0.75	2 对
	380	4	1.5	3 对

### (3)常用综合起动器

表 12 60 QZ610 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	控制电动机功率 (kW)	热继电器整定电流调节范围 (A)
QZ610-4RF、FW	10	380	1.1,1.5, 2.2,3.4	1.5~2.4 2.2~3.5 3.2~5.0 4.5~7.2 6.8~11.2
QZ610-10RF、RW	20		5.5,7.5,10	6.0~11.0 10.0~16.0 14.0~22.0
QZ610-17RF、RW	40		13,17	14.0~22.0 20.0~32.0 28.0~45.0

表 12-61 QZ73 系列起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制电动机功率(kW)			辅助触头	
			127V	220V	380V	数量	额定电流(A)
QZ73-1	380	20	1	1.8	3.2	2 常开 2 常闭	5
QZ73-2		20	—	—	3.2		
QZ73-3		20	—	—	10		
QZ73-4、6		20	1	1.8	3.2		
QZ73-5、7		20	3.2	5.8	10		
QZ73-8、9、10		40	4	7	10		

### (4)常用星-三角起动器

表 12-62 QX1 系列星-三角起动器的主要技术数据

型 号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	正常操作接通能力			正常操作断开能力		
			电压 (V)	电流 (A)	功率因数 不小于	电 压 (V)	电 流 (A)	功率因数 不小于
QX1-13N1/415	10	380	380	6×10	0.4	380×0.16	10	0.4
QX1-30	40	380		4×40	0.4	380×0.25	40	0.4

表 12-63 QX3 系列星-三角起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	功率因数	控制电动机功率 (kW)	
				220V	380V
QX3-13	380×1.05	16×10	0.35+0.05	7.5	13
QX3-30	380×1.05	35×10		16	30

表 12-64 QX4 系列星-三角形起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	额定电流(A)	可供起动的 电动机功率 (kW)	热继电器电流 整定近似值 (A)
QX4-17	380	26,33	13,17	15-19
QX4-30		42.5,50	22,30	25,34
QX4-55		77,105	40,55	45,61
QX4-75		142	75	85

表 12-65 QX10 系列星-三角起动器的主要技术数据

型 号	额定电压 (V)	热继电器 额定电流 (A)	控制电动机的最大 功率(kW)		控制线圈的额定电压 (V)
			220V	380V	
QX10-13	380	32	7.5	13	交流 50Hz36,110, 220,346,380,400 交流 60Hz36,380,400
QX10-30		32	17	30	
QX10-55		60	30	55	
QX10-75		150	40	75	

(5) 无触点减压器

表 12-66 QJW 无触点减压器的主要技术数据

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)	控制电动机功率(kW)			最大允许 起动电流
			笼型异步 电动机	绕线转子 异步电动机	电阻负载	
QJW6	380	80	22	40	50	200

(6)常用自耦减压起动器

表 12-67 QJ3 系列自耦减压起动器的主要技术数据

型 号	电压 220V50(60)Hz				电压 380V50(60)Hz				电压 440V50(60)Hz			
	控制电动机功率(kW)	额定工作电流(A)	热保护额定电流(A)	最大起动时间(s)	控制电动机功率(kW)	额定工作电流(A)	热保护额定电流(A)	最大起动时间(s)	控制电动机功率(kW)	额定工作电流(A)	热保护额定电流(A)	最大起动时间(s)
QJ3-I				30	10	22	25	30	10	19	25	30
	8	2	40		14	30	40		14	26	40	
	10	37	40	40	17	38	40	40	17	33	40	40
	11	40	45		20	43	45		20	36	45	
QJ3-II	14	51	63	40	22	48	63	40	22	42	63	40
	15	54	63		28	59	63		28	51	63	
				60	30	62	63	60	30	56	63	60
	20	72	85		40	85	85		40	74	85	
QJ3-III	25	91	120	60	45	100	120	60	45	86	120	60
	30	108	160		55	120	160		55	104	160	
	40	145	160	75	145	160	75	125	160			

表 12-68 QJ10 系列自耦减压起动器的主要技术数据

$U_n$ (V)	380							
控制电动机功率(kW)	10	13	17	22	30	40	55	75
通断能力	$1.05U_n \cdot \cos\varphi = 0.4, 8I_n, 20$ 次							
过载保护整流电流(A)	20.5	25.7	34	43	58	77	105	142
最大起动时间(s)	30		40			60		
电寿命(次)	通接 $U_n, 4.5I_n, \cos\varphi = 0.4$ ; 分断 $1/6U_n, I_n, \cos\varphi = 0.4$ 条件下, 5000次							
机械寿命(万次)	1							
操作力(kg)	15				25			
接 线	自耦变压器有 65% $U_n$ 及 80% $U_n$ 二档抽头							
失电压保护特性	$\geq 75\%U_n$ 起动器能可靠工作, $\leq 35\%U_n$ 起动器保证脱扣, 切断电源							
过载及断相保护	120% $U_n$ 不大于 20min 动作, 断相时, 另二相电流达 115% $I_n$ 时在 20min 内动作							

## 第十三章 电力半导体变流设备

### 一、概 述

#### 1. 电力半导体变流设备的组成

变流设备(或变流器)是用于电能控制和变换的运行单元,它由一个或多个变流装置、变流变压器、滤波器、主要开关以及其他辅助设备组成,有时还设置调压器、快速开关、平波电抗器、交流滤波器以及交流开关等配套设备。


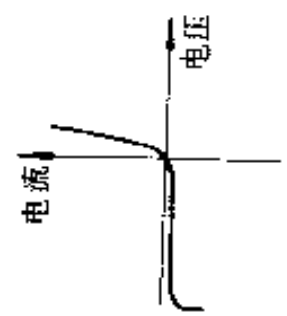

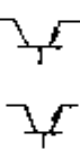
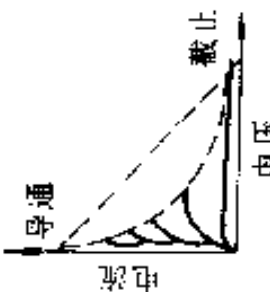

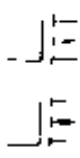
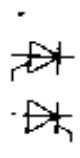
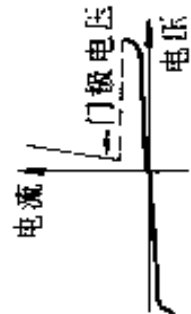
#### 2. 变流器的类别

表 13-1 变流器的类别(按运行功能分)






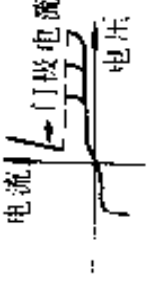
名称	简要定义
整流器	将交流电变为直流电
逆变器	将直流电变为交流电
变频器	将一种频率的交流电变为另一种频率的交流电。不经过直流环节而直接进行变换时,又称为周波变流器
直流变流器	将一种直流电变为另一种直流电。不经过交流环节而直接进行变换时,又称为直流斩波器
交流电力控制器	借相位控制或频率控制直接调节交流功率
电力电子开关	用电子方法将交流或直流电进行接通、分断的装置

### 3. 电力半导体器件的种类和用途

表 13-2 电力半导体器件的名称、特征、符号、型号、特性及用途

类别	名称	特征	符号	型号	伏安特性	主要用途
整流管类	整流管 (SR)	正向导通反向 阻断		ZP		各种直流电源、整流器
	快速整流管 (D)(SR)	反向恢复时间 短		ZK		高频电源、斩波器、逆变器
	肖特基势垒二极管 (SBD)	正向电压低				计算机电源、仪表电源、高频开关电源
晶体管类	电力晶体管 (BTR)(GTR)	基极电流关断				中、小功率逆变器电源和电动机控制
	结型场效应晶体管 (FET)(SIT)	电压关断				高频开关电源、超高频功率放大器、超声波发生器、电子继电器
	电力MOS场效应晶体管 (电力MOSFET)	电压关断				
晶闸管类	普通晶闸管 (Th)(SCR)	反向阻断、正向 导通		KP		整流器、逆变器、变频器
	快速晶闸管 (FST)	关断时间短、 开通速度快		KK		中频电源、超声波电源

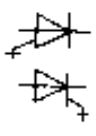
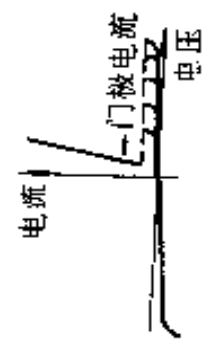

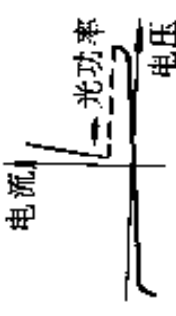
(续)

类别	名称	特征	符号	型号	伏安特性	主要用途
	双向晶闸管 (Triac)	双向均可由 门极信号开通		KS		电子开关、调光 器、调温器
	逆导晶闸管 (RCT)	正向门极信号 开通,反向导电		KN		逆变器、斩波器
	非对称晶闸管 (ASCR)	正向门极信号 开通,反向只承 受低电压				逆变器、斩波器

晶闸管类



(续)

类别	名称	特征	符号	型号	伏安特性	主要用途
晶闸管类	可关断晶闸管 (GTO)	门极正信号开 通、负信号关断		KG		逆变器、斩波器、 直流开关、汽车点 火系统
	光控晶闸管 (LATT)	光信号触发开 通		KL		高压直流输电、 无功补偿、高压开 关

注：普通整流器的国家标准号为 GB4939-85，IEC 标准号为 747-2；普通晶闸管的国家标准号为 GB4940-85，IEC 标准号为 747-6；快速晶闸管的标准号为 JB4193-86；双向晶闸管的标准号为 JB4192-86。

## 二、电力半导体器件的应用数据

### 1. 电力半导体器件的额定值和特性参数定义

表 13-3 整流管额定值和特性参数的定义(GB2900.32—82)

名称	符号	定义
额定值	正向平均电流 $I_{F(AV)}$	正向电流在一个周期内的平均值
	正向方均根电流 $I_{F(RMS)}$	正向电流在一个周期内的方均根值
	正向浪涌电流 $I_{FSM}$	一种由于电流异常情况(如故障)引起的、并使结温超过额定结温的不重复性最大正向过载电流
	反向重复峰值电压 $U_{RRM}$	整流管两端出现的重复最大瞬时值反向电压,包括所有的重复瞬态电压,但不包括所有的不重复瞬态电压
	反向不重复峰值电压 $U_{RSM}$	整流管两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压
特性参数	正向(峰值)电压 $U_{FM}$	整流管通以 $\pi$ 倍或规定倍数额定正向平均电流值时的瞬态峰值电压
	反向重复峰值电流 $I_{RRM}$	整流管加上反向重复峰值电压时的峰值电流
	恢复电荷 $Q_r$	整流管从规定的正向电流条件向规定的反向条件转换期间所存在的全部恢复电荷
	反向恢复电流 $I_{rr}$	在反向恢复期间产生的反向电流部分

表 13-4 晶闸管额定值的定义(GB2900.32—82)

名称	符号	定义
通态平均电流 $I_T(AV)$		通态电流在一个整周期内的平均值
通态方均根电流 $I_T(RMS)$		通态电流在一个整周期内的方均根值
通态浪涌电流 $I_{TSM}$		一种由于电路异常情况(如故障)引起的、并使结温超过额定结温的不重复性最大通态过载电流
断态重复峰值电压 $U_{DRM}$		晶闸管两端出现的重复最大瞬时值断态电压,包括所有的重复瞬态电压,但不包括所有的不重复瞬态电压
反向重复峰值电压 $U_{RRM}$		晶闸管两端出现的重复最大瞬时值反向电压,包括所有的重复瞬态电压,但不包括所有的不重复瞬态电压
断态不重复峰值电压 $U_{DSM}$		晶闸管两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态断态电压

(续)

名 称	符 号	定 义
反向不重复峰值电压	$U_{RRM}$	晶闸管两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压
通态电流临界上升率	$di/dt$	在规定条件下,晶闸管能承受而无有害影响的最大通态电流上升率
门极反向峰值电压	$U_{RGM}$	门极反向电压的最大瞬时值,包括所有的门极反向瞬态电压
门极正向峰值电压	$U_{FGM}$	门极正向电压的最大瞬时值,包括所有的门极正向瞬态电压
门极正向峰值电流	$I_{FGM}$	包括所有门极正向瞬态电流的最大瞬时值门极正向电流
门极峰值功率	$P_{GM}$	在规定条件下,门极正向所允许的最大门极峰值电流和门极峰值电压的乘积
门极平均功率	$P_{GAV}$	在规定条件下,门极正向所允许的最大平均功率

表 13-5 晶闸管特性参数的定义(GB2900.32-82)

名 称	符 号	定 义
通态(峰值)电压	$U_{TM}$	晶闸管通以 $\pi$ 倍或规定倍数额定通态平均电流值时的瞬态峰值电压
断态重复峰值电流	$I_{DRM}$	晶闸管加上断态重复峰值电压时的峰值电流
反向重复峰值电流	$I_{RRM}$	晶闸管加上反向重复峰值电压时的峰值电流
维持电流	$I_H$	使晶闸管维持通态所必需的最小主电流
擎住电流	$I_L$	晶闸管刚从断态转入通态,并移除触发信号之后,能维持通态所需的最小主电流
门极触发电流	$I_{GT}$	使晶闸管由断态转入通态所必需的最小门极电流
门极触发电压	$U_{GT}$	产生门极触发电流所必需的最小门极电压
门极不触发电压	$U_{GD}$	不致使晶闸管从断态转入通态的最大门极电压
断态电压临界上升率	$du/dt$	在规定条件下,不导致从断态到通态转换的最大主电压上升率
(电路换向)关断时间	$t_q$	外部使主电路转换动作后,从主电流下降至零值瞬间起,到晶闸管能承受规定的断态电压而不致过零开通止的时间间隔

## 2. 普通整流管的应用数据

表 13-6 普通整流管的额定值和特性参数

额定值 <sup>1)</sup>			特性参数 <sup>2)</sup> (上限值)				
正向平均 电流 $I_{FAV}$ (A)	正向浪涌电流 $I_{FSM}$ (A)		$I^2t$ (A <sup>2</sup> ·s)	反向重复 峰值电压 $U_{RRM}$ (V)	正向峰 值电压 $U_{FM}$ (V)	反向重复 峰值电流 $I_{RRM}$ (mA)	结壳热阻 $R_{JC}$ (C/W)
	L	H					
1	1.6	19	1.8	25~1600	≤1.6	≤1	≤12
3	4.7	56	15	50~2000	≤1.5	≤2	≤3.0
5	7.9	90	40	160	≤1.5	≤2	≤1.0
10	16	150	180	480	≤1.5	≤3	≤2.0
20	31	380	720	1600	≤1.6	≤10	≤1.4
30	47	560	1600	2800	≤1.8	≤20	≤1.0
50	79	940	5000	7300	≤1.8	≤20	≤0.5
100	160	$1.4 \times 10^3$	$0.1 \times 10^5$	$0.21 \times 10^5$	≤2.0	≤30	≤0.30
200	310	$2.6 \times 10^3$	$0.4 \times 10^5$	$0.8 \times 10^5$	≤2.0	≤40	≤0.20
300	470	$4.2 \times 10^3$	$0.9 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5$	≤2.0	≤40	≤0.11
500	830	$5.6 \times 10^3$	$1.6 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$	≤2.0	≤50	≤0.095
700	1100	$7.0 \times 10^3$	$2.5 \times 10^5$	$4.1 \times 10^5$	≤2.0	≤50	≤0.058
1000	1600	$8.4 \times 10^3$	$3.5 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$	≤2.0	≤50	≤0.055
1500	2300	$11 \times 10^3$	$6.0 \times 10^5$	$11 \times 10^5$	≤2.0	≤60	≤0.042
2000	3100	$14 \times 10^3$	$9.8 \times 10^5$	$18 \times 10^5$	≤2.0	≤60	≤0.031
3000	4700	$17 \times 10^3$	$1.5 \times 10^6$	$26 \times 10^5$	≤2.0	≤65	≤0.028
5000	8500	$23 \times 10^3$	$2.6 \times 10^6$	$35 \times 10^5$	≤2.0	≤80	≤0.021

1) 额定值中,  $I_{FAV}$ 、 $I_{FSM}$ 、 $I^2t$  对应的壳温  $T_C$ 、紧固力矩  $F-L$  和紧固距离  $F$  和重量  $W$  由制造商给出; 工作结温  $T_J$  为  $-40 \sim +150^\circ\text{C}$ ;  $I_{RRM}$  限于  $t_{RR}$  称为额定结温或最高工作结温; 贮存温度  $T_{stg}$  为  $-40 \sim +150^\circ\text{C}$ ; 反向不重复峰值电压  $U_{RRM}$  可按下列关系得到:  $U_{RRM} = I_{RRM} R_{JC}$

2) 均按  $I_{RRM}$ 、 $I^2t$  为  $I_{FSM}$  正弦波底宽 10ms 的积分值; L 对应于下限值, H 对应于上限值, H 对应于上限值, H 在特殊需要时给出。

### 3. 普通晶闸管的应用数据

表 13-7 普通晶闸管

通态平均 电 流	通态方均 根 电 流	浪涌电流		$I^2t$	
$I_{T(AV)}$	$I_{T(RMS)}$	$I_{TSM}$		$I^2t$	
(A)	(A)	(A)		$(A^2 \cdot s)$	
		L	H	L	H
1	1.6	13	19	0.85	1.8
3	4.7	38	56	7.2	15
5	7.9	64	90	20	40
10	16	130	190	85	180
20	31	240	380	280	720
30	47	300	560	720	1600
50	79	640	940	2000	5000
100	160	$1.3 \times 10^3$	$1.9 \times 10^3$	$8.5 \times 10^3$	$18 \times 10^3$
200	310	$2.5 \times 10^3$	$3.8 \times 10^3$	$31 \times 10^3$	$72 \times 10^3$
300	470	$3.8 \times 10^3$	$5.6 \times 10^3$	$0.7 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5$
400	630	$5.0 \times 10^3$	$7.5 \times 10^3$	$1.3 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$
500	790	$6.4 \times 10^3$	$9.4 \times 10^3$	$2.1 \times 10^5$	$4.4 \times 10^5$
600	940	$7.6 \times 10^3$	$11 \times 10^3$	$2.9 \times 10^5$	$6.0 \times 10^5$
800	1300	$10 \times 10^3$	$15 \times 10^3$	$5.0 \times 10^5$	$11 \times 10^5$
1000	1600	$13 \times 10^3$	$19 \times 10^3$	$8.5 \times 10^5$	$18 \times 10^5$

- 注:1.  $I_{T(AV)}$ 对应的壳温 $T_c$ 、紧固力矩 $F-L$ 和紧固压力 $F$ (允差为上10%)、  
 2.  $I^2t$ 为 $I_{TSM}$ 正弦波底宽10ms的积分值。  
 3.  $P_{SM}$ 、 $I_{FSM}$ 、 $U_{FSM}$ 三参数对同一晶闸管不能同时满足,按测试方法只能  
 4. 工作结温上限( $T_{jm}$ )称为最高工作结温或额定结温。  
 5. 断态不重复峰值电压 $U_{DSM}$ 和反向不重复峰值电压 $U_{RSM}$ 可分别按下列关系  
 6.  $di/dt$ 项中,A--25、B--50、C--100、D--150、E--200、F--300、G  
 7. L对应于下限值;H对应于上限值。

### 的额定值

断态重复 峰值电压	反向重复 峰值电压	工作 温度	贮存 温度	通态电流临 界上升率	门极反 向峰值 电 压	门极正 向峰值 电 压	门极正 向峰值 电 流	门极峰 值功率	门极平 均功率
$U_{DRM}$	$U_{RRM}$	$T_j$	$T_{stg}$	$di/dt$	$U_{RCM}$	$U_{FCM}$	$I_{FCM}$	$P_{GM}$	$P_{GMV}$
(V)	(V)	(°C)	(°C)	(A/μs)	(V)	(V)	(A)	(W)	(W)
50~1600	50~1600	-40~ +100	-40~ -125		5	6			
100~2000	100~2000			5	10				
100~2000	100~2000			5	10				
100~2000	100~2000			5	10				
100~2000	100~2000			5	10				
100~2400	100~2400			5	10				
100~2400	100~2400			5	10	A, B	5	10	1
100~3000	100~3000	-40~ +125	-10~ -140	A, B, C	5	10	2	8	2
100~3000	100~3000			B, C,	5	10	3	5	3
100~3000	100~3000			D, E	5	16	3	15	3
100~3000	100~3000			B, C,	5	16	3	15	3
100~3000	100~3000			D, E,	5	16	4	20	4
100~3000	100~3000			F	5	16	4	20	4
100~3000	100~3000			B, C, D,	5	16	4	20	4
100~3000	100~3000			E, F, G	5	16	4	20	4

重量  $W$  由制造厂给出。

满足三者之一。

得到,  $U_{DRM} = 90\%U_{DSM}$ ,  $U_{RRM} = 90\%U_{RSM}$ ,  
=500, 都为下限值。

#### 4. 常用电力半导体电桥模块的应用数据

表 13.8 国产常用电力半导体电桥模块型号和规格

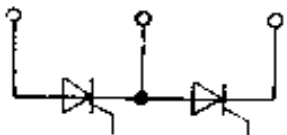
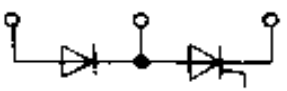

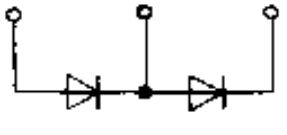
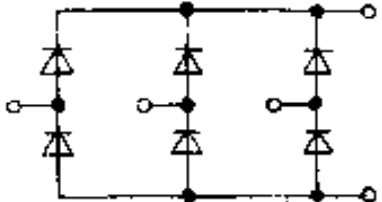
型 号	规 格	
<p>MTC 系列晶闸管/ 晶闸管桥臂模块</p> 	25A 40A 55A 70A 90A 110A 130A 160A	200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V
<p>MFC (A) 共阳</p>  <p>MFC (C) 共阴</p>  <p>晶闸管/整流管 桥臂模块</p>	25A 40A 55A 70A 90A 110A 130A 160A	200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V
<p>MDC 系列整流管 桥臂模块</p> 	25A 40A 55A 70A 90A 110A 130A 160A	200~2200V 200~2200V 200~2200V 200~2200V 200~2200V 200~1800V 200~1800V
<p>DF 系列三相桥式 整流模块</p> 	20A 30A 40A 60A	200~1800V 200~1800V 200~1800V 200~1800V
<p>触发模块</p>	三相半控桥移相式触发模块 MKJZ3 三相全控桥移相式触发模块 MKJZ6	

表 13-9 日本产常用电力半导体电桥模块型号和规格

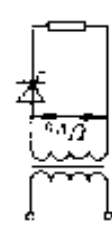
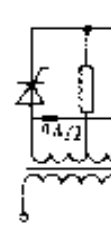


类别	型号	规格
二极管整流模块	DF30AA120	1200V 30A, 三相全波整流, 绝缘式
	DF30AA160	1600V 30A, 三相全波整流, 绝缘式
	DF40AA160	1600V 40A, 三相全波整流, 绝缘式
	DF60AA120	1200V 60A, 三相全波整流, 绝缘式
	DF60AA160	1600V 60A, 三相全波整流, 绝缘式
	6RI100G-120	1200V 100A, 三相全波整流, 绝缘式
	6RI100G--160	1600V 100A, 三相全波整流, 绝缘式
	DD110F120	1200V 110A, 两个二极管串联, 绝缘式
	DD110F160	1600V 110A, 两个二极管串联, 绝缘式
晶闸管模块	PK55F120	1200V 55A, 两个晶闸管串联, 绝缘式
	PK55F160	1600V 55A, 两个晶闸管串联, 绝缘式
	PK110F120	1200V 110A, 两个晶闸管串联, 绝缘式
	PK110F160	1600V 110A, 两个晶闸管串联, 绝缘式
光耦晶闸管	MOC3021	可移项式 1A 100V
	MOC3061	过零触发式 1A 600V
	MOC3041	过零触发式 1A 400V
	MOC3081	过零触发式 1A 800V
达林顿晶体管	MJ10012	10A 400V 175W NPN
	MJ10021	60A 250V 250W NPN
	MJ10016	50A 500V 250W NPN
	MJ10023	40A 400V 250W NPN



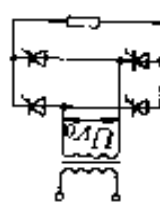
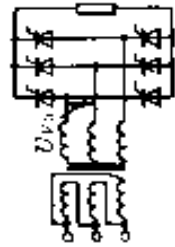
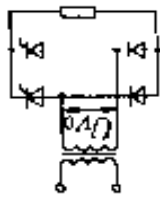
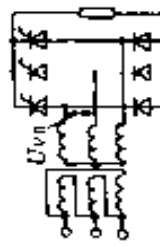
### 三、电力半导体变流电路

#### 1. 常用整流电路的联结方式和电流量关系

表 13-10 常用整流电路的联结方式和电流量关系

序号	电联结名称	联结方式	负载性质 $L_d = \infty$ $L_d = 0$	臂电流			臂的反向 工作峰值 电压 $U_{ARM}$	变压器电压		变压器电流	
				平均值 $I_{d(AV)}$	方均根值 $I_{d(RMS)}$	最大值 $I_{dM}$		网侧 $U_{UV} = K_{UV} U_{d0}$	网侧 $U_L = \frac{U_{d0}}{K_{UL}}$	网侧 $I_V = K_{IV} I_d$	网侧 $I_I = K_{II} I_d$
1	单相半波		$L_d = \infty$	$I_d$	$1.57I_d$	$3.14I_d$	$3.14U_{d0}$	$\frac{U_{d0}}{0.45}$	$\frac{U_{d0}}{0.45} K$	$1.57I_d$	$1.21 \frac{I_d}{K}$
2	单相带 中线(单相 全波)		$L_d = \infty$	$\frac{I_d}{2}$	$0.707I_d$	$I_d$	$3.14U_{d0}$	$\frac{U_{d0}}{0.45}$	$\frac{U_{d0}}{0.45} K$	$0.707I_d$	$1.7 \frac{I_d}{K}$
			$L_d = 0$	$\frac{I_d}{2}$	$0.785I_d$	$1.57I_d$					$0.785I_d$
3	三相 中线		$L_d = \infty$	$\frac{I_d}{3}$	$0.577I_d$	$I_d$	$2.09U_{d0}$	$\frac{U_{d0}}{0.675}$	$\frac{U_{d0}}{0.675} K$	$0.577I_d$	$0.472 \frac{I_d}{K}$
			$L_d = 0$	$\frac{I_d}{3}$	$0.58I_d$	$1.21I_d$					$0.58I_d$
4	双 星 带 平衡 电 抗器		$L_d = \infty$	$\frac{I_d}{5}$	$0.289I_d$	$\frac{I_d}{2}$	$2.09U_{d0}$	$\frac{U_{d0}}{0.675}$	$\frac{U_{d0}}{0.675} K$	$0.289I_d$	$0.408 \frac{I_d}{K}$
			$L_d = 0$	$\frac{I_d}{5}$	$0.293I_d$	$0.605I_d$	$(2.42U_{d0})$				

(续)

序号	电联结名称	联结方式	负载性质	臂电流			臂的反向工作峰值电压 $U_{ARM}$	变压器电压		变压器电流	
				平均值 $I_{A(AV)}$	方均根值 $I_{A(RMS)}$	最大值 $I_{AM}$		阀侧 $U_{d0} = \frac{U_{d00}}{K_{TV}}$	网侧 $U_L = \frac{U_{d00}}{K_{UL}}$	阀侧 $I_V = K_{IV} I_d$	网侧 $I_L = K_{IL} I_d$
5	单相桥		$I_{d0} = \infty$	$\frac{I_d}{2}$	$0.707I_d$	$I_d$	$1.57U_{d00}$	$\frac{U_{d00}}{0.9}$	$\frac{U_{d00}K}{0.9}$	$I_d$	$\frac{I_d}{K}$
			$I_{d0} = 0$	$\frac{I_d}{3}$	$0.785I_d$	$1.57I_d$		$\frac{U_{d00}}{1.35}$	$\frac{U_{d00}K}{1.35}$	$1.11I_d$	$1.11\frac{I_d}{K}$
6	三相桥		$I_{d0} = \infty$	$\frac{I_d}{3}$	$0.577I_d$	$I_d$	$1.05U_{d00}$	$\frac{U_{d00}}{1.35}$	$\frac{U_{d00}K}{1.35}$	$0.816I_d$	$0.816\frac{I_d}{K}$
			$I_{d0} = 0$	$\frac{I_d}{2}$	$0.58I_d$	$1.05I_d$		$\frac{U_{d00}}{0.9}$	$\frac{U_{d00}K}{0.9}$	$I_d$	$\frac{I_d}{K}$
7	单相半控桥		$I_{d0} = \infty$	$\frac{I_d}{2}$	$0.707I_d$	$I_d$	$1.57U_{d00}$	$\frac{U_{d00}}{0.9}$	$\frac{U_{d00}K}{0.9}$	$I_d$	$\frac{I_d}{K}$
			$I_{d0} = 0$	$\frac{I_d}{3}$	$0.785I_d$	$1.57I_d$		$\frac{U_{d00}}{1.35}$	$\frac{U_{d00}K}{1.35}$	$1.11I_d$	$1.11\frac{I_d}{K}$
8	三相半控桥		$I_{d0} = \infty$	$\frac{I_d}{3}$	$0.577I_d$	$I_d$	$1.05U_{d00}$	$\frac{U_{d00}}{1.35}$	$\frac{U_{d00}K}{1.35}$	$0.816I_d$	$0.816\frac{I_d}{K}$
			$I_{d0} = 0$	$\frac{I_d}{2}$	$0.58I_d$	$1.05I_d$		$\frac{U_{d00}}{0.9}$	$\frac{U_{d00}K}{0.9}$	$I_d$	$\frac{I_d}{K}$

(续)

序号	电联结名称	变压器容量			有相位控制时直流电压的计算 $\frac{U_{d10}}{U_{d0}}$	脉波数 $p$	功率因数 $\lambda(a=0)$ ⑤	变压器电抗电压降折算系数 $K$	谐波平均电流计算系数 $K_A$ ( $a=0$ )⑥
		阀侧 $S_V$	网侧 $S_L$	等值 $S_T$					
1	单相半波	3.49 $P_d$ ④	2.69 $P_d$	3.09 $P_d$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	—	—	1	
2	单相带中线(单相全波)	1.57 $P_d$	1.11 $P_d$	1.34 $P_d$	$\cos\alpha$	2	0.8 $\cos\alpha$	0.707	0.45
		1.74 $P_d$	1.23 $P_d$	1.48 $P_d$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$				0.5
3	三相带中线	1.48 $P_d$	1.21 $P_d$	1.35 $P_d$	$\cos\alpha$	3	0.826 $\cos\alpha$	0.866	0.367
		1.49 $P_d$	1.26 $P_d$	1.37 $P_d$	$\cos\alpha$ $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{5}; \cos\alpha$ $\frac{\pi}{6} \leq \alpha \leq \frac{5\pi}{6}; 0.577 \left( 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{5}\right) \right)$				0.374
4	双星形带平衡电抗器	1.48 $P_d$	1.05 $P_d$	1.26 $P_d$	$\cos\alpha$ $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}; \cos\alpha$ $\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}; 1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)$	6	0.955 $\cos\alpha$	0.7	0.184
		1.11 $P_d$	1.11 $P_d$	1.11 $P_d$	$\cos\alpha$				0.185
5	单相桥	1.23 $P_d$	1.23 $P_d$	1.23 $P_d$	$\frac{1+\cos\alpha}{2}$	2	0.900 $\cos\alpha$	0.707	0.45 0.5

(续)

序号	电联接名称	变压器容量			有相位控制时直流电压的计算 $\frac{U_{d10a}}{U_{d10}}$	脉波数 $p$	功率因数 $\lambda(\alpha=0) \leq$	变压器电抗电压降折算系数 $K_c$	通态平均电流计算系数 $K_A$ ( $\alpha=0) \leq$
		阀侧 $N_V$	网侧 $S_L$	等值 $S_T$					
6	三相桥	1.05 $P_d$	1.05 $P_d$	1.05 $P_d$	$\cos\alpha$	6	0.955 $\cos\alpha$	0.5	0.367
					$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}; \cos\alpha$ $\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}; 1 - \cos(\alpha - \frac{\pi}{3})$				
7	单相半控	1.11 $P_d$	1.11 $P_d$	1.11 $P_d$	$\frac{1 - \cos\alpha}{2}$	2	$0.450(1 - \cos\alpha)$ $\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	0.707	0.45
		1.23 $P_d$	1.23 $P_d$	1.23 $P_d$	$\alpha \leq \frac{\pi}{3}$ $0.47(1 + \cos\alpha)$ $\alpha \geq \frac{\pi}{3}$ $0.39(1 + \cos\alpha)$				
					$\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$				
8	三相半桥	1.05 $P_d$	1.05 $P_d$	1.05 $P_d$	$\frac{1 + \cos\alpha}{2}$	6	$0.450(1 - \cos\alpha)$ $\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	0.5	0.367
					$\alpha \leq \frac{\pi}{3}$ $0.47(1 + \cos\alpha)$ $\alpha \geq \frac{\pi}{3}$ $0.39(1 + \cos\alpha)$				

注:当整流器采用半波电抗器时,器件电流接近矩形波,因此在一般计算中,对采用半波电抗器的整流器,取对应于  $L_d = \infty$  的数值;对不用半波电抗器的整流器,取对应于  $L_d = 0$  的数值。

包括序中的数值,对应于平衡电抗器失去整流作用(相当于空载或轻载)时的反向工作峰值电压的计算关系。

①  $N_V$  网侧电压  $U_{V0}$ /控制电压  $U_{c0}$ 。

②  $P_d = I_d U_{d0}$

③  $\alpha$  为重叠角。

④  $\alpha$  为延迟角。

## 2. 各种整流电路联结型式的特点和选择

表 13 11 各种整流电路联结型式和选择

电联结型式 比较项目	单相带中线 (单相全波)	单相桥	三相带中线	三相桥	双星形带平衡电抗器	双三相桥带平衡电抗器
变压器利用率	差 (0.75)	较好 (0.9)	差 (0.74)	好 (0.95)	一般 (0.79)	好 (0.97)
直流侧电压的脉动情况	较大	较大	一般	较小	较小	小
网侧电流波形畸变(畸变因数)	一般 (0.9)	一般 (0.9)	严重 (0.827)	较小 (0.955)	较小 (0.955)	小 (0.985)
元件电流量利用率(导电时间)	好 (180°)	好 (180°)	较好 (120°)	较好 (120°)	较好 (120°)	较好 (120°)
适用的电压、电流或容量范围	$U_d \leq 50V$ $P_d \leq 5kW$ 必须采用单相电源时例外	$U_d \leq 230V$ $P_d \leq 10kW$ 必须采用单相电源时例外	$U_d \leq 50V$ $P_d \leq 10kW$	$U_d \geq 250V$ (大容量) $U_d \geq 50V$ (中、小容量)	$U_d \leq 400V$ (大容量) $U_d \leq 100V$ (中容量)	$U_d \geq 400V$ $P_d \geq 2000kW$ (传动设备) $I_d \geq 12500A$ (电解设备)
典型用途和说明	低电压小容量充电设备	干线牵引,小容量直流传动类设备	由于三相带中线联结存在直流磁通,常用三相曲折带中线联结代替,所以一般不推荐使用	电解电源;10kW以上传动设备;直流牵引站电源;中频电源和电压在上述范围内的各种用途的电源设备	电解、电镀类和其他低电压、大电流设备	大容量电解、传动类和船用设备

### 3. 常用逆变器的电路参数

表 13-12 常用逆变器的电路参数

电路型式	上回路接线图	晶闸管上最大电压①	最大负载电压	晶闸管平均电流/电源电流	负载直流分量	负载率调节范围	输出电压波形
并联逆变器		$2.0E$	$E$ ②	0.5	无	宽	与负载有关
串联逆变器		$2.0E$	$E$	1	无	宽	正弦波
串联电感串联逆变器		$E$	$E$	0.5	无	宽	方波
桥式并联逆变器		$E$	$E$	0.5	无	宽	方波

(续)

电路型式	主回路接线图	晶闸管最大电流	最大负载电压	晶闸管平均电流/电源电流	负载电流分量	负载率调节范围	输出电压波形
中心抽头串联逆变器		$E$	$0.5E$	$0.5$	无	宽	方波
三相半波逆变器		$E$	$E$ ①	$0.33$	无	宽	方波
三相桥式串联逆变器		$E$	$E$ ①	$0.33$	无	宽	方波

①忽略由于换流产生的电压尖峰。

②采用 1:1:1 变压器。

③采用 1:1 变压器。

④线电压。

#### 4. 常用的触发线路

表 13-13 常用的触发线路

类型	简图	原理	特点和应用范围
阻容移相 触发线路		调节电阻 $R$ 的值进行移相, 以适当的控制角触发晶闸管	简单价廉, 仅用于对精度要求不高的场合
单晶管 触发线路		调节电阻 $R$ , 改变单结晶体管的导通时间, 通过电容器向脉冲变压器放电时间的改变, 输出所需要的控制信号	线路简单, 输出脉冲较窄, 功率较小, 适用于小功率晶闸管
锯齿波触 发线路		由锯齿波发生器发出锯齿波, 与控制信号比较后, 输出一定宽度的脉冲到脉冲变压器发出控制信号	精度较高, 加上封锁和偏移线路, 可适用于可逆变流器
集成电路 触发线路		由运算放大器滤波积分放大器变为三角波, 比较后经脉冲变压器输出触发脉冲	精度高, 适用性广, 线路简单, 易于制造和调试



## 第十四章 电线电缆

### 一、裸导线

#### 1. 常用裸电线的型号、特性和用途

表 14-1 常用裸电线的型号、特性和用途

类别	名称	型号	特 性	用 途
圆 线	硬圆铜线	TY	硬线的抗拉强度大,软线的延伸率高,半硬线介于两者之间	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
	软圆铜线	TR		
	硬圆铝线	LY		
	半硬圆铝线	LYB		
	软圆铝线	LR		
绞 线	铝绞线	LJ	导电性能、机械性能良好,钢芯铝绞线比铝绞线拉断力大1倍左右	用于高、低压架空电力线路
	钢芯铝绞线	LGJ		
型 线	硬扁铜线	TBY	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	铜、铝扁线主要用于制造电机、电器的线圈。铝母线主要作汇流排用
	软扁铜线	TBR		
	硬扁铝线	LBY		
	半硬扁铝线	LBBY		
	软扁铝线	LBR		
	硬铝母线	LMY		
	软铝母线	LMR		
软 接 线	铜电刷线	TS	柔软、耐振动,耐弯曲	用作电刷连接线
		TSX		
		TSR		
		TSXR		
	铜软绞线	TJR	柔软	用作引出线、接地线、整流器和晶闸管的引出线等
	软铜编织线	QC	柔软	用作汽车、拖拉机蓄电池连接线

## 2. 常用单线技术数据

表 14-2 圆铜线及圆铝线的主要技术参数

项目	圆 铜 线			圆 铝 线				
	软 TR	硬 TY	特硬 TYT	软 LR	硬 LY4	硬 LY6	硬 LY8	硬 LY9
直径范围 (mm)	0.02~ 14.00	0.02~ 14.00	1.50~ 5.00	0.30~ 10.00	0.30~ 6.00	0.3~ 10.00	0.30~ 5.00	1.25~ 5.00
抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> )	不要求	421~271	446~408	最大 98	95~125	125~165	160~205	200~259
电阻率(20℃) (Ω·mm <sup>2</sup> /m) 不大于	0.01724	0.01796~0.01777		0.02800	0.028264	0.028264	0.028264	0.028264
电阻温度系数 (1/℃)	0.00393	0.00377~0.00381		0.00407	0.00403	0.00403	0.00403	0.00403
弹性模量 (N/mm <sup>2</sup> )	—	117000	117000		64000	64000	64000	65700
线胀系数 (1/℃)	—	17× 10 <sup>-6</sup>	17× 10 <sup>-6</sup>	23× 10 <sup>-6</sup>	23× 10 <sup>-6</sup>	23× 10 <sup>-6</sup>	23× 10 <sup>-6</sup>	23× 10 <sup>-6</sup>
密度 (kg/dm <sup>3</sup> )	8.89	8.89	8.89	2.703	2.703	2.703	2.703	2.703

表 14-3 铝合金线的主要技术参数

项 目	热处理型 (LHA) (LHB)		耐热型	高耐 热型	特耐 热型	高导电 耐热型	高强度 耐热型
抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> )不小于	294	157	157	157	159	157	225~255
伸长率(%)不小于	4	2.0	2.0	2.0	—	2.0	1.4~2.0
电阻率(20℃)(Ω·mm <sup>2</sup> /m) 不大于	0.0328	0.029726	0.029726	0.029726	0.029726	0.028735	0.031347
电阻温度系数(1/℃)	0.0036	0.0039	0.0039	0.0039	—	0.0040	0.0036
弹性模量(N/mm <sup>2</sup> )	65700						
线胀系数(1/℃)	23×10 <sup>-6</sup>						
密度(kg/dm <sup>3</sup> )	2.70						
使用温度: 长期(℃)	90	150	150	200	230	150	150
短期(℃)	120	180	180	230	310	180	180

表 14-4 铜包钢线及铝包钢线的主要技术参数

项 目	铜包钢线 GT	铝包钢线	
		GL	GGI.(高强度)
直径范围(mm)	1.20~6.00	2.80~1.40	3.80~1.40
抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> )不小于	637~735	690~900	766~1076
伸长率(%)不小于	—	1.5	1.5
扭转次数(次)不小于	7	16	16
密度(kg/dm <sup>3</sup> )	~8.17	4.24~4.96	4.16~4.96

表 14-5 铜扁线及铝扁线的主要技术参数

项 目	铜扁线			铝扁线			
	软 TBR	硬 TBY1	硬 TBY2	软 LBR	硬 LBY2	硬 LBY4	硬 LBY8
抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> )	不大于 275	245~373	275~373	60~95	75~115	95~140	130
伸长率(%)不小于	30~36	1.5~3.00	0.4~1.7	20	6	4	3
电阻率(20℃) (Ω·mm <sup>2</sup> /m)不大于	0.017241	0.01777	0.01777	0.02800	0.028264	0.028264	0.028261

### 3. 常用绞线的技术数据

#### (1) LJ 铝绞线的结构及其主要技术参数

表 14-6 铝绞线的结构及其主要技术参数

标称截 面积 (mm <sup>2</sup> )	结构 根数/直径 (mm)	外径 (mm)	计算拉断力 (N)	计算重量 (kg/km)	直流电阻(20℃) (Ω/km)不大于	计算载流量(A)		
						70℃	80℃	90℃
16	7/1.70	5.10	2840	4.35	1.802	81	100	112
25	7/2.15	6.45	4355	69.6	1.127	112	133	151
35	7/2.50	7.50	5760	94.1	0.8332	135	161	183
50	7/3.00	9.00	7930	135.5	0.5786	168	202	230
70	7/3.60	10.80	10950	195.1	0.4018	210	253	289
95	7/4.16	12.48	14450	260.5	0.3009	250	304	347
120	19/2.85	14.25	19420	333.5	0.2373	289	353	405
150	19/3.15	15.75	23310	407.4	0.1943	327	400	460
185	19/3.50	17.50	28440	503.0	0.1574	371	456	526
210	19/3.75	18.75	32260	577.4	0.1371	403	497	574
240	19/4.00	20.00	36260	656.9	0.1205	435	538	622
300	37/3.20	22.40	46850	820.4	0.09689	496	617	715
400	37/3.70	25.90	61150	1097	0.07247	588	738	859
500	37/4.16	29.12	76370	1387	0.05733	674	852	995
630	61/3.63	32.67	91940	1744	0.04577	768	977	1145
800	61/4.10	36.90	115900	2225	0.03588	880	1129	1328

注:载流量是按环境温度 40℃、风速 0.5m/s、日照强度 1000W/m<sup>2</sup> 的条件计算的。

(2)L.GJ 钢芯铝绞线的结构及其主要技术参数

表 14-7 钢芯铝绞线的结构及其主要技术参数

标称截面积 (mm <sup>2</sup> ) 铝/钢	结构 根数/直径(mm)		外径 (mm)	计算 拉断力 (N)	计算重量 (kg/km)	直流电阻 (Ω·km) (20℃)	计算载流量(A)		
	铝	钢					70℃	80℃	90℃
10/2	6/1.50	1/1.50	4.50	1120	12.9	2.706	66	78	87
16/3	6/1.85	1/1.85	5.55	6130	65.2	1.779	85	100	113
25/4	6/2.32	1/2.32	6.96	9290	102.6	1.131	111	131	149
35/6	6/2.72	1/2.72	8.16	12630	141.0	0.823	134	158	180
50/8	6/3.20	1/3.20	9.60	16870	195.1	0.5946	161	191	218
50/30	12/2.32	7/2.32	11.60	12626	372.0	0.5692	166	195	218
70/10	6/3.80	1/3.80	11.40	23390	275.2	0.4217	194	232	266
70/40	12/2.72	7/2.72	13.60	58300	511.3	0.4141	196	230	257
95/15	26/2.15	7/1.67	13.61	35000	380.8	0.3058	252	306	351
95/20	7/4.16	7/1.85	13.87	37200	408.9	0.3019	233	277	319
95/55	12/3.20	7/3.20	16.00	78110	707.7	0.2992	230	270	301
120/7	18/2.90	1/2.90	14.50	27570	379.0	0.2122	287	350	401
120/20	26/2.38	7/1.85	15.07	41000	466.8	0.2496	285	348	399
120/25	7/4.72	7/2.10	15.74	47880	526.6	0.2345	265	315	365
120/70	12/3.60	7/3.60	18.00	98370	895.6	0.2364	258	301	335
150/8	18/3.20	1/3.20	16.00	32860	461.4	0.1989	323	396	451
150/20	24/2.78	7/1.85	16.67	46630	549.4	0.1980	326	400	451
150/25	26/2.70	7/2.10	17.10	54110	601.0	0.1939	331	407	469
150/35	30/2.50	7/2.50	17.50	65020	676.2	0.1962	331	407	469
185/10	18/3.60	1/3.60	18.00	40880	584.0	0.1572	372	458	528
185/25	24/3.15	7/2.10	18.90	50420	705.1	0.1542	379	468	540
185/30	26/2.98	7/2.32	18.88	64320	732.6	0.1592	373	460	531
185/45	30/2.80	7/2.80	19.60	80190	848.2	0.1564	379	469	541
210/10	18/3.80	1/3.80	19.00	45140	650.7	0.1411	397	490	565
210/25	24/3.33	7/2.22	19.98	65990	789.1	0.1380	405	501	579
210/35	26/3.22	7/2.50	20.38	74250	853.9	0.1363	409	507	586
210/50	30/2.98	7/2.98	20.86	90830	960.8	0.1381	409	507	586
240/30	24/3.60	7/2.40	21.60	75620	922.2	0.1191	445	552	639
240/40	26/3.42	7/2.66	21.66	83370	964.3	0.1209	440	546	633
240/55	30/3.20	7/3.20	22.40	102100	1108	0.1198	445	554	641
300/15	42/3.00	7/1.67	23.01	68060	939.8	0.09724	495	615	711
300/20	45/2.93	7/1.95	23.43	75680	1002	0.09520	502	624	722
300/25	48/2.85	7/2.22	23.76	83410	1058	0.09433	505	628	726
300/40	24/3.99	7/2.66	23.94	92220	1133	0.09614	503	628	728
300/50	26/3.83	7/2.98	24.26	103400	1210	0.09636	504	629	730
300/70	30/3.60	7/3.60	25.20	128000	1402	0.09463	512	641	745
400/20	42/3.51	7/1.95	26.91	88850	1286	0.07104	595	745	864
400/25	45/3.33	7/2.22	26.64	95940	1295	0.07370	584	730	845
400/35	48/3.22	7/2.50	26.82	103500	1349	0.07389	583	730	844
400/50	54/3.07	7/3.07	27.63	123400	1511	0.07232	592	741	857
400/65	26/4.42	7/3.44	28.00	135200	1611	0.07236	597	752	876
400/95	30/4.16	19/2.50	29.14	171300	1860	0.07087	608	767	895

(续)

标称截面积 (mm <sup>2</sup> ) 铝/钢	结构 根数/直径(mm)		外径 (mm)	计算 拉断力 (N)	计算重量 (kg/km)	直流电阻 (Ω/km) (20℃)	计算载流量(A)		
	铝	钢					70℃	80℃	90℃
500/35	45/3.75	7/2.50	30.00	119500	1642	0.05812	670	842	977
500/45	48/3.60	7/2.80	30.00	128100	1688	0.05912	664	831	967
500/65	51/3.44	7/3.44	30.96	154000	1897	0.05760	676	850	983
630/45	45/4.20	7/2.80	33.60	148700	2060	0.04633	763	964	1120
630/55	48/4.12	7/3.20	34.32	164100	2209	0.04514	775	979	1136
630/80	54/3.87	19/2.32	34.82	192900	2388	0.04551	774	977	1131
800/55	45/4.80	7/3.20	38.40	191500	2690	0.03547	887	1126	1310
800/70	48/4.63	7/3.60	38.58	207000	2791	0.03571	884	1121	1301
800/100	54/4.33	19/2.60	38.98	241100	2991	0.03635	878	1113	1288
1400/135	88/4.50	19/3.00	51.00	329500	4962	0.02138	1272	1563	1808

注:载流量是按环境温度40℃、风速0.5m/s、日照强度1000W/m<sup>2</sup>的条件计算的。

### (3) 大跨越及母线用钢芯铝合金绞线的技术参数

表 14-8 大跨越及母线用钢芯铝合金绞线的主要技术参数

项 目		LHGJ	LHGJ-	LHGJ-	LHGJ
		380/230 型	410/95 型	440/200 型	1410/120 型
结构 根数/直径(mm)	铝合金	50/3.10	30/4.17	42/3.64	84/4.67
	钢 芯	37/2.80	19/2.50	37/2.60	19/2.80
截面积(mm <sup>2</sup> )	铝合金	377.4	409.7	437.1	1438.8
	钢 芯	227.8	93.3	196.5	117.0
外径(mm)		32.0	29.18	32.76	51.36
拉断力(平均值)(kN)		116.3	235.3	401.1	334.9
弹性模量(N/mm <sup>2</sup> )		89100	78100	79600	71700
线胀系数(10 <sup>-6</sup> /℃)		15.5	17.1	16.4	—
弧垂特性①(km)		11.74	11.82	14.7	6.99
载流量(A)		870(90℃)	830(90℃)	860~910 (90℃)	2820(150℃)

①用导线拉断力与其单位长度重量之比来表征。

## 4. 常用型线的技术数据

表 14-9 钢铝电车线的主要技术参数①

型 号	尺 寸		直流电阻(20℃) (Ω/km)不大于	拉断力(N) 不小于	计算重量 (kg/km)	制造长度 (m)
	高度 A (mm)	宽度 B (mm)				
GLC-120/55	16.7	13.2	0.246	34320	744	600~3500
GLC-150/79	16.5	19.6	0.184	39230	925	600~3000
GLC-160/70	17.5	20.0	0.184	44130	965	600~3000

①沪 Q/JB1047-83《钢铝电车线》。

表 14-10 铝合金电车线的主要技术参数①

型号	尺寸		抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> ) 不小于	伸长率 (%) 不小于	电阻率(20℃) (Ω·mm <sup>2</sup> /m) 不大于	计算重量 (kg/km)	制造长度 (m)
	宽度 A (mm)	高度 B (mm)					
LHC-130	13.9	13.16	255	4	0.328	350	1500
LHC-170	15.5	15.27	255	4	0.328	460	1500
LHC-200	16.7	16.70	255	4	0.328	540	1500

①鄂 Q/W864—81《铝镁硅稀土合金电车线》。

表 14-11 铜、铝母线的型号、名称及其主要技术参数

型号	名称	抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> ) 不小于	伸长率 (%) 不小于	布氏硬度 (HB) 不小于	电阻率(20℃) (Ω·mm <sup>2</sup> /m) 不大于	电阻温度系数 (20℃) (1/℃)
TMR	软铜母线	205	35	—	0.017241	0.00393
TMY	硬铜母线	—	—	65	0.01777	0.00381
LMR	软铝母线	68.6	20	—	0.028264	0.00407
LMY	硬铝母线	118	3	—	0.02990	0.00403

## 5. 架空导线的主要性能参数

### (1) 不同结构导线的技术参数

表 14-12 不同结构导线的技术参数

型号	结构		弹性模量 (N/mm <sup>2</sup> )	线胀系数 (×10 <sup>-6</sup> ) (1/℃)	重量系数		直流电阻 系数 γ	交直流电阻比 β
	铝	钢			W <sub>L</sub>	W <sub>g</sub>		
LJ	7	—	59000	23	7.091	—	0.1447	1.0001~1.0006
	19	—	56000	23	19.34	—	0.05357	1.0010~1.0039
LHJ	37	—	56000	23	37.74	—	0.02757	1.0060~1.0171
	61	—	54000	23	62.35	—	0.01676	1.0266~1.0428
LGJ	6	1	79000	19.1	6.091	1.000	0.1692	1.0199~1.1142
	7	7	76000	18.5	7.117	7.032	0.1452	1.2525~1.3258
	12	7	105000	15.3	12.26	7.032	0.08514	1.2254~1.5364
	18	1	66000	21.2	18.34	1.000	0.05660	1.0008~1.0022
	24	7	73000	19.6	24.50	7.032	0.04253	1.0008~1.0034
LHGJ	26	7	76000	18.9	26.56	7.032	0.03928	1.0003~1.0053
	30	7	80000	17.8	30.67	7.032	0.03408	1.0006~1.0025
	30	19	78000	18.0	30.67	19.15	0.03408	~1.0045
	42	7	61000	21.4	42.90	7.032	0.02432	1.0122~1.0205
	48	7	63000	20.3	45.38	7.032	0.02271	1.0112~1.0696
	48	7	65000	20.5	49.06	7.032	0.02129	1.0160~1.0735
	54	7	69000	19.3	55.23	7.032	0.01894	1.0275~1.0391
	54	19	67000	19.4	55.23	19.15	0.01894	1.0351~1.0773

①LJ 对应于 70℃, LGJ 对应于 80℃时的交流电阻。截面越大, 载流越高, β 值也越大。

(2) 架空导线长期允许载流量 当导线外径为 4.5~55.0mm, 导线温度在 120℃ 以下时, 可按下列式计算:

$$I = \sqrt{\frac{0.92\theta(vD)^{0.485} + \pi\epsilon\sigma D[(273+\theta)^4 - t_0^4] - a_s I_s D}{\beta R_t}} \quad (A)$$

- 式中  $\theta$  —— 导线的温升(℃);  
 $v$  —— 风速(一般用 0.5m/s);  
 $D$  —— 导线外径(m);  
 $\epsilon$  —— 表面辐射散热系数; 新线: 0.23~0.43, 半新线: 0.5, 发黑旧线: 0.90~0.95;  
 $\sigma$  —— 斯忒藩-玻耳兹曼常数( $5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2$ );  
 $t_0$  —— 环境温度(℃);  
 $a_s$  —— 表面吸热系数: 新线 0.35~0.46, 半新线 0.5, 旧线 0.90~0.95;  
 $I_s$  —— 日照强度( $850 \sim 1050 \text{W/m}^2$ );  
 $R_t$  ——  $t$ ℃ 时的直流电阻( $\Omega/\text{m}$ );  
 $\beta$  —— 交直流电阻比, 见表 14-12。

## 二、电力电缆

### 1. 常用电力电缆的品种及型号

表 14-13 电力电缆的品种及型号

绝缘类型	电缆名称	电压等级 (kV)	最高长期工 作温度 (℃)	代表产品型号
油浸纸绝缘 电缆	1. 普通粘性浸渍电缆 统包型 分相铅(铝)包型	1~35	1~3kV 80	ZLL, ZL, ZLQ, ZQ ZLUF, ZLQF, ZQF
		6kV	60	
		10kV	60	
	20~35kV	50		
2. 不滴流电缆 统包型 分相铅(铝)包型	1~35	1~6kV 80	ZLQD, ZQD, ZLLD, ZLD ZLLFD, ZLFD, ZLQFD, ZQFD	
	10kV	70		
	20~35kV	65		
塑料绝缘 电缆	3. 聚氯乙烯电缆	1~10	70	VLV, VV
	4. 聚乙烯电缆	6~220	70	YLV, YV
	5. 交联聚乙烯电缆	6~220	90	YJLV, YJV
橡皮绝缘 电缆	6. 天然丁苯橡皮电缆	0.5~6	60	XLQ, XQ, XLV, XV, XLHF, XLF
	7. 乙丙橡皮电缆	1~138	80~85	
	8. 丁基橡皮电缆	1~35	80	

## 2. 电力电缆的载流量

### (1) 电缆长期允许载流量

$$I = \sqrt{\frac{\theta - \theta_a - W_d \left[ \frac{1}{2} R_{T1} + n(R_{T2} + R_{T3} + R_{T4}) \right]}{r \{ R_{T1} + n[(1 + \lambda_1) R_{T2} + (1 + \lambda_1 + \lambda_2)(R_{T3} + R_{T4})] \}}} \quad (A)$$

- 式中
- $\theta$  —— 电缆最高长期工作温度(C)；
  - $\theta_a$  —— 环境温度(C)；
  - $W_d$  —— 每厘米电缆每相的介质损耗(W/cm)；
  - $\lambda_1, \lambda_2$  —— 电缆金属护套及铠装层的损耗系数；
  - $R_{T1}, R_{T2}, R_{T3}, R_{T4}$  —— 每厘米电缆的绝缘热阻、衬垫热阻、外被层及外部热阻(C · cm/W)；
  - $n$  —— 电缆的芯数；
  - $r$  —— 每厘米电缆的导线交流电阻( $\Omega/cm$ )。

### (2) 常用三芯电力电缆长期允许载流量

表 14-14 三芯电力电缆长期允许载流量 (A)

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	6kV 聚氯乙烯绝缘 聚氯乙烯护套电缆 (VV, VLV 型)		10kV 油浸纸绝缘 铅包电力电缆(ZQ3, ZLQ3, ZQ 20, ZLQ 30等)		10kV 交联聚乙烯 绝缘电缆 (YJV, YJLV 等)	
	在空气中敷设	直埋敷设	在空气中敷设	直埋敷设	在空气中敷设	直埋敷设
10	55(42)	58(44)	7			
16	73(56)	76(58)	75(60)	75(60)	121(94)	118(92)
25	96(74)	98(75)	100(80)	100(75)	158(123)	151(117)
35	118(90)	121(93)	125(95)	120(95)	190(147)	180(140)
50	146(112)	148(114)	155(120)	150(115)	231(180)	217(169)
70	177(136)	177(136)	190(145)	180(140)	280(218)	260(202)
95	218(167)	213(164)	230(180)	215(165)	335(261)	307(240)
120	251(194)	243(187)	265(205)	245(185)	388(303)	348(270)
150	292(224)	278(213)	305(235)	280(215)	445(347)	394(304)
185	333(257)	312(241)	355(270)	315(240)	504(394)	444(344)
240	392(301)	359(278)	420(320)	365(280)	587(461)	

- 注: 1. 导线工作温度为 80℃, 环境温度为 25℃。  
 2. 土壤热阻系数为 120℃ · Ω · cm。  
 3. 括号中的载流量系指铝芯线。



(3) 电力电缆在各种条件下的载流量校正系数

表 14-15 环境温度变化时电缆载流量的校正系数  $k_1$

导体工作 温度(°C)	环 境 温 度 (°C)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	1.17	1.13	1.09	1.04	1.0	0.954	0.905	0.853	0.798
65	1.22	1.17	1.12	1.06	1.0	0.935	0.865	0.791	0.707
60	1.25	1.20	1.13	1.07	1.0	0.926	0.845	0.756	0.655
50	1.31	1.26	1.18	1.09	1.0	0.895	0.775	0.633	0.447


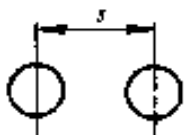
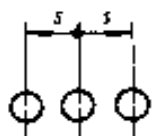
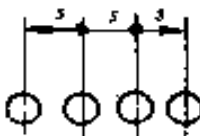
注：环境温度变化时，载流量的校正系数也可按下式计算：

$$\text{校正系数} = \left( \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

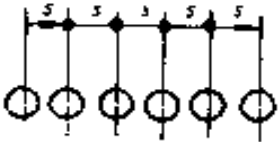
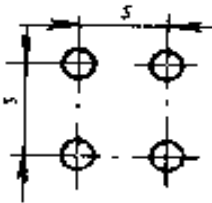
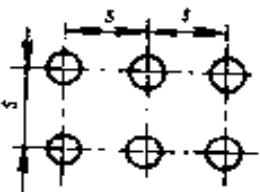
式中  $\Delta\theta_1$  ——导体工作温度与载流量表中规定的环境温度之间的温差(°C)；

$\Delta\theta_2$  ——导体工作温度与实际环境温度之间的温差(°C)。

表 14-16 空气中并列敷设时电缆载流量的校正系数  $k_2$

并列根数	并列方式	电缆中心距离		
		$s=d$	$s=2d$	$s=3d$
1		1.0	1.0	1.0
2		0.9	1.0	1.0
3		0.85	0.98	1.0
4		0.82	0.95	0.98

(续)

并列根数	并列方式	电缆中心距离		
		$s=d$	$s=2d$	$s=3d$
6		0.80	0.90	0.96
4		0.80	0.90	1.0
6		0.75	0.90	0.96

注:本表系相同外径的电缆并列敷设时的载流量校正系数。 $d$ 为电缆的外径,当并列敷设的电缆外径不同时, $d$ 值建议取各电缆外径的平均值。

表 14-17 土壤热阻系数不同时载流量的校正系数  $k_3$

导体截面积 (mm <sup>2</sup> )	土壤热阻系数(C·cm/W)				
	60	80	120	160	200
2.5~16	1.06	1.0	0.9	0.83	0.77
25~95	1.08	1.0	0.88	0.80	0.73
120~240	1.09	1.0	0.86	0.78	0.71

注:土壤热阻系数划分为:潮湿地区(指沿海、湖、河畔地区、雨量多地区,如华东、华南地区等),取 60~80;普通土壤(指一般平原地区,如东北、华北等),取 120;干燥土壤(指高原地区、雨量少的山区、丘陵等干燥地带),取 160~200。

表 14-18 电缆直埋土壤中多根并列敷设时载流量的校正系数  $k_d$

电缆间净距 (mm)	并 列 根 数											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1.00	0.90	0.85	0.80	0.78	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69
200	1.00	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.77
300	1.00	0.93	0.90	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83

### 三、电气装备用电线电缆

#### 1. 移动式通用橡套电缆

##### (1) 主要参数

表 14-19 移动式通用橡套电缆主要参数

项 目	YQ、 YQW (轻型)	YZ、 YZW (中型)	YC、YCW (重型)			
	150/750					
额定电压(V)	300/300	300/300				
芯数	2,3	2,3,4,5	1	2	3,4	5
标称截面积(mm <sup>2</sup> )	0.3~0.5	0.75~6	1.5~400	1.5~95	1.5~150	1.5~25
平均外径上限(mm)	6.6~7.6	6.0~16.5	7.2~46.5	11.5~50.5	12.5~74	15.5~41

##### (2) 电缆载流量

表 14-20 移动式通用橡套电缆载流量①

(A)

标称截面积 (mm <sup>2</sup> )	YQ、YQW		YZ、YZW			YC、YCW			
	二芯	三芯	二芯	三芯	四芯	一芯	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	35	47	39	34	31

(续)

主截面积 (mm <sup>2</sup> )	YQ, YQW		YZ, YZW			YC, YCW			
	二芯	三芯	二芯	三芯	四芯	二芯	三芯	三芯	四芯
6	—	—	53	45	15	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

①线芯长期工作温度 65℃, 环境温度 25℃。

## 2. 控制电缆

表 14-21 控制电缆主要参数

型 号	截面积(mm <sup>2</sup> )	芯数	电压(V)	特 点
KYY, KYV	0.5~1.5	2~61	600/1000 或 300/500	抗静电干扰
	2.5	2~37		
	4	4~11		
KYYP, KYYP2 KYVP, KYVP2	6~10	4~10		
KYYP1, KYVP1	0.5~2.5	4~7	300/500	抗静电干扰
KY22, KY23	0.5~10	4~61	600/1000 或 300/500	抗机械力, 抗磁干扰
KY32, KYY30, KY33	0.5~10	6~61	600/1000 或 300/500	
KYP <sub>2</sub> 32, KYP <sub>2</sub> 33	0.5~10	6~61	600/1000 或 300/500	抗机械力, 抗电磁干扰
KLYV	2.5~10	4~37	600/1000 或 300/500	铝芯
KLY22	1~10	4~14	600/1000 或 300/500	铝芯, 抗机械力
KYY, KYV KYYP, KYYP2, KYVP KYVP2	0.5~0.75	2~48 对	150/250	对绞式, 抗干扰
	1, 1.5	2~14 对		对绞式, 屏蔽较好, 抗干扰

(续)

型号	截面积(mm <sup>2</sup> )	芯数	电压(V)	特点
KVY, KVV	0.5~1.5	2~61	600/1000	一般场合用
KVYP1, KVVP1	0.5~1.5	4~7	300/500	抗静电干扰
KVY, KVV	0.5, 0.75	2~48 对	600/1000 或 300/500	对绞式, 抗干扰性一般
KVYP, KVYP2 KVVP, KVVP2	1, 1.5	2~24 对		对绞式屏蔽, 抗干扰性较好
KXV, KXF KXQ, KXQ02, KXQ03	0.5~1.5	2~61	600/1000 或 300/500	柔软, 耐油 抗机械力, 抗静电干扰
	2.5	2~37		
	4	4~14		
	6~10	4~10		
KXQ22, KXQ23 KXQ30	0.5~10	4~61	600/1000 或 300/500	抗机械力, 抗电磁干扰
	0.5~10	6~61		
KX22, KX23	0.5~10	4~61	300/500	抗机械力

### 3. 建筑安装用电线电缆

#### (1) 塑料布电线

表 14-22 塑料布电线参数

型号	额定电压 (V)	芯数	截面积 (mm <sup>2</sup> )	外径 (mm)	导体电阻 20(Ω/km)	工作温度 (℃)	特点
BV	500/350 750/450	1	0.5~1 1.5~400	2.4~3.0 3.3~33	36~18.1 12.1~0.047	70	塑料绝缘
BVP	300/300	1	0.12~2.5	2.0~4.8	144.1~7.41	70	屏蔽
BLV	750/450	1	2.5~400	3.9~33	11.8~4.91	70	铝芯
BVR	750/450	1	2.5~70	4.2~16.5	7.41~0.268	70	柔软线芯
BVV	500/300	2, 3, 4, 5	1.5~35	4.8~27.5	12.1~0.524	70	塑料护套
				(2芯)	(2芯)		
				12~35.5	4.61~0.524		
BVVB	500/300	1, 2, 3	0.75~10	4.6×7.0	21.1~1.83	70	同上, 平型
				~9.6×16.0			
BLVVB	500/300	1, 2, 3	2.5~10	6.2×9.8	7.41~1.83	70	同上, 铝芯
				~9.6×16.0			
BV-105	750/450	1	0.5~6	2.7~4.9	36.0~3.08	105	耐高温

表 14-23 单芯布电线空气敷设载流量 (A)

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	橡皮绝缘		塑料绝缘	
	Cu	Al	Cu	Al
0.75	18	--	16	--
1	21	--	19	--
1.5	27	19	24	18
2	--	--	--	--
2.5	35	27	32	25
4	45	35	42	32
6	58	45	55	42
10	85	65	75	59
16	110	85	105	80
25	145	110	138	105
35	180	138	170	130
50	230	175	215	165
70	285	220	265	205
95	345	265	325	230
120	400	310	375	285
150	470	360	430	325
185	540	420	490	380
240	660	510	--	--
300	770	610	--	--
400	940	730	--	--
500	1100	850	--	--
630	1250	980	--	--

注:导线工作温度:65℃,环境温度:25℃,适用电线型号:BX、BLX、BXF、BLXF、BV、BLV、BVR。

表 14-24 聚氯乙烯绝缘软线和护套电线空气敷设载流量 (A)

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	一芯		二芯		三芯	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
0.12	5	--	4	--	3	--
0.2	7	--	5.5	--	4	--
0.3	9	--	7	--	5	--
0.4	11	--	8.5	--	6	--
0.5	12.5	--	9.5	--	7	--
0.75	16	--	12.5	--	9	--
1	19	--	15	--	11	--
1.5	24	--	19	--	14	--
2	28	--	22	--	17	--
2.5	32	25	26	20	20	16
4	42	34	36	26	26	22
6	55	43	47	33	32	25
10	75	59	65	51	52	40

注:导线工作温度:65℃,环境温度:25℃,适用电线型号:RV、RVV、RVB、RVS、BFB、RFS、BVV、BLVV。

表 14-25 穿管载流量 (A)

导线 截面积 (mm <sup>2</sup> )	三铜芯						三铝芯						四铝芯								
	铁管		塑料管		铁管		塑料管		铁管		塑料管		铁管		塑料管		铁管		塑料管		
	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	X	V	
1	15	14	13	12	—	—	11	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	
1.5	20	19	17	16	15	14	13	12	11.5	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	—	
2.5	28	26	25	24	21	20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
4	37	35	33	31	28	27	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
6	49	47	43	41	37	35	33	31	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
10	68	65	59	56	52	49	44	42	40	38	36	34	32	31	30	29	28	27	26	25	24
16	86	82	76	72	66	63	58	55	52	49	46	44	42	41	40	38	37	36	35	34	33
25	113	107	100	95	86	80	77	73	68	65	63	61	59	58	57	56	55	54	53	52	51
35	140	133	125	120	108	100	95	90	85	81	77	75	73	72	71	70	69	68	67	66	65
50	175	165	160	150	133	125	120	114	110	105	102	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
70	215	205	195	185	165	153	153	145	143	137	135	134	133	132	131	130	129	128	127	126	125
95	260	252	240	230	200	190	184	175	173	167	165	164	163	162	161	160	159	158	157	156	155
120	300	290	275	270	230	220	210	200	200	195	193	192	191	190	189	188	187	186	185	184	183
150	340	330	320	305	270	250	250	230	240	235	233	232	231	230	229	228	227	226	225	224	223
185	385	380	360	355	325	285	282	265	310	305	303	302	301	300	299	298	297	296	295	294	293

注:1.X——橡皮线;V——塑料线。

2.导线工作温度:85℃,环境温度:25℃。

表 14 26 穿线配管参考表

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	配管内径(mm)					
	铁管穿线根数			塑料管穿线根数		
	2	3	4	2	3	4
1	16	16	16	15	15	15
1.5	16	16	20	15	15	15
2.5	16	20	20	15	15	20
4	16	20	25	15	20	25
6	20	20	25	20	20	25
10	25	25	32	25	25	32
16	25	32	32	25	32	32
25	32	40	40	32	40	40
35	40	40	50	40	40	50
50	40	50	50	40	50	50
70	40	50	50	40	50	50
95	50	70	70	50	70	70
120	50	70	80	50	70	80
150	50	70	80	50	70	80
185	—	—	—	—	—	—

(2) 电梯电缆

表 14-27 电梯电缆选用参数

型号	额定电压 (V)	标称截面积 (mm <sup>2</sup> )	芯数	最大外径 (mm)	计算重量 (kg/km)	线芯直流电阻 (Ω/km)
YT	250	0.75	24	22.2	495	25.3
			30	24.0	623	25.3
YTF	250	0.75	42	26.0	755	25.3
YTK	500	1	8	17.3	292	18.4
			18	22.1	551	18.4
YTFK	500	1	24	26.0	685	18.4



#### 4. 电机引接线

表 14-28 电机引接线型号与规格

产品名称	型号	额定电压 (V)	配套产品 耐温等级	截面积 (mm <sup>2</sup> )	外径 (mm)
丁腈护套引接线	JBQ	500,1140	B	0.2~120	3.5~23.2
丁腈聚氯乙烯复合物绝缘引接线	JBF	500	B	0.03~50	1.1~14.7
氯磺聚乙烯绝缘引接线	JBYP	500,1140,6000	B	0.5~120	3.4~26.0
橡皮绝缘氯丁护套引接线	JBHF	6000	B	6~120	13.8~28
乙丙橡皮绝缘电机引接线	JEF	500,1140,6000	F	0.75~120	
乙丙橡皮绝缘电机引接线	JEFM	500,1140,6000	F	0.75~120	—
乙丙橡皮绝缘电机引接线	JFYH	500, 1000, 1140, 3000, 6000	F	0.2~120	2.6~33.7
硅橡皮绝缘电机引接线	JHXC	500 ( 1500, 3000,6000)	H	0.75~240	—

注：括号内为特制规格。

# 第十五章 发 电

## 一、水力发电

### 1. 水力发电一般公式

(1) 水力发电站的输出功率(见图 15-1) :

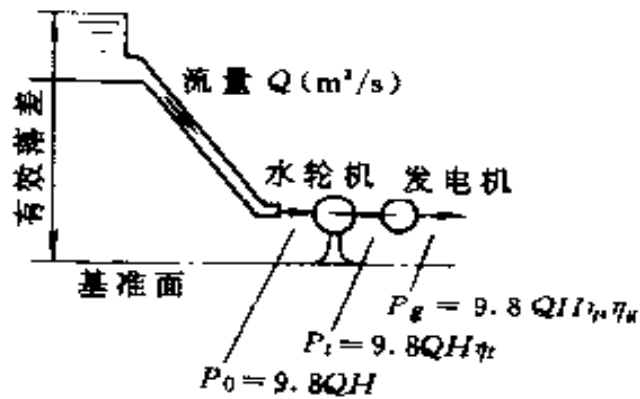


图 15-1 水力发电站的输出功率

理论功率

$$P_0 = 9.8QH \quad (\text{kW})$$

水轮机输出功率

$$P_i = 9.8QH\eta_t \quad (\text{kW})$$

发电机输出功率

$$P_e = 9.8QH\eta_t\eta_g = 9.8QH\eta \quad (\text{kW})$$

式中  $Q$  —— 流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$H$  ——有效落差(m);

$\eta_i$  ——水轮机效率;

$\eta_g$  ——发电机效率;

$\eta$  ——水轮机、发电机的总效率,  $\eta = \eta_i \eta_g$ 。

发电  $1\text{kW} \cdot \text{h}$  的需水量

$$V = \frac{3600}{9.8H\eta_i\eta_g} \quad (\text{m}^3)$$

由贮水量算出的发电量

$$W = \frac{9.8H\eta_i\eta_g V}{3600} \quad (\text{kW})$$

式中  $V$  ——贮水量( $\text{m}^3$ )。

(2)调节池的容量(见图 15-2)

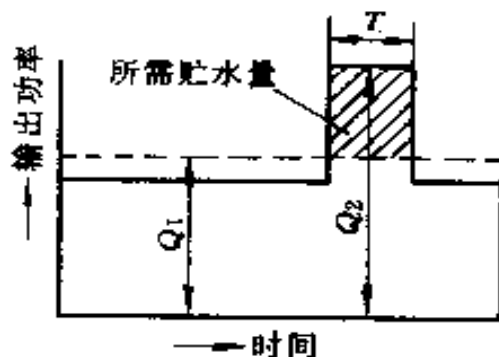


图 15-2 调节池的容量

$$V = 3600(Q_2 - Q_1)T = \frac{3600W}{9.8H\eta} = \frac{3600(P_2 - P_1)}{9.8H\eta} \quad (\text{m}^3)$$

式中  $W$  ——用调节池的有效贮水量发出的电能量( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );

$Q_2$  ——高峰负荷时的流量( $\text{m}^3$ );

$P_2$  ——高峰负荷时的输出功率( $\text{kW}$ );

- $Q_1$  ——平均负荷时的流量( $m^3$ );
- $P_1$  ——平均负荷时的输出功率(kW);
- $\eta$  ——总效率;
- $T$  ——高峰负荷持续时间(h);
- $H$  ——有效落差(m)。

### (3)扬水发电站所需功率

#### 1)扬水泵用电动机所需功率

$$P = \frac{9.8Q(H+h)}{\eta_p \eta_m} = \frac{9.8QH'}{\eta} \quad (\text{kW})$$

- 式中  $Q$  ——扬水量( $m^3/s$ );
- $H'$  ——有效扬程,  $H' =$  实际落差  $H +$  损失水头  $h$ ;
- $\eta_p$  ——扬水泵效率;
- $\eta_m$  ——扬水电动机效率。

#### 2)扬水电能

$$W = \frac{9.8VH'}{3600\eta_p \eta_m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h})$$

式中  $V$  ——扬水总水量( $m^3$ )。

#### (4)各种水头

##### 1)位置水头

$$H_1 = h \quad (\text{m})$$

式中  $h$  ——相对基准面的高度(m)。

##### 2)压力水头

$$H_2 = \frac{P}{\gamma g} = \frac{P}{1000g} \quad (\text{m})$$

- 式中  $P$  ——水压(Pa);
- $\gamma$  ——水的密度,  $\gamma = 1000\text{kg}/m^3$ ;
- $g$  ——重力加速度,  $g = 9.8\text{m}/s^2$ 。

##### 3)速度水头

$$H_3 = \frac{v^2}{2g} \quad (\text{m})$$

式中  $v$  ——该点的流速( $m/s$ )。

(5)伯努利定理(见图 15-3)

$$h + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = H_0 = \text{常数}$$

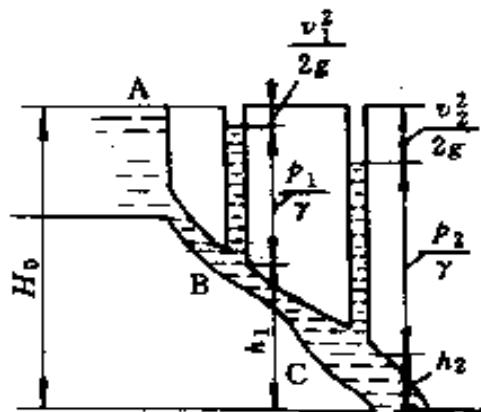


图 15 3 伯努利定理

(6)摩擦损失水头

$$h = \lambda \frac{lv^2}{d2g} \quad (\text{m})$$

式中  $\lambda$  ——摩擦系数;  
 $d$  ——管道内径(m);  
 $l$  ——管道长度(m);  
 $v$  ——流速(m/s)。

(7)比托管 利用比托管 A(动压)和 B(静压)的水头差  $h$ (m)计算流速

$$v = C \sqrt{2gh} \quad (\text{m/s})$$

式中  $C$  ——由比托管形状决定的系数,  $C \approx 0.98$ 。

(8)水锤作用引起的水压变化

喷出速度

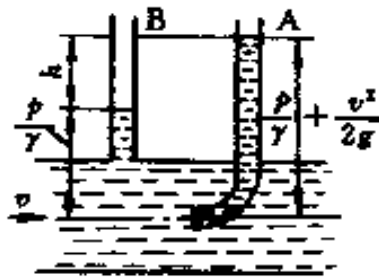


图 15-4 比托管

$$v = \sqrt{2gH} \quad (\text{m/s})$$

喷出流量

$$Q = Av = A \sqrt{2gH} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

(9) 压力水管

1) 压力水管的内径

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (\text{m})$$

式中  $Q$  —— 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$v$  —— 流速 ( $\text{m/s}$ )。

2) 压力水管的厚度

$$t = \frac{PDf}{2G_0\eta}$$

式中  $D$  —— 压力水管内径 ( $\text{m}$ );

$P$  —— 最大设计水压 ( $\text{Pa}$ );

$G_0$  —— 管壁的最大抗拉强度 ( $\text{Pa}$ );

$\eta$  —— 联轴节效率;

$f$  —— 安全系数。

## 2. 小型水轮发电机组

### (1) 水轮机

#### 1) 水轮机型式及适用范围

表 15-1 水轮机型式及适用范围

型 式	适用水头 (m)	比速 (r/min)	适用范围	备 注	
反击式水轮机	混流式	10~350	70~400	运行稳定,效率较高,多用于中等水头(10~150m)和中等流量	
	轴流式	20~40	300~1000	过水能力大,适用于大流量低水头的水电站,运行稳定性较差,低负荷时效率低	结构上分定桨式和转桨式两种
	贯流式	0.5~16	700~800	过水能力大,流道通畅,水力损失较小,效率高,土建投资小,但密封止水与绝缘要求较高。适用于低水头大流量的水电站和潮汐电站	分全贯流式和半贯流式两种
冲击式水轮机	水斗式	80~800	≤35 (单喷嘴)	适用于高水头,小流量的水电站;多用于50m以上,流量1m <sup>3</sup> /s以下的水电站	又称切击式
	斜击式	20~300	25~80	与水斗式相比,转轮较简单,过水能力大,制造容易,使用流量比水斗式大些,但效率较低	
	双击式	5~80	30~150	结构简单、制造方便、成本较低,但效率比斜击式低	

#### 2) 小型水轮发电机系列型谱

表 15-2 小型水轮机系列型谱

转轴型号	机型	适用水头 (m)	最优单 位转速 (r/min)	最大设计 流量 (L/s)	模型汽蚀 系 数
ZD760, φ=+10°	轴流定桨	2~6	164	2300	1.44
ZD560, φ=+10°	轴流定桨	4~14	130	1600	0.65
HL310	混流	5~20	90.8	1470	0.36
HL260	混流	10~35	75	1280	0.28
HL220	混流	30~70	71	1140	
FIL160	混流	45~160	67	670	
HL110	混流	20~180	61.5	360	
HL100	混流	125~240	61.5	270	

## (2)发电机的选配

### 1)选配原则

①发电机的发电能力应与水轮机的出力相当,过大或过小均不能在最佳工况下运行,将影响经济效益。

②在一定的保证出力下,要验算水轮机转速,选择同步转速与水轮机转速相当的发电机。一般水轮机转速应等于或略大于发电机的同步转速。

③如果按①、②两项不能得到合适的发电机时,则应改用其他水轮机的机型,或采取径流调节(建水库)提高水头。

### 2)小型同步水轮发电机参数

表 15-3 SFW 系列水轮发电机

型 号	功率 (kW)	电压 (V)	电 流 (A)	功率 因数	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	转 速 (r/min)
SFW42.3/16-4	30	400	54.2	0.8	25	38	1500
SFW42.3/20.5-4	40	400	72.2	0.8	27	40	1500
SFW42.3/27.5-4	55	400	99.3	0.8	28	43	1500
SFW42.3/19-6	30	400	54.2	0.8	23	50	1000
SFW42.3/25-6	40	400	72.2	0.8	30	50	1000
SFW49.3/23-4	75	400	135.2	0.8	32	57	1500
SFW49.3/32-4	100	400	180.5	0.8	40	55	1500
SFW49.3/22-6	55	400	99.3	0.8	30	53	1000
SFW49.3/31-6	75	400	135.4	0.8	40	53	1000
SFW49.3/15-8	30	400	54.2	0.8	44	30	750
SFW49.3/19-8	40	400	72.2	0.8	37	44	750
SFW49.3/25-8	55	400	99.3	0.8	45	45	750
SFW59/27-6	100	400	180.5	0.8	22.2	113.5	1000
SFW59/34-6	125	400	222	0.8	25.6	113	1000
SFW59/41-6	160	400	288	0.8	30.2	114.5	1000
SFW59/27-8	75	400	135.4	0.8	22.35	112.6	750
SFW59/34-8	100	400	180.5	0.8	26.9	112.8	750
SFW59/41-8	125	400	225	0.8	31	113	750



表 15-4 SF 系列水轮发电机

型 号	功率 (kW)	电压 (V)	电流 (A)	功率 因数	励磁电压 (V)	励磁电流 (A)	转 速 (r/min)
SF42.3/16-4	30	400	54.2	0.8	25	38	1500
SF42.3/20.5-4	40	400	72.2	0.8	27	40	1500
SF42.3/27.5-4	55	400	99.3	0.8	28	43	1500
SF42.3/19-6	30	400	54.2	0.8	23	50	1000
SF42.3/25-6	40	400	72.2	0.8	30	50	1000
SF49.3/23-4	75	400	135.4	0.8	32	57	1500
SF49.3/32-4	100	400	180.5	0.8	40	55	1500
SF49.3/22-6	55	400	99.3	0.8	30	53	1000
SF49.3/31-6	75	400	135.4	0.8	40	53	1000
SF49.3/15-8	30	400	54.2	0.8	44	30	750
SF49.3/19-8	40	400	72.2	0.8	37	44	750
SF49.3/25-8	55	400	99.3	0.8	45	45	750
SF59/27-6	100	400	180.5	0.8	22.2	113.5	1000
SF59/34-6	125	400	226	0.8	25.6	113	1000

(3) 微型整装水轮发电机

1) 常用斜击式微型水轮发电机组

表 15-5 XJ13-L-10/3 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
10	0.0094	1500	0.67	JO2-11-4	1500	0.6
12	0.0104	1500	0.9	JO2-11-4	1500	0.6
14	0.0112	1500	1.13	JO2-12-4	1500	0.8
16	0.0120	1500	1.38	JO2-22-4	1500	1.5
18	0.0127	1500	1.64	JO2-22-4	1500	1.5
20	0.0135	1500	1.93	JO2-22-4	1500	1.5

表 15-6 XJ13-L-10/1×2.8 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
14	0.009	1500	0.84	JO2-12-4	1500	0.8
18	0.0102	1500	1.26	JO2-22-4	1500	1.5
22	0.0113	1500	1.69	JO2-22-4	1500	1.5
24	0.0118	1500	1.9	JO2-31-4	1500	2.2
26	0.0122	1500	2.12	JO2-31-4	1500	2.2
28	0.0127	1500	2.34	JO2-31-4	1500	2.2

表 15-7 XJ13-L-15/4.5 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
16	0.0272	1000	3.2	JO2-41-6	1000	3
20	0.0304	1000	4.5	JO2-42-6	1000	4
24	0.0333	1500	5.9	JO2-42-4	1500	5.5
28	0.036	1500	7.4	JO2-42-4	1500	5.5
30	0.0372	1500	8.2	JO2-51-4	1500	7.5
34	0.0396	1500	10	JO2-51-4	1500	7.5

表 15-8 XJ13-L-15/1×3.5 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
28	0.0216	1500	4.2	JO2-42-4	1500	5.5
				T2SS-5-4		5
32	0.0231	1500	5.31	JO2-42-4	1500	5.5
				T2SS-5-4		5
36	0.0246	1500	6.41	JO2-42-4	1500	5.5
				T2SS-5-4		5
40	0.0259	1500	7.52	JO2-42-4	1500	5.5
				T2SS-5-4		5
44	0.0272	1500	8.63	T2SS-8-4	1500	8
50	0.029	1500	10.26	T2SS-8-4	1500	8

表 15-9 XJ13-L-15/1×4.2 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
16	0.0216	1000	2.4	J02-32-6	1000	2.2
26	0.0275	1000	4.85	J02-41-6	1000	3
32	0.0305	1500	6.69	J02-42-4 T2SS-5-4	1500	5.5 5
38	0.0333	1500	8.86	T2SS-8-4	1500	8
44	0.0358	1500	11.02	T2SS-8-4	1500	8
50	0.0382	1500	13.21	T2SS-12-4	1500	12

表 15-10 XJ02-W-25/1×7 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
30	0.0753	1000	15.56	TSWN36.8/18-6	1000	18
40	0.087	1000	25.09	TSWN42.3/19-6	1000	26
45	0.0922	1000	29.67	TSWN42.3/19-6	1000	26
50	0.0972	1000	34.25	TSWN42.3/27-6	1000	40
60	0.1065	1000	43.13	TSWN42.3/27-6	1000	40
65	0.111	1000	47.78	TSWN49.3/25-6	1000	55

表 15-11 XJ02-W-32/1×7 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
50	0.116	1000	44.1	TSWN42.3/25-6	1000	40
60	0.127	1000	59.5	TSWN49.3/25-6	1000	55
70	0.137	1000	75	TSWN49.3/30-6	1000	75
80	0.147	1000	90.8	TSWN59/27-6	1000	100
90	0.155	1000	105.8	TSWN59/27-6	1000	100
100	0.164	1000	121.8	TSWN59/34-6	1000	125

表 15-12 XJ02-W-32/1×9 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
30	0.135	750	28.8	TSWN42.3/19-6	1000	26
40	0.155	750	44.8	TSWN49.3/25-8	750	40
50	0.174	750	61.1	TSWN49.3/30-8	750	55
70	0.206	1000	104.1	TSWN59/27-6	1000	100
80	0.220	1000	126	TSWN59/34-6	1000	125
100	0.246	1000	168.2	TSWN59/41-6	1000	160

2) 常用混流式微型水轮发电机

表 15-13 HL240-LJ-14 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
6	0.06	1500	2.7	T2SS-3-4	1500	3
7	0.064	1500	3.46	T2SS-3-4	1500	3
8	0.069	1500	4.21	T2SS-5-4	1500	5
9	0.073	1500	4.96	T2SS-5-4	1500	5
10	0.077	1500	5.73	T2SS-5-4	1500	5
11	0.081	1500	6.52	T2SS-5-4	1500	5

表 15-14 HL210-LJD-20 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
6	0.119	750	5.36		750	4.3
8	0.138	1000	8.30		1000	6.65
10	0.151	1000	11.60	TSWN36.8/12.5-6	1000	12
14	0.183	1500	19.25	TSWN36.8/14-4	1500	18
18	0.207	1500	28.10	TSWN36.8/20-4	1500	26

### 3) 常用微型贯流式水轮发电机

表 15-15 GD002-LM-20 型水轮机

水 轮 机				发 电 机		
水头 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	转速 (r/min)	出力 (kW)	型 号	转速 (r/min)	功率 (kW)
2	0.136	1500	1.95	JO2-22-4	1500	1.5
2.5	0.152	1500	2.72	JO2-31-4	1500	2.2
3	0.166	1500	3.56	JO2-32-4	1500	3
3.5	0.180	1500	4.5	JO2-41-4	1500	4
4.5	0.204	1500	6.82	JO2-42-4	1500	5.5
5	0.215	1500	7.69	JO2-42-4	1500	5.5

## 二、火力发电

### 1. 火力发电一般公式

#### (1) 基本公式

##### 1) 温度的换算

$$\theta = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

式中  $\theta$  ——摄氏温度(°C)；

$T_F$  ——华氏温度(F)；

$$T = \theta + 273$$

式中  $T$  ——绝对温度(K)。

##### 2) 绝对压力

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + 101.3 \text{ kPa}$$

##### 3) 燃料消耗量

$$W_f = \frac{3.6 \times 10^6 P_G t}{H \eta_p} \quad (\text{kg})$$

式中  $P_G$  ——发电机输出功率(kW)；

- $t$  ——发电时间(h);
- $H$  ——燃料的发热量(J/kg);
- $\eta_p$  ——发电端效率。

#### 4)发电端效率

$$\eta_p = \eta_B \eta_T \eta_G = \frac{3.6 \times 10^6 P_G}{BH} \times 100 \quad (\%)$$

- 式中  $B$  ——燃料消耗量,  $B = \frac{W_f}{h}$  (kg/h);
- $\eta_B$  ——锅炉效率;
  - $\eta_T$  —— 涡轮机室效率,  $\eta_T = \eta_c$  (循环热效率)  $\times \eta_h$  (涡轮效率);
  - $\eta_G$  ——发电机效率。

#### 5)输电端效率

$$\eta'_p = \eta_p (1 - L)$$

- 式中  $L$  ——发电站内的自用电比率。

#### 6)1kW·h的各量

##### ①汽耗率

$$Z_f = \frac{W_f H \eta_B}{WC} \quad (\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}))$$

- 式中  $W_f$  ——燃料消耗量(kg);
- $H$  ——燃料的发热量(J/kg);
  - $\eta_B$  ——锅炉效率;
  - $W$  ——发电量(kW·h);
  - $C$  ——产生1kg蒸汽所需热量(J/kg)。

##### ②热耗率

$$H_f = 2.256 \times 10^6 Z_f ev \quad (\text{J}/(\text{kW} \cdot \text{h}))$$

- 式中  $Z_f$  ——蒸汽消耗量(kg/kW·h);
- $ev$  ——蒸发系数。

##### ③燃料消耗率

$$W_f = \frac{C}{H} \quad (\text{kg}/(\text{kW} \cdot \text{h}))$$

- 式中  $C$  ——1kW·h所需热量(J/(kW·h));

$H$  —— 1kg 燃料的发热量(J/kg)。

## (2) 传热、蒸发

### 1) 传热面积

$$S = \frac{\omega Z_f}{N Q_f} \quad (\text{m}^2)$$

式中  $\omega$  —— 每小时发电量(kW·h/h)；  
 $Z_f$  —— 蒸汽消耗量[kg/(kW·h)]；  
 $N$  —— 锅炉台数；  
 $Q_f$  —— 平均蒸发率(每小时在单位面积上产生的蒸汽量)[kg/(m<sup>2</sup>·h)]。

### 2) 锅炉容量(蒸发量)

$$Q = S_h q_f \quad (\text{kg/h})$$

式中  $S_h$  —— 加热面积(m<sup>2</sup>)；  
 $q_f$  —— 蒸发率[kg/(m<sup>2</sup>·h)]。

### 3) 标准蒸发量

$$Q_0 = \frac{Q_e(i - i_0)}{2.256 \times 10^6} \quad (\text{kg/h})$$

式中  $Q_e$  —— 每小时蒸发量(kg/h)；  
 $i$  —— 发生蒸汽的焓(J/kg)；  
 $i_0$  —— 给水的焓(J/kg)。

### 4) 蒸发系数

$$e_v = \frac{Q_0}{Q_e} = \frac{i - i_0}{2.256 \times 10^6}$$

## 2. 小型火力发电机组

### (1) 柴油机功率计算

$$P_e = K S_F$$

$$K = \frac{k_1 k_2}{\eta_1} \left( \frac{1}{\eta_f} + \frac{1}{\eta_2 \eta_r} \times \frac{P_r}{P_F} \right)$$

式中  $P_e$  —— 电站所需柴油机功率(kW)；  
 $S_F$  —— 发电机容量(kW)；  
 $K$  —— 匹配比,按式计算；

- $P_r$  ——励磁机功率(kW);  
 $\eta_r$  ——发电机效率,按表 15-16 选取;  
 $\eta_l$  ——励磁机效率,一般取 0.7~0.8;  
 $\eta_1, \eta_2$  ——传动效率,直接传动为 1,皮带传动为 0.94~0.98,齿轮传动为 0.95~0.99;  
 $k_1$  ——储备系数,一般取 1.12~1.15,船用电站取 1;  
 $k_2$  ——改装系数,一般取 1.12~1.15。

表 15-16 不同容量的发电机效率

$P_r$ (kW)	$\leq 5$	5~20	20~75	75~1000	$> 1000$
$\eta_r$	0.7~0.8	0.8~0.85	0.85~0.90	0.90~0.95	0.95~0.98

当为他励时,  $\frac{P_r}{P_F} = 3\% \sim 5\%$ ; 自励时,  $\frac{P_r}{P_F} = 0$ 。

作初步估算时,匹配比  $K$  可按表 15-17 考虑。

表 15-17 各种电站匹配比范围

电站种类		功率标定	匹配比 $K$	允许海拔(m)
移动电站	$\leq 200\text{kW}$	12h	1.8~2.0	最高 1000~1500
	$> 200 \sim 1500\text{kW}$	12h	1.6~1.8	$\leq 1000$
固定电站 120~5000kW		12h 或持续	1.5~1.6	0~1000
船用电站		持续	1.5~1.6	$\approx 0$

(2)常用柴油发电机组技术数据 见表 15-18。

柴油机标定功率是在规定的大气状态(环境温度陆用为 20℃,船用为 30℃;压力为 101kPa;相对湿度为 60%)下的实发功率,当运行时的大气状态与此不符时,应进行修正。



表 15-18 柴油发电机组技术性能表

序号	柴油发电机组				柴油 机					
	型号	型式	功率 (kW)	电压 (V)	电流 (A)	型号	12h 功 率(kW)	转速 (r/min)	油耗率 (g/(kW·h))	启动方式
1	I-5A	整体固定式	5	400/230	9.02	285-1	7.5	1500	285	电启动
2	W-1-12	固定式	12	400/230	19.5	2105-1	15	1500	261	电启动
3	A244	移动式(有罩)	24	400/230	43.5	4110Y	45	1500	268	电启动
4	A304	移动式	30	400/230	43	4110Y	45	1500	268	电启动
5	GC50KH	滑行式	50	400/230	90.2	4135D-3	60	1500	235	电启动
6	GC75JK	滑行式	75	400/230	136	6135D-5	112	1500	235	电启动
7	SC120BG	滑行式	120	400/230	215	12V135D	179	1500	235	电启动
8	6250-D200kW-T	固定式	200	400	362	6250	224	600	235	压缩空气
9	6250Z-D300kW-T	固定式	300	400	578	6250Z	335	600	231	压缩空气
10	600kW	固定式	630	400	1137	6350Z	671	375	225	压缩空气

## 第十六章 电力网络

### 一、架空线路

#### 1. 架空线路的构成

##### (1) 架空线路的电杆

表 16-1 预应力圆锥形混凝土杆技术数据

长度 (m)	梢径 (mm)	壁厚 (mm)	配筋 根/直径(mm)	重量 (kg)	离杆顶(m)/允许弯矩 (N·m)	重心离杆顶距离 (m)
8	150	35	12/6+6/6	392	6.2/11760	4.42
8	190	40	16/6+8/10	590	6.0/28420	4.35
9	150	35	12/6+6/6	480	7.0/12740	5.02
10	150	35	12/6+6/6	600	8.2/13524	5.61
10	190	35	16/6+6/6	650	8.2/22148	5.51
11	150	35	12/6+6/6	610	9.0/14700	6.22
11	190	35	16/6+6/6	750	9.0/21560	6.10
13	190	35	18/6+6/7	980	11/25480	7.28
13	190	40	18/6+9/10	1120	10.4/35280	7.30
15	190	40	24/6+12/10	1250	12.4/51940	8.50
15	190	40	24/6+12/10 (25 锰硅)	1250	12.4/59094	8.50

(2) 架空线路的导线 见第十四章一节。

(3) 架空线路常用绝缘子 见第十一章十节。

(4) 架空线路的金具 金具是用来安装导线、横担、绝缘子及拉线的，常用的金具有半圆抱箍、扁铁垫块、U形抱箍、穿心螺栓、扁铁支撑、带凸抱箍、花篮螺丝、圆铁支撑等，如图 16-1 所示。

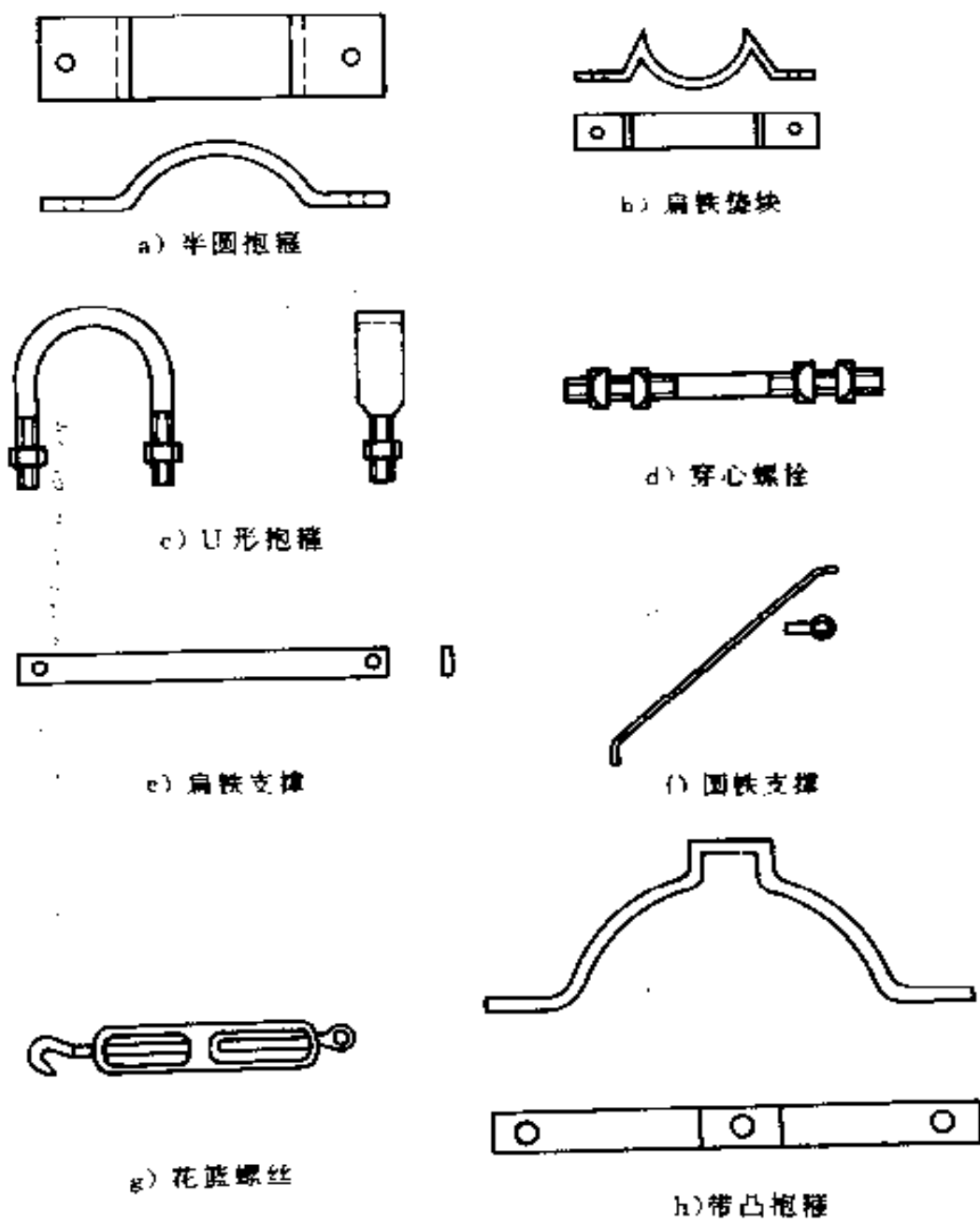


图 16-1 常用金具

## 2. 架空线路电气参数计算

### (1) 线路电阻和电抗

表 16-2 架空线路的电阻、电抗计算式

线路电阻计算式	线路电抗计算式
$R = r_0 L \quad (\Omega)$ $r_0 = \frac{\rho}{S} \quad (\Omega/\text{km})$	$X = x_0 L \quad (\Omega)$ $x_0 = 0.144 \lg \frac{\Delta D_p}{d} + 0.0157 \mu \quad (\Omega/\text{km})$
式中 $L$ —— 线路导线长度(km) $r_0$ —— 每公里导线的电阻( $\Omega/\text{km}$ ) $\rho$ —— 导线的计算电阻率( $\Omega \cdot \text{m}$ ) 通常,铜线取 $18.8 \Omega \cdot \text{m}$ ,铝 线取 $31.5 \Omega \cdot \text{m}$ $S$ —— 导线标称截面积( $\text{mm}^2$ )	式中 $D_p = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \quad (\text{m})$ $x_0$ —— 每公里导线的电抗( $\Omega/\text{km}$ ) $D_p$ —— 导线间的几何均距(m) $D_{12}, D_{23}, D_{31}$ —— 三相导线相间距离(m) $d$ —— 导线外径(mm) $\mu$ —— 导线的相对磁导率

表 16-3 LJ型铝绞线每公里电阻和电抗值

导线截面积 $S(\text{mm}^2)$	16	25	35	50	70	95	120	150	185
线路电阻 $r_0(\Omega/\text{km})$	1.98	1.27	0.91	0.63	0.45	0.33	0.27	0.21	0.17
导线计算直径 $d(\text{mm})$	5.1	6.3	7.5	9.0	10.6	12.5	14.0	15.8	17.5
几何均距(m)	电抗值 $x_0(\Omega/\text{km})$								
0.40	0.333	0.319	0.308	0.297	0.287	0.276	0.269	0.261	0.255
0.60	0.358	0.345	0.334	0.322	0.312	0.302	0.295	0.287	0.281
0.80	0.376	0.363	0.352	0.340	0.330	0.320	0.312	0.305	0.299
1.00	0.390	0.377	0.366	0.354	0.344	0.334	0.326	0.319	0.312
1.25	0.404	0.391	0.380	0.368	0.358	0.348	0.340	0.333	0.326
1.50	0.415	0.402	0.391	0.380	0.369	0.359	0.352	0.344	0.338

表 16-4 LGJ型钢芯铝绞线每公里电阻和电抗值

导线截面积 $S(\text{mm}^2)$	16	25	35	50	70	95	120	150	185
线路电阻 $r_0(\Omega/\text{km})$	2.04	1.38	0.85	0.65	0.46	0.33	0.27	0.21	0.17
导线计算直径 $d(\text{mm})$	5.4	6.6	8.4	9.9	11.7	13.7	15.2	17.0	19.0
几何均距(m)	电抗值 $x_0(\Omega/\text{km})$								
1.0	0.386	0.374	0.359	0.348	0.338	0.328	0.321	0.314	0.307
1.5	0.412	0.399	0.384	0.374	0.363	0.353	0.347	0.340	0.333
2.0	0.430	0.417	0.402	0.392	0.381	0.371	0.365	0.358	0.351
2.5	0.444	0.431	0.416	0.406	0.395	0.385	0.379	0.372	0.365
3.0	0.455	0.443	0.427	0.417	0.407	0.397	0.390	0.383	0.376

(2) 架空线路电压降计算

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \quad (\text{V})$$

∵  $R = r_0 L$ ,  $X = x_0 L$ ,  $Q = \text{tg}\varphi \times P$ , 代入上式

得

$$\Delta U = \frac{r_0 + x_0 \text{tg}\varphi}{U} PL = C_{\Delta U} PL$$

$$C_{\Delta U} = \frac{r_0 + x_0 \text{tg}\varphi}{U}$$

式中  $P, Q$  —— 线路的有功功率(kW)和无功功率(kvar);

$R, X$  —— 线路的电阻、电抗( $\Omega$ );

$U$  —— 线路电压(kV);

$C_{\Delta U}$  —— 电压损失系数[V/(kW·km)]。

表 16-5 是不同电压等级在不同功率因数时的电压损失系数值。

表 16-5 架空线路电压损失系数  $C_{\Delta U}$  [V/(kW·km)]

电压 (kV)	导线 型号	阻抗( $\Omega/\text{km}$ )		$\cos\varphi$ 等于下列数值时电压损失系数 $C_{\Delta U}$					
		电阻 $r_0$	电抗 $x_0$	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
0.38	LJ-16	1.98	0.376	5.53	5.68	5.82	5.95	6.08	6.21
	LJ-25	1.27	0.363	3.65	3.80	3.93	4.05	4.18	4.31
	LJ-35	0.91	0.352	2.69	2.84	2.96	3.08	3.21	3.33
	LJ-50	0.63	0.340	1.95	2.09	2.21	2.32	2.44	2.57
	LJ-70	0.45	0.330	1.46	1.66	1.72	1.83	1.94	2.07
	LJ-95	0.33	0.320	1.14	1.27	1.38	1.49	1.61	1.72
	LJ-120	0.27	0.312	0.97	1.10	1.21	1.32	1.43	1.54
6	LJ-25	1.27	0.377	0.232	0.242	0.250	0.258	0.267	0.275
	LJ-35	0.91	0.366	0.171	0.181	0.189	0.197	0.205	0.213
	LJ-50	0.63	0.354	0.124	0.133	0.141	0.149	0.156	0.165
	LJ-70	0.45	0.344	0.093	0.102	0.110	0.117	0.125	0.133
	LJ-95	0.33	0.334	0.073	0.081	0.089	0.096	0.104	0.111

(续)

电压 (kV)	导线 型号	阻抗(Ω/km)		cosφ等于下列数值时电压损失系数C <sub>ΔU</sub>					
		电阻 r <sub>0</sub>	电抗 x <sub>0</sub>	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
10	LGJ-25	1.38	0.374	0.150	0.156	0.161	0.166	0.170	0.176
	LGJ-35	0.85	0.359	0.096	0.102	0.107	0.111	0.116	0.121
	LGJ-50	0.65	0.348	0.076	0.081	0.086	0.091	0.095	0.100
	LGJ-70	0.46	0.338	0.056	0.061	0.065	0.070	0.074	0.079
	LGJ-95	0.33	0.328	0.043	0.048	0.053	0.057	0.061	0.066
35	LGJ-25	1.38	0.417	0.0433	0.0451	0.0468	0.0483	0.0499	0.0515
	LGJ-35	0.85	0.402	0.0280	0.0298	0.0314	0.0329	0.0343	0.0360
	LGJ-50	0.65	0.392	0.0222	0.0239	0.0255	0.0269	0.0284	0.0299
	LGJ-70	0.46	0.381	0.0167	0.0184	0.0198	0.0213	0.0227	0.0242
	LGJ-95	0.33	0.371	0.0129	0.0145	0.0160	0.0173	0.0187	0.0202

注:导线几何均距 0.38kV 时, D<sub>p</sub>=0.8m; 6~10kV 时, D<sub>p</sub>=1.0m; 35kV 时, D<sub>p</sub>=2.0m。

### (3) 架空线路的功率损失

#### 1) 有功功率损失的计算

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \times 10^3 = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} r_0 L \times 10^3 = C_{\Delta P} P^2 L \quad (\text{kW})$$

$$C_{\Delta P} = \frac{r_0}{U^2 \cos^2 \varphi} \times 10^3 \quad [\text{kW}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})]$$

式中 C<sub>ΔP</sub>——有功功率损失系数;

P——有功功率(MW);

U——线路电压(kV)。

#### 2) 无功功率损失的计算

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \times 10^3 = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} x_0 L \times 10^3 = C_{\Delta Q} P^2 L \quad (\text{kvar})$$

$$C_{\Delta Q} = \frac{x_0}{U^2 \cos^2 \varphi} \times 10^3 \quad [\text{kvar}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})]$$

式中 C<sub>ΔQ</sub>——无功功率损失系数。

表 16-6 为架空线路功率损失系数 C<sub>ΔP</sub>、C<sub>ΔQ</sub>值表。

表 16-6 架空线路功率

电压 (kV)	导线型号	$\cos\varphi$ 等于下列数值时					
		0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
		有功功率损失系数 $C_{\Delta P} \cdot 10^3 \text{ kW}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})$					
0.38	LJ-16	15.19	16.92	18.97	21.42	24.37	27.96
	LJ-25	9.74	10.85	12.17	13.74	15.63	17.94
	LJ-35	6.98	7.78	8.72	9.84	11.20	12.86
	LJ-50	4.83	5.38	6.03	6.81	7.75	8.90
	LJ-70	3.45	3.84	4.31	4.86	5.54	6.35
	LJ-95	2.53	2.82	3.16	3.57	4.06	4.66
	LJ-120	2.07	2.30	2.58	2.92	3.32	3.81
有功功率损失系数 $C_{\Delta P} \text{ (kW}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km}))$							
6	LJ-25	39.08	43.55	48.82	55.12	62.71	71.99
	LJ-35	28.00	31.20	34.98	39.49	44.93	51.58
	LJ-50	19.39	21.60	24.22	27.34	31.11	35.71
	LJ-70	13.85	15.43	17.30	19.53	22.22	25.51
10	LGJ-25	15.29	17.03	19.10	21.56	24.53	28.16
	LGJ-35	9.41	10.49	11.76	13.28	15.11	17.34
	LGJ-50	7.20	8.02	8.99	10.15	11.55	13.26
	LGJ-70	4.98	5.55	6.22	7.03	8.00	9.18
35	LGJ-25	1.248	1.390	1.568	1.760	2.002	2.300
	LGJ-35	0.768	0.856	0.965	1.084	1.233	1.416
	LGJ-50	0.587	0.655	0.735	0.829	0.943	1.083
	LGJ-70	0.416	0.463	0.522	0.586	0.667	0.766

损失系数  $C_{\Delta P}$ 、 $C_{\Delta Q}$  值表

cosφ 等于下列数值时					
0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
无功功率损失系数 $C_{\Delta Q}$ ( $10^3 \text{kvar}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})$ )					
2.885	3.214	3.603	4.068	4.629	5.314
2.785	3.103	3.479	3.927	4.469	5.130
2.701	3.009	3.373	3.808	4.333	4.974
2.608	2.906	3.258	3.679	4.185	4.805
2.532	2.821	3.163	3.570	4.062	4.663
2.455	2.735	3.067	3.462	3.939	4.522
2.394	2.667	2.990	3.376	3.841	4.409
无功功率损失系数 $C_{\Delta Q}$ ( $\text{kvar}/(\text{MW}^2 \cdot \text{km})$ )					
11.60	12.92	14.49	16.36	18.61	21.37
11.26	12.55	14.07	15.88	18.07	20.74
10.89	12.13	13.61	15.36	17.48	20.06
10.58	11.79	13.22	14.93	16.98	19.50
4.14	4.61	5.17	5.84	6.64	7.63
3.97	4.43	4.96	5.60	6.38	7.32
3.85	4.29	4.81	5.43	6.18	7.10
3.74	4.17	4.67	5.28	6.00	6.89
0.3771	0.4202	0.4738	0.5318	0.6052	0.695
0.3636	0.4051	0.4568	0.5127	0.5834	0.670
0.3545	0.3950	0.4454	0.5000	0.5689	0.653
0.3446	0.3839	0.4329	0.4859	0.5529	0.635



(4) 低压架空线路的送电距离 不同功率容量和不同导线截面积, 送电距离长度按以下公式计算

$$L = \frac{\Delta U}{C_{\Delta U} P} \quad (\text{m})$$

式中  $L$  ——送电距离长度(m);

$\Delta U$  ——电压损失, 规定低压线路为额定电压的 $\pm 7\%$ ;

$C_{\Delta U}$  ——电压损失系数(见表 16-5);

$P$  ——线路有功功率(kW)。

表 16-7 是低压架空线路送电距离表。

表 16-7 低压架空线路送电距离表 (m)

送电功率 (kW)	导线截面积(mm <sup>2</sup> )								
	LJ-16	LJ-25	LJ-35	LJ-50	LJ-70	LJ-95	LJ-120	LJ-150	LJ-185
5	899	1322	1742	2321	2957	3636	4120	4758	5314
10	449	661	871	1160	1478	1818	2060	2379	2657
20	224	330	435	580	739	909	1030	1189	1328
30	149	220	290	386	492	606	686	793	885
40	112	165	217	290	369	454	515	594	664
50	89	132	174	232	295	363	412	475	531
60		110	145	193	246	303	343	396	442
70		94	124	165	211	259	294	339	379
80			108	145	184	227	257	297	332
90			96	128	164	202	228	264	295
100				116	147	181	206	237	265

注: 本表按允许电压降 $-7\%$ 、首端电压 380V、 $\cos\varphi=0.8$ 、线间距离 0.6m 计算编制。

### 3. 架空线路的设计

#### (1) 线路导线截面积选择

##### 1) 按经济电流密度选择导线截面积

$$S = \frac{I}{j} = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi \times j} \quad (\text{mm}^2)$$

式中  $S$  ——导线截面积(mm<sup>2</sup>);

$j$ ——经济电流密度(A/mm<sup>2</sup>),见表16-8。

表 16-8 经济电流密度 (A/mm<sup>2</sup>)

导线材料	最大负荷利用小时(h)		
	3000 以下	3000~5000	5000 以上
铝绞线	1.65	1.15	0.90
铜绞线	3.00	2.25	1.75

按经济电流密度要求,不同导线截面各电压等级经济输送容量见表16-9。表中电流按下式求得

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\varphi} \quad (\text{A})$$

表 16-9 铝绞线、钢芯铝绞线经济输送容量 (MVA)

导线 截面 (mm <sup>2</sup> )	最大负荷利用小时(h)											
	3000 以下				3000~5000				5000 以上			
	电流 (A)	电压(kV)			电流 (A)	电压(kV)			电流 (A)	电压(kV)		
		0.38	10	35			0.38	10		35		0.38
16	26.4	0.017	0.456	—	18.4	0.012	0.318	—	13.5	0.009	0.249	—
25	41.3	0.028	0.715	—	28.8	0.019	0.496	—	22.8	0.015	0.388	—
35	57.7	0.038	1.000	3.500	40.2	0.026	0.695	2.43	31.5	0.021	0.544	1.915
50	82.5	0.054	1.430	5.000	57.5	0.038	0.995	3.48	45	0.030	0.778	2.720
70	115.5	—	2.000	6.950	80.5	—	1.395	4.86	63	—	1.09	3.670
95	157	—	2.700	9.480	109.3	—	1.890	6.60	85.4	—	1.48	5.160
120	198	—	3.430	11.900	138	—	2.390	8.35	108	—	1.87	6.530
150	247.5	—	—	14.900	172.5	—	—	10.40	134	—	—	8.140

2)按机械强度校验导线截面

表 16-10 导线允许最小截面积 (mm<sup>2</sup>)

导线材料	0.38kV	10kV		35kV
		居民区	非居民区	
铝及铝合金线	16	35	25	35
钢芯铝绞线	16	25	16	35
铜线	直径 3.2mm	16	16	—

3)按导线发热条件来校验导线截面积 据《架空配电线路设计技术规程》规定,校验导线载流量时,导线允许温度一般采用+70℃。裸导线、绝缘导线在环境温度+25℃时长期允许载流量值即持续安全电流见第十四章。环境温度变化时导线允许载流量值可按表 16-11 所列校正系数计算导线载流量值。

表 16-11 环境温度对载流量的校正系数

裸 导 线								
导线材料	环境温度 (℃)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
铜	1.17	1.13	1.09	1.04	1	0.95	0.90	0.85
铝	1.145	1.11	1.075	1.038	1	0.96	0.92	0.88
绝 缘 导 线								
导线工作温度 (℃)	环境温度(℃)							
	5	10	15	20	25	30	35	40
80	1.17	1.13	1.09	1.04	1	0.954	0.905	0.853
65	1.22	1.17	1.12	1.06	1	0.935	0.865	0.791
60	1.25	1.20	1.13	1.07	1	0.926	0.845	0.756
50	1.34	1.26	1.18	1.09	1	0.895	0.775	0.663

4)按电压损失校验导线截面积 参见第十七章第三节第 3 条。按经济电流密度选择导线截面积有时不能满足电压损失要求,如果电压降超过允许范围,而又没有任何调压设备,则可以增加导线截面来达到减少电压降的目的。《全国供用电规则》对电压质量规定,要求用户受电端的电压变动幅度不超过:

①35kV 及以上供电和对电压质量有特殊要求的用户为额定电压的±5%。

②10kV 及以下高压供电和低压电力用户为额定电压的±7%。

③低压照明用户为额定电压的+5%、-10%。

(2)导线排列与档距 见表 16-12。

表 16-12 架空线路导线间的最小距离

(m)

导线排列方式	档 距(m)							
	40 及以下	50	60	70	80	90	100	120
用悬式绝缘子的 35kV 线路 导线水平排列	—	—	—	1.5	1.5	1.75	1.75	2.0
用悬式绝缘子的 35kV 线路 导线垂直排列 用针式绝缘子或瓷横担的 35kV 线路, 不论导线排列形式	—	1.0	1.25	1.25	1.5	1.5	1.75	1.75
用针式绝缘子或瓷横担的 6 ~10kV 线路, 不论导线排列形 式	0.6	0.65	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0	1.15
用针式绝缘子的 1kV 以下 线路, 不论导线排列形式	0.3	0.4	0.45	0.5	—	—	—	—

表 16-13 同杆架设 10kV 及以下线路横担间最小垂直距离 (m)

横担间导线排列方式	直线杆	分支或转角杆
6~10kV 与 6~10kV	0.80	0.45/0.60
6~10kV 与 1kV 以下	1.20	1.00
1kV 以下与 1kV 以下	0.60	0.30
1kV 以下与弱电	1.20	—

注:表中 0.45/0.60 是指转角或分支线横担距上面的横担取 0.45m, 距下面的横担取 0.60m。

表 16-14 380/220V 低压架空线路的常用档距

导线水平间距 (mm)	300			400	
	25	30	40	50	60
档距(m)					
适用范围	1)城镇闹市街道 2)城镇、农村居民点 3)乡镇企业内部		1)城镇非闹市区 2)城镇工厂家区 3)居民点外圈	1)城镇工厂家区 2)居民点外圈 3)田间	

(3) 架空导线的安全净距

表 16-15 导线与地面(或水面)的最小距离 (m)

线路经过地区	线路电压(kV)		
	1 以下	10	35
居民区	6	6.5	7
非居民区	5	5.5	6
不能通航或浮运的河湖(至冬季水面)	5	5	—
不能通航或浮运的河、湖(至 50 年一遇的洪水水面)	3	3	—
交通困难地区	4	4.5	5

表 16-16 导线与树木的最小距离 (m)

线路电压(kV)	1 以下	10	35
垂直距离	1.0	1.5	4.0
水平距离	1.0	2.0	—

表 16-17 导线与建筑物的最小距离 (m)

线路电压(kV)	1 以下	10	35
垂直距离	2.5	3.0	4.0
水平距离	1.0	1.5	3.0

表 16 18 架空线路与工业设施的最小距离 (m)

项 目			线路电压 (kV)			
			1 以下	10	35	
铁路	标准轨距	垂直距离	至轨顶面 至承力索或接触线	7.5 3.0	7.5 3.0	7.5 3.0
		水平距离	电杆外缘 < 交叉 至轨道中心 < 平行	5.0 杆高加 3.0		
	窄轨	垂直距离	至轨顶面 至承力索或接触面	6.0 3.0	6.0 3.0	7.5 3.0
		水平距离	电杆外缘 < 交叉 至轨道中心 < 平行	5.0 杆高加 3.0		
道路	垂直距离		6.0	7.0	7.0	
	水平距离(电杆至道路边缘)		0.5	0.5	0.5	
通航 河流	垂直距离	至 50 年一遇洪水位 至最高航行水位的最高桅顶	6.0 1.0	6.0 1.5	6.0 2.0	
	水平距离	边导线至河岸上缘	最高杆(塔)高			
弱电 线路	垂直距离		1.0	2.0	3.0	
	水平距离(两线路边导线间)		1.0	2.0	4.0	
电力 线路	1kV 以下	垂直距离	1	2	3	
		水平距离(两线路边导线间)	2.5	2.5	5.0	
	10kV	垂直距离	2	2	3	
水平距离(两线路边导线间)		2.5	2.5	5.0		
35kV	垂直距离	3	3	3		
	水平距离(两线路边导线间)	5.0	5.0	5.0		
特殊 管道	垂直距离 < 电力线在上方 电力线在下方		1.5 1.5	3.0 —	3.0 —	
	水平距离(边导线至管道)		1.5	2.0	4.0	
索道	垂直距离 < 电力线在上方 电力线在下方		1.5 1.5	2.0 2.0	3.0 3.0	
	水平距离(边导线至管道)		1.5	2.0	4.0	

#### (4) 架空线路的机械强度计算

1) 比载 在各种气象条件下将电线每米长度的荷重折算到单位截面积上的数值,称为比载,其计算方法见表 16-19。

表 16-19 架空电线的比载

比载种类	符号	计算公式	单位	说明
自重	$\gamma_1$	$P_1/A$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$A$ —— 电线截面积 (mm <sup>2</sup> )
冰重	$\gamma_2$	$0.9\pi \frac{b(b+d)}{A}$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$P_1$ —— 电线单位长度重量(kg/m)
自重加冰重	$\gamma_3$	$\gamma_1 + \gamma_2$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$d$ —— 电线直径(mm)
无冰时风荷重	$\gamma_4$	$aKV^2d/16$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$b$ —— 覆冰厚度(mm)
覆冰时风荷重	$\gamma_5$	$aKV^2(d+2b)/16$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$V$ —— 风速(m/s)
无冰时综合荷重	$\gamma_6$	$\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$a$ —— 风速不均匀系数, 1~0.7
有冰时综合荷重	$\gamma_7$	$\sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}$	kg/(m·mm <sup>2</sup> )	$K$ —— 空气动力系数, 1.1~1.2

#### 2) 导线弧重

表 16-20 铝绞线弧垂表 (cm)

档距 (m)	温 度(°C)										
	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
LJ-16~LJ-95											
30	6.8	8.0	9.7	12.1	15.4	19.7	24.2	29.6	34.4	38.9	43.2
38	11.9	13.8	17.0	20.9	25.9	31.5	37.4	43.2	48.7	53.9	58.8
45	18.2	21.6	26.0	31.4	37.6	44.2	50.9	57.2	63.4	69.1	74.5
50	24.2	28.8	34.0	39.4	47.2	54.6	61.1	68.2	74.6	80.8	86.5
60	40.3	47.3	54.7	62.6	70.6	78.0	86.0	93.5	100.4	107.0	113.3
LJ-120~LJ-240											
30	12.5	15.9	20.3	25.3	30.3	35.1	39.5	43.7	47.6	51.3	54.8
38	20.0	24.8	30.3	36.1	42.0	47.5	52.9	57.9	62.6	67.1	71.3
45	28.1	33.9	40.3	47.0	53.5	59.7	65.7	71.3	76.6	81.6	86.5
50	34.7	41.1	48.1	55.2	62.1	68.8	75.3	81.2	87.0	92.1	97.9
60	49.9	57.6	65.6	73.6	81.4	88.9	96.1	103.0	109.5	116.0	121.7

表 16 21 钢芯铝绞线弧垂表

(cm)

档距 (m)	温 度 (°C)											
	-10	0	10	20	30	40	-10	0	10	20	30	40
LGJ-25, K=3							LGJ-35, K=3					
40	6	9	12	16	20	28	10	12	15	20	27	37
50	9	12	16	22	32	43	15	17	19	28	38	50
60	17	21	25	32	42	55	20	23	30	40	51	62
70	22	28	34	42	55	70	26	31	40	51	64	80
80	30	35	42	55	68	88	32	38	51	63	80	95
90	40	48	58	70	85	105	44	52	63	78	93	112
100	55	65	82	95	115	132	55	68	82	98	115	135
110	75	90	110	128	148	168	75	90	110	128	148	165
LGJ-50, K=3							LGJ-70, K=3					
40	9	12	15	20	28	38	8	11	14	17	25	34
50	14	18	22	30	40	52	13	16	20	26	36	48
60	20	24	32	41	53	66	18	23	29	37	48	64
70	27	33	42	53	68	85	26	31	39	49	62	78
80	35	44	54	66	84	100	34	41	50	64	77	94
90	45	54	66	82	100	118	44	51	64	76	93	110
100	56	66	80	98	118	136	52	62	75	91	109	128
110	67	80	96	114	136	154	64	75	89	106	126	145
LGJ-95, K=3							LGJ-95, K=4					
40	7	9	11	15	20	29	10	14	18	24	34	44
50	11	14	18	24	30	41	16	21	27	36	46	59
60	17	20	25	33	42	54	23	29	37	48	61	74
70	24	28	34	43	53	68	31	39	49	64	76	91
80	30	36	44	54	66	84	40	50	62	76	92	110
90	39	46	55	67	81	99	52	63	76	92	112	128
100	48	56	67	80	97	116	64	76	91	110	130	148
110	58	68	80	96	114	134	77	92	108	128	150	169



## 二、电缆线路

### 1. 电力电缆的选择

#### (1) 电缆品种的选择

表 16-22 各种电力电缆的使用特性

电缆品种	额定电压(kV) 或护套型式	长期允许 最高工作 温度 (°C)	短路允 许温度 (°C)	敷设时 最低环 境温度 (°C)	允许敷设位差(m)
粘性油 浸纸绝缘	0.6/1	80	220	0	无铠装20,有铠装 25 15 15 5
	6/6	65			
	8.7/10	60			
	26/35	50			
不滴流油 浸纸绝缘	0.6/1~6/6 8.7/10~26/35	80 65	220	0	无限制,可垂直敷设
聚氯乙烯 绝缘	0.6/1~6/10	70	160	0	无限制,可垂直敷设
交联聚 乙烯绝缘	0.6/1~26/85	90	250	0	无限制,可垂直敷设
橡皮绝缘	500 (V) 裸铅套 橡套 聚氯乙烯套 有外护层的电缆	65	150	-20 -15 -15 -7	无限制,可垂直敷设

注:电缆线路中有中间接头时,短路允许温度要降低,锡焊接头为 120°C,压接接头为 150°C。

表 16-23 电缆外护层类型及其适用场合

外护层类型	外护层名称	电缆敷设方式							电缆对外部条件的适应性	
		架空	室内	隧道	电缆沟	管道	直埋土中	竖井		水中
无	(裸铅包、裸铝包)		○	△	△	△				无外力作用,对铅包或铝包具有中性环境
02	聚氯乙烯套	○	○	○	○	○	□		□	无外力作用,一般气候条件均可

(续)

外护层类型		电缆敷设方式								电缆对外部条件的适应性	
外护层型号	外护层名称	架空	室内	隧道	电缆沟	管道	直埋 土壤	中 多砾石	竖井		水中
03	聚乙烯套	△	○		○	○	□			□	无外力作用,一般气候条件均可,耐气候和耐磨性比02型稍差,透潮性稍优
20	裸钢带铠装		○	○	○						能承受小的径向机械力,不能承受拉力,要求具有中性环境
(21)	钢带铠装纤维外被						△	△			能承受小的径向机械力,不能承受拉力,可用于严重腐蚀环境
22	钢带铠装聚氯乙烯套		○	○	○		○	○			能承受小的径向机械力,不能承受拉力,可用于严重腐蚀环境
23	钢带铠装聚乙烯套		○		○		○	○			能承受小的径向机械力,不能承受拉力,可用于严重腐蚀环境
30	裸细圆钢丝铠装									○	能承受相当拉力,小的径向外力,要求具有中性环境
32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯套						△	△	○	○	同30,但可用于严重腐蚀环境
33	细圆钢丝铠装聚乙烯套						△	△		○	
(40)	裸粗圆钢丝铠装									○	能承受大的拉力,小的径向外力,要求非严重腐蚀环境
41	粗圆钢丝铠装,纤维外被									○	能承受大的拉力,小的径向外力,要求非严重腐蚀环境

注:1. ○——适用, △——可以采用, □——只适用铝护套电缆。

2. 外护层类型中还有(31)、(42)、(43), 工厂企业很少采用、省略。圆括号内型号表示“不推荐采用”。

## (2) 电缆导线截面的选择

1) 根据不同敷设条件, 计算校正系数

对空气敷设(室内、隧道、架空、电缆沟):

$$K = k_1 k_2$$

对土壤中直埋或穿管直埋:

$$K = k_1 k_2 k_3 k_4$$

式中  $k_1$  ——环境温度变化对应于载流量标准温度的校正系数, 见表14-19;

$k_2$  ——穿管时的校正系数(指电缆管, 不包括电缆沟、隧道), 对10kV 电缆,  $95\text{mm}^2$  及以下取 0.9,  $120\text{mm}^2$  及以上取 0.85;

$k_2$  ——在空气中电缆多根并列敷设时的校正系数,见表 14-20;

$k_3$  ——土壤热阻系数不同时的校正系数,见表 14-21;

$k_4$  ——电缆直埋时多根并列敷设时的校正系数,见表 14-22。

2) 选择电缆导线截面积和进行验算的要求

表 16-24 选择电缆导线截面积和进行验算的要求

计算和验算项目	验算要求	公式附注
按允许工作电流计算	$I_{g \cdot \max} \leq K I_{AZ}$	$I_{g \cdot \max}$ ——实际通过电缆导线的最大工作电流(A) $I_{AZ}$ ——某一导线截面在标准状态下的长期允许载流量(A) $K$ ——考虑不同敷设条件的校正系数
验算项目	三相系统: $S \geq \frac{\sqrt{3} I_{g \cdot \max} \rho L \times 100}{U_n \times \Delta U \%}$ (mm <sup>2</sup> )	$I_{g \cdot \max}$ ——导线上的最大工作电流(A) $\rho$ ——工作温度下的电阻率,一般铝芯 $\rho(50^\circ\text{C})$ 取 $0.035\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ; 铜芯 $\rho(50^\circ\text{C})$ 取 $0.0206\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ $U_n$ ——额定电压(V) $\Delta U\%$ ——电力系统或回路规定的最大允许电压降,见表 16-25 $L$ ——电缆线路长度(m)
	单相系统: $S \geq \frac{2 I_{g \cdot \max} \rho L \times 100}{U_n \times \Delta U \%}$ (mm <sup>2</sup> )	
	按短路热稳定 $S \geq \frac{I_{sc} \sqrt{t_j}}{K_c}$ (mm <sup>2</sup> )	
按经济电流密度 $S \leq \frac{I_{g \cdot \max}}{j_0}$ (mm <sup>2</sup> )	$I_{g \cdot \max}$ ——导线上的最大工作电流(A) $j_0$ ——经济电流密度(A/mm <sup>2</sup> ),见表 16-27	

表 16-25 电缆导线截面按电压降验算的要求

回路名称	$\Delta U(\%)$	适用情况
发电机、变压器回路	—	不要求进行验算
馈电干线	按电力系统规定	高压一般不必验算
高、低压电动机回路 室内工作照明路线 室外工作照明线路 电焊机回路 起重机回路	$\leq 5$ $\leq 2.5$ $\leq 4$ $\leq 10$ $\leq 12 \sim 15$	供电距离较长的线路应验算,验算的具体方法除采用表 16-24 中公式外,可参见有关电气设备章节

表 16-26 热稳定系数  $K_t$  值表

导体种类	铜 芯							铝 芯						
	230	220	160	150	140	130	120	230	220	160	150	140	130	120
短路允许温度 (°C)	129.0	125.3	95.8	89.3	62.2	74.5	64.5	83.6	81.2	62.0	57.9	53.2	48.2	41.7
长期允许温度 (°C)	134.6	131.2	103.2	97.1	90.6	83.4	75.2	87.2	85.0	66.9	62.9	58.7	54.0	48.7
	137.5	133.6	106.7	100.8	94.7	87.7	80.1	89.1	86.6	69.1	65.3	61.4	56.8	51.9
	140.0	136.5	110.2	104.6	98.8	92.0	84.5	90.7	88.5	71.5	67.8	64.0	59.6	54.7
	142.4	139.2	113.5	108.2	102.5	96.2	89.1	92.3	90.3	73.7	70.1	66.5	62.3	57.7
	145.3	141.8	117.6	111.8	106.1	100.1	93.4	94.2	91.9	75.8	72.5	68.8	65.0	60.4
	150.3	147.3	123.7	118.7	113.7	108.0	101.5	97.3	95.5	80.1	77.0	73.6	70.0	65.7

表 16-27 电缆导线的经济电流密度 (A/mm<sup>2</sup>)

导线材料	年最大负荷利用小时(h)		
	<3000	3000-5000	>5000
铜芯	2.5	2.25	2.0
铝芯	1.92	1.73	1.54

注：一般只用于发电机、变压器回路的验算。

## 2. 常用的电缆敷设方式

表 16 28 工厂企业常用的电缆敷设方式

敷设方式	特 征		适用性
	优 点	缺 点	
电缆沟	(1) 简易专用设施、投资少, 占地少, 走向灵活 (2) 敷设和检修、更换、增设电缆均很方便 (3) 可以几根电缆、几种电缆(如控制、通信电缆)并敷	(1) 电缆放置不易规则、整齐 (2) 沟中容易积灰积水; 有腐蚀性、液体的工厂中, 沟中会积聚腐蚀物质 (3) 明沟易受日光照射, 暗沟盖板要有足够强度 (4) 载流量比直埋敷设小	(1) 厂区内部和车间内部均宜采用 (2) 电缆条数不宜过多, 一般在 2~10 条范围内 (3) 大、中型工厂中常采用 (4) 电缆沟中可以灌沙, 改为沙埋敷设
直埋土壤中	(1) 没有专门设施, 最经济 (2) 散热性好, 载流量大, 特别是地下水位高的地区 (3) 采用上盖板等简易保护措施后, 有一定的承压能力 (4) 敷设方便, 准备期短	(1) 对外来机械损伤(重物堆放、载重车、铁镐冲击)防护能力差 (2) 维护、更换电缆麻烦 (3) 易受土壤中腐蚀物质、白蚁等损害	(1) 大型工厂车间与变电站之间的较长干线, 宜采用 (2) 如有少量穿越马路等区段可局部埋设铁保护管, 穿管敷设
电缆隧道	(1) 无外力破坏, 易防腐防护 (2) 敷设、检修、更换、增添电缆最为方便 (3) 可敷设几十根及以上的各类电缆 (4) 可采用隧道强迫冷却(风、水)措施, 改善散热性, 提高传输能力	(1) 投资很大, 前期施工量大 (2) 占地下空间多; 也可建造地面隧道, 但占地更多 (3) 防火要求较高	(1) 用于大型工厂变电站引出部位一个区段 (2) 用于大型联合企业内各分厂及总变电站或电厂之间, 构成企业区域内的电缆网络通道 (3) 发电厂、变电所的电引引出区段一般均用隧道

(续)

敷设方式	特 征		适用性
	优 点	缺 点	
电缆桥架	(1)在车间内(包括隧道、电缆沟内)可根据走向制成带弯角的、有斜坡的或垂直的电缆桥架,固定电缆,排列整齐 (2)可利用车间空间及沿墙;室外部分相当于电缆空间通道	(1)不宜用于易燃易爆燃场所 (2)室外用时应加防晒挡板	(1)大量用于车间内、隧道内、电缆沟内 (2)矿用竖井或高层电缆井中也必须采用

表 16-29 工厂企业用电线沟和电缆隧道内部的最小尺寸 (mm)

尺寸名称		电缆沟	电缆隧道
高度(净距)		不规定,但深度一般不宜超过 800	1900
通道宽度	双侧电缆架之间净距	500	1000
	单侧电缆架与壁的净距	450	900
电缆架各层间垂直净距	电力电缆:10kV 及以下	150	200
	35kV	200	250
控制电缆		100	100
平行敷设水平净距	电力电缆	35(但不小于电缆外径)	35(但不小于电缆外径)
	控制电缆	不规定	不规定
最上排架至顶板净距	电力电缆	150~200	300
	控制电缆	150	250
最低排架至沟底或隧道底面净距		50~150	100~150

表 16-30 电缆直埋敷设时与其他物件间的最小允许净距

电缆与其他物件的种类		最小允许净距(m)		备 注
		平行	交叉	
电力电缆 之间与控制 电缆之间	10kV 及以下	0.10	0.50	(1)当电缆穿管或用隔板时,平行净距 均可采用 0.1m (2)在交叉点前后 1m 范围内,如电缆 穿入管中或用隔板,交叉净距均可降为 0.25m  如无法满足,可在平行区段或交叉点 前后 1m 范围内采用措施。如对油、可燃 气体等管道平行或交叉,如电缆穿管,净 距可降至 0.25m
	10kV 以上	0.25	0.50	
控制电缆之间		—	0.50	
不同使用部门之间		0.50	0.50	
电缆与热力管道或设备		2.00	0.50	
与油管道、可燃气管道		1.00	0.50	
与其他管道		0.50	0.50	
铁路路轨		3.00	1.00	
公 路		1.50	1.00	
城市街道、厂区通道		1.00	0.70	
建筑物基础(边线)		0.60	—	
电杆基础(边线)		1.00	—	
排 水 沟		1.00	0.50	

表 16-31 直埋电缆时挖掘壕沟尺寸表

类 别	壕 沟 内 电 缆 根 数	图 16-2 中尺寸(mm)			100m 工程的土方量 (m <sup>3</sup> )	100m 工程的筛过细 土用量 (m <sup>3</sup> )
		a	B	δ		
10kV 及以 下电力电缆	1	—	350	125	32	7
	2	150	400	110	36	8
		300	550	100	48	11
	3	150	550	100	48	11
		200	700	100	60	14
		250	800	125	68	16
	4	150	700	85	60	14
		200	900	110	76	18
		250	1100	125	92	22
	10kV 以上 电力电缆	1	—	350	125	
2		350	700	125		
3		350	1100	125		
4		350	1400	125		

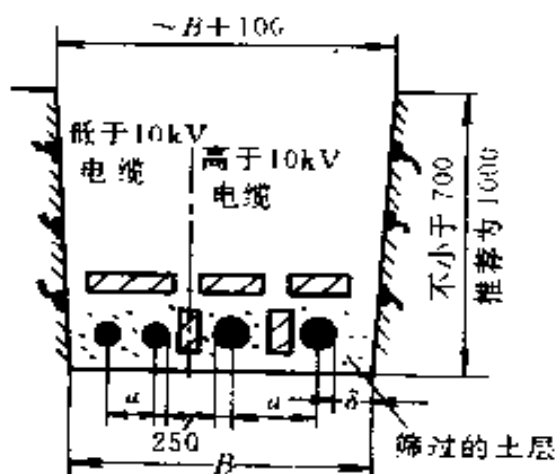


图 16-2 直埋敷设电缆壕沟断面图

### 三、变、配电所

#### 1. 高压电气设备的选择要点

##### (1) 按工作电压和工作电流选择

1) 高压电气设备的额定电压或最高工作电压不应小于所在系统的工作电压。

2) 高压电气设备的额定电流不应小于所在回路的工作电流。

高压电气设备的最高工作电压和在不同环境温度下的最大工作电流允许值参见表 16-32。

##### (2) 按断流容量选择

1) 断路器、熔断器及带熔断器的负荷开关的额定断流容量(或额定开断电流)不应小于安装处的次暂态短路容量或次暂态短路电流(其计算详见第十一章二节有关部分)。

2) 断路器用于自动重合闸时,应根据产品的使用条件与制造厂协商作出有无必要适当降低其断流容量的决定。

3) 少油断路器的断流容量与其配套的操动机构有关,如为手动操动机构,应按制造厂规定适当降低。

4) 动稳定电流和断流容量按三相短路电流校验。热稳定电流一般只按三相短路电流校验,但当短路点计算电抗标么值小于 0.6(以系统



容量为基准)时,则应按两相短路电流校验。

5)对于操作十分频繁的断路器,宜采用真空断路器。

(3)按环境条件选择 按环境条件选择电气设备时可参考表 16-33,但应注意:

1)当海拔在 200~3500m 时,应对高压电气设备采取提高一级绝缘的办法,或与制造厂协商决定;避雷器应采用高原系列产品,保持原规定的工频和冲击放电电压水平。

2)在特别湿热的地区,应采用湿热带型的三防产品(防腐蚀、防潮、防盐雾)。

表 16-32 高压电气设备的最高工作电压和在不同环境温度下允许的最大工作电流

项 目	最高工作电压	最大工作电流	
		当 $\theta < \theta_n$ 时	当 $\theta_n < \theta < 60^\circ\text{C}$ 时
支持绝缘子	$1.15U_n$	—	—
穿墙套管		环境温度每降低 $1^\circ\text{C}$ ,可增加 $0.5\%I_n$ ,但最大不得超过 $20\%I_n$ 。	环境温度每增高 $1^\circ\text{C}$ ,应减少 $1.8\%I_n$ 。
隔离开关			
断路器			
电流互感器	$1.1U_n$	$I_n$	
电抗器			
负荷开关	$1.15U_n$	$I_n$	—
熔断器			
电压互感器	$1.1U_n$	—	—
移相电容器	$1.05U_n$	—	—

注: $U_n$ ——额定电压(kV); $I_n$ ——额定电流(A); $\theta$ ——实际环境温度( $^\circ\text{C}$ ); $\theta_n$ ——额定环境温度,普通型和湿热带型为  $+40^\circ\text{C}$ ,干热带型为  $+45^\circ\text{C}$ 。

表 16-33 户内、户外式配电装置的适用范围

电气设备的型式	适用范围
户外式	正常环境的 35~110kV 配电装置
户内式	(1)所有的 6~10kV 配电装置 (2)位于空气污秽、有腐蚀性气体及导电粉尘、可燃尘埃较多的地区,或沿海盐雾严重的地区的 35~110kV 配电装置 (3)用地面积受限制的 35~110kV 配电装置

## 2. 6~10kV 变、配电所的典型结构与布置

6~10kV 变、配电站适用于电源为 6 或 10kV 的中小型工厂企业。其典型结构与布置有下列特点:

1)变电站的设备多为户内安装的成套高压配电装置。

2)变电站电气设备全部为室内布置。其组成部分为:6 或 10kV 高压开关室、变压器室、电容器室、低压配电室、值班室或控制室。条件允许时,还应有生活、休息、贮藏、维修等辅助小间。个别也可设露天变压器。

3)变电站一般为独立的建筑物,进出线方便,通风采光良好。在保证安全的情况下,也可附建于其他建筑物内,以利于接近负荷中心。

4)占地面积受限时,变电站也可建成二层建筑,把辅助部分,甚至值班室、低压配电室设在二层。

图 16-3 所示为 6~10kV 变、配电站常用的室内布置型式。图中尺寸应符合规程要求,在条件许可时可适当放大。

高压开关室(有充油设备)为二级耐火等级。

变压器(油浸)室为一级耐火等级;采用铁门、铁百页窗(加金属网,网孔不大于  $10 \times 10\text{mm}$ )。

低压配电室为二级耐火等级;允许用木窗、木门、门尽量向外开,可开启的窗应加纱窗及保护网。

值班、控制室为二级耐火等级。

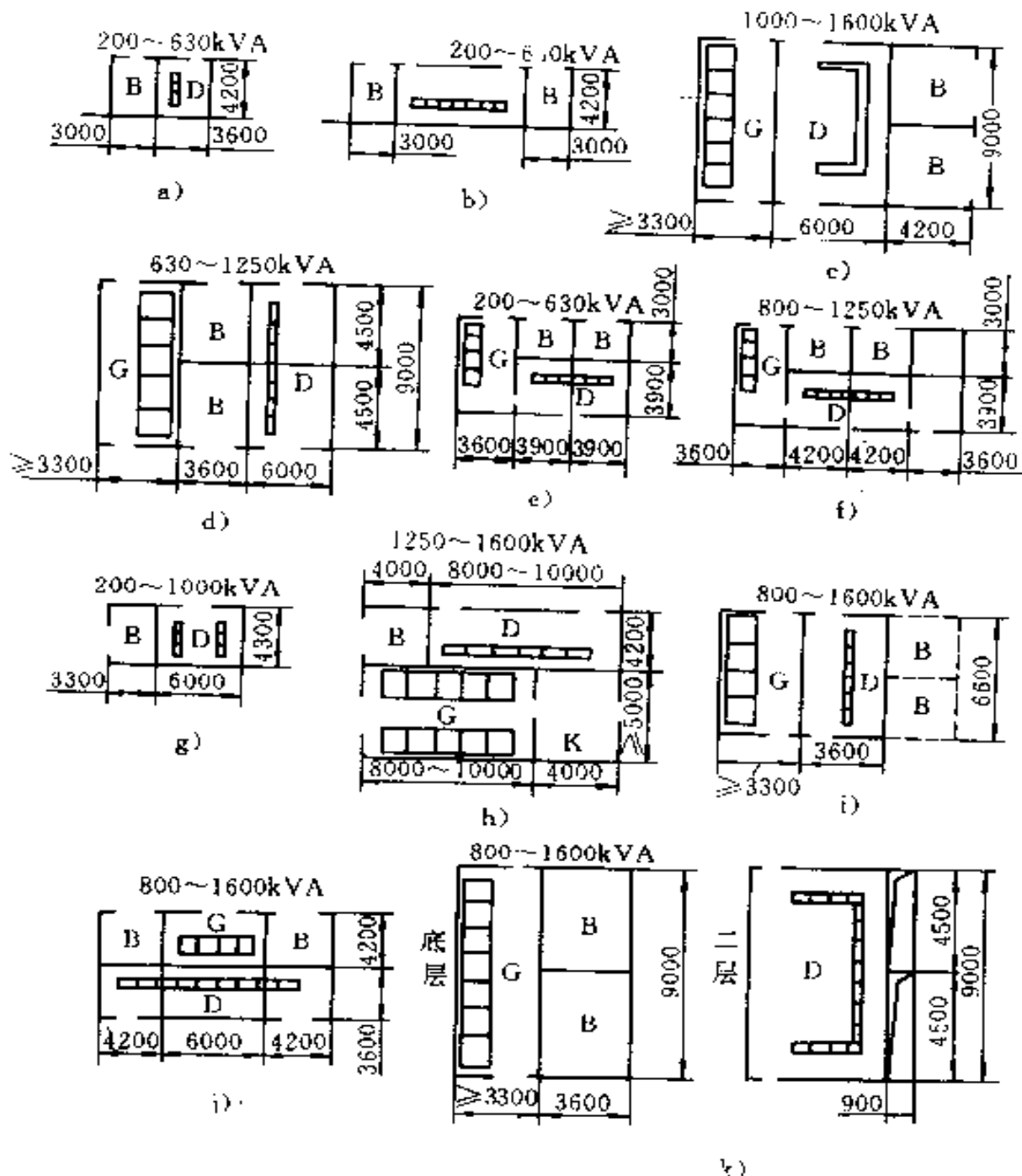


图 16-3 6~10kV 变、配电站常用的室内布置示意图(单位: mm)

G—高压开关室 B—变压器室 D—低压配电室 K—值班、控制室

### 3. 配电装置安全净距

#### (1) 室外配电装置安全净距

表 16-34 室外配电装置的最小安全净距 (mm)

名 称	额定电压 (kV)			
	0.4	1~10	15~20	35
带电部分至接地部分(A <sub>1</sub> )	75	200	300	400
不同相的带电部分之间(A <sub>2</sub> )	75	200	300	400
带电部分至栅栏(B <sub>1</sub> )	825	950	1050	1150
带电部分至网状遮栏(B <sub>2</sub> )	175	300	400	500
无遮栏裸导体至地面(C)	2500	2700	2800	2900
不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平净距(D)	2000	2200	2300	2400

注:海拔超过 1000m 时, A 值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正, B、C、D 值应分别增加 A<sub>1</sub> 值的修正差值, 但对 35kV 及以下的 A 值, 可在海拔超过 2000m 时进行修正。

#### (2) 室内配电装置安全净距

表 16-35 屋内配电装置的最小安全净距 (mm)

名 称	额定电压 (kV)						
	0.4	1~3	6	10	16	20	35
带电部分至接地部分(A <sub>1</sub> )	20	75	100	125	150	180	300
不同相的带电部分之间(A <sub>2</sub> )	20	75	100	125	150	180	300
带电部分至栅栏(B <sub>1</sub> )	800	825	850	875	900	930	1050
带电部分至网状遮栏(B <sub>2</sub> )	100	175	200	225	250	280	400
无遮栏裸导体至地(楼)面(C)	50	105	130	155	180	210	330
不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平净距(D)	2300	2375	2400	2425	2450	2480	2600
出线套管至屋外通道的路面(E)	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000

注:海拔超过 1000m 时, 本表所列 A 值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正, B、C、D 值应分别增加 A<sub>1</sub> 值的修正差值。

表 16-36 变压器外廓与变压器室四壁的最小距离 (m)

变压器容量(kVA)	1000 及以下	1250 及以上
变压器外廓与变压器室后、侧壁	0.6	0.8
变压器外廓与变压器室门	0.8	1.0

## 第十七章 工业与民用建筑供电

### 一、负荷计算

#### 1. 需要系数法

适于计算民用负荷、变电所和全厂负荷(不适于计算用电设备台数少、容量差别大的分支干线负荷)。计算方法如下:

$$\begin{aligned}\Sigma P &= K_{\Sigma} \Sigma (K_d P_n) \\ \Sigma Q &= K_{\Sigma} \Sigma (K_d P_n \operatorname{tg} \varphi) \\ S &= \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2}\end{aligned}$$

式中  $P$  ——有功负荷(kW);  
 $Q$  ——无功负荷(kvar);  
 $S$  ——视在负荷(kVA);  
 $K_d$  ——需要系数见表  
17-1、2、4;  
 $\operatorname{tg} \varphi$  ——功率因数正切值;  
 $K_{\Sigma}$  ——最大负荷的同期系数。根据用电设备分别计算负荷时,此值见表-17-3。如按工业企业整体选用需要系数时,此值为1。

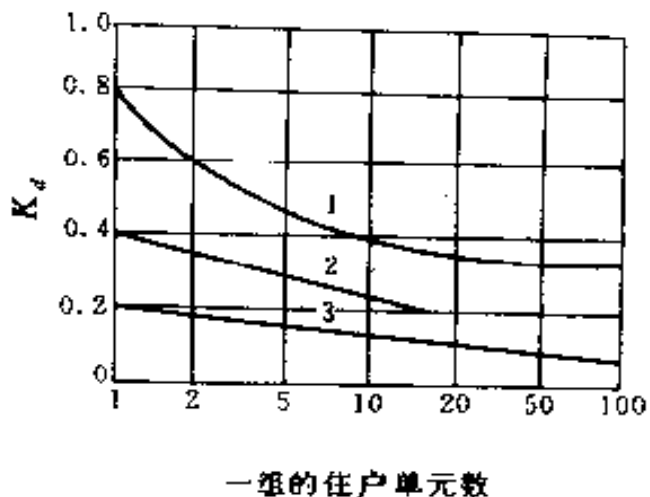


图 17-1 住宅群需要系数  $K_d$  值  
1—同期系数高的负荷 2—典型的混合负荷  
3—同期系数低的负荷

表 17-1 各种不同电气装置和建筑物总供电的需要系数  $K_d$

电气装置或建筑物的类型	需要系数 $K_d$
住宅 独户住宅	0.4
住宅群 (无电气加热装置作为主采暖能源)	根据图 17-1 决定
电气加热装置和空调装置	0.8~1.0
公共建筑	
旅馆、供膳及带有家具的公寓	0.6~0.8
小型办公室	0.5~0.7
大型办公室(银行、保险公司、公共管理机关)	0.7~0.8
商店	0.5~0.7
百货店	0.7~0.9
学校	0.6~0.7
医院	0.5~0.75
集会场所(运动场所、剧院、饭馆、教堂)	0.6~0.8
机械制造业	
金属加工	0.25
汽车制造厂	0.25
轻纺工业	
造纸厂和纸浆厂	0.5~0.7
纺织厂	0.75
织制厂,包括纺织装置等	0.6~0.7
橡胶工业	0.6~0.7
食品工业	
一般食品工厂(包括用电设备)	0.7~0.9
圆形料仓	0.8~0.9
采矿业	
煤矿:	
地下矿井	1.0
选矿	0.8~1.0
褐煤矿:	
一般	0.7
地下生产	0.8

(续)

电气装置或建筑物的类型	需要系数 $K_d$
冶金和钢铁工业(高炉、转炉)	
鼓风机	0.8~0.9
辅助传动装置	0.5
轧钢厂	
一般	0.5~0.8
供水、通风	0.8~0.9
机身有冷却的轧机的辅助传动装置	0.5~0.7
有环状夹紧装置的轧机的辅助传动装置	0.6~0.8
机身有冷却和环状夹紧装置的轧钢厂的辅助传动装置	0.3~0.5
辊式细碎机	0.2~0.6
浮船坞	
升降过程时的抽水厂	0.9
修理厂(无抽水泵)	0.5
道路隧道照明	1.0
交通装置	1.0
化学工业、石油工业	0.5~0.7
水泥工厂	0.8~0.9
起重机(起重机是反复短时工作制,其需要的电能取决于装设这些起重机的工厂的类型)	每台 0.7
电梯(主要取决于白天运行的频繁度)	0.5
发电厂	
一般发电厂:备用电源供电	1.0
核发电厂:特殊需要,例如,钠循环的管道加热	1.0

表 17-2 机械制造和金属加工工业的功率因数和需要系数

用电设备名称	功率因数 $\cos\varphi/tg\varphi$	需要系数 $K_d$
正常工作制的金属切削机床——小型车床、刨床、插床、铣床、钻床、立式车床、磨床等		
小批生产	0.5/1.73	0.16
大批生产	0.6/1.33	0.2
重工作制(冲压机和偏心压力机、自动机、六角车床、粗加工车床、铣齿机及大型车床、刨床、铣床、立式车床、搪床)	0.65/1.17	0.25
特重工作制(锻锤、锻造机、板丝机、清理滚筒和混砂机的拖动装置)	0.65/1.17	0.35~0.4
通风机、排风机、卫生通风装置	0.8/0.75	0.65~0.7
泵、空气压缩机、电动发电机组	0.85/0.62	0.8
起重机当暂载率=25%时	0.5/1.73	0.1
起重机当暂载率=40%时	0.5/1.73	0.2
升降机、运输机、螺旋输送机、输送带		
不连锁的	0.75/0.88	0.5
连锁的	0.75/0.88	0.65
电焊变压器	0.35/2.67	0.35
电焊用电动发电机组		
单工位的	0.35/2.67	0.35
多工位的	0.6/1.33	0.35
缝焊机	0.7/1.02	0.7
对焊机和点焊机	0.7/1.02	0.32
自动电弧焊机	0.6/1.33	0.5
电阻炉、烘干箱、加热设备	0.95/0.328	0.8
低频感应炉	0.35/2.67	0.8
手提式电动工具	0.5/1.73	0.1
车间照明		
高压汞灯	0.6/1.33	0.9
白炽灯	0.98/0.213	0.9



表 17-3 需要系数法的同期系数  $K_{\Sigma}$  值

应用范围	$K_{\Sigma}$
(一)确定车间变电所低压母线的最大负荷时,所采用的同期系数:	
(1)冷加工车间	0.7~0.8
(2)热加工车间	0.7~0.9
(3)动力站	0.8~1.0
(二)确定配电所母线的最大负荷时,所采用的负荷同期系数:	
(1)计算负荷小于 5000kW	0.9~1.0
(2)计算负荷为 5000~10000kW	0.85
(3)计算负荷超过 10000kW	0.8

## 2. 单位负荷法

适用于规划及方案设计,利用类似工厂、企业或建筑物的单位负荷指标进行估算,常用的单位负荷指标见表 17-4、5。该指标乘以相应的面积即可求得工厂或建筑物的负荷。

表 17-4 各车间低压负荷估算指标

车间类别	用电指标		自然功率因数	
	$K_d$	(kW/m <sup>2</sup> )	cos $\varphi$	tg $\varphi$
铸钢车间(不包括电弧炉)	0.3~0.4	0.055~0.06	0.65	1.17
铸铁车间	0.35~0.4	0.06	0.7	1.02
锻压车间(不包括高压水泵)	0.2~0.3		0.55~0.65	1.52~1.17
热处理车间	0.4~0.6		0.65~0.7	1.17~1.02
焊接车间	0.25~0.3	0.04	0.45~0.5	1.98~1.73
金工车间	0.2~0.3	0.1	0.55~0.65	1.52~1.17
木工车间	0.28~0.35	0.06	0.6	1.33
工具车间	0.3	0.1~0.12	0.65	1.17
修理车间	0.2~0.25		0.65	1.17
落锤车间	0.2		0.6	1.33

(续)

车间类别	用电指标		自然功率因数	
	$K_d$	(kW/m <sup>2</sup> )	cos $\varphi$	tg $\varphi$
废钢铁处理车间	0.45		0.68	1.08
电镀车间	0.4~0.62		0.85	0.62
中央实验室	0.4~0.6		0.6~0.8	1.33~0.75
充电站	0.6~0.7		0.8	0.75
煤气站	0.5~0.7	0.09~0.13	0.65	1.17
氧气站	0.75~0.85		0.8	0.75
冷冻站	0.7		0.75	0.88
水泵站	0.5~0.65		0.8	0.75
锅炉房	0.65~0.75	0.15~0.2	0.8	0.75
压缩空气站	0.7~0.85	0.15~0.2	0.75	0.88
乙炔站	0.7		0.9	0.48
试验站	0.4~0.5		0.8	0.75
发电机车间	0.29		0.60	1.32
变压器车间	0.35		0.65	1.17
电容器车间(机械化运输)	0.41		0.98	0.19
高压开关车间	0.30		0.70	1.02
绝缘材料车间	0.41~0.50		0.80	0.75
漆包线车间	0.80		0.91	0.48
电磁线车间	0.68		0.80	0.75
线圈车间	0.55		0.87	0.51
扁线车间	0.47		0.75~0.78	0.88~0.80
圆线车间	0.43		0.65~0.70	1.17~1.02
压延车间	0.45		0.78	0.80
辅助性车间	0.30~0.35		0.65~0.70	1.17~1.02
电线厂主厂房	0.44		0.75	0.88
电瓷厂主厂房(机械化运输)	0.47		0.75	0.88
电表厂主厂房	0.40~0.50		0.80	0.75
电刷厂主厂房	0.59		0.80	0.75

表 17-5 民用建筑用电负荷估算指标 (VA/m<sup>2</sup>)

序 号	分 类	指 标	
		范 围	平 均
	(一)住宅		
1	一般住宅或小家庭公寓	5.91~10.70	7.53
2	中等家庭公寓	10.76~16.14	13.45
3	高级家庭公寓	21.52~26.5	25.8
4	豪华家庭公寓	43.04~64.5	48.4
5	有集中空调的家庭公寓		27.6
	(二)商业		
1	商店	48.4~277	161.4
	(1) 无空调		43
	(2) 有空调		194
	(3) 餐厅、咖啡馆		247
2	百货商场	14.5~215	161.4
3	办公室	80.7~107.6	96.8
4	旅馆	48.4~124	71
5	中式餐厅	168~269	204
6	自选市场	129~140	134.5
7	地滚球场	75.4~86	86.08
8	电影院	1.61~1.72	1.72

### 3. 无功功率补偿

目前工业和民用建筑中大量的用电设备是感应电动机、电力变压器和一些照明设备等,使电网中滞后无功负荷的比重甚大,有的可占全厂的80%以上。因此,必须对无功负荷进行合理补偿,其计算方法如下。

补偿前自然平均功率因数:

$$\cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\beta Q}{aP}\right)^2}}$$

补偿后平均功率因数:

$$\cos \varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{1 + \left( \frac{\beta Q - Q_c}{\alpha P} \right)^2}}$$

$$Q_c = \alpha P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

式中  $Q_c$  —— 移相电容器的补偿容量(kvar);

$\operatorname{tg} \varphi_1, \operatorname{tg} \varphi_2$  —— 补偿前、后功率因数的正切值;

$\alpha, \beta$  —— 年平均有功、无功负荷系数, 一般  $\alpha = 0.7 \sim 0.75, \beta = 0.76 \sim 0.82$ 。

## 二、导线及电缆的选择

### 1. 按使用环境及敷设方式选择

表 17-6 按环境选择导线、电缆及其敷设方式

环境特征	线路敷设方式	常用导线、电缆型号
正常干燥环境	绝缘线瓷珠、瓷夹板或铝皮卡子明配线 绝缘线、裸线绝缘子明配线 绝缘线穿管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLX, BLV, BLVV BBLX, BLV, LJ, LMY BBLX, BLV ZLL, ZLL11, VLV, YJV, YJLV, XLV, ZLQ
潮湿和特别潮湿的环境	绝缘线绝缘子明配线(敷设高度 > 3.5m) 绝缘线穿塑料管、钢管明敷或暗敷 电缆明敷	BBLX, BLV BBLX, BLV ZLL11, VLV, YJV, XLV
多尘环境(不包括火灾及爆炸危险尘埃)	绝缘线绝缘子明配线 绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLX, BLV, BLVV BBLX, BLV ZLL, ZLL11, VLV, YJV, XLV, ZLQ
有腐蚀性的环境	塑料线绝缘子明配线 绝缘线穿塑料管明敷或暗敷 电缆明敷	BLV, BLVV BBLX, BLV, BLV VLV, YJV, ZLL11, XLV

(续)

环境特征	线路敷设方式	常用导线、电缆型号
有火灾危险的环境	绝缘线绝缘子明配线 绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷或放在沟中	BBLX, BLV BBLX, BLV ZLL, ZLQ, VLV, YJV, XLV, XLHF
有爆炸危险的环境	绝缘线穿钢管明敷或暗敷 电缆明敷	BBX, BV ZL120, ZQ20, VV20

## 2. 按载流量选择

导线、电缆所允许载流量必须大于或等于线路中的计算电流值。

不同规格导线、电缆的载流量和温度、不同敷设方式、不同负荷特性校正系数详见第十四章和第十六章二节。

## 3. 按电压损失选择

为了保证用电设备正常运行,其端子处电压损失允许值,对于电动机及一般无特殊要求的用电设备为±5%(以额定电压的百分数表示)。

对于少数距电源(变电所等)较远的电动机,如电动机端电压低于额定值的95%时,仍能保证电动机温升符合(GB755-81电机基本技术要求)规定,且堵转转矩、最小转矩、最大转矩均能满足传动要求时,则电动机的端电压可低于95%,但不得低于90%。电压损失的计算方法如下:

对于三相平衡负荷,线路上接有多个负荷时

$$\Delta U \% = \frac{\sqrt{3}}{10U_n} \sum_i (IR \cos \varphi + IX \sin \varphi)$$

对于直流线路或单相交流线路( $\cos \varphi = 1$ )电压损失为

$$\Delta U \% = \frac{2}{107AU_p^2} \sum PL$$

式中  $U_n$  —— 额定线电压(kV);

$I$  —— 各段线路中的计算电流(A);

$R, X$  —— 各段线路电阻和感抗( $\Omega$ );

- $L$  —— 各段线路长度(km);
- $P$  —— 有功负荷(kW);
- $A$  —— 导线截面( $\text{mm}^2$ );
- $U_p$  —— 额定相电压(kV);
- $\gamma$  —— 电导率(S/m), 铜线  $\gamma = 53 \times 10^6 \text{S/m}$ , 铝线  $\gamma = 32 \times 10^6 \text{S/m}$  (温度为 25℃ 时值)。

#### 4. 按动、热稳定选择

母线的动稳定校验:

$$\lambda < \lambda_a$$
$$\lambda = 1.76 \frac{I^2}{aW} (i^{(3)}) \times 10^{-2}$$

- 式中  $\lambda$  —— 母线计算机械应力( $\text{N/cm}^2$ );
- $\lambda_a$  —— 母线允许机械应力( $\text{N/cm}^2$ ), 铜母线为  $14000 \text{N/cm}^2$ , 铝母线为  $7000 \text{N/cm}^2$ ;
- $W$  —— 抗弯矩( $\text{cm}^3$ ), 当母线横放时为  $0.167bh^2$ , 当母线竖放时为  $0.167hb^2$ ;
- $l$  —— 支持绝缘子间距离(cm);
- $a$  —— 母线相间中心距离(cm);
- $b$  —— 母线厚度(cm);
- $h$  —— 母线宽度(cm);
- $i^{(3)}$  —— 三相短路冲击电流峰值(kA)。

电缆的热稳定校验:

$$A_{\min} = \frac{I_{sc}}{K} \sqrt{t_e}$$

- 式中  $A_{\min}$  —— 电缆所需最小截面( $\text{mm}^2$ );
- $I_{sc}$  —— 短路稳态电流(A);
- $t_e$  —— 假想时间(s), 对无限容量电力系统供电时, 三相短路电流的假想时间  $t_e = t + 0.05$  (s) ( $t$  为短路延续时间, 它是保护继电器整定动作时间与开关动作时间之和, 0.05 为考虑短路电流非周期分量的影响);

$K$ ——系数,对铜芯电缆为 165,铝芯电缆为 95。

### 5. 按机械强度选择

表 17-7 绝缘导线线芯的最小截面

用 途	线芯的最小截面积(mm <sup>2</sup> )		
	铜芯软线	铜线	铝线
照明用灯头引下线			
民用建筑、屋内	0.4	0.5	1.5
工业建筑、屋内	0.5	0.8	2.5
屋外	1.0	1.0	2.5
移动式用电设备			
生活用	0.2		
生产用	1.0		
架设在绝缘支持件上的绝缘导线,其支持点间距为			
1m 以下,屋内		1.0	1.5
屋外		1.5	2.5
2m 及以下,屋内		1.0	2.5
屋外		1.5	2.5
6m 及以下		2.5	4.0
12m 及以下		2.5	6.0
穿管敷设的绝缘导线	1.0	1.0	2.5

注:用链吊或管吊的屋内照明灯具,其灯头引下线为铜芯软线时,可适当减少截面。

## 三、室内布线

### 1. 接户线

一般建筑物的低压接户线分架空线接户和地下电缆进户。

架空接户线对地最小距离应符合表 17-8 的规定。接户线按机械强度要求,当空中档距在 6m 及以下时,最小为 4mm<sup>2</sup>(铝)和 2.5mm<sup>2</sup>(铜);档距在 12m 及以下时,最小为 6mm<sup>2</sup>(铝)和 2.5mm<sup>2</sup>(铜);档距在 25m 及以下时,最小为 10mm<sup>2</sup>(铝)和 4mm<sup>2</sup>(铜)。

低压架空接户线与建筑物、弱线路的安全距离应符合表 17-9 的有关规定。低压架空接户线的线间距离不应小于表 17-10 的规定。

表 17-8 接户线对地最小距离

(m)

接 户 线 电 压		最 小 距 离
高 压 接 户 线		4
低 压 接 户 线	一 般	2.5
	跨越通车街道	6
	跨越通车困难街道、人行道	3.5
	跨越胡同(里、弄、巷)	3

表 17-9 低压接户线(绝缘线)与建筑物、弱电线路的最小距离

敷 设 方 式		最 小 允 许 距 离 (mm)
水 平 敷 设	距阳台平台屋顶的垂直距离	2500
	距下方窗户的垂直距离	300
	距上方窗户的垂直距离	800
	距下方弱电线路交叉距离	600
	距上方弱电线路交叉距离	300
	垂直敷设时至阳台、窗户的水平距离	750
	沿墙或构架敷设时至墙构架的距离	50

表 17-10 低压接户线的线间距离

架 设 方 式	档 距 (m)	线 间 距 离 (cm)
自电杆上引下	25 及以下	15
	25 以上	20
沿墙敷设	6 及以下	10
	6 以上	15

## 2. 导线及电缆明敷

导线及电缆在屋内水平敷设时,高地高度不小于 2.5m;垂直敷设时不小于 1.8m;在屋外水平及垂直敷设时均不小于 2.7m。



表 17-11 导线间的最小距离

固定点间距 (m)	导线最小间距 (mm)	
	屋内布线	屋外布线
1.5 及以下	35	100
1.6~3	50	100
3.1~6	70	100
大于 6	100	150

注:不包括户外杆塔及地下电缆线路。

表 17-12 导线的最大固定间距

敷 设 方 式	导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	最大间距 (mm)
瓷(塑料)夹布线	1~4	600
	6~10	800
鼓形(针式)绝缘子布线	1~4	1500
	6~10	2000
	10~25	3000
直敷布线	≤6	200

表 17-13 绝缘导线至建筑物的最小间距

布 线 方 式	最小间距 (mm)
水平敷设时的垂直间距	
在阳台上、平台上和跨越建筑物屋顶	2500
在窗户上	300
在窗户下	800
垂直敷设时至阳台、窗户的水平间距	600
导线至墙壁和构架的间距(挑檐下除外)	35

### 3. 导线及电缆穿管敷设

管路超过 45m 时应加装一个接线盒;当两个接线盒之间有一个弯时,30m 内装一个接线盒;两个弯时,则为 20m;三个弯时则为 12m。弯的角度一般指 90°~105°,每两个 120°~150°的弯相当于一个 90°~105°

的弯,长度超过上述要求时,应加装接线盒或放大一级管径。明敷管线固定点间的最大间距见表 17-14。

表 17-14 明敷管线固定点间的最大间距 (m)

管 类	标 称 管 径 (mm)				
	15~20	25~32	40	50	63~100
水煤气钢管	1.5	2	2	2.5	3.5
电线管	1	1.5	2	2	
塑料管	1	1.5	1.5	2	2

注:钢管和塑料管的管径指内径,电线管的管径指外径。

表 17-15 单芯橡皮、塑料绝缘导线穿管管径表

导线截面积 (mm <sup>2</sup> )	管 内 导 线 根 数													
	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
	钢 管 管 径 (mm)							电 线 管 管 径 (mm)						
1	15							15						
1.5	20							20						
2.5	25							25		25				
4	32							32						
6	32							32					40	
10	25		32			40		25		40				
16	40							40						
25	32	40		50										
35	40		50											
50	40			70										
70	70					80								
95	80													
120	50	80												
150	70													
185														

表 17-16 屋内电气管线和电缆与其他管道之间的最小净距 (m)

敷设方式	管线及设备名称	管线	电缆	绝缘导线	裸导 (母)线	滑触 线	插接式 母 线	配电设备
平行	煤气管	0.1	0.5	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
	乙炔管	0.1	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0
	氧气管	0.1	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	蒸汽管	1.0/0.5	1.0/0.5	1.0/0.5	1.5	1.5	1.0/0.5	0.5
	热水管	0.3/0.2	0.5	0.3/0.2	1.5	1.5	0.3/0.2	0.1
	通风管		0.5	0.1	1.5	1.5	0.	0.1
	上下水管	0.1	0.5	0.1	1.5	1.5	0.1	0.1
	压缩空气管		0.5	0.1	1.5	1.5	0.1	0.1
	工艺设备				1.5	1.5		
交叉	煤气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	乙炔管	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
	氧气管	0.1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	
	蒸汽管	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	
	热水管	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	通风管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	上下水管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	压缩空气管		0.1	0.1	0.5	0.5	0.1	
	工艺设备				1.5	1.5		

- 注：1. 表中的分数，分子数字为线路在管道上面时和分母数字为线路在管道下面时的最小净距。
2. 电气管线与蒸汽管不能保持表中距离时，可在蒸汽管与电气管线之间加隔热层，这样平行净距可减至 0.2m，交叉处只考虑施工维修方便。
3. 电气管线与热水管不能保持表中距离时，可在热水管外包隔热层。
4. 裸母线与其他管道交叉不能保持表中距离时，应在交叉处的裸母线外面加装保护网或罩。

# 第十八章 电气照明

## 一、概 述

### 1. 光度量的定义和单位

表 18-1 光度量的定义和单位

名称	符号	定义和公式	SI制单位名称和代号
光 量	$Q$	人眼能感知的辐射能量即： $Q = \int_{380}^{780} Q_e V(\lambda) d\lambda$ $Q_e$ 光谱辐射能量 或为光通量对时间的积分	流[明]秒 lm·s
光通量	$\Phi$	单位时间内辐射或传递的光量 $\Phi = \frac{dQ}{dt}$	流[明] lm
发光 强度 (光强)	$I$	单位立体角中发出的光通量 $I = \frac{d\Phi}{d\omega}$	坎[德拉] cd
亮 度	$L$	发光体在给定方向上单位投影面积中发出的发光强度 $L = \frac{dI}{dscos\theta}$ $= \frac{d^2\Phi}{d\omega dscos\theta}$	坎[德拉]每平方米 cd/m <sup>2</sup>

(续)

名称	符号	定义和公式	SI制单位名称和代号
光出射度	$M$	单位面积上发出的光通量 $M = \frac{d\Phi}{ds}$	流[明]每平方米 $\text{lm}/\text{m}^2$
照度	$E$	单位面积上接收的光通量 $E = \frac{d\Phi}{ds}$	勒[克斯] $\text{lx}$
曝光量	$H$	光照度对时间的积分 $H = \int E dt$	勒[克斯]秒 $\text{lx} \cdot \text{s}$

## 2. 照明的基本计算

### (1) 发光效率

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm/W})$$

式中  $\Phi$  ——光源发出的光通量(lm)；

$P$  ——光源输入的电功率(W)。

(2) 点光源的水平照度 当光源与被照面的距离  $l$  大于光源线度的 5 倍时, 便可以把光源看作点光源计算, 点光源在水平面上产生的照度遵守平方反比定律和余弦定律。即:

$$E_h = \frac{I_\theta}{l^2} \cos\theta \quad (\text{lx})$$

或

$$E_h = \frac{I_\theta}{H^2} \cos^3\theta \quad (\text{lx})$$

式中  $E_h$  ——水平面照度(lx)

$I_\theta$  ——照明器照射方向的光强(cd)；

$l$  ——光源(照明器)与计算点之间的距离(m)；

$H$  ——光源离工作面的高度(m), 见图 18-1。

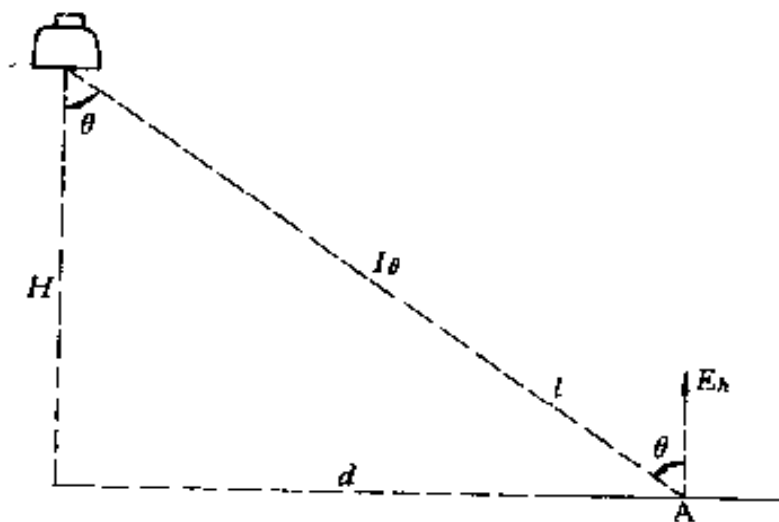


图 18-1 水平面上 A 点的照度计算

(3) 室内各面平均照度

$$E_{av} = \frac{n\Phi U}{A}$$

式中  $E_{av}$ ——室内各面(地板、墙、天棚)的平均照度(lx);

$n$ ——光源数;

$\Phi$ ——每个光源发出的光通量(lm);

$A$ ——与所求照度对应平面的面积( $m^2$ );

$U$ ——利用系数,可从有关手册中查得。

## 二、照明常用电光源

### 1. 常用照明电光源的种类、特性和用途

表 18-2 常用照明电光源的种类、特性和用途

光源名称		热辐射光源		气体放电光源				
		普通白炽灯	卤钨灯	荧光灯	汞光高压汞灯	管形氙灯	高压钠灯	金属卤化物灯
特性比较	额定功率范围(W)	15~1000	500~2000	6~200	50~1000	1500~10 <sup>3</sup>	250,400	250~3500
	发光效率(lm/W)	65~19	20~21	25~27	30~50	20~37	90~100	60~80
	平均寿命(h)	1000	1500	2000~3000	2500~5000	500~1000	3000	2000

(续)

光源名称		热辐射光源		气体放电光源				
		普通白炽灯	卤钨灯	荧光灯	荧光高压汞灯	管形氙灯	高压钠灯	金属卤化物灯
特 性 比 较	显色指数	95~99	95~99	70~80	30~40	90~94	20~25	65~85
	表面亮度	大	大	小	较大	大	较大	大
	启动稳定时间	瞬时		1~3s	4~8min	1~2s	4~8min	4~10min
	启动再启动时间	瞬时	瞬时	较短	长	较短	长	长
	光通受电压波动的影响	大	大	较大	较大	较大	大	较大
	光通受环境温度的影响	小	小	大	较小	小	较小	较小
	耐震性	较差	差	较好	好	好	较好	好
	所需配件	无	无	镇流器、起辉器	镇流器	触发器、镇流器	镇流器	触发器、镇流器
	功率因数 $\cos\varphi$	1	1	0.33~0.7	0.44~0.67	0.4~0.9	0.44	0.4~0.61
	频闪现象	不明显	不明显	明显	明显	明显	明显	明显
优 点	构造简单, 价格低, 使用方便	效率高, 寿命长, 发光表面温度低	效率高, 寿命长, 发光表面温度低	单灯功率大, 光效高, 灯具少, 投资省	功率大, 光色好, 光效高, 受环境影响小, 耐震	光效高, 功率大, 耐震性好		
缺 点	效率低, 寿命短	灯座温度高, 安装要求高, 偏角不得大于 $4^\circ$ , 价高	功率因数低, 需镇流器、起辉器等附件	功率因数低, 需镇流器	功率因数低, 需触发器、镇流器	功率因数低, 需镇流器	功率因数低, 需触发器、镇流器	
用 途	适用于照度要求较低, 开关次数频繁场所	适用于照度要求较高, 悬挂高度较高的室内、外照明	适用于照度要求较高, 需辨别色彩的室内照明	适用于生产厂房及道路照明	适用于露天场、广场、体育场的照明	适用于特殊高大厂房及道路的照明		

## 2. 白炽灯

表 18-3 白炽灯的光电参数(透明泡壳)

光源型号	功率(W)	初始光通量(lm)	灯头型号
PZ 220-15 25 40 60 100 150 200 300 500 1000	15	110	E27/27 或 B22d/25×26
	25	220	
	40	350	
	60	630	
	100	1250	
	150	2090	
	200	2920	E27/35×30 或 B22d/30×30
	300	4610	E40/45
	500	8300	
1000	18600		
PZS 220-40 60 100	40	415	E27/27 或 B22d/25×26
	60	715	
	100	1350	
PZM 220-15 25 40	15	107	E27/27 或 B22d/25×26
	25	213	
	40	326	

注:1. PZ220 指普通白炽灯泡,额定电压 220V;PZS 指双螺旋普通白炽灯泡,PZM 指蘑菇型普通白炽灯泡。

2. 还有用乳白玻璃、磨砂玻璃和内涂白色三种泡壳的白炽灯,它们发出的光通量分别是透明泡壳的 75%、97%和 85%。

3. 灯头型号中,E 代表螺旋式灯头,B 代表插口式灯头。灯头胶泥的最大安全工作温度 170℃。

4. 色温在 2400~2900K,一般显色指数  $R_a=99\sim 100$ 。

5. 平均寿命 1000h。

## 3. 卤钨灯

见表 18-4。



表 18-4 照明用卤钨灯的型号和参数

型 号	功率(W)	光通量(lm)	平均寿命(h)
LZG 220-500	500	9020	1000
1000	1000	21000	1500
1500	1500	31500	1500
2000	2000	42000	1500

①LZG 是直管形的型号，二端引出；接线端有夹板式和顶式两种。

#### 4. 荧光灯

表 18-5 常用荧光灯的光电参数

类别	型 号	额定 功率 (W)	灯管 电压 (V)	工作 电流 (mA)	光 通 量 (lm)	平均 寿命 (h)	灯管直径 $\phi$ 长度 $L$ $\phi \times L$ (mm)	镇流器参数		功率 因数 $\cos\varphi$
								阻抗 ( $\Omega$ )	最大 功耗 (W)	
直 管 形	YZ 6RR 8RR 15RR 20RR 30RR 40RR 100RR	6	50 $\pm$ 6	140	160		16 $\times$ 226.7	1400		0.34
		8	60 $\pm$ 6	150	250	1500	16 $\times$ 302.4	1285	4.5	0.38
		15	51 $\pm$ 7	330	450	3000	451.6	256	8	0.33
		20	57 $\pm$ 7	370	775	3000	604	214	8	0.35
		30	81 $\pm$ 10	405	1295	5000	908.8	460	8	0.43
		40	103 $\pm$ 10	430	2000		1213.6	390	9	0.52
		100	92 $\pm$ 11	1500	4400	2000	1213.6	123	20	0.37
快 启 动 式	YZK 15RR 20RR 40RR	15	51 $\pm$ 7	330	450	3000	451.6	202	4.5	0.27
		20	57 $\pm$ 7	370	770		604	196	6	0.32
		40	103 $\pm$ 10	430	2000	5000	1213.6	168	12	0.55
细 管	YZS 20RR 40RR	20	59 $\pm$ 7	360	1000	3000	604	540	8	0.35
		40	107 $\pm$ 10	420	2560	5000	1213.6	390	9	0.52
三 基 色	STS 40	40	103 $\pm$ 10	430	3000	5000	40.5 $\times$ 1213.6	390	9	0.52
U 型	YU 30RR YU 40RR	30	89	350	1550	2000	20 $\times$ 417			
		40	108	410	2200	2000	20 $\times$ 626			
环 形 管	YH 22RR	22	62	365	780	2000	29 $\times$ 210			

(续)

类别	型号	额定功率 (W)	灯管电压 (V)	工作电流 (mA)	光通量 (lm)	平均寿命 (h)	灯管直径 $\phi$ 长度 L $\phi \times L$ (mm)	镇流器参数		功率因数 $\cos\phi$
								阻抗 ( $\Omega$ )	最大功耗 (W)	
紧凑型	双曲灯	YSO 18	18	100	180	835	3000	12	整体尺寸 160 $\times \phi 70$	
	H 灯	HY 7	7	45	180	380	3000	12	133 $\times$ 32	
		9	9	60	170	530			整体尺寸 165 $\times$ 32	
11	11	90	155	800	234 $\times$ 32					

注:1. 型号中 RR 表示日光色, 还有 RN 表示暖白色和 RL 表示冷白色。

2. 除紧凑型荧光灯外, 其他灯管引出线都采用三针式灯帽, 目前 YZK 型灯中已有单针式瞬时启动的新灯管。

3. 紧凑型的双曲灯采用 E27 灯头, 使用方法与白炽灯相同; H 灯采用内藏电容和起辉器的塑料灯头, 有导向和固定作用。

4. 表中环形管的尺寸, 29 表示灯管直径, 210 表示圆环的外径。

### 5. 高强气体放电灯

表 18-6 照明用 HID 光源的光电参数

类别	型号①	额定功率 (W)	灯管电压 (V)	灯管电流 (A)	光通量 (lm)	稳定时间 (min)	再启动时间 (min)	色温 (K)	一般显色指数 $R_a$	平均寿命 (h)	功率因数 $\cos\phi$	灯头型式	
高压汞灯	荧光型	GGY-50	50	95 $\pm$ 15	0.62	1575	5~10	5500	30~40	3500	0.44	E27/27	
		80	80	110 $\pm$ 15	0.85	7940						E27/25 $\times$ 30	
		125	125	115 $\pm$ 15	1.25	4990	4~8			5~10	5000	0.55	E40/15
		175	175	130 $\pm$ 15	1.50	7350							
		250	250	135 $\pm$ 15	2.15	11025	6000			0.61	E40/75 $\times$ 54		
		400	400	135 $\pm$ 15	3.25	21000							
	1000	1000	145 $\pm$ 15	7.50	52500	5000	0.67	$\times$ 64					
	反射式	GYF-400	400	135 $\pm$ 15	3.25	16500	4~8	5~10	5500	30~40	5000	0.61	E40/75 $\times$ 54
	自镇流式	GYZ-160	160	220	0.75	2560	4~8	3~6	4400	30~40	3000	0.9	E27/35 $\times$ 30
	250	250	220	1.20	5500	E40/45							
450	450	220	2.20	13000	E40/75 $\times$ 45								

(续)

类别	型号①	额定功率 (W)	灯管电压 (V)	灯管电流 (A)	光通量 (lm)	稳定时间 (min)	再启动时间 (min)	色温 (K)	一般显色指数 $R_a$	平均寿命 (h)	功率因数 $\cos\varphi$	灯头型式	
金属卤化物灯	钠铊铟	NTY-400	400	135±15	3.25	28000	4~8	5000 ~ 6000	60~ 70	1000 ~ 2000	0.61	E40/45	
		400	400	120	3.6	24000	10						
		1000	1000	120	10	75000							
		1000A	1000	120	10	75000							
		2000A	2000	220	10.3	140000							
	3500A	3500	220	18	240000	10~ 15	两端装 夹式						
	镨	DDG-400	400	215	2.7	36000	4~8	10~ 15	5000	85 70 75 80	500		E40/45
		1000	1000	130	8.3	70000			7000				
2000		2000	220	10.3	150000	4500							
3500		3500	220	18	280000	6500							
高压钠灯	普通型	NG-70	70	90	0.98	5000	4~8	10~ 20	2000 ~ 4000	20~ 25	6000	0.44	E27/35
		110	110	95	1.4	8000							
		250	250	100	3.0	20000							
		400	400		4.6	38000							
		1000	1000	185	6.5	100000							有触 发器
	高显色型	NGG-70	70	90	0.98	3000	4~8	1~2	2000 ~ 4000	>70	3000		E27/35
		150	150	100	1.8	6500							
		250	250	100	3.0	12500							
		400	400	100	4.8	23000							
		1000	1000	120	7.0	40000							

① NTY-2000A、3500A, DDG-2000, 3500, NG-1000 等几种光源采用 380V 的电源电压, 其余均为 220V。

② NTY 数字后接 A 字的表示有外泡壳, DDG 均有外泡壳。

### 三、照明质量

#### 1. 生产车间工作面上的最低照度值

表 18-7 生产车间工作面上的最低照度值

识别对象最小尺寸 $d$ (mm)	亮度 对比	视觉工作 分类对比	最低照度(lx)			生产车间和工作场所举例
			混合照明	混合照明中 一般照明	单独使用 一般照明	
$d \leq 0.15$	小	I 甲	1500	100		
	大	I 乙	1000	75		精密机械加工及精密机电小件装配车间
$0.15 < d \leq 0.3$	小	II 甲	750	50	(200)	机械加工及焊接车间 精密切线
	大	II 乙	500	50	-	一般机械加工及机电装配车间、机电设备试车台
			-	-	150	配电、变电所主控制室
$0.3 < d \leq 0.6$	小	III 甲	500	50	(150)	抛光车间、精密电修车间
	大	III 乙	300	30	-	木工车间机床区
			-	-	100	理化实验室、计量室、热工仪表控制室
$0.6 < d \leq 1.0$	小	IV 甲	300	30	(100)	木工车间木模区、一般电修车间
	大	IV 乙	200	30		冲压剪切车间
					75	广播室、配电、变电所、一般控制室、焊接车间一般划线

(续)

识别对象最小尺寸 $d$ (mm)	亮度对比	视觉工作 分类对比	最低照度 (lx)			生产车间和工作场所举高
			混合照明	混合照明中 一般照明	单独使用 一般照明	
$1.0 < d \leq 2.0$		V	(150)	—	50	焊接车间弧焊及接触焊, 钣金、电镀、喷漆车间, 电话站机房、人工交换台
$2.0 < d \leq 5.0$		VI		—	30	机电设备试车地面照明, 热处理, 铸工造型、酸洗、喷砂车间, 工具库, 汽车修理间, 高低压配电室, 压缩机房, 电源间
$5 < d$		VII		—	20	铸工车间型砂处理、清理工段, 泵房, 锅炉房, 风机房, 电石气房, 充气灌瓶房, 变压器室, 蓄电池室, 精细件贮存库房
一般观察生产过程		VIII		—	10	汽车库, 电石库, 氧气瓶库, 中小件贮存库房, 燃料准备间, 灰渣清理间
大件贮存		IX		—	5	大件贮存库房
有自行发光的材料		X	—		30	铸工车间熔化、浇铸工段, 锻工车间

## 2. 一般生产车间和工作场所工作面上的最低照度值

表 18-8 一般生产车间和工作场所工作面上的最低照度值

序号	车间和工作场所	视觉工作等级	最低照度(lx)		
			混合照明	混合照明中的一般照明	一般照明
1	金属机械加工车间： 一般 精密	Ⅰ乙	500	30	—
		Ⅰ乙	1000	75	—
2	机电装配车间： 大件装配 精密小件装配	Ⅰ乙	500	50	—
		Ⅰ乙	1000	75	—
3	机电装配试车： 地面 试车台	Ⅵ	—	—	30
		Ⅰ乙	500	50	—
4	焊接车间： 弧焊 一般接触焊 一般划线 精密划线	V	—	—	50
		V	—	—	50
		Ⅳ乙	—	—	75
		Ⅰ甲	750	50	—
5	钣金车间	V	—	—	50
6	冲压剪切车间	Ⅳ乙	300	30	—
7	锻造车间	X	—	—	30
8	热处理车间	Ⅵ	—	—	30
9	铸工车间： 溶化、浇铸 型砂处理、清理 造型	X	—	—	30
		Ⅵ	—	—	20
		Ⅵ	—	—	50

(续)

序 号	车间和工作场所	视觉工作 等 级	最低照度(lx)		
			混合照明	混合照明中 的一般照明	一般照明
10	木工车间:				
	机床区	■ 乙	300	30	—
	锯木间	V	—	—	50
	木模区	IV 甲	300	30	—
11	表面处理车间:				
	电镀槽间	V	—	—	50
	酸洗间	VI	—	—	30
	抛光间	■ 甲	500	30	—
	电源(整流器)室	VI	—	—	30
12	喷漆车间	V	—	—	50
13	喷砂车间	VI	—	—	30
14	电修车间:				
	— 般	IV 甲	300	30	—
	精 密	■ 甲	500	50	—
15	理化实验室、计量室	■ 乙	—	—	100
16	动力站:				
	压缩机房	VI	—	—	30
	泵 房	VI	—	—	20
	风机房	VI	—	—	20
	乙炔发生器房	VI	—	—	20
	锅炉房、煤气站的操作层	VI	—	—	20
17	配、变电所:				
	变压器室	VI	—	—	20
	高低压配电室	VI	—	—	30

(续)

序号	车间和工作场所	视觉工作等级	最低照度(Lx)		
			混合照明	混合照明中的一般照明	一般照明
18	控制室:				
	一般控制室	IV乙	—	—	75
	主控制室	III乙	—	—	150
19	热工仪表控制室	III乙	—	—	100
20	电话站:				
	人工交换台、转接台	V	—	—	50
	蓄电池室	IV	—	—	20
21	广播站(室)	IV乙	—	—	75
22	仓库:				
	大件贮存	IX	—	—	5
	中小件贮存	VIII	—	—	10
	精细件贮存	VII	—	—	20
	工具库	VI	—	—	30
23	乙炔瓶库、氧气瓶库、电石库	VIII	—	—	10
24	汽车库:				
	停车间	VII	—	—	10
	充电室	VII	—	—	20
	检修间	VI	—	—	30

注:冲压剪切车间和造型车间的照度为提高了一级的照度。



### 3. 工业企业辅助建筑及露天工作场所的最低照度

表 18 9 工业企业辅助建筑及露天工作场所的最低照度

工作场所名称	最低照度 (lx)	规定照度的平面
设计室	100	距地面 0.8m 的水平面
阅览室	75	
办公室、会议室 资料室、医务室	50	
托儿所、幼儿园	30	
食堂、单身宿舍、车间休息室	30	距地面 0.8m 的水平面
浴室、更衣室、厕所	10	地面
走廊通道、楼梯间	5	
室外主要干道	0.5	地面
室外次要干道	0.2	
视觉要求较高的露天工作	20	工作面
在露天用眼睛检查质量的金属 焊接	10	
在露天用仪器检查质量的金属 焊接	5	
在露天间断观察的仪表	5	
露天装卸工作	3	地面
视觉要求较高的站台	3	
码头	3	
一般站台	0.5	
露天堆场	0.2	

#### 4. 一般住宅室内人工照明要求

表 18-10 一般室内人工照明要求

房间名称	最低照度 (lx)		常用灯功率 (W)	规定照度平面高度 (m)
	白炽灯	荧光灯		
一般卧室	10		25	0.8
高级卧室	20	40	40	0.8
起居室、书房	20	40	40	0.8
厨房	15		15	0.8
厕所、浴室	5		15	地面

#### 5. 照明灯具最低悬挂高度

表 18-11 照明灯具最低悬挂高度

光源种类	反射器类型	保护角	灯泡功率 (W)	最低高度 (m)
白 炽 灯	搪瓷反射罩	$10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	$\leq 100$	2.5
			150~200	3.0
			300~500	3.5
			$\geq 500$	4.0
	乳白玻璃漫射器	-	$\leq 100$	2.0
			150~200	2.5
			300~500	3.0
荧光灯	-	-	$\leq 40$	2.0
高压汞灯	搪瓷	$10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	$\leq 250$	5.0
	铝抛光		$\geq 400$	6.0
卤钨灯	搪瓷	$\geq 30^{\circ}$	500	6.0
	铝抛光		1000~2000	7.0
金属卤化物灯	搪瓷	$10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	400	6.0
	铝抛光	$> 30^{\circ}$	1000	14.0
高压钠灯	搪瓷	$10^{\circ} \sim 30^{\circ}$	250	6.0
	铝抛光		400	7.0

## 第十九章 工业电加热

### 一、电加热概述

#### 1. 常用电加热方式、设备及用途

表 19-1 常用电加热方式、设备及用途

加热方式	发热原理	主要设备		用途
		电焊机	电炉	
电阻加热	直接与电源连接的导体在电流通过时因本身电阻而产生热	点焊机、缝焊机、凸焊机、对焊机(包括闪光焊机) 其他焊机(二次整流焊机、电容储能焊机等)	直接加热式电阻炉 间接加热式电阻炉 间歇式(箱式炉、井式炉、台车式炉、钟罩式炉) 连续炉(传送带式、推送式、震底式、辊底式、滚筒式等)	金属材料及零件的热处理、焊接和钎焊以及材料和制品的干燥、烘烤和烧结等 加热可以在空气中进行,亦可在控制气氛或真空条件下进行
电弧加热	气体电弧放电产生热	手弧焊机、埋弧焊机、惰性气体保护焊机、二氧化碳气体保护焊机	直接加热式电弧炉、炼钢电弧炉、自耗电极和非自耗电极真空电弧炉 间接加热式电弧炉、矿热炉(铁合金炉、冰铜炉、电石炉、黄磷炉等)	特种钢、普通钢、活泼金属、铁合金、冰铜、电石、黄磷等的熔炼和制取,金属的各种焊接
感应加热	交变磁场中的导体,因电磁感应产生感应电流通过导体本身时产生热	感应缝焊机、感应对焊机、感应钎焊机	无心感应熔炼炉(包括高频、中频和工频)、有心感应熔炼炉、感应透热炉、感应烧结炉、感应热处理设备、悬浮熔炼和区域熔炼设备	合金钢、铸铁、有色金属的熔炼,锻压前加热,各种热处理和粉末冶金烧结以及制取高纯材料和单晶

## 2. 常用耐火材料性能

表 19-2 耐火材料性能

类别	材料名称	体积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最高使用 温度(°C)	导热系数 λ [kJ/(m·h·°C)]	比热容 c [kJ/(kg·°C)]	
成型制品	轻质粘土砖	QN 1.3a	1.3	1300	$1.47 + 1.26 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
		QN-1.3b	1.3	1300	$1.47 + 1.26 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
		QN-1.0	1.0	1250	$1.05 + 0.92 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
		QN-0.8	0.8	1250	$0.76 + 1.55 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
		QN-0.6	0.6	1200	0.58 - 0.79(350°C)	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
		QN-0.4	0.4	1150	$0.34 + 0.59 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$
	普通粘土砖	1.8~2.2	1400	$2.52 + 2.31 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3}\theta$	
	普通高铝砖	2.3~2.75	1500	$7.56 + 6.72 \times 10^{-3}\theta$	$0.84 + 0.24 \times 10^{-3}\theta$	
	泡沫高铝砖	<0.8	1150~1300	—	$0.84 + 0.24 \times 10^{-3}\theta$	
	刚玉制品	2.6~3.4	1800	$7.56 + 6.72 \times 10^{-3}\theta$	$0.80 + 0.42 \times 10^{-3}\theta$	
	泡沫氧化铝砖	<0.8	1350	—	$0.80 + 0.42 \times 10^{-3}\theta$	
	石墨制品	1.6	2000	—	—	
	碳化硅制品	2.4	1500	1000°C时为 38.6	$0.97 + 0.15 \times 10^{-3}\theta$	
	熔铸云母制品	2.69	1100	1.09	—	
	氮化硅制品	—	1700	—	—	
打结料	石英砂 SiO <sub>2</sub> >98%	2.05~2.25	1650	—	0.96	
	耐火粘土 SiO <sub>2</sub> 75%~80% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 20%~25%	2.6~2.7	1000	—	0.96	
	耐火粘土 SiO <sub>2</sub> 35%~65% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 65%~35%	2.65~2.75	1200	—	0.96	
	烧成镁砂 MgO>98%	2.80~2.86	1900	—	1.13	
	电熔镁砂 + 电熔刚玉 MgO>85% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <15%	—	1800	—	—	
	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	

(续)

类别	材料名称	体积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最高使用 温度(°C)	导热系数λ [kJ/(m·h·°C)]	比热容c [kJ/(kg·°C)]
浇 灌 料	耐火混凝土				
	重质	2.2~2.5	1300~1800	3.0~3.8(700°C)	--
	轻质	0.6~1.2	700~1300	0.56~0.95(350°C)	--
	高铝、氧化铝	1.50~1.55	1500~1800	1.2~3.3(350°C)	--
	轻质浇灌料				
	陶瓷耐纤维浇 灌料	1.15~1.19 (常态)	1300~1500	0.59~0.77(800°C) 0.76~1.20(1000°C)	-- --

### 3. 常用绝热材料性能

表 19-3 绝热材料性能

材料名称	体积密度 γ(g/cm <sup>3</sup> )	导热系数 λ[kJ/(m·h·°C)]	最高使用温度 (°C)
硅藻土砖	0.50	0.4+0.53×10 <sup>-3</sup> θ	900
硅藻土砖	0.55	0.34+0.88×10 <sup>-3</sup> θ	900
硅藻土砖	0.60	0.53+1.13×10 <sup>-3</sup> θ	900
硅藻土砖	0.70	0.71+0.97×10 <sup>-3</sup> θ	900
石棉绒	0.34	0.32+0.84×10 <sup>-3</sup> θ	500
石棉板	0.95	0.59+0.63×10 <sup>-3</sup> θ	500
矿渣棉	0.30	0.25+0.57×10 <sup>-3</sup> θ	750
玻璃棉	0.25	0.13+0.92×10 <sup>-3</sup> θ	600
膨胀蛭石	0.25	0.26+0.92×10 <sup>-3</sup> θ	1100
膨胀珍珠岩(散料)	0.04~0.12	0.22~0.25(常温)	1000
膨胀珍珠岩(制品)	0.2~0.35	0.16~0.29(常温)	650~1000
硅酸铝纤维	0.06~0.13	0.42~0.84(常温)	1250
硅酸铝纤维(制品)	0.30(真比重)	0.21+0.42×10 <sup>-3</sup> θ	1000
氧化铝纤维	3.4	0.75(800°C) 1.6(1300°C)	1600
高铝纤维	2.56~2.8	—	1450
氧化锆纤维	5.6	—	1800~2200

注：硅酸铝纤维、氧化铝纤维、高铝纤维和氧化锆纤维通称为耐火纤维，亦可作为耐火材料使用。

## 二、常用电炉、电焊机的计算

### 1. 电阻加热炉功率估算

箱式、井式、台车式炉的功率可用下式估算

$$P = K \sqrt[3]{V^2} \quad (\text{kW})$$

式中  $V$  —— 炉膛容积 ( $\text{m}^3$ );

$K$  —— 按表 19-4 选取。

表 19-4  $K$  系数值

炉温 (C)	箱式炉	井式炉	台车式炉
650		90~150 <sup>①</sup>	
950	80~130	90~120	130~160
1200	130~180	110~150	
1350	140~190		

①650 C 井式炉的空炉升温时间要求较短, 所以  $K$  值较大。

### 2. 常用电弧炉电气设备和导线的选用

常用的 0.5~5t 电弧炉的电气设备接线如图 19-1 所示, 图中采用的电器设备和导体的型号规格见表 19-5。

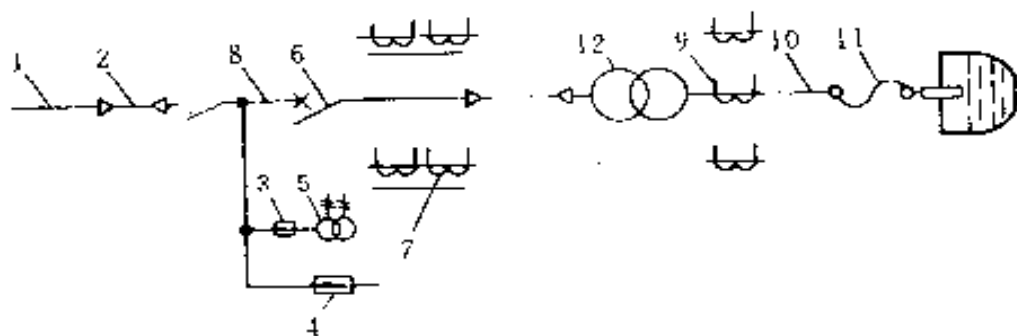


图 19-1 常用电弧炉电气接线图

表 19.5 常用电弧炉的电气设备和导线选择表

名 称	电压 (kV)	电 弧 炉 型 号				在图 19-1 上的 编号
		HX-0.5	HX-1.5	HX-3	HX-5	
电弧炉变压器 变压器型号 额定容量(kVA)	6	HS-1000/6 650	HS-1800/6 1250	HS-3000/6 2200	HSSP-4200/6 3200	12
	10	HS-1000/10 650	HS-1800/10 1250	HS-3000/10 2200	HSSP-4200/10 3200	
高压侧额定电流 (A)	6	80	120	212	318	
	10	47	72	127	190	
架空引入线截面积 (mm <sup>2</sup> )	6	16	25	70	95	1
	10	16	16	35	50	
电缆引入线截面积 (mm <sup>2</sup> )	6	16	50	150	240	2
	10	16	35	70	150	
高压熔断器	6		RN2-10			3
	10		RN2-10			
避雷器规格	6		FY-10			4
	10		FY 10			
电压互感器规格	6	JDJ-6 30VA				5
	10	JDJ-10 80VA				
高压断路器型号	6	ZN3-10/600-150				6
	10	ZN3-10/600-150				
高压侧电流 互感器①变比	6	100/5	150/5	300/5	400/5	7
	10	50/5	100/5	200/5	300/5	
高压母线规格	6	钢 3(25×4)	钢 3(40×4)	LMY-3(30×4)	LMY-3(30×4)	8
	10	钢 3(25×4)	钢 3(40×4)	LMY-3(25×4)	LMY-3(30×4)	
低压侧额定电流 (A)		1978	2916	4720	6670	

(续)

名称	电压 (kV)	电 弧 炉 型 号				在图 19-1 上的 编号
		HX-0.5	HX-1.5	HX 3	HX-5	
低压侧电流互感器 型号 变比		$\frac{LMY-0.5}{2000/5}$	$\frac{LMY-0.5}{3000/5}$	$\frac{LMY-0.5}{5000/5}$	$\frac{LMY-0.5}{7500/5}$	9
组合母线型号		TMY 80×8	TMY 2(100×8)	TMY 3(100×8)	TMY 4(100×8)	10
软母线型号		TRJ 2×500	TRJ 3×500	TRJ 5×500	水冷电缆 4×300	11

① 型号为 LFZ1 或 LFJZ1。

### 3. 感应炉连接导线

(1) 工频时电缆和汇流排允许的载流量 见第十四章。

(2) 中频时多芯电缆容许的工作电流

表 19-6 中频时多芯电缆容许的工作电流 ( $t=25^{\circ}\text{C}$ )

载流量 频 率 (Hz) 芯 数	铜芯/铝芯 (A)									
	500		1000		2500		8000		10000	
	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
25	115/ 100	—	95/ 80	—	76/ 66	—	57/ 47	—	55/ 45	—
35	130/ 115	—	110/ 95	—	86/ 75	—	65/ 55	—	60/ 50	—
50	150/ 130	290/ 235	120/ 105	235/ 205	96/ 84	185/ 160	75/ 65	135/ 115	70/ 60	130/ 110
70	180/ 155	320/ 280	150/ 130	265/ 230	115/ 100	210/ 185	90/ 75	155/ 135	85/ 70	150/ 130
95	205/ 180	385/ 335	170/ 150	325/ 305	135/ 120	250/ 220	100/ 85	190/ 160	95/ 80	180/ 150
120	225/ 200	430/ 370	190/ 170	355/ 310	150/ 135	280/ 250	115/ 105	210/ 180	105/ 95	200/ 170
150	260/ 225	470/ 415	215/ 185	385/ 340	170/ 150	310/ 260	130/ 110	230/ 195	120/ 105	220/ 190



(3)高中频时汇流排的长期允许工作电流

$$I_c = K_c(n-1)I_0 \sqrt{\delta_r/d} \quad (\text{A})$$

式中  $K_c$  ——系数,对双条汇流排  $K_c=1$ ,多条汇流排  $K_c=0.7$ ;  
 $n$  ——汇流排条数;  
 $\delta_r$  ——汇流排材料的电流透入深度(cm);  
 $d$  ——汇流排的厚度(cm)。

4.电焊机电源线路的选择

当按允许载流量选择电焊机的电源线路(绝缘导线和电缆)时,应按下式确定

$$I_L K_f \geq I_0$$

式中  $I_L$  ——导线或电缆的持续负载下允许载流量(A);  
 $I_0$  ——电焊机在某一负载持续率下的额定电流或短时工作电流(A);  
 $K_f$  ——校正系数。持续负载的情况,见表 19-7,根据绝缘导线或电缆的发热时间常数  $\tau$ (见表 19-8),负载持续率  $\epsilon$  和全周期时间  $T$  决定。当  $T > 10\text{min}$  或  $\epsilon \geq 65\%$  时,  $K_f=1$ 。短时负载下的情况,见表 19-9。当两次工作之间停止时间小于  $3\tau$ ,  $K_f=1$ 。

表 19-7 持续负载下绝缘导线和电缆载流量的校正系数  $K_f$

发热时间常数 $\tau(\text{min})$		负载持续率 $\epsilon$							
全周期时间 $T=10\text{min}$	$T=5\text{min}$	10%	15%	20%	25%	40%	50%	60%	65%
2		1.59	1.37	1.25	1.18	1.07	1.04	1.00	1.00
4	2	2.04	1.71	1.53	1.41	1.20	1.13	1.09	1.09
8	4	2.47	2.04	1.80	1.63	1.35	1.24	1.16	1.16
$\geq 16$	$\geq 8$	2.78	2.28	1.99	1.74	1.45	1.33	1.22	1.22

注: $\tau$ 值参见表 19-8。

表 19-8 各种绝缘导线和电缆的发热时间常数  $\tau$

绝缘导线或电缆的截面 (mm <sup>2</sup> )								发热时间常数 $\tau$ (min)
单芯塑料或橡皮绝缘线				塑料或橡皮绝缘电力电缆架空敷设		油浸纸绝缘电力电缆架空敷设		
架空明敷	穿管敷设			二芯	三芯、四芯	二芯	三芯、四芯	
	二根	三根	四根					
$\frac{4 \sim 16}{4 \sim 10}$	$\frac{2.5}{1.0 \sim 2.5}$	$\frac{1.0 \sim 1.5}{1.0 \sim 1.5}$	$\frac{1.0}{1.0}$					2
$\frac{25 \sim 50}{16 \sim 35}$	$\frac{4 \sim 16}{4 \sim 10}$	$\frac{2.5 \sim 10}{2.5 \sim 6}$	$\frac{2.5 \sim 6}{1.5 \sim 4}$	$\frac{1 \sim 10}{1 \sim 4}$	$\frac{1 \sim 6}{1 \sim 4}$	$\frac{2.5 \sim 10}{2.5 \sim 10}$	$\frac{2.5 \sim 6}{2.5 \sim 6}$	4
$\frac{70 \sim 185}{50 \sim 120}$	$\frac{25 \sim 50}{16 \sim 35}$	$\frac{10 \sim 35}{25}$	$\frac{10 \sim 25}{6 \sim 16}$	$\frac{16 \sim 35}{6 \sim 25}$	$\frac{10 \sim 25}{6 \sim 16}$	$\frac{16 \sim 70}{16 \sim 50}$	$\frac{10 \sim 35}{10 \sim 25}$	8
$\frac{240 \sim 400}{150 \sim 400}$	$\frac{70 \sim 150}{50 \sim 120}$	$\frac{50 \sim 120}{35 \sim 50}$	$\frac{35 \sim 70}{25 \sim 50}$	$\frac{50 \sim 150}{35 \sim 120}$	$\frac{35 \sim 120}{25 \sim 95}$	$\frac{95 \sim 150}{70 \sim 150}$	$\frac{50 \sim 150}{35 \sim 95}$	16
$\frac{500}{500}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{150}{95 \sim 150}$	$\frac{95 \sim 150}{70 \sim 150}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{150 \sim 240}{120 \sim 240}$		$\frac{185 \sim 240}{120 \sim 240}$	32

注: 1. 表内分子表示铝芯截面积, 分母表示铜芯截面积。

2. 本表专用于电焊机电源线。

表 19-9 短时负载下绝缘导线和电缆载流量的校正系数  $K_t$

发热时间常数 $\tau$ (min)	工作时间 $t$ (min)						
	0.5	1	2	4	8	16	32
2	2.45	1.84	1.45	1.24	1.15	1.00	1.00
4	2.36	2.45	1.84	1.45	1.24	1.15	1.00
8	4.70	3.36	2.45	1.84	1.45	1.24	1.15
16	6.54	4.70	3.36	2.45	1.84	1.45	1.24
32	9.25	6.54	4.70	3.36	2.45	1.84	1.15

注: 1.  $\tau$  值参见表 19-8。

2. 当  $t < 4\tau$  时, 短时负载的线芯允许最高温度比连续负载的线芯最高工作温度大 15℃。

## 第二十章 电化学与电池

### 一、电 化 学

#### 1. 法拉第定律

法拉第第一定律 电极上通过电流产生化学变化的物质质量与通过的电量成正比。

法拉第第二定律

$$m = \frac{It}{F} \quad \frac{A}{n} = kIt$$

式中  $m$  ——产生或消耗的物质质量；

$I$  ——电流强度；

$t$  ——电流通过的时间；

$A$  ——该物质的原子量；

$n$  ——化合价；

$F$  ——法拉第常数(相当于 1mol 元电荷电量的库仑数, 即  $F = 96489\text{C} \approx 26.8\text{A} \cdot \text{h}$ )；

$k$  ——电化当量。

#### 2. 电流效率

电解时在电极上实际产生或消耗的物质质量, 与按通过的电量求出的理论计算量的比值, 以百分数表示, 称为电流效率  $\eta$ 。

$$\eta = \frac{m}{Itk} \times 100\%$$

式中  $m$  ——实际产生或消耗的物质质量(kg)；

$I$  ——电流强度(A)；

$t$  ——通过电流的时间(h)；

$k$  ——电化当量[kg/(A·h)]。

### 3. 电极电位

当金属(电极)与电解质溶液接触时,在界面处产生的电位差,称为金属的电极电位  $\varphi$ 。当溶液中除作为溶剂的水外只有该金属盐的离子,并且达到平衡状态时的电极电位,称为该金属的平均电极电位  $\varphi_T$ 。

### 4. 电解

#### (1) 电解抛光

表 20-1 几种电解抛光的溶液组成和工艺参数

金属	溶液组成(重量) (%)		温度(C)	阳极电流密度 (A/m <sup>2</sup> )	时间(min)
碳素钢	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	72	70	5000	4
	CrO <sub>3</sub>	23			
不锈钢	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	55	55	3000	10
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25			
铝	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	34	85	2500	6
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	34			
	CrO <sub>3</sub>	1			
铜	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	74	室温	4000	2
	CrO <sub>3</sub>	6			

#### (2) 电解精炼金属

表 20-2 电解精炼金属的工作参数和产品纯度

金属	电解液类型	槽压(V)	阴极电流密度 (A/m <sup>2</sup> )	电流效率 (%)	电能消耗 (kW·h/t)	产品纯度	
						代号	(%)
铜	硫酸铜	0.25	240	95	250	Cu-1	≥99.95
镍	硫酸镍氯化物	2.5	200	95	2600	Ni-1	≥99.99
铅	氟硅酸铅	0.5	200	90	120	Pb-	≥99.994
银	硝酸盐	2.0	200	95	500	Ag-1	≥99.99
金	氯化物	1.0	1000(交流)	—	600		≥99.9

### (3) 电解提取金属

表 20 3 电解提取金属的工作参数

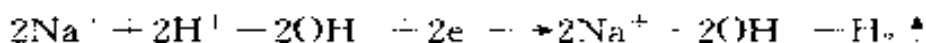
金属	电解液类型	槽 压 (V)	阴极电流密度 (A/m <sup>2</sup> )	电流效率 (%)	电能消耗 (kW·h/t)
锌	硫酸锌	3.5	500	90	3200
镉	硫酸镉	3.2	80	85	2000
铜	硫酸铜	2.4	150	65	3100
锰	硫酸锰	5.0	500	65	8000

### (4) 熔盐电解冶金

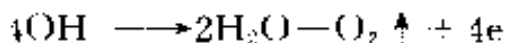
表 20-4 熔盐电解制取金属的工作参数

金属	熔盐类型	温度(C)	槽压(V)	电流效率 (%)	电能消耗 (kW·h/t)
铝	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	960	4.5	90	15000
镁	MgCl <sub>2</sub> -KCl	720	7	85	20000
钠	NaCl-CaCl <sub>2</sub>	610	6	80	12000

(5) 水的电解 工业上水的电解是在 80℃、22%~28% 氢氧化钠溶液中进行, 加入碱是为了增大水溶液的电导。电解时  
阴极反应:



阳极反应:



电极材料为镍或镀镍。为了分隔氢和氧, 电极之间用石棉隔膜隔离。电解水的理论分解电压是 1.23 V, 因为析氧的过电位较高, 实际的槽压在 1.8~2.6 V 之间, 电流效率在 95% 以上, 每产生 1 m<sup>3</sup> 氢气(标态)消耗电能 4.5~5.5 kW·h, 电能效率为 50%~60%。

## 二、电 池

### 1. 常用电池的分类、特点和用途

表 20-5 常用电池的分类、特点和用途

分 类	系 列	特 点	用 途
原 次 电 池	锌-锰干电池	价格便宜,仅适于小 电流工作,电压精度、 低温性能差	手电筒照明,晶体管收 音机,小型电台、仪器、仪 表,电动器具等用电源
	锌-银电池	价格贵,体积小	电子手表、照相机、计算 器、无线电话筒、助听器 等小型电子器具电源
	锌-空气电池	价格便宜	电子手表、助听器、航标 灯电源
	钾 电 池	开路电压高,重量 轻,价格较贵	计算器、心脏起搏器电 源
	标准电池	开路电压值恒定,不 能输出电流,工作电流 小于 $10^{-6}$ A	作为各种仪表、电工测 量的标准电压
	锌-汞电池	工作电压平稳,可以 低温工作,价格贵	用于电压精度要求高的 仪表、仪器
蓄 电 池	铅-酸蓄电池	价格便宜,可大电流 工作,使用寿命 1~2 年	汽车拖拉机起动、照明 电源,搬运车、叉车、井下 矿用机车动力电源,矿灯 照明电源
	镉-镍蓄电池	价格较贵,中等电流 工作,使用寿命 2~5 年	井下矿用电动机车,飞机 直流部分及仪器、仪表、通 信卫星等电源
	铁-镍蓄电池	价格便宜,中等电流 工作,使用寿命 1~2 年	井下矿用电动机车、矿灯 电源
	锌-银蓄电池	价格昂贵,可大电流 工作,使用寿命短	导弹、鱼雷、飞机起动、 闪光灯等动力电源

## 2. 原电池

### (1) 常用原电池的体系及性能参数

表 20-6 常用原电池的体系及性能参数

种 类	组 成			额定 电压 (V)	工 作 电 压 (V)	终 止 电 压 (V)	额 定 容 量 (A·h)	工 作 温 度 (°C)	放 电 电 流 (A)
	负 极	电 解 液	正 极						
锌-锰 干电池	Zn	NH <sub>4</sub> Cl ZnCl <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	1.5	1.3~1.4	0.9	0.5~4	-20~+40	中、小
碱性 锌-锰干电池	Zn	KOH	MnO <sub>2</sub>	1.45	1.2~1.3	0.9	0.5~10	-40~+60	大、中、 小
锌-汞 电池	Zn	KOH	HgO	1.35	1.2~1.3	0.9	0.05~10	0~130	中、小
扣 式 锌-银 电池	Zn	KOH	Ag <sub>2</sub> O	1.55	1.5	0.9	0.05~0.20	-20~+40	中、小
碱 性 锌-空 电池	Zn	KOH	空气 (O <sub>2</sub> )	1.40	1.2~1.3	0.9	20~500	-20~+40	大、中、 小
锂 锰 电池	Li	LiClO <sub>4</sub> PC①	MnO <sub>2</sub>	3.5	2.8	—	0.10~0.20	-20~+50	小

①PC- 碳酸丙烯酯。

### (2) 常用圆筒型锌-锰干电池性能参数

表 20-7 常用圆筒型锌-锰干电池性能参数

电池型号及 结 构	电 池 名 称	最大外形 尺寸(mm)		体 积 (cm <sup>3</sup> )	重 量 (g)	额 定 电 压 (V)	负 荷 电 压 (V)	荷 电 放 电 时 间 (min) (放 电 电 阻 5Ω, 终 止 电 压 0.75V)	充 电 时 间 (h)
		直 径	高 度						
R20, 糊式 R20, 纸板	一 号	34	61.5	54	90 100	1.5 1.62~1.68	1.45 1.50~1.52	1200 1400~1800	18
R14, 糊式 R14, 纸板	二 号	25	49	23	40 42	1.5 1.63	1.45 1.42	470 560	12

(续)

电池型号及结构	电池名称	最大外形尺寸(mm)		体积 (mm <sup>3</sup> )	重量 (g)	额定电压 (V)	负荷电压 (V)	间歇放电时间(min)(放电电阻 5Ω, 终止电压 0.75V)	贮存期 (月)
		直径	高度						
R10, 糊式 R10, 纸板	四号	21	37	12.5	20	1.5	1.4	193	12
					22	1.57	1.41	250~300	10
R6, 糊式 R6, 纸板	五号	14	50	7.5	15	1.5	1.4	111	9
					16	1.62~1.68	1.40~1.48	200~230	

(3)常用叠层型锌-锰干电池组的性能参数

表 20-8 常用叠层型锌-锰干电池组的性能参数

电池组型号	最大外形尺寸(mm)			重量 (kg)	额定电压 (V)	负荷电压 (V)	终止电压 (V)	放电电阻 (Ω)	放电方法	放电时间 (h)	贮存期 (月)
	长	宽	高								
15F20	27	17	50	0.04	22	22	15	22.5k	连放	120	6
4F22	26	18	40	0.04	6	6	3.6	600 900	每周 6 d, 每天 4 h	40	9
6F22	26	18	50	0.05	9	9	5.4			40	9
10F22	27	17	37	0.03	15	15	10	15k	连放	120	6

(4)扣式锌-银电池的型号及性能参数 见表 20-9。



表 20 9 扣式锌-银电池的型号及性能参数

型号	规格尺寸(mm)		常温(20±2℃)电性能							IEC 对应型号
			开路电压 (V)	负荷电阻 (kΩ)	负荷电压 (V)	终止电压 (V)	连续放电持续时间(h)			
							新电	一年后或高 温测试后		
Y736	7.9	0.35	3.6	0.3	≥1.5 ≥1.4	7.5 1.5	1.4 1.2	160 24	135 19	SR41
Y754	7.9	0.35	5.4	0.4	≥1.5 ≥1.4	7.5 1.5	1.4 1.2	300 45	250 36	SR48
Y1131	11.6	0.35	3.05	0.3	≥1.5 ≥1.4	7.5 1.0	1.4 1.2	300 36	250 29	SR54
Y1142	11.6	0.35	4.2	0.4	≥1.5 ≥1.4	7.5 1.0	1.4 1.2	500 60	420 48	SR43
Y1154	11.6	0.35	5.4	0.4	1.55 <sup>+0.08</sup> -0.05	7.5 0.5	1.4 1.2	650 40	550 32	SR44
Y721	7.9	0.35	2.1	0.3	≥1.5	7.5	1.4	71	60	
Y726	7.9	0.35	2.6	0.3	≥1.5	7.5	1.4	103	88	
Y1121	11.6	0.35	2.1	0.3	≥1.5	7.5	1.4	185	157	
Y1136	11.6	0.35	3.6	0.3	≥1.5	7.5	1.4	375	319	SR42

(续)

型号	规格尺寸(mm)		常温(20±2℃)电性能						IEC 对应型号
	直径	总高	开路电压 (V)	负荷电阻 (kΩ)	负荷电压 (V)	终止电压 (V)	‘连续放电持续时间(h)		
							电	一年后或高温测试后	
Y736N	7.9 ± 0.35	3.6 ± 0.3		7.5	≥1.5	1.4	135	115	SR41S
Y754N	7.9 ± 0.35	5.4 ± 0.4		7.5	≥1.5	1.4	250	210	SR48S
Y1131N	11.6 ± 0.35	3.05 ± 0.3	1.55 <sup>+0.04</sup> <sub>-0.05</sub>	7.5	≥1.5	1.4	270	230	SR54S
Y1142N	11.6 ± 0.35	4.2 ± 0.4		7.5	≥1.5	1.4	450	380	SR43S
Y3151N	11.6 ± 0.35	5.4 ± 0.4		7.5	≥1.5	1.4	590	500	SR44S

注:引自轻工部标准 QB578-81《扣式铈银一次电池》。

### 3. 蓄电池

(1) 常用蓄电池的体系及性能 见表 20-10。

表 20-10 常用蓄电池的性能

种类	组成		电极反应	单个电 池电压 (V)	能量密度		充放电循环 (周期)	
	负极	正极 电解液			(W·h/kg)	(W·h/L)		
铅酸蓄 电池	Pb	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PbO <sub>2</sub>	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightleftharpoons[\text{充}]{\text{放}} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	2.0	30~50	50~80	100~400
镉-镍 蓄电池	Cd	KOH	Ni(OH) <sub>2</sub>	$\text{Cd} + 2\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充}]{\text{放}} \text{Cd(OH)}_2 + 2\text{Ni(OH)}_2$	1.2	15~30	25~50	500~5000
铁-镍 蓄电池	Fe	KOH	Ni(OH) <sub>2</sub>	$\text{Fe} + 2\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充}]{\text{放}} \text{Fe(OH)}_2 + 2\text{Ni(OH)}_2$	1.2	15~30	20~40	500~1000
锌-银 蓄电池	Zn	KOH	Ag <sub>2</sub> O	$\text{Zn} + \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充}]{\text{放}} 2\text{Ag} + \text{Zn(OH)}_2$	1.5	60~100	100~250	20~200
镉-银 蓄电池	Cd	KOH	Ag <sub>2</sub> O	$\text{Cd} + \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充}]{\text{放}} 2\text{Ag} + \text{Cd(OH)}_2$	1.1	50~100	80~150	300~2000

(2) 铅酸蓄电池性能

表 20-11 起动用铅酸蓄电池型号及性能参数

型号	额定电压 (V)	20h 放电率①			起 动 放 电				寿命② (充放电循环)	贮存期 (年)		
		额定容量 (A·h)	电 流 (A)	终止电压 (V)	电 流 (A)	首 次		-18℃		一般 电池	干荷 电池	
						持续时间 (min)	终止电压 (V)	干荷 电池				终止电压 (V)
3-Q-75	6.0	75	3.75	5.25	1	3	3	3	500	2	1	
3-Q-90		90	4.5									
3-Q-105		105	5.25									
3-Q-120		120	6.0									
3-Q-135		135	6.75									
3-Q-150	150	7.5										
6-Q-60	12.0	60	3.0	10.5	3	8	6	6	500	2	1	
6-Q-75		75	3.75									
6-Q-90		90	4.5									
6-Q-105		105	5.25									
6-Q-120		120	6.0									
6-Q-135	135	6.75										
6-Q-150	150	7.5										
6-Q-160	12.0	160	2.0	10.5	3	8	6	6	500	2	1	
6-Q-240		240	3.0									
6-Q-300		300	4.0									
6-Q-360		360	4.0									
6-Q-400		400	4.0									

① 20h 放电率是指在 20h 内放出电池的额定容量, 放电电流一额定容量一放电时间。

② 按 IEC 标准, 蓄电池寿命用循环耐久能力单元数来表示, 单元数 ≥ 5。

表 20-12 固定型防酸隔爆式铅蓄电池的规格及性能参数

型 号	规格		10h 放电率		1h 放电率		初 充 电		经 常 充 电	
			终止电压 1.80V		终止电压 1.75V		第 一 期	第 二 期	第 一 期	第 二 期
	电压 (V)	容量 (A·h)	电 流 (A)	容 量 (A·h)	电 流 (A)	容 量 (A·h)	45~60 h 电 流 (A)	30~40 h 电 流 (A)	6~8h 电 流 (A)	4~6h 电 流 (A)
GGF-30	2	30	3	30	13.5	13.5	3	1.5	4.5	2.5
GGF-50	2	50	5	50	22.5	22.5	5	2.5	7.5	4
GGF-100	2	100	10	100	45	45	10	5	15	7.5
GGF-150	2	150	15	150	67.5	67.5	15	7.5	22.5	11
GGF-200	2	200	20	200	90	90	20	10	30	15
GGF-300	2	300	30	300	135	135	30	15	45	22.5
GGF-400	2	400	40	400	180	180	40	20	60	30
GGF-500	2	500	50	500	225	225	50	25	75	38
GGF-600	2	600	60	600	270	270	60	30	90	45
GGF-800	2	800	80	800	360	360	80	40	120	60
GGF-1000	2	1000	100	1000	450	450	100	50	150	75
GGF-1200	2	1200	120	1200	540	540	120	60	180	90
GGF-1400	2	1400	140	1400	630	630	140	70	210	105
GGF-1600	2	1600	160	1600	720	720	160	80	240	120
GGF-1800	2	1800	180	1800	810	810	180	90	270	135
GGF-2000	2	2000	200	2000	900	900	200	100	300	150

注：表内蓄电池的使用寿命如下：全充放制为3年，半充放制为6年，全浮充制为8年，贮存寿命皆为3年。

表 20 13 牵引车辆用铅蓄电池型号及性能参数

型 号	5h 放电率		3h 放电率		1h 放电率		自 放 电 (充 足 电 置 15d)	寿 命 (循 环 次 数)	贮 存 期 (年)		
	终止电压 1.75V(10.50V)									终止电压 1.70V(10.20V)	
	额定容量 (A·h)	电流 (A)	容量 (A·h)	电流 (A)	容量 (A·h)	电流 (A)					
6-DG-75(2)	75	15	63	21	45	45	容量损失不应超过 15%	1000	2		
DG-250	250	50	210	70	150	150					
DG-120	120	24	99	33	72	72					
DG-320	320	64	267	89	192	192					
DG-360	360	72	300	100	216	216					
DG-400	400	80	333	111	240	240					
DG-330	330	66	273	91	198	198					
DG-440	440	88	366	122	264	264					
DG-490	490	98	408	136	294	294					

注:6-DG-75 型电池的终止电压为括号内数值。

表 20-14 摩托车用铅蓄电池的规格及电气性能

型 号	额 定 电 压 (V)	额 定 容 量 10h 率 (A·h)	重 量 (干) (kg)	适 用 车 型	充 电 电 流 (A)		经 常 充 电 电 流 (A)		备 注
					第 一 阶 段	第 二 阶 段	第 一 阶 段	第 二 阶 段	
					3-M 4	6	4	1	
3-M 12	6	12	3.5	幸福牌	0.8	0.4	1	0.5	
3-M 14	6	12	3.5	长江牌	0.8	0.4	1	0.5	
6-M 20B	12	20	8	边三轮	1.5	0.7	2	1	

(3) 铅酸蓄电池的使用方法 铅酸蓄电池产品的类型和型号很多, 各种型号电池的使用方法(充放电制度、电解液比重等)也都不同, 如使用不当将影响电池的性能和寿命。铅酸蓄电池使用注意事项:

1) 新电池在注入电解液后必须进行初充电才能使用。

2) 蓄电池放电时电压不得低于其终止电压。

3) 放完电的电池应及时进行正常充电, 不能长时间搁置, 否则会影响使用寿命。电池充电通常采用恒定电流的充电方法, 各种铅酸蓄电池充电电流见表 20-15。

表 20 15 常用铅酸蓄电池初充电及正常充电的电流与电量

电 池 类 型	初 充 电			正 常 充 电		
	第一阶段 电流(A)	第二阶段 电流(A)	充电电量 额定容量	第一阶段 (A)	第二阶段 (A)	充电电量 放出电量
起 动 用	0.07C <sub>20</sub>	0.04C <sub>20</sub>	3~4.5	0.1C <sub>20</sub>	0.05C <sub>20</sub>	1.2~1.4
铁路客车, 内燃机车用	0.1C <sub>10</sub>	0.05C <sub>10</sub>	4~7	0.14C <sub>10</sub>	0.07C <sub>10</sub>	
蓄电池车用	0.1C <sub>5</sub>	0.07C <sub>5</sub>	4~7	0.14C <sub>5</sub>	0.07C <sub>5</sub>	
固定型防酸式	0.08C <sub>20</sub>	0.04C <sub>10</sub>	5~7	0.1C <sub>10</sub>	0.05C <sub>10</sub>	

注: “C”表示电池的额定容量值, 其下标 10、20 表示电池的小时(放电)率。

4) 经常检查蓄电池内电解液的液面高度和比重。电解液液面必须高于防护板 10~20mm。若电解液比重超出规定范围时, 必须用蒸馏水或硫酸加以调整(起动用蓄电池电解液的相对密度为 1.28~1.29; 固定型防酸式蓄电池电解液的相对密度为 1.20~1.21)。

5) 经过正常充电的铅酸蓄电池, 在搁置贮存期内应每隔 1~2 月进行小电流(0.05C<sub>20</sub>)充电 5~6 h, 以补偿电池贮存期内自放电容量的损失。

(4) 镉(铁)-镍蓄电池的性能及电解液组成

表 20-16 有极板盒式镉-镍蓄电池(开口式)的型号及性能参数

型 号	重量(kg)		额定容量 (A·h)	额定电压 (V)	电解液用量 (L)	正常充电		正常放电			低温常容的百分数		充放电寿命 (次)
	有电解液	无电解液				电 流 (A)	时 间 (h)	电 流 (A)	终 止 电 压 (V)	时 间 (h)	-20 C	-40 C	
GNF-2.25	0.34	0.28	2.25		0.042	0.56		0.28					
GNF-10	0.76	0.60	10		0.12	2.5		1.25					
GNF-22	1.78	1.35	22	1.25	0.27	5.5	7	2.75	1.0	8	75	20	900
GNF-45	2.78	2.18	45		0.45	11.25		5.65					
GNF-60	4.70	3.70	60		0.75	15		7.50					
GNF-100	6.63	5.10	100		1.20	25		12.5					

表 20-17 有极板盒式铁-镍蓄电池型号及性能

电 池 型 号	重量(kg)		额定容量 (A·h)	额定电压 (V)	电解液用量 (L)	正常充电		正常放电			充放电寿命 (次)
	有电解液	无电解液				电 流 (A)	时 间 (h)	电 流 (A)	终 止 电 压 (V)	时 间 (h)	
TN-10	0.75	0.65	10		0.17	3		1.0		10	
TN-250	20.4	14.5	250		3.0	62.5		50		5	
TN-300	21.9	16	300	1.25	4.0	70	7	60	1.0	5	>750
TN-350	28.6	21	350		5.0	90		70		5	
TN-500	32.7	23	500		6.0	125		125		4	



表 20-18 镍(铁)-镍蓄电池电解液组成

序号	循环温度(℃)	相对密度(25℃)	电解液的组成	
			碱:水(重量比)	LiOH·H <sub>2</sub> O(g/L)
1	+10~+45	1.18±0.02	NaOH:H <sub>2</sub> O=1:5	20
2	10~+35	1.20±0.02	KOH:H <sub>2</sub> O=1:3	40
3	-25~+10	1.25±0.01	KOH:H <sub>2</sub> O=1:2	—
4	-40~-15	1.28±0.01	KOH:H <sub>2</sub> O=1:2	—

注:4号电解液仅适用于镉-镍电池。

## 第二十一章 电气传动

### 一、传动电动机的选择

#### 1. 电气传动的方式

电气传动(又称电力推动)是用以实现生产过程机械设备电气化及其自动控制的电气设备及系统的技术总称。根据供电电源型式不同,可分为直流传动和交流传动两类。

#### 2. 电气传动的基本计算公式

表 21-1 电气传动的基本计算公式

名 称	公 式	符 号 及 单 位
1. 功率	$P = \frac{T_M n_M}{9550}$ $P = \frac{Fv}{\eta} \times 10^{-3}$	$P$ ——电动机功率(kW) $T_M$ ——电动机转矩(N·m) $n_M$ ——电动机转速(r/min) $F$ ——作用到物体上的力(N) $v$ ——物体运动的速度(m/s)
2. 运动物体的动能	$E = \frac{1}{2}mv^2$ $E = \frac{1}{2}J\omega^2$ $\omega = \frac{\pi n}{30}$	$E$ ——物体运动的动能(J) $m$ ——运动物体的质量(kg) $J$ ——转动惯量(kg·m <sup>2</sup> ) $n$ ——转速(r/min) $\omega$ ——旋转角速度(rad/s)
3. 转矩 (1)滑动摩擦的静阻转矩 (2)滚动摩擦的静阻转矩 (3)折算到电动机轴上的静阻转矩	$(1) T_l = G\mu \frac{d_l}{2} \times 10^{-2}$ $(2) T_l = G\rho \times 10^{-2}$ $(3) T_{Ml} = \frac{T_l n_{mc}}{\eta^2 M}$	$T_l$ ——摩擦静阻转矩(N·m) $G$ ——物体的重量或压力(N) $\mu$ ——滑动摩擦系数 (见表 21-2) $\rho$ ——滚动摩擦系数(cm) (见表 21-3)

(续)

名 称	公 式	符 号 及 单 位
4. 折算到电动机轴上的飞轮力矩	$GD^2 = GD_{mec}^2 \left( \frac{n_{mec}}{n_M} \right)^2$ $J = J_{mec} \left( \frac{n_{mec}}{n_M} \right)^2$ $J = \frac{GD^2}{4g}$	$d_j$ —— 轴颈直径 (cm) $T_M$ —— 折算到电动机轴上的静阻转矩 (N·m) $n_{mec}$ —— 机械轴的转速 (r/min) $\eta$ —— 机械传动系统的总效率 $GD^2$ —— 折算到电动机轴上的飞轮力矩 (N·m <sup>2</sup> )
5. 转速从 $n_1$ 变化到 $n_2$ (加速) 或从 $n_2$ 变化到 $n_1$ (减速) 的时间 (1) 动态转矩恒定 时 (2) 动态转矩按直线变化时① (3) 动态转矩为非恒值时②	$(1) t_s = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 T_d}$ $t_b = \frac{\Sigma GD^2 (n_1 - n_2)}{375 (T_d)}$ $= \frac{\Sigma GD^2 (n_2 \cdot n_1)}{375 T_d}$ 加速时 $+T_d = T_{Md} - T_l$ 减速时 $-T_d = -(T_{Md} + T_l)$ $(2) t_s = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 - n_1)}{375 (T_{M1} - T_{M2})}$ $\times \ln \frac{T_{M1} - T_l}{T_{M2} - T_l}$ $t_b = \frac{\Sigma GD^2 (n_2 \cdot n_1)}{375 (T_{M1} - T_{M2})}$ $\times \ln \frac{T_{M1} + T_l}{T_{M2} + T_l}$ $(3) t_s = \frac{\Sigma GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_d}$ (加速时 $T_d > 0$ ) $t_b = \frac{\Sigma GD^2}{375} \int_{n_2}^{n_1} \frac{dn}{T_d}$ (减速时 $T_d < 0$ )	$GD_{mec}^2$ —— 机械轴的飞轮力矩 (N·m <sup>2</sup> ) $J$ —— 折算到电动机轴上的转动惯量 (kg·m <sup>2</sup> ) $J_{mec}$ —— 机械轴的转动惯量 (kg·m <sup>2</sup> ) $t_s$ —— 加速时间 (s) $T_d$ —— 加(减)速的动态转矩 (N·m) $\Sigma GD^2$ —— 电动机轴上的总飞轮力矩 (N·m <sup>2</sup> ) $T_{Md}$ —— 加(减)速时电动机的动态转矩 (N·m) $t_b$ —— 减速时间 (s) $s$ —— 行程 (m) $v_0$ —— 初始速度 (m/s) $a$ —— 加(减)速度 (m/s <sup>2</sup> ) $N$ —— 电动机转过的转数 (转) $g$ —— 重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )

(续)

名称	公式	符号及单位
6. 行程 (1) 等变速直线运动时 (2) 动态转矩恒定时, 起、制动过程中电动机转过的转数	$(1) s = v_0 t + \frac{at_1^2}{2} \text{ (加速)}$ $s = v_0 t_2 - \frac{at_2^2}{2} \text{ (减速)}$ $(2) N = \frac{\Sigma GD^2 (n_2^2 - n_1^2)}{45000 T_d}$	

① 当动态转矩按直线变化时如右图所示。

② 当动态转矩为非直线变化时, 可将其分成若干段, 每段可近似地视为直线, 仍可按上式计算。

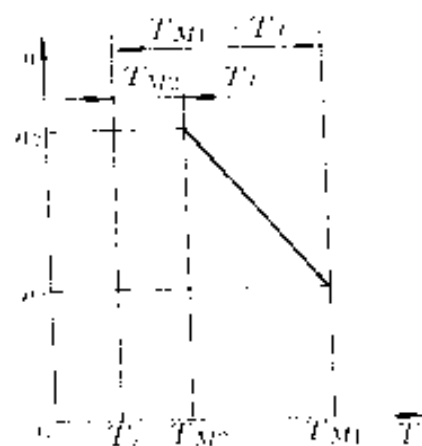


表 21 2 滑动摩擦系数

接 触 物 体	滑动摩擦系数	
	静止的 $\mu_0$	运动中 $\mu$
轮缘与钢轨间 (1) 起动时 (2) 速度 $v = 5\text{m/s}$ 运动时	0.20	0.15
钢锭与钢制辊子间 (1) 热金属 (2) 冷金属	0.3 ~ 0.25 0.15	.
滑动轴承 (1) 热轧机带有金属轴衬 (2) 冷轧机带有金属轴衬 (3) 带有木质塑料制轴衬 (4) 液体摩擦系数		0.07 ~ 0.10 0.05 ~ 0.07 0.01 ~ 0.03 0.003 ~ 0.005

(续)

接 触 物 体	滑动摩擦系数	
	静止的 $\mu_0$	运动中 $\mu$
(5)青铜对青铜	0.11	0.06
(6)铁对铁	0.11	0.08~0.01
(7)钢对青铜	0.105	0.09
(8)生铁对青铜	0.15~0.20	0.07~0.08
滚动轴承(有润滑时)		
(1)减速机		0.005
(2)吊车车轮		0.008
(3)辗道辘子与热金属		0.015
(4)辗道辘子与冷金属		0.010

表 21-3 滚动摩擦系数表

辘子轮子或车轮型式	滚动摩擦系数 $\rho(\text{cm})$
车轮与钢轨间(起重机大车行走等)	
(1)车轮加工良好	0.08~0.05
(2)车轮粗加工	0.10
(3)平均值	0.08
铁路轮对	0.025~0.015
滚动轴承中的滚柱和滚珠	0.001~0.003
辗道的辘子在运输过程中:	
(1)900~1200℃热钢锭包裹一层厚氧化铁皮	0.25
(2)冷钢锭,包裹氧化铁皮	0.20
(3)500~1000℃的轧件	0.15
(4)冷轧件	0.10
汽车轮胎	
(1)对沥青路面	0.25
(2)对土路面	1.0~1.5

表 21-4 机械传动效率平均值

传 动 装 置	效 率 $\eta$
齿轮传动(圆锥形、圆柱形、伞形)一般数据	0.96~0.98
圆柱形齿轮传动	
(1)磨制过的正齿轮	0.99
(2)车削加工的正齿轮	0.98
(3)粗加工的正齿轮	0.96
(4)人字齿轮	0.985
伞齿轮减速机	0.97~0.98
链条传动	0.98
摩擦传动	0.7~0.8
蜗轮传动( $\mu=0.1$ )	
(1)螺纹角为 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$	0.41
(2)螺纹角为 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$	0.55
(3)螺纹角为 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$	0.66
钢绳传动	0.90
带传动	0.94~0.98
V带传动	0.90
绳索及链条卷筒	0.96
绳索及链条滑车	0.94~0.96
复式滑车	0.92~0.98
	} 包括支座的摩擦损失
支座轴颈	
(1)滚动轴承	0.99
(2)滑动轴承	0.97
(3)滑动轴承但润滑不良	0.94
(4)带油环润滑	0.98

### 3. 传动电动机类型的选择

#### (1) 选择电动机的原则

1) 要从供电电网的质量(电网容量、允许的电压波动范围、功率因数);起、制动特性(起动时的负载转矩、 $GD^2$ 大小、起制动时间的限制、是否有快速加减速要求、允许对电网的冲击、起制动的频繁程度、制动时是否要回馈能量);调速性能(要求的调速范围及精度、调速平滑程度、低速工作时间的长短);控制特性等几个方面综合考虑选择适当类型的电动机及其控制方式。

2) 额定功率要满足负载需要,但不宜过大。若过大会使投资增高,而且往往造成轻载运行时损耗大、效率低、功率因数低、起动时冲击大等问题。

3) 根据温升和使用环境条件选择合适的通风方式、结构型式和保护等级。

4) 按照现场使用状况和被传动机械的要求选择结构和安装方式(如轴的方向和轴伸,采用机座底脚安装还是凸缘安装、挂在墙上还是吊装);与传动机械的连接方式(直接连接、齿轮箱、皮带轮、链条传动等);传动机械有无振动和冲击;安装基础的牢固程度等。

5) 尽量选用可靠性高、互换性好、维护方便,且有标准定额的电动机。

6) 考虑初期投资和运行费用,要从电动机及其控制设备的总投资、效率、功率因数和电费、全部设备的年维修费用等几方面比较。加以选择。

(2) 选择电动机的步骤 见图 21-1。在校验电动机的发热、最小起动转矩、允许的最大飞轮力矩以及过载转矩等项目时,应从生产机械所需要的各种负载图和工作制中选择其中最繁重的条件来计算。如均能符合要求,且有适当的容量裕度(10%左右),则所选电动机可以采用。否则,需要另选定额重新计算。

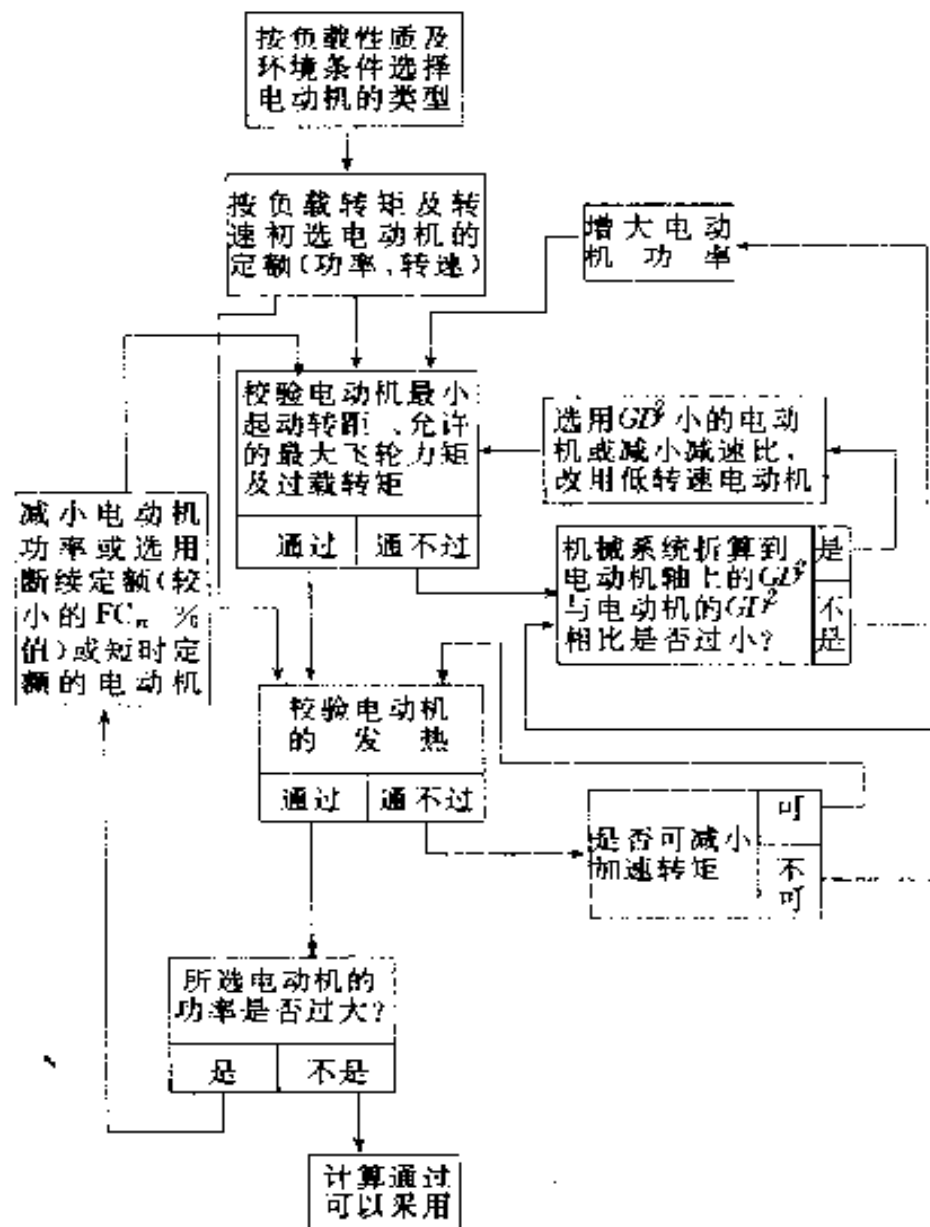


图21-1 选择电动机的步骤

(3)按使用环境条件选择电动机的类型 根据使用环境条件分类,可参照表 21-5 选择相应类型的电动机。



表 21-5 按环境条件选择电动机的类型

环境条件		要求的防护型式	可选用的电动机类型举例
正常环境条件		一般防护型	各类普通型电动机
湿热带或潮湿场所		湿热带型	1. 湿热带型电动机 2. 普通型电动机加强防潮处理
干热带或高温车间		干热带型	1. 干热带型电动机 2. 采用高温升等级绝缘材料的电机或外加管道通风
粉尘较多的场所		封闭型或管道通风型	
户外、露天场所		气候防护型, 外壳防护等级不低于 IP23 <sup>②</sup> , 接线盒应为 IP54。封闭型电动机外壳防护等级应为 IP54	
户外, 有腐蚀性及爆炸性气体		户外、防腐、防爆型 防护等级不低于 IP54	YBDF-WF
有腐蚀性气体或游离物		化工防腐型或采用管道通风	
有爆炸危险的场所 <sup>①</sup>	0(Q-1)级	隔爆型、防爆通风充气型	YB、BJO3、JBR、1JB、JBJ 等
	1(Q-2)级	任意防爆类型	
	2(Q-3)级	防护等级不低于 IP43	
	1-0(G-1)级	任意一级隔爆型、防爆通风充气型	
	1-1(G-2)级	防护等级不低于 IP44 <sup>③</sup>	
有火灾危险的场所 <sup>①</sup>	H-1 级	防护等级至少应为 IP22 <sup>④</sup>	
	H-2 级	防护等级至少应为 IP44	
	H-3 级	防护等级至少应为 IP44	
水中		潜水型	JQS、JQB、QY、JLB2、JQSY

① 参见“爆炸和火灾危险场所电气设备装置设计技术规范”。

② IP 的分级及定义参见 GB4208-84《外壳防护等级的分类》。

③ 电机正常发生火花部件(如滑环)应装在下列类型之一的罩子内: 任意一级隔爆型、防爆通风型、充气型以及防护等级为 IP57 的罩子。

④ 具有正常工作发生火花部件(如滑环)的电动机最低应为 IP43。

(4)按传动特性选择电动机的类型 表 21-6 列举各类电动机适用的传动特性。

表 21-6 各类电动机适用的传动特性

电动机类型		适用的传动特性	传动机械举例
笼型电动机	普通型	1. 不需要调速 2. 采用变频、调压、加转差离合器等调速方式(见表 21-17)不仅可得到较好的调速性能,而且可获得较好的节能效果	泵、风机、阀门、各种普通机床、运输机、起重机等
	深槽型 双笼型	起动时静负载转矩或飞轮力矩大,要求有较高的起动转矩	压缩机、粉碎机、球磨机等
	高转差型	周期性波动负载长期工作制,要求利用飞轮的储能作用	锤击机、剪断机、冲压机、轧机、活塞压缩机、绞车等
	变极	1. 只需要几种转速,而不需要连续调速,节能效果好 2. 配上转差离合器,可实现在大范围内采取有级变同步转速,而小范围内得到平滑调速	纺织机械、印染机、风机、木工机床、高频发电机组等
绕线转子异步电动机		电网容量小、对起动有要求、负载起动转矩较大、起、制动频繁而用笼型电动机不能满足要求时,要求的调速范围不大,可以利用变转差率调速的场合	运输机、压缩机、风机、泵、起重机的轧机、提升机、带飞轮的机组等
同步电动机		需要稳定的转速①,或者为了要补偿电网功率因数的场合	轧机、风机、泵、压缩机、电动机-发电机组等
直流电动机	他励	要求有宽调速范围②以及对起、制动有较高要求时	轧机、造纸机、重型机床、卷扬机、电梯、机床的进给机构、纺织机械等
	复励	负载变化范围较大而又需要宽调速	提升机、电梯等
	串励	起、制动频繁,要求较大的起动转矩,具有恒功率负载的机械	电车、吊车、牵引机车等

① 由于交流调速技术的发展,在某些要求调速的场合,特别是大功率、低转速和特殊环境条件下亦可用同步电动机。

② 对要求调速范围很宽(如 100 : 1 以上)的机械,最好从机械变速和电气调速二者结合起来考虑,以便获得技术经济指标都高的效果。

(5)电动机转速的选择 要全面考虑技术和经济指标来选择电动机的转速。

1)一般的高(或中)转速机械(如泵、压缩机、鼓风机等)宜选用相应转速的电动机,直接与机械连接。

2)不调速的低转速机械(如球磨机、水泥旋窑、轧机等),宜选用适当转速的电动机通过减速机传动。但对大功率机械,电动机的转速不能太高,要考虑大型减速机(尤其是大减速比)加工困难及维修不便等因素。

3)要调速的机械,电动机允许的最高工作转速应与生产机械要求的最高速度相适应。如果选用直流电动机,则采用变电枢电压调速还是变励磁调速,以及基速的确定都应从充分利用功率合理考虑。

4)频繁起、制动的断续周期工作制机械,电动机的转速除应满足机械所需要的最高稳定工作速度之外,还应从保证生产机械具有最大的加、减速度而选择最合适的传动比,以使生产机械获得最高的生产率。

5)某些低速断续周期工作制的机械,宜采用无减速机直接传动。这对提高生产率和传动系统的动态性能、减少投资和维修等均较有利。

6)自扇冷式电动机,散热效能随电动机转速而变,不宜长期在低速下运行。如果由于调速的需要,长期低速运行而又超过电动机允许的条件时,应增设外通风措施,以免损坏电动机。

#### 4. 传动电动机功率的选择

(1)计算的条件 根据生产机械负载变化规律,电动机的工作制分为S1~S9。

实际上各种生产机械的负载图是千变万化的,在计算电动机功率时,首先要尽可能准确地确定电动机在何种工作制下工作。如果实际负载图不明确,则应从S1~S9中选取一种工作制,但其繁重程度应不低于实际工作情况。

不同工作制宜选用不同定额的电动机,如短时工作制S2应选用短时定额(通常分为10,30,60,90min四种)电动机。断续周期工作制应选用负载持续率FC值(FC——一个周期中通电时间的总和与周期时间的比值,用百分率表示。FC值一般分为15%、25%、40%、60%四种)相

当的电动机。

(2)电动机允许的转矩过载倍数 一般可参考表 21-7、8,准确的数值应查阅制造厂提供的有关电机资料。

表 21-7 交流电动机的转矩过载倍数  $\lambda$

电动机类别	工 作 制		$\lambda = \frac{T_{M\max}}{T_n}$
笼型异步电动机	一般用途,连续工作制		$\geq 1.6$
	高起动转矩型,连续工作制		$\geq 2.0$
	起重冶金型	10kW 及以下	$\geq 2.5$
		10kW 以上	$\geq 2.8$
绕线转子异步电动机	一般用途,连续工作制		$\geq 1.8$
	起重冶金型	10kW 及以下	$\geq 2.5$
		10kW 以上	$\geq 2.8$
	同步电动机	$\cos\varphi = 0.8$ (超前)	
强励时		3~3.5	

注:以上数据均系制造厂提出的保证值。

表 21-8 直流电动机的过载能力

电动机类型		工作条件	允许的工作过载		切断过载 电流倍数
			电流倍数	时间 (s)	
一般用途中小型电动机(如 Z2 系列)		基速及以下	1.5	120	
起重、冶金用电动机 (如 ZZ、ZZY 系列)	并励	基速及以下	2.5	60	2.8
	复励		2.7		3.0
中型无补偿变速电动机(ZD 系列)		基速及以下	1.5	60	
中型有补偿变速电动机(ZE 系列)	基速及以下		2.5	15	2.75
	基速以上		1.6		2.0

(续)

电动机类型		工作条件	允许的工作过载		切断过载 电流倍数
			电流倍数	时间 (s)	
大型轧钢电动机	第一类	基速及以下	2.5	15	1.1 倍工作 过载
		基速以上	2.0		
	第二类	基速及以下	2.0	60	
		2.0倍基速及以下	1.8		
		2.5倍基速及以下	1.7		
		3.0倍基速及以下	1.5		
	第三类	基速及以下	2.5	15	
			2.0	30	
		2.0倍基速及以下	1.7	30	
		2.5倍基速及以下	1.5	30	

(3)交流电动机的平均起动转矩 笼型电动机和同步电动机起动过程中其机械特性  $T_M=f(n)$  为非线性,其平均起动转矩可用表 21-9 所列公式近似地进行估算。

表 21-9 交流电动机的平均起动转矩

电动机类型	平均起动转矩	符 号
同步电动机 $T_s > T_{pi}$ 时 $T_s \leq T_{pi}$ 时	$T_{sav} = 0.5(T_s + T_{pi})$ $T_{sav} = (1.0 \sim 1.1)T_s$	$T_{sav}$ ——平均起动转矩 $T_s$ ——最初起动转矩 ( $s=1$ 时) $T_{pi}$ ——牵入转矩
笼型异步电动机 (一般用途型)	$T_{sav} = (0.45 \sim 0.5)(T_s + T_{cr})$	$T_{cr}$ ——笼型电动机的 最大转矩

## 二、电动机的起动

### 1. 全压起动

笼型电动机和同步电动机满足下列条件时,可以采用全压起动。

1) 起动时对电网造成的电压降不超过规定的数值。一般需要经常起动时,其压降不得超过 10%,偶而起动时不超过 15%。在保证生产机械所要求的起动转矩而又不致影响其他用电设备的正常工作时,其压降可允许为 20%或更大一些。

2) 起动功率不超过供电设备和电网的过载能力。笼型电动机允许全压起动的功率和电源容量之间的关系见表 21-10。

表 21-10 按电源容量允许直接起动的笼型电动机功率

电 源	允许直接起动的笼型电动机功率
小容量发电厂	每 1kVA 发电机容量为 0.1~0.12kW
变 电 所	经常起动时,不大于变压器容量的 20% 不经常起动时,不大于变压器容量的 30%
高 压 线 路	不超过电动机连接线路上的短路容量的 3%
变压器-电动机组	电动机功率不大于变压器容量的 80%

3) 起动时的动稳定电流和热稳定电流应能符合电动机和起动设备规定的要求。

### 2. 减压起动

不能满足全压起动的条件时,应采用减压起动,见表 21-11。减压起动时,为保证电动机有足够的起动转矩,其端电压为

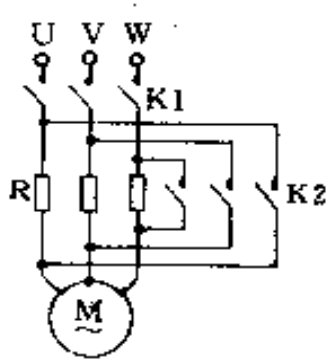
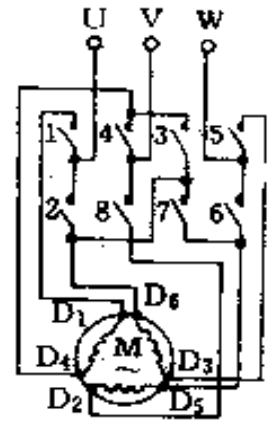
$$U_M = \sqrt{1.1T_i / T_s}$$

式中  $U_M$  ——电动机端电压对额定电压的标么值;

$T_i$  ——电动机负载转矩对额定转矩的标么值;

$T_s$  ——电动机起动转矩对额定转矩的标么值。

表 21-11 笼型电动机各种减压

起动方式		电阻减压起动	Y-△起动
接线方式		 <p>(起动时;K1 闭合 起动后;K1 和 K2 闭合)</p>	 <p>(起动时;Y 接线,触头 1、8、5、3、7 闭合 起动后;△接线,触头 1、2、5、6、4、8 闭合)</p>
起动性能	起动电压	$\alpha U_n$	$\frac{1}{\sqrt{3}} U_n$
	起动电流	$\alpha I_s$	$\frac{1}{3} I_s$
	起动转矩	$\alpha^2 T_s$	$\frac{1}{3} T_s$
适用的电动机类型		低压电动机	具有 6 个出线头的低压电动机
起动特点		起动电流较大,起动转矩较小,起动时电阻消耗能量较大	起动电流小起动转矩较小

① 延边三角形数据是根据下面公式及抽头比  $K = \frac{a}{b}$  估算:

$$\frac{U_s}{U_n} = \frac{1 + \sqrt{3}K}{1 + 3K} \quad \frac{I_s}{I_s} = \frac{1 + K}{1 + 3K} \quad \frac{M_s}{M_s} = \frac{1 + K}{1 + 3K}$$

注:  $I_s$  —— 延边三角形抽头起动时起动电流;

$T_s$  —— 延边三角形抽头起动时起动转矩;

### 启动方式的比较

延边三角形启动				自耦变压器减压启动	
抽头比 $K = a/b$ ①					
1:1	1:2	1:3	3:5		
<p>(启动时:K1 和 K3 闭合 启动后:K1 和 K2 闭合 K3 断开)</p>				<p>(启动时:K1、K3、K4 闭合 启动后:K1、K2 闭合, K3、K4 断开)</p>	
$0.69U_n$	$0.75U_n$	$0.8U_n$	$0.73U_n$	$\alpha U_n$	$\alpha U_n$
$0.5I_s$	$0.6I_s$	$0.67I_s$	$0.57I_s$	$\alpha^2 I_s$	$\alpha^2 I_s$
$0.5T_s$	$0.6T_s$	$0.67T_s$	$0.57T_s$	$\alpha^2 T_s$	$\alpha^2 T_s$
具有 9 个出线头的低压电动机				高压、低压电动机	
启动电流较小,启动转矩较大,兼有自耦变压器及 Y-Δ 两种降压启动方式的优点				启动电流较小,启动转矩较大	

$U_n$  ——电动机额定电压;

$\alpha$  —— 降压系数 ( $\alpha = \frac{U_s}{U_n}$ );

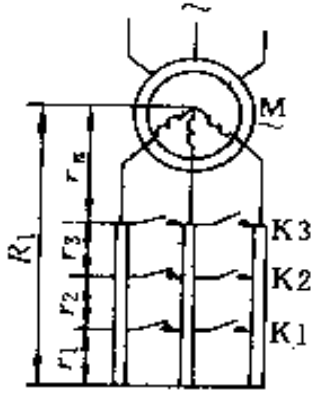
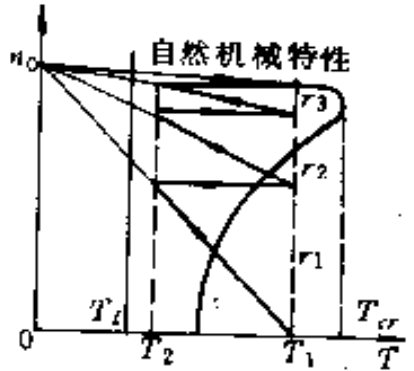
$I_s$  —— 全压启动时的启动电流;

$T_s$  —— 全压启动时的启动转矩。



### 3. 电阻分级启动

表 21 12 电阻分级启动的特性及电阻值计算

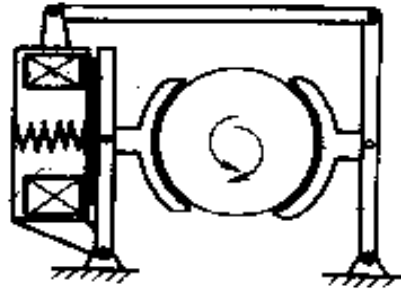
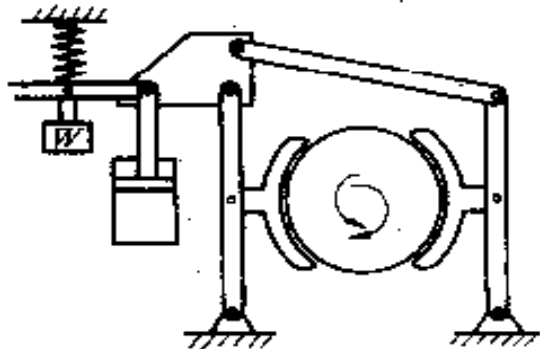
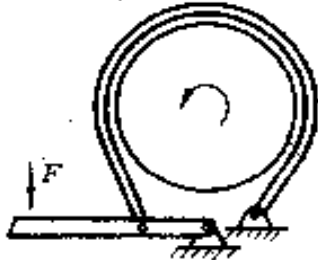
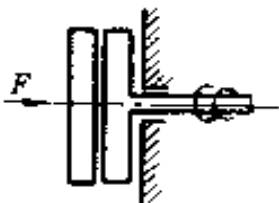
电动机类型	接线方式	启动特性	启动级数 $q$	
			电机功率 (kW)	级数
绕线转子电动机			0.75~7.5	1
			10~20	2
			20~35	2~3
			35~55	3
			60~95	4~5
			100~200	4~5
			200~370	6
$T_1, T_2$ 的取值	启动电阻计算	符 号		
一般取 $T_1 \leq 0.8T_{cr}$ $T_2 \geq (1.1 \sim 1.2)T_l$	$\lambda = \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{1}{s_n T_f}}$ $r_3 = r_n (\lambda - 1)$ $r_2 = r_3 \lambda$ $r_1 = r_2 \lambda$ $r_n = s_n R_{2n}$	$s_n$ —— 电动机的额定转差率 $R_{2n}$ —— 转子额定电阻 ( $\Omega$ ), $R_{2n} = \frac{U_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}}$ $T_f$ —— 最大启动转矩对额定转矩的标么值 $T_f = T_1 / T_n$ $U_{2n}$ —— 电动机转子额定电压 (V) $I_{2n}$ —— 电动机转子额定电流 (A) $T_{cr}$ —— 笼型电动机的最大转矩 $T_l$ —— 负载转矩		

注:采用恒定直流电源供电的直流电动机,亦可用电阻分级启动,其各级启动电阻值计算与上相似,并可采用图解法直接求出。

### 三、电动机的制动

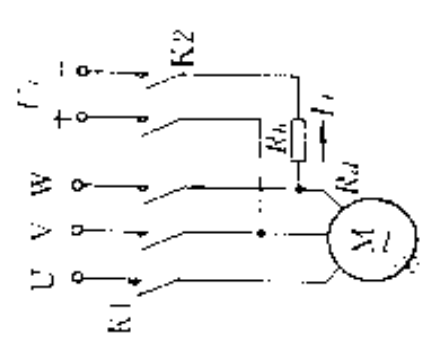
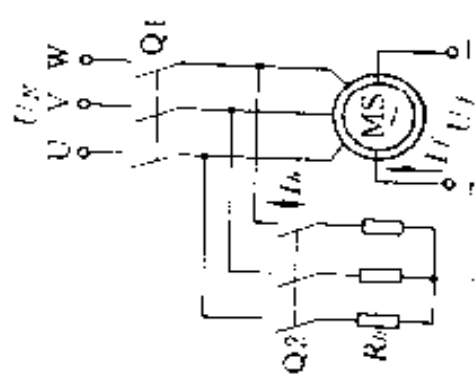
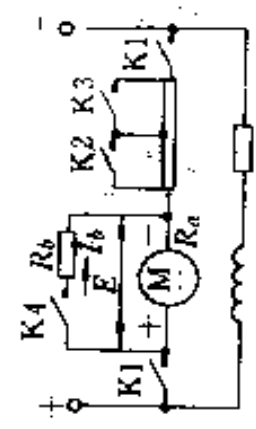


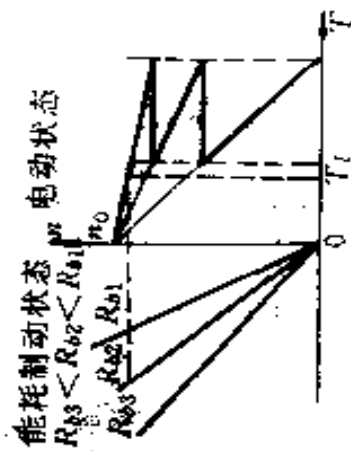
#### 1. 机械制动

表 21-13 几种常用机械制动器的制动方式

类别	结构示意	制动力	特点
电磁制动器		弹簧力	行程小,机械部分的冲击小,能承受频繁动作
电动-液压制动器		弹簧力 重锤力	制动时的冲击小,通过调节液压缸行程,可用于缓慢停机
带式制动器		弹簧力 手动力 液压力	摩擦转矩大,用于紧急制动
圆盘式制动器		弹簧力 电磁力 液压力	能悬挂在小型的机器上

## 2. 能耗制动

表 21-14 各种电动机能耗制动的性能

电动机类型	异步电动机	同步电动机	直流电动机
接线方式			
制动特性	<p>能耗制动状态：电动机状态</p> <p><math>I_{b3} &gt; I_{b2} &gt; I_{b1}</math></p> 	<p>能耗制动状态：电动机状态</p> 	<p>能耗制动状态：电动机状态</p> <p><math>R_{b3} &lt; R_{b2} &lt; R_{b1}</math></p> 

(续)

电动机类型	异步电动机	同步电动机	直流电动机
参数	一般取 $I_f = (1 \sim 2)I_{1n}$ $I_f$ 越大, 制动转矩越大	$Z_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_1}$ $R_b = K_1 Z_1 - R_d$ 一般取 $I_1 = I_{1n}$ $I_f = (1 \sim 2)I_{1n}$	$R_b = \frac{E}{I_b} - R_c$ 一般取 $I_b \leq (1.5 \sim 2.0)I_n$
特点	1. 制动转矩较平滑, 可方便地改变制动转矩 2. 制动转矩随转速的降低而减小 3. 可使生产机械较可靠地停止 4. 能量不能回馈电网, 效率较低 5. 直流串励电动机因其励磁电流随制动电流的减小而减小, 低速时不能得到需要的制动转矩, 不宜采用能耗制动		
适用的场所	1. 适用于经常启动、频繁逆转并要求迅速准确停车的机械, 如轧钢车间升降台等 2. 直流并励电动机一般采用能耗制动 3. 同步电动机和大容量笼型电动机因反接制动冲击电流太大, 功率因数低, 亦多采用能耗制动 4. 交流高压绕线转子电动机为防止滑环上感应高压, 亦多采用能耗制动 5. 采用单变流器的不可逆晶闸管供电系统, 为获得电制动, 亦多用能耗制动		

注:  $I_{1n}$ ——定子额定电流 (A);  $I_f$ ——励磁电流 (A);  $I_{1n}$ ——转子额定励磁电流 (A);  $I_b$ ——初始制动电流 (A);  $K_1$ ——制动时阻抗与额定阻抗的比值;  $U_n$ ——定子额定电压 (V);  $E$ ——制动时电枢反电势 (V);  $R_b$ ——制动电阻 ( $\Omega$ );  $R_c$ ——电枢电阻 ( $\Omega$ );  $R_d$ ——电动机定子绕组电阻 ( $\Omega$ ).

### 3. 回馈制动

表 21 15 回馈制动的性能

电动机类型	直 流 电 动 机	异 步 电 动 机
接线方式		
制动特性		
特点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 能量可回馈电网,效率高、经济</li> <li>2. 只能在 <math>n &gt; n_0</math> 时得到制动转矩</li> <li>3. 低速时不宜采用回馈制动</li> </ol>	
适用的场所	适用于位能负载场合,高速下放重物,获得稳定制动,如起重机下放负载等	

## 四、电动机的调速方式

### 1. 直流电动机的调速

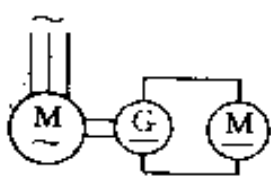
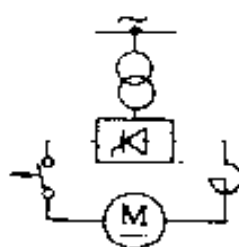
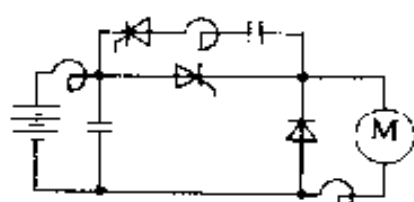
当负载电流一定时,直流电动机的转速  $n$ 、电枢电压  $U_a$ 、电阻  $R_a$  以及磁通  $\Phi$  有如下关系:

$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_e \Phi} \quad (\text{r/min})$$


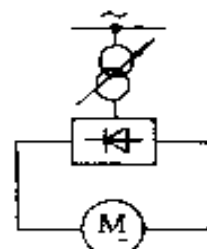
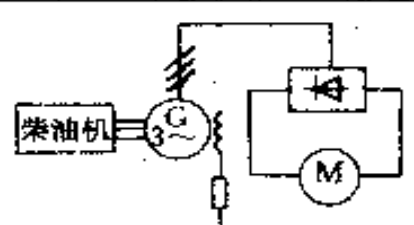
式中  $I_a$  ——电枢电流(A);  
 $\Phi$  ——磁通(Wb);  
 $R_a$  ——电枢回路总电阻( $\Omega$ );  
 $C_e$  ——由电动机结构决定的电势系数。

由此可见,直流电动机有三种基本的调速方法:①改变电枢电压  $U_a$ ;②改变电枢回路总电阻  $R_a$ ;③改变磁通  $\Phi$ 。

表 21-16 直流电动机变电压调速方案

变压方案	原理电路	装置组成	性能及适用场所
电动机-发电机组 (旋转变流机组)		原动机可用同步电机、绕线转子异步电机(包括带飞轮和转差调节的机组)、笼型异步电机、柴油机、励磁方式有励磁机、电机扩大机、磁放大器、晶闸管励磁装置等,控制方式可有继电器接触器、磁放大器、半导体控制装置等	输出电流无脉动,带飞轮的机组对冲击负载有缓冲作用,带同步机的机组能提供无功功率,改善功率因数。因有旋转机组,效率较低,噪声、振动大,继电器接触器和电机扩大机控制时控制功率大,构成闭环系统一般动态指标较差,用晶闸管励磁可提高动态指标
晶闸管变流器		包括交流变压器、晶闸管变流装置、直流侧电抗器、快速开关、半导体控制装置等	效率高,噪声、振动小,控制功率小,构成闭环系统动态指标好;但输出电流有脉动,冲击负载时对电网有功及无功冲击大,深控时功率因数低
直流斩波器		包括晶闸管(或逆导晶闸管)、换相电感电容、输入滤波电感电容及半导体控制装置等	适用于公共直流电源或蓄电池组供电场合,如电车、蓄电池车等机动车辆

(续)

变压方案	原理电路	装置组成	性能及适用场所
大功率 晶体管		包括大功率晶体管及单独的直流电源	与晶闸管调速系统相比,功率因数高,效率高,动态指标好,容易获得更宽的调速范围,对电网无冲击,控制系统简单 受元件功率的限制,只适用于有公共直流电源、中小功率的装置
交流调压器-硅整流器		调压变压器、硅整流装置等	效率高,噪声振动小,输出电流脉动较小,比晶闸管供电的功率因数有改善,但实现自动调速较困难。适用于不经常变速小功率(<15kW)手动开环控制场合
柴油机 交流发电机-硅整流器		柴油发动机、交流发电机、硅整流装置及相应的控制装置等	改变交流发电机G电压,经硅整流装置整流得到可变直流电压,用于电动轮车等独立电源场合

## 2. 交流电动机的调速

交流异步电动机的转速为

$$n = \frac{60f}{p}(1-s)$$

式中  $f$  —— 电源频率(Hz);

$p$  —— 电动机的极对数;

$s$  —— 转差率。

由此可见,交流异步电动机的基本调速方式有三种:①改变极对数  $p$ ; ②改变转差率  $s$ ; ③改变电源频率  $f$ 。同步电动机也可用改变频率进行调速。

表 21-17 各种交流电动机调速方法

		变 频 率 $f$	
调速方法	变极对数 $p$	独立控制变频调速	自同步控制变频调速
接线方式			
调速特性			
		笼型电动机或同步电动机	同步电动机



(续)

变 转 差 率

调速方法	静止串级	转差离合器①	转子串电阻	定子调压
接线方式				
调速特性				
适用的电动机类型	绕线转子异步电动机	笼型电动机	绕线转子异步电动机	高阻抗特殊绕线转子电动机或绕线转子电动机

① 转差离合器和笼型电动机组成一个整体又称为电磁调速异步电动机。

## 五、电动机的继电-接触器控制

### 1. 主要电器元件的选择

表 21-18 主要的保护用电器元件选用表

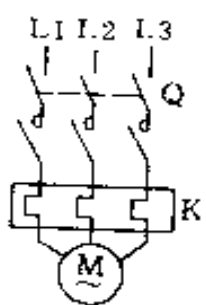
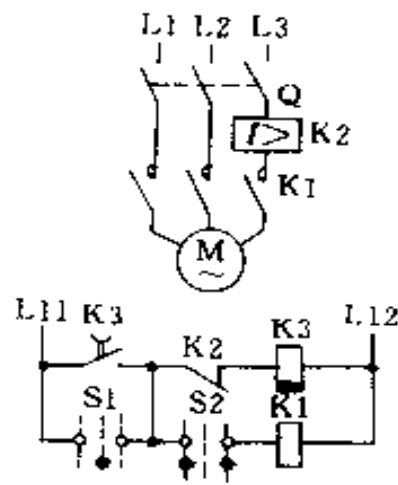
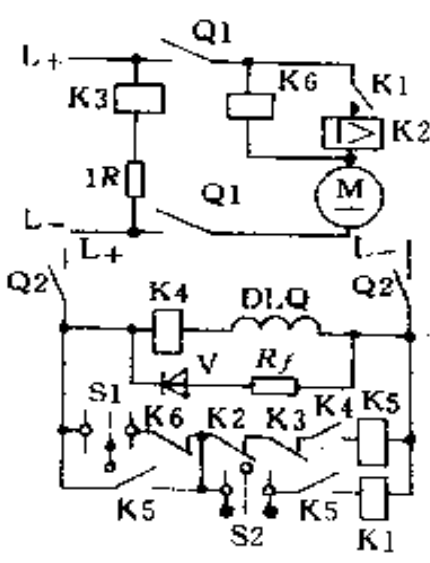
元件类型	功能说明	选用方法
熔断器	作长期工作制电动机的启动及短路保护,一般不作过载保护	<p>(1)直接起动的笼型电动机熔体额定电流(<math>I_{Rn}</math>)按启动电流 <math>I_s</math> 和启动时间 <math>t_s</math> 选取:</p> $I_{Rn} = KI_s$ <p>其中,系数 <math>K</math> 按启动时间选择:</p> $K = 0.25 \sim 0.35 \text{ (在 } t_s < 3s \text{ 时)}$ $K = 0.4 \sim 0.5 \text{ (在 } t_s = 3 \sim 8s \text{ 时)}$ <p>(2)降压起动的笼型电动机熔体额定电流(<math>I_{Rn}</math>)按电动机额定电流 <math>I_{Mn}</math> 选取:</p> $I_{Rn} = 1.05I_{Mn}$
断路器 (自动开关)	作电动机的过载及短路保护,并可不频繁地接通及分断电路	<p>(1)断路器(自动开关)的额定电流 <math>I_{en}</math> 按电动机额定电流 <math>I_{Mn}</math> 或线路计算电流 <math>I_{js}</math> 选取:</p> $I_{en} \geq I_{js}$ <p>(2)延时动作的过电流脱扣器的额定电流 <math>I_{Tn}</math> 按电动机额定电流 <math>I_{Mn}</math> 选取:</p> $I_{Tn} = (1.1 \sim 1.2)I_{Mn}$ <p>(3)瞬时动作的过电流整定值 <math>I_{zd}</math>,应按大于电动机的启动电流 <math>I_s</math> 选取:</p> $I_{zd} = (1.7 \sim 2.0)I_s$ <p>动作时间必须大于电动机启动或最大过载时间</p> <p>对于可调式过电流脱扣器其瞬动整定值的调节范围为(3~6)或(8~12)倍脱扣器额定电流 <math>I_{Tn}</math>,不可调式的为(5~10)倍</p>
热继电器	作长期或间断长期工作制交流异步电机的过载保护和启动过程的过热保护,不宜作重复短时工作制的笼型和绕线转子异步电动机的过载保护	<p>按电动机额定电流 <math>I_{Mn}</math> 选择热元件额定电流 <math>I_{jn}</math>,即 <math>I_{jn} = (0.95 \sim 1.05)I_{Mn}</math></p> <p>在长期过载 20%时应可靠动作,此外,热继电器的动作时间必须大于电动机启动或长期过载时间</p>

(续)

元件类型	功能说明	选用方法
过电流继电器	用于频繁操作的电动机起动及短路保护	<p>(1)继电器额定电流 <math>I_{jn}</math> 应大于电动机额定电流 <math>I_{Mn}</math> 即 <math>I_{jn} &gt; I_{Mn}</math></p> <p>(2)动作电流整定值 <math>I_{jd}</math> 对交流保护电器按电动机起动电流 <math>I_s</math> 来选择, <math>I_{jd} = (1.1 \sim 1.3)I_s</math>; 直流继电器, 按电动机最大工作电流 <math>I_{Mmax}</math> 来选择, <math>I_{jd} = (1.1 \sim 1.15)I_{Mmax}</math></p>
过电压继电器	用于直流电动机(或发电机)端电压保护	<p>(1)继电器线圈额定电压 <math>U'_{jn}</math> 按系统过电压时线圈两端承受的电压不超过继电器额定电压来选择, 一般线圈必须串接附加电阻 <math>R_f</math>, 其阻值计算方法(假定继电器动作电压 <math>U'_{jd}</math> 为额定值 <math>U'_{jn}</math> 的 40% 及线圈电阻为 <math>R_j</math> 时)取:</p> $R_f = (2.75 \sim 2.9) \frac{U'_{Mn}}{U'_{jn}} R_j - R_j$ <p>式中, <math>U'_{Mn}</math> 为电动机的额定电压</p> <p>(2)过电压动作整定值 <math>U'_{jd}</math> 按电动机额定电压 <math>U'_{Mn}</math> 选取:</p> $U'_{jd} = (1.1 \sim 1.15)U'_{Mn}$
失磁保护	选用欠电流继电器, 接于直流电动机励磁回路, 以防止电机失磁超速	<p>(1)继电器额定电流 <math>I_{jn}</math> 应大于电动机的额定励磁电流 <math>I_{Ln}</math>, 即 <math>I_{jn} \geq I_{Ln}</math></p> <p>(2)继电器释放电流整定值 <math>I_{jf}</math> 按电动机的最小励磁电流 <math>I_{Lmin}</math> 整定</p> $I_{jf} = (0.8 \sim 0.85)I_{Lmin}$
低电压(欠电压)保护	在交流电源电压降低或消失而使电动机切断后, 为防止电源电压恢复时可能引起的电动机自起动, 亦用于保护电动机因长时间低电压而过载运行	继电器额定电压 $U'_{jn}$ 按回路额定电压 $U'$ 选定, 对释放值一般系统无特殊要求
超速保护	作电动机或工作机械的最高转速保护	动作整定值 $n_{jd}$ 按最高工作转速 $n_{Mmax}$ 整定, 选取 $n_{jd} = (1.1 \sim 1.15)n_{Mmax}$

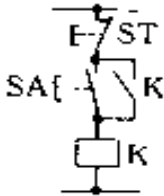
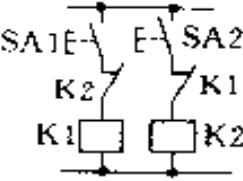
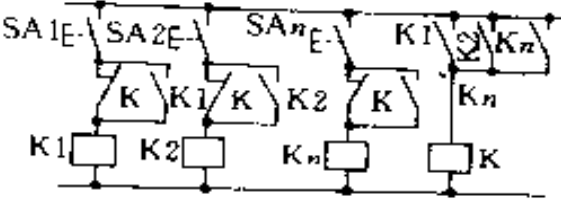
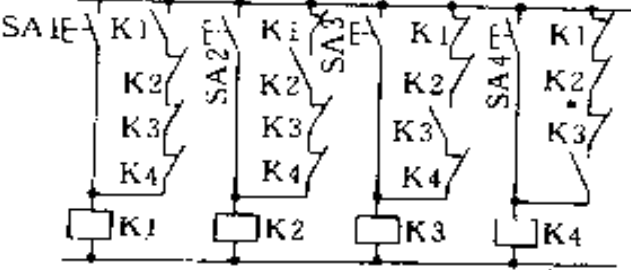
## 2. 常见的电动机保护线路

表 21-19 常见的电动机保护线路

类 型	线 路	保 护 方 式
笼型异步电动机 (直接启动,长期或间断长期工作)		采用带电磁脱扣器的断路器(自动开关)Q做短路保护,热继电器K做过载保护,最大操作频率按热继电器允许频率低于30次/h,整定值见表21-18
笼型异步电动机 (重复短时工作)		采用带电磁脱扣器的断路器(自动开关)Q做短路保护,熔断器配合一定的延时动作做过载保护,线路最大操作频率600次/h,熔断器的动作电流( $I_{fd}$ )按电动机起动电流( $I_s$ )和正常运转的负载电流( $I_n$ )选取: $I_{fd} \leq I_{fd} \leq I_s$ ,继电器K3延迟时间应大于电动机起动时间
直流电动机 (可逆频繁操作)		采用过电流继电器(K2)、过电压继电器(K3)、失磁继电器(K4)做过载、短路、过电压及失磁保护,整定值见表21-18,零位继电器K5做操作手柄零位及零电压保护,防止主回路切断,保护电器元件复位后系统自行起动,低电压继电器K6作低电压保护,继电器释放电压值 $U_{fd}$ 按电动机额定电压 $U_{Mn}$ 选取: $U_{fd} = (0.1 \sim 0.2)U_{Mn}$

### 3. 典型的继电-接触器控制线路

表 21-20 常用的典型继电-接触器控制线路表

线路名称	线 路	说 明
自保持线路		<p>为记忆线路的一种基本模式,用于记忆外部信号</p>
互锁线路		<p>在两个输入信号的线路中,以先动作的信号优先,另一信号因受联锁作用不会动作</p>
先动作 优先线路		<p>在数个输入信号的线路中,以最先动作的信号优先。在最先输入的信号除去前,其他信号无法动作</p>
后动作 优先线路		<p>在数个信号输入的线路中,以最后动作的信号优先,前面动作所决定的状态自行解除</p>

(续)

线路名称	线 路	说 明
<p>延时复位线路</p>		<p>输入信号加入后在脉冲信号输出,当输入信号解除后经过设定时间<math>t</math>才会停止输出。图a为采用通电延时继电器,图b为采用断电延时的继电器</p>
<p>延时动作 延时复位线路</p>		<p>输入信号加入后,经设定时间<math>t_1</math>后有信号输出,输入信号解除后经设定时间<math>t_2</math>停止输出信号</p>
<p>周期动作线路</p>		<p>输入信号加入后,产生输出量周期变化</p>

(续)

线路名称	线 路	说 明
信号解除检测线路		在输入信号解除瞬间产生脉冲输出
信号发生检测线路		在输入信号发生瞬间产生脉冲输出
干扰抑制线路		图 a 用于交流电源回路,图 b 用于直流电源回路




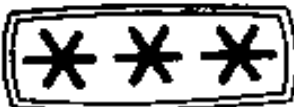
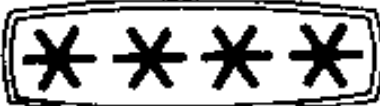
## 第二十二章 家用电器

### 一、家用电冰箱

#### 1. 概述

(1) 国际上家用电冰箱的温度分级

表 22-1 国际上家用电冰箱的温度分级

等级	符 号	冷冻温度	冻结食品大约保存时间
一星级①		-6℃以下	0.4个月
二星级		-12℃以下	1个月
高二星级①		-15℃以下	1.8个月
三星级		-18℃以下	3个月
四星级		-24℃以下	5~8个月

①：日本标准没有一星级，高二星级为日本标准所特有



(2)常用电冰箱日耗电量

表 22.2 常用电冰箱日耗电量 (kW·h)

容 积 L	100	150	170
单门直冷式	1	1.1	1.1
双门直冷式	1.3~1.5	1.4~1.6	1.5~1.7
双门风冷式		1.9	2.1

2. 常见电冰箱的主要技术参数

表 22.3 常见电冰箱的主要技术参数

商 标	型 号	门 数 (星 级)	规格(L)		冷 冻 室 冷 却 方 式	输 入 功 率 (W)	电 流 (A)	环 温 32℃ 时 每 日 耗 电 量 (kW·h/ d)	冷 冻 室 温 度 (℃)	冷 藏 室 温 度 (℃)	压 缩 机 型 号  国 别  功 率
			总 容 积	冷 冻 室							
荷 花	BC-155A	单门 三星	155	16	直冷	100	1.0	1.00	-12	5.0	意大利 B5A42 86W
	BC-180A	单门 四星	180	16	直冷	100	1.0	1.20	-12	5.0	意大利 B5A42 86W
	BCD-170A	双门 三星	170	37	直冷	122	1.2	1.50	-18	5.0	意大利 V1040 G115W
香 雪 海	BC-75A	单门	75	-	-	100	0.8	0.80	-	0~5	日立 VS659 AR100W
	BC-125	单门	125	-	-	110	0.9	1.00	-	0~5	泰康 1335D 88W
	BC-160	单门	160	-	-	115	1.0	1.20	-	0~5	泰康 1340D 105W
	BCD-160	双门	160	50	直冷	95	1.0	1.40	< -18	0~10	泰康 1340D 105W
	BCD-175	双门	175	50	直冷	95	1.0	1.45	< -18	0~10	泰康 1340D 105W

(续)

商 标	型 号	门 数 (星 级)	规格(L)		冷 冻 室 冷 却 方 式	输 入 功 率 (W)	电 流 (A)	环 温 32℃时每 日耗电量 (kW·h/ d)	冷 冻 室 温 度 (℃)	冷 藏 室 温 度 (℃)	压缩机型号  国 别  功率
			总 容 积	冷 冻 室							
长 岭 淘 里 斯 顿	BCD-160	双门 四星	160	32	直冷	108	0.8	1.3	18℃ 以下	0~10	意大利-ASPRA A1085A 1/8HP
	BCD-185	双门 四星	185	40	直冷	121	0.8	1.3	18℃ 以下	0~10	A1113A 1/6HP
	BCD-230	双门 四星	230	45	直冷	128	0.9	1.45	-18℃ 以下	0~10	A1112A 1/6HP
沈 努 西	BCD-180	双门 三星	180	40	直冷	120	1.03	1.3	< 18℃	0~10	V1350 意大利 148W
	BCD-160	双门 三星	160	40	直冷	110	0.77	1.0	< 18℃	0~10	V1040 意大利 115W
	BCD-230	双门 三星	230	80	直冷	130	1.14	1.7	< -18℃	0~10	E88.101A 意大利 180W
风 凰	BC-152	单门	152	17	直冷	96	0.73	0.8	< -12℃	0~10	意大利 B8A39 1/8(93W)
	BC-173	单门	173	19	直冷			1	< -12℃	0~10	匈牙利 FK0.8 8(110W)
	BC-216	单门	216	19	直冷			1.2	< -12℃	0~10	匈牙利 FK0.8 8(125W)
	BCD-170	双门 四星	170	37	直冷	122	0.88	1	< -18℃	0~10	意大利 B9A27 1/6(125W)
	BCD-265	双门 四星	265	55	直冷			1.3	< -18℃	0~10	匈牙利 FK1.4 K13
	BCD-195	双门 四星	195	37	直冷			1.2	< -18℃	0~10	意大利 B9A27 1/6(125W)

(续)

商 标	型 号	门 数 ( 星 级 )	规格(L)		冷 冻 室 冷 却 方 式	输 入 功 率 (W)	电 流 (A)	环 温 32℃时 每 日 耗 电 量 (kW·h/ d)	冷 冻 室 温 度 (℃)	冷 藏 室 温 度 (℃)	压缩机型号
			总 容 积	冷 冻 室							国 别  功率
伯 乐	BC-110	单门 二星	110			85	0.63	1	12	0~10	日本松下 75W FN33N60
	BC-158A	双门 三星	158	35	直冷	120	0.88	1.5	-18	0~10	日本日立 VK 1001AR 93W
	BC-158B	双门 三星	158	35	直冷	120	0.88	1.5	-18	0~10	日本日立 VK 1001AR 93W
	BC-158C	双门 三星	158	35	直冷	120	0.88	1.5	-18	0~10	日本日立 VK 1001AR 93W
	BC-145	单门 二星	145		直冷	115	0.63	0.9	-12	0~10	A1085A
	BC-165	单门 二星	145		直冷	115	0.88	1	-12	0~10	A1085A
	BCD-185	双门 四星	185	40	直冷	132	0.87	1.2	-18	0~10	B1112A
	BCD-185D	双门 四星	185	40	直冷	132	0.87	1.2	-18	0~10	B1112A
	BCD-205	双门 四星	205	40	直冷	132	0.9	1.4	-18	0~10	B1112A
可 耐	BCD-220	双门 四星	220	52	直冷	118	0.95	1.6	<-18	0~10	法国 AZ1355 D 138W
	BD-180	单门 四星	180		直冷	120	1.05	1.5	<-18	-	意大利 A1116A 165W
	BD-120	单门 四星	120		直冷				<-10		
中 意 牌	BCD-185 (ST)	双门 四星	185	40	直冷	135	0.83	1.15	-18	7	意大利阿斯配尔 B1112A A1112A
	BCD-230	双门 四星	230	45	直冷	135	0.83	1.3	-18	7	意大利阿斯配尔 B1112A A1112A

(续)

商 标	型 号	门 数 ( 星 级 )	规格(L)		冷 冻 室 冷 却 方 式	输 入 功 率 (W)	电 流 (A)	环 温 32℃时 每 日 耗 电 量 (kW·h/d)	冷 冻 室 温 度 (℃)	冷 藏 室 温 度 (℃)	压 缩 机 型 号  国 别  功 率
			总 容 积	冷 冻 室							
上 菱	BCD-165W	双门 四星	165	30	间冷	100	0.56	1.2	18	0~10	QXW1357 国产 104W
	BCD-180W	双门 四星	180	45	间冷	100	0.56	1.2	18	0~10	QXW1357 国产 104W
航 天	BC-177	双门 三星	177	40	直冷	93	0.7	1.3	18	5	FN43580KHOB
	BCD-177	双门 四星	177	40	直冷	93	0.7	1.3	18	5	FN43580KHOB
葵 花 远 东 牌	BC-100	双门 三星	100	22	直冷	103	0.58	1.1	18	0~10	FN43Q88G (日本)
	BCD-150	双门 四星	150	35	直冷	115	0.58	1.20	18	0~10	YD45G(国产)
	BCD-170	双门 四星	170	35	直冷	115	0.58	1.25	18	0~10	YD45G(国产)
	BCD-185	双门 四星	185	36	直冷	120	0.90	1.30	18	0~12	A1112A 意大利
琴 岛 利 勃 海 尔	BCD-175	双门 四星	175	46	直冷	100	0.7	1.1	-18	0~10	AsperaB 1112A
	BCD-212	双门 四星	212	46	直冷	120	0.8	1.2	-18	0~10	AsperaB 1116A
	BCD-220	双门 四星	220	78	直冷	140	1.0	1.4	-18	0~10	AsperaB 2116B
美 菱 阿 里 斯 顿	BC-145	单门	145		直冷	100	0.58	1.1		0~10	FP1084A 意大利 输入103W
	BCD-185E	双门	185	31	直冷	135	0.86	1.3	18	0~12	A1112A 意大利 输入135W

(续)

商 标	型 号	级 别	规格尺寸		冷 冻 方 式	输 入 功 率 (W)	电 流 (A)	环 境 32℃ 时 每 日 耗 电 量 (kWh/d)	冷 冻 室 温 度 (℃)	冷 藏 室 温 度 (℃)	压 缩 机 型 号  区 别  功 率
			总 容 积	冷 藏 室							
索 板 扬 子	BCD-205	双门四星	205	30	直冷	123	0.19	1.55	-18	0~10	日本 FNE1Q 10G124W
	BCD-209	双门四星	209	30	直冷	117	0.86	1.4	-18	0~10	意大利 FSM5
	BCD-210	双门四星	210	30	直冷	133	0.94	1.5	-18	0~10	意大利 FSM7
万 宝	BCD-158	双门四星	158	27	直冷	109	0.9		-18	0~10	
	BCD-158A	双门四星	158	27	直冷	109	0.9		-18	0~10	
	BCD-148	双门四星	148	30	间冷	120	0.9		-18	0~10	
	BCD-148W	双门四星	148	30	间冷	120	0.9		-18	0~10	
	BCD-203	双门四星	203		直冷	130			-18	0~10	
	BY50	单门	50		直冷	20				0~10	
	BCD-186	双门四星			间冷				-18	0~10	
吉 诺 尔	BCD-170	双门四星	170	13	直冷	97	0.12	1.2	18	0~5	SL17N1 412W 日本
长 城	BCD-170	双门四星	170	35	直冷	115	0.8	<1.2 (环温 25℃)	18	0~12	FN13Q887 日本 松下输入103W
半 球	BC-175	双门四星	175	10	直冷	110	0.85	<1.1	22	0~10	V1350E 意大利
睿 声	BCD-103	双门四星	103	22	直冷	90	0.6	0.9~ 1.25	-18	0~5	80~95W 意、日
	BCD-165	双门四星	165	37	直冷	120	1.1	1.2~ 1.45	-18	0~5	95~125W 意、日

### 3. 电冰箱用电机的转矩和起动电流

表22 4 电冰箱用电机的转矩和起动电流

功率 (W)	最大转矩 (N·cm)	起动转矩 (N·cm)	起动电流 (A)
60~65	51~61	39~59	7~7.5
90~100	78~88	49~78	8~10
120~130	98~118	59~98	10~12
150~200	157~176	98~137	11~15

## 二、空气调节器

### 1. 空气调节器的选用

表22 5 单位地面面积的制冷(热)负荷估算表

房屋结构		单位面积制冷或制热负荷				单位面积制冷制热负荷的计算条件				
		制冷 (W/m <sup>2</sup> )	热泵制热		电热制热 (W/m <sup>2</sup> )	换气 次数 (次/h)	窗面积 比地面 面积 (%)	每10m <sup>2</sup> 地面 的人数 (人/10m <sup>2</sup> )	照明 (荧光灯) (W/m <sup>2</sup> )	
型	式	室冷式 (W/m <sup>2</sup> )	水冷式 (W/m <sup>2</sup> )							
住宅 (木结 构)	中 式	南向	221	291	238	240	1.5	40	3	9
		北向	163	279	227	225	1.5	20	3	10
	西 式	南向	192	279	227	225	1	30	3	9
		北向	233	279	227	225	1	30	3	9
朝南西 式房间	顶层	186	262	215	215	1	30	3	10	
	中间	115	233	192	190	1	30	3	10	

注:表列数据,能满足一般使用要求,如夏季当室外气温为33℃时,室内约27℃;冬季当室外气温为0℃时,室内约21℃。

表22 6 窗式空调器耗电量

制冷量 (kcal/h)	1700	2300	3000
耗电量(kW·h)	0.9	1.1	1.7

注:1cal=4.1868J。

## 2. 空气调节器的电气控制系统

见图22-1。

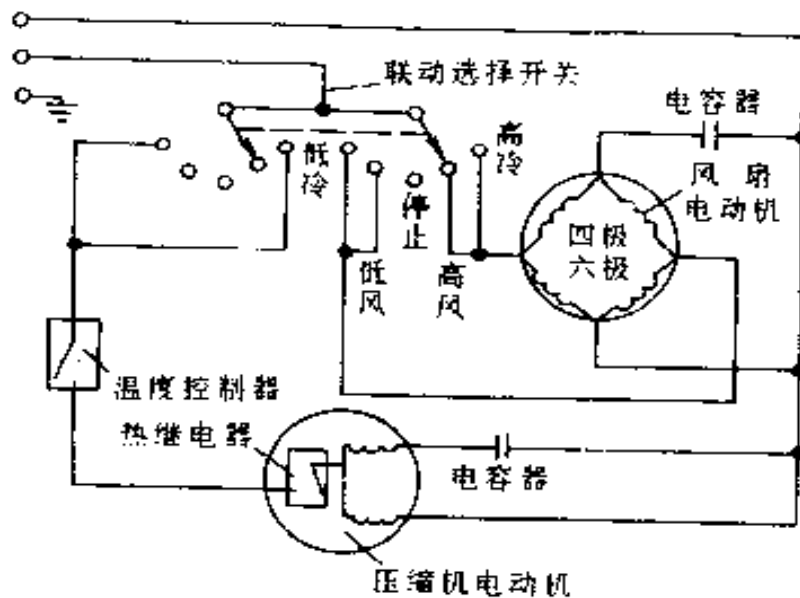


图22-1 空气调节器单相电控原理图

## 三、洗 衣 机

### 1. 家用洗衣机的类型、性能和特点

表22-7 家用洗衣机的类型、性能和特点

类 型	性能和特点	洗衣程序	一次洗 干衣重 量(kg)	转速(r/min)		电动机 功 率 (W)	
				波轮或 滚 筒	脱 水 筒	洗 涤	脱 水
简易型 波轮式	波轮转速较高 动力部分可拆卸	单洗涤	1.5	700		120	
普通型 波轮式	波轮正反向旋 转、自流排水	洗涤和漂洗	1.5~2	400~700		120	
半自动型 波轮式	洗涤、脱水两桶 各自独立	洗涤、漂洗后,用 人工将衣服放入脱 水桶进行脱水或电 热干燥	2~3	300~400	1400	洗涤 230	脱水 115

(续)

类 型	性 能 和 特 点	洗 衣 程 序	一 次 洗 下 衣 重 量(kg)	转 速(r/min)		电 动 机 功 率 (W)
				波 轮 或 滚 筒	脱 水 筒	
全 自 动 型	波轮式	有定时盘控制各种洗衣程序	2~3	100	800	180
	滚筒式	滚筒有高、低两种转速,装有高速排水泵,有定时盘控制各种洗衣程序	5	50	300	350 (双速电动机)
	搅拌式	搅拌旋翼作180°来回摆动,可按设定程序洗衣	5		800	350

## 2. 洗衣机的主要电气技术性能

表22-8 洗衣机的主要电气技术性能

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	
电 气 安 全 性 能	洗衣机的金属外壳应有接地位置,接地电阻应不大于0.2Ω,整机线路应能承受1500V、1min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0.5MΩ;电动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. 洗衣机的电气控制系统

#### (1) 普通型波轮式洗衣机

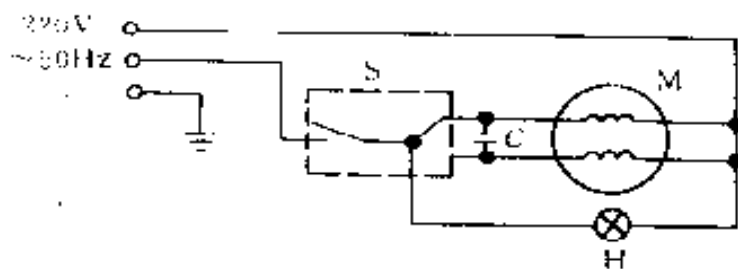


图22-2 普通型波轮式洗衣机电控原理

M—电动机 C—运转电容器 S—定时换向开关 H—指示灯

#### (2) 半自动型波轮式洗衣机

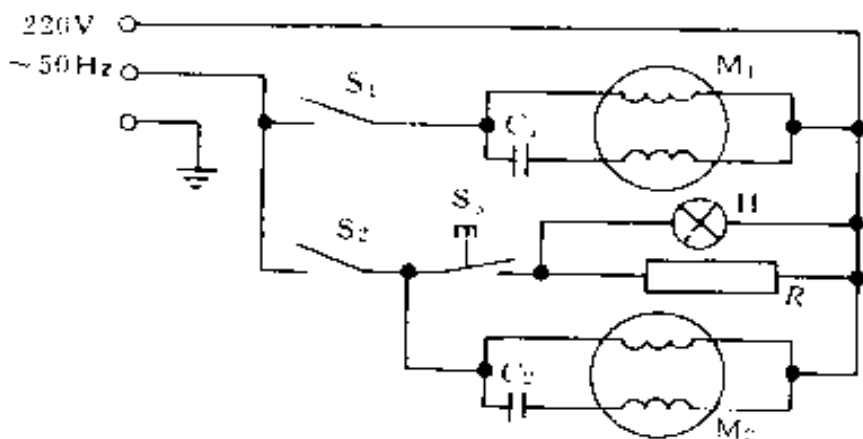


图22-3 半自动型波轮式洗衣机电控原理

M<sub>1</sub>—洗衣机电动机 C<sub>1</sub>—M<sub>1</sub>的运转电容器 M<sub>2</sub>—脱水电动机  
C<sub>2</sub>—M<sub>2</sub>的运转电容器 R—电热器 S<sub>1</sub>—洗涤定时开关  
S<sub>2</sub>—脱水及电热干燥定时开关 H—电热器指示灯

### 4. XD型洗衣机电动机的性能数据

表22-9 XD型洗衣机电动机的性能数据 (220V, 50Hz)

功率 (W)	堵转转 矩倍数	堵转电流 (A)	最大转 矩倍数	效率 (%)	功率因数	噪声 (dB(A))	温升 (K)
90	0.95	2.0	1.7	49	0.95	62	75
120	0.90	2.7	1.7	52	0.95	62	75
180	0.80	4.0	1.7	59	0.95	62	75
250	0.70	5.5	1.7	59	0.95	62	75

## 四、电 风 扇

### 1. 电风扇的品种、规格及主要特征

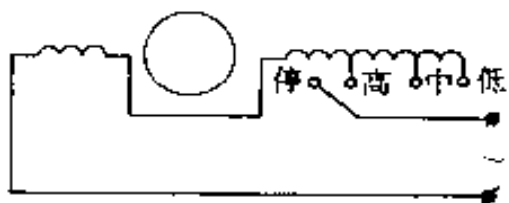
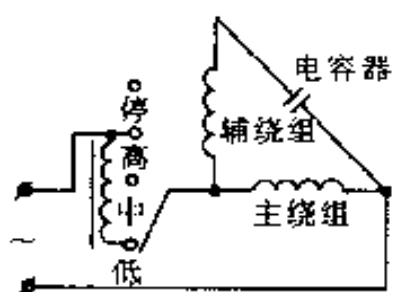
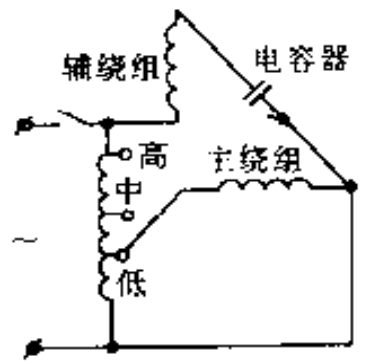
表22-10 电风扇的品种、规格及主要特征

品 种	规 格 (以风叶直径的 mm数表示)	主 要 特 征		
		电机及摇头	支承结构	安装方式
台扇	200, (230), 250, 300, 350, 400	防护式电动机, 卧式安装, 多具有往复摇头机构	底座	置于台上
壁扇	250, 300, 350, 400			挂于壁上
台地扇	300, 350, 400			置于台、地上
落地扇	300, 350, 400, 500, 600			置于地上
顶 扇	300, 350, 400	封闭式电动机, 立式安装, 常用回转摇头机构	座架	装于天花板上
吊扇	(700), 800, 1050, 1200, 1400, 1500, 1800	外转子结构封闭式电动机, 立式安装, 无摇头机构	吊钩和吊杆	吊于天花板上
排气扇	200, 250, 300, 400, 500, 600, 750	封闭式电动机, 卧式安装, 无摇头机构	框架	装于墙洞或窗上
转页扇	300, 350	封闭式电动机, 卧式安装, 靠转动或摇动的百叶栅来变化风向	框架	置于台上

## 2. 电风扇调速

### (1) 风扇电动机调速

表22-11 风扇电动机调速

原理	方法	接线原理图	特点	应用
改变极数	改变定子绕组接线得到不同极数		特制的定子绕组	罩极异步电动机
改变绕组端电压	定子绕组线圈抽头		定子磁极线圈抽头改变匝数	罩极异步电动机
	串联电抗器		调节电抗值, 改变电路参数来调速; 调速范围大、电动机简单, 但功耗大、成本高, 低速性能差	台扇电动机 台扇、吊扇电动机
	自耦变压器供电		调节自耦变压器抽头, 改变供电电压; 调速范围大, 但成本高, 功耗大	实用性差

(续)

原理	方法	接线原理图	特点	应用
改变绕组端电压	串联电容器		调节串联电容值, 方法简易	台扇、吊扇、转页扇电动机
	晶闸管调压		利用晶闸管调压, 调速范围宽, 无级调速, 可低速模拟自然风, 但电压波形差, 电动机噪声大	吊扇、台扇、转页扇电动机
改变供电频率	用分数倍频器改变供电频率		低速节能、成本高	轴流风机、空调器风扇、台扇电动机

## 第二十三章 电气通信

### 一、概 述

#### 1. 无线电波的波段

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

式中  $\lambda$  —— 波长(m);

$v$  —— 速度(m/s),  $v = 3 \times 10^8$  m/s;

$f$  —— 频率(Hz)。

因此,对无线电波可以按波长来划分波段。

表23-1列出了各波段的名称、波长范围、电波名称,表23-2列出各波段的主要用途与传播方式。

表23-1 各波段的名称及划分

波 段 名 称		波长范围(m)	电 波 名 称	频率范围
极长波		$1 > 10^5$ 以上	极低频(ELF)	3kHz 以下
超长波		$1 \times 10^5 \sim 10^4$	甚低频(VLF)	3~30kHz
长 波		$1 \times 10^4 \sim 10^3$	低频(LF)	30~300kHz
中 波		$1 \times 10^3 \sim 100$	中频(MF)	300~3000kHz
短 波		100~10	高频(HF)	3~30MHz
超短波		10~1	甚高频(VHF)	30~300MHz
微 波	分米波	1~0.1	特高频(UHF)	300~3000MHz
	厘米波	0.1~0.01	超高频(SHF)	3~30GHz
	毫米波	0.01~0.001	极高频(EHF)	30~300GHz

表23-2 各波段的主要用途及传播方式

波段名称	主要用途	传播方式
超长波和长波	远洋导航通信等	近距离通过地面波；远距离几千公里靠天波
中波	导航、通信、广播等	白天天波衰减大，主要靠地面波，晚上二者均可传播
短波	广播、通信、导航等	极近距离(几十公里)用地面波；远距离靠天波
超短波	电视、雷达、通信、导航等	地面波衰减太大，天波由于频率过高穿出电离层，故靠空间波传播
微波	雷达导航、电视、天文等	近距离靠空间波；远距离靠对流层传播

## 2. 分贝

图23-1所示典型放大器A中设其输入功率为 $P_i$ ，输出功率为 $P_o$ ，

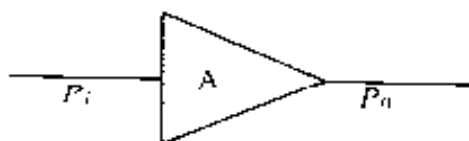


图23-1 典型放大器

则这个功率放大器的放大倍数为 $A = P_o/P_i$ 。功率放大倍数 $A$ 的常用对数值的10倍称为放大器用分贝表示的功率增益，记为

$$G_P = 10 \lg \frac{P_o}{P_i} = 10 \lg A$$

如果放大器的输入电阻为 $r_i$ ，输出电阻为 $r_o$ ，输入电压为 $u_i$ ，输出电压为 $u_o$ ，输入电流为 $i_i$ ，输出电流为 $i_o$ ，则功率增益的分贝值也可表示为

$$G_P = 10 \lg \frac{P_o}{P_i} = 10 \lg \left( \frac{u_o^2/r_o}{u_i^2/r_i} \right) = 20 \lg \frac{u_o}{u_i} + 10 \lg \frac{r_i}{r_o}$$

$$\text{或 } G_P = 10 \lg \frac{P_o}{P_i} = 10 \lg \frac{i_o^2 r_o}{i_i^2 r_i} = 20 \lg \frac{i_o}{i_i} + 10 \lg \frac{r_o}{r_i}$$

当 $r_i = r_o$ 时，有

$$G_P = 10 \lg \frac{P_o}{P_i} = 20 \lg \frac{u_o}{u_i} = 20 \lg \frac{i_o}{i_i}$$

由上式可见,当由功率值求功率增益的分贝值时,系数为10;当由电流和电压求功率增益的分贝值时,系数为20。

## 二、通信天线

### 1. 电视接收天线的选择



#### (1) 四种典型场强下天线选择

表23-3 四种典型场强下天线选择示例

场强状况	天线选择示例
<p><b>强场强区</b> (50mV/m 以上)--- 一般为电视发射塔附近, 约1km 以内</p>	<p>因信号过强,易产生过荷失真,使图象失去细节,缺少层次,受人体影响大,为此,有时须加衰减。一般为:</p> <p>(a)接收 VHF 段,用机上拉杆天线或羊角天线(必要时加衰减器)</p> <p>(b)接收 UHF 段,用机上圆环天线(必要时加衰减器)</p> <p>注:衰减器应安装于机上天线插孔附近。为防止有鞭,还应加金属屏蔽网</p>
<p><b>中场强区</b> (5~50mV/m)大部 分市内接收皆如此</p>	<p>此区内场强与许多因素有关。一般说来,当电视发射机为10kW,电视机灵敏度为300μV时,天线可如下选择:</p> <p>(a)距电视发射塔10~15km 时,二单元折合振子室外天线(或X型天线)</p> <p>(b)距电视发射塔15~20km 时,二单元折合振子室外天线</p> <p>(c)距电视发射塔20~25km 时,四单元折合振子室外天线</p> <p>(d)距电视发射塔25~40km 时,五单元折合振子室外天线</p>
<p><b>弱场强区</b> (0.5~5mV/m),在 一般市郊附近</p>	<p>当发射机与接收机类似上述情况时:</p> <p>(a)可选用七单元折合振子室外天线</p> <p>(b)也可用双层五单元折合振子天线</p>
<p><b>微场强区</b> (0.5mV/m 以下), 可视距以外大多为此情 况</p>	<p>由于太远,电视信号场强变化复杂,故往往要通过实验来选择天线位置与方向、高度,此时可选用:</p> <p>(a)高增益双层双列多单元折合振子室外天线</p> <p>(b)菱形天线</p> <p>(c)条件允许,可用独立的图象天线和伴音天线,且用单独的图象接收机和伴音接收机</p>

(2)常用天线馈线及其特性和应用范围

表 23-4 常用天线馈线及其特性和应用范围

型号	图例	特性阻抗	对称特性	特性衰减 (50MHz时)	抗外界干扰能力	机械强度	阻抗匹配	价格	备注
SBVD	 又称双芯屏蔽线	300Ω	平衡式	$<12\text{Np/km}^2$	易受干扰	较差	与电视机相连，须加阻抗变换器	较便宜	又可分为两种： (a)聚乙烯作填充料，特点是质地硬，损耗小，但较贵 (b)以聚氯乙烯加碳黑作填充料，暂无型号，特点是：较柔软，故又称“特软微线”，价格便宜，但损耗大
SYV 75-5-2 或 SYV 75-9	 又称同轴电缆	75Ω	不平衡式	$<10\text{Np/km}^2$	抗干扰能力强	较强	可直接与电视机匹配	较贵	质地硬，损耗小，因体外有屏蔽网，故引入干扰小

(1)Np(奈伯) $\approx 8.686\text{dB}$ 。  
②是在 45MHz 时的数值。



## 2. 常用天线的结构

### (1) 半波振子天线

#### 1) 半波对称振子天线

表23-5 1~12频道基本半波振子的电气长度

频道	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{\lambda}{2}$ 长度(mm)	2735	2365	2085	1785	1620	825	790	755	725	695	665	635

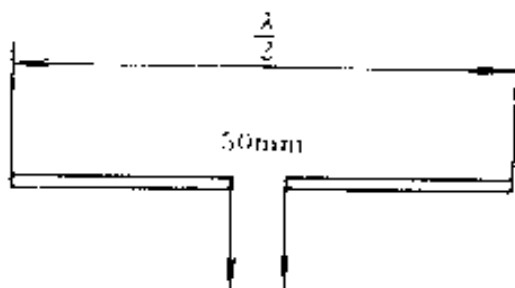


图23-2 半波对称振子天线

#### 2) 折合振子天线

表23-6 VHF 各频道折合振子天线尺寸

频道	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\frac{\lambda}{2}$ 长度 $l$ (mm)	2760	2400	2110	1790	1620	850	815	780	745	720	690	665

注： $d=10\sim 20\text{mm}$ ， $S=80\text{mm}$ ， $C=50\sim 80\text{mm}$ 。

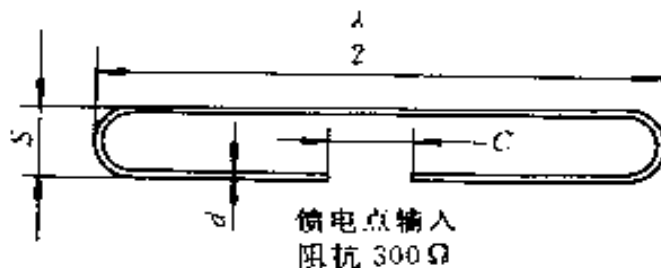


图23-3 折合振子天线

## (2) 引向天线

### 1) 二单元

表23-7 二单元天线的尺寸

电视频道		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸 (mm)	$l_1$	2560	2230	1970	1700	1530	790	760	730	700	670	640	620
	$l_2$	3140	2740	2420	2060	1870	970	930	890	850	815	785	760
	$D_1$	900	780	690	590	535	280	270	255	240	230	225	220

注： $d=10\sim 20\text{mm}$ ， $S=80\text{mm}$ ， $C=50\sim 80\text{mm}$ 。

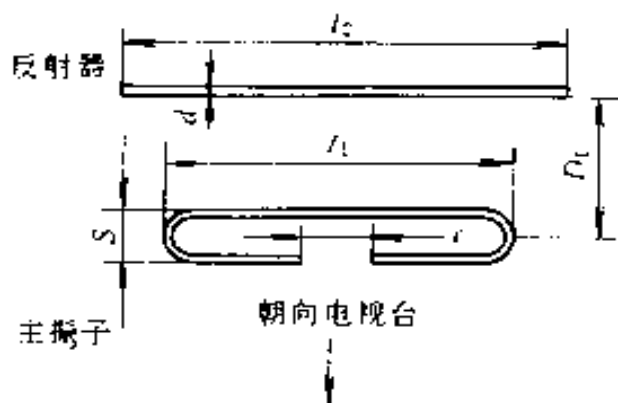


图23-4 二单元振子天线

### 2) 三单元

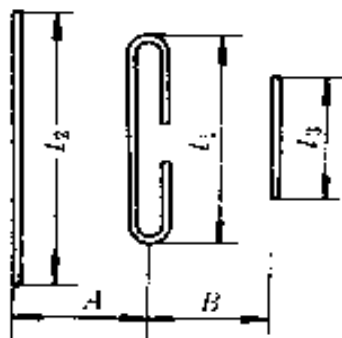
表23-8 三单元天线尺寸

电视频道		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
尺寸 (mm)	$l_1$	2760	2340	2130	1790	1620	840	815	780	745	720	690	665
	$l_2$	3350	2840	2450	2200	2000	1080	990	950	905	870	840	805
	$l_3$	2340	2000	1750	1550	1400	708	690	660	630	610	585	560
	A	900	760	650	590	535	306	270	255	240	230	225	220
	B	600	510	435	395	355	185	180	170	160	155	150	145
	U形匹配 电缆长度	1900	1600	1400	1310	1120	390	300	355	315	195	175	155

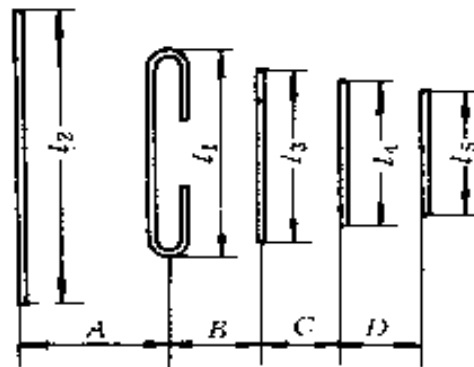
### 3) 五单元

表23 9 五单元天线尺寸

电视频道	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
尺寸 (mm)	$l_1$	2760	2340	2130	1790	1620	750	730	690	680	660	605	580
	$l_2$	3130	2650	2400	2060	1870	865	840	840	800	760	700	710
	$l_3$	2510	2130	1940	1650	1500	745	720	680	660	640	610	580
	$l_4$	2490	2100	1910	1630	1480	745	720	680	660	610	610	580
	$l_5$	2430	2060	1870	1600	1450	715	700	660	650	610	610	570
	A	1200	1030	935	790	720	334	325	310	300	290	260	260
	B	730	620	565	480	435	224	210	210	210	160	190	190
	C	700	590	535	460	420	515	500	590	490	450	445	390
	D	740	625	570	485	440	440	420	365	375	380	315	350
	U形匹配 电缆长度	1900	1800	1460	1240	1120	590	560	535	515	495	475	455



a) 三单元天线




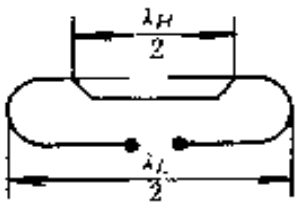
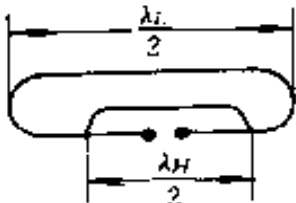

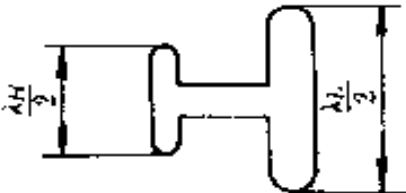

b) 五单元天线

图23-5 三单元和五单元天线

### (3) 宽频带接收天线

#### 1) 几种常用的宽频带振子

表23-10 几种典型的宽频带振子

名 称	形 状	阻 抗
角形振子		300~150Ω
复合振子 (W型)		300~600Ω
复合振子 (S型)		200~400Ω
带U形线的 折合振子		约300Ω
并行馈电 双折合振子		约300Ω
对数周期振子		100~200Ω

2) 三单元角形振子天线 见图23-6。

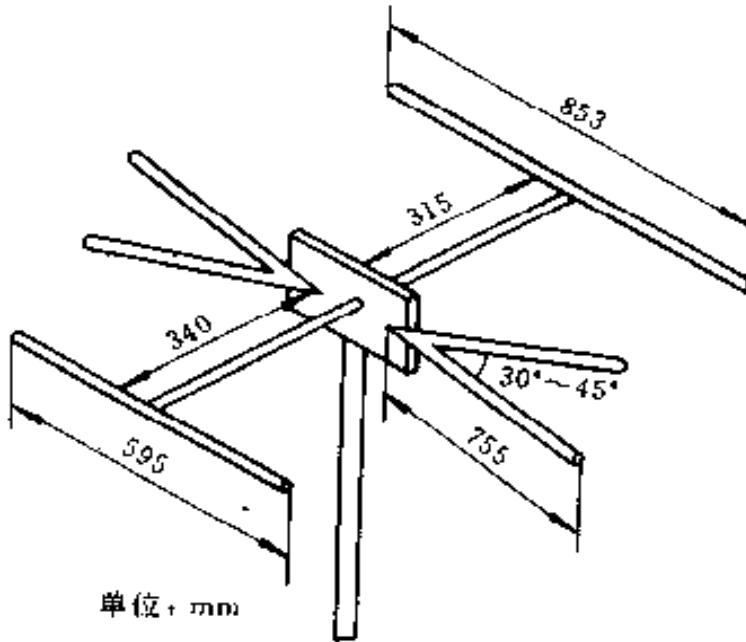


图23-6 三单元角形振子天线

3) 多频道双折合振子天线 见图23-7。

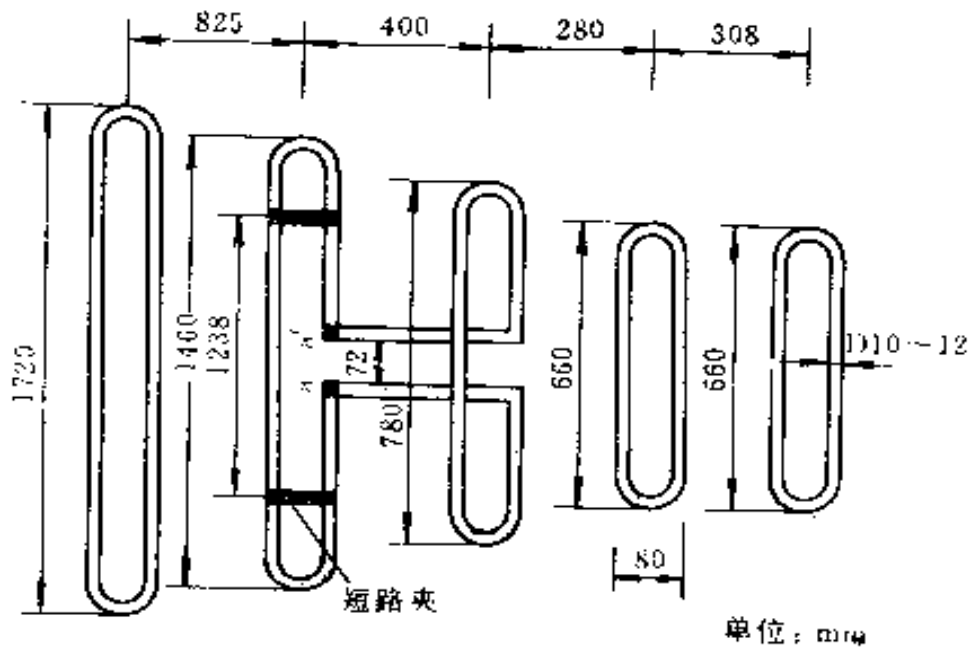


图23-7 多频道双折合振子引向天线

(4)组合天线 把两个以上天线的输出信号用混合器混合在一起的形式被称为组合天线。它与宽带天线比较具有:各频道均能得到较高的增益;各频道信号的方向可以是任意的;频道范围可以做得很宽等优点。因此,闭路电视系统一般都是利用组合天线,图23-8为两种常用的组合天线形式。

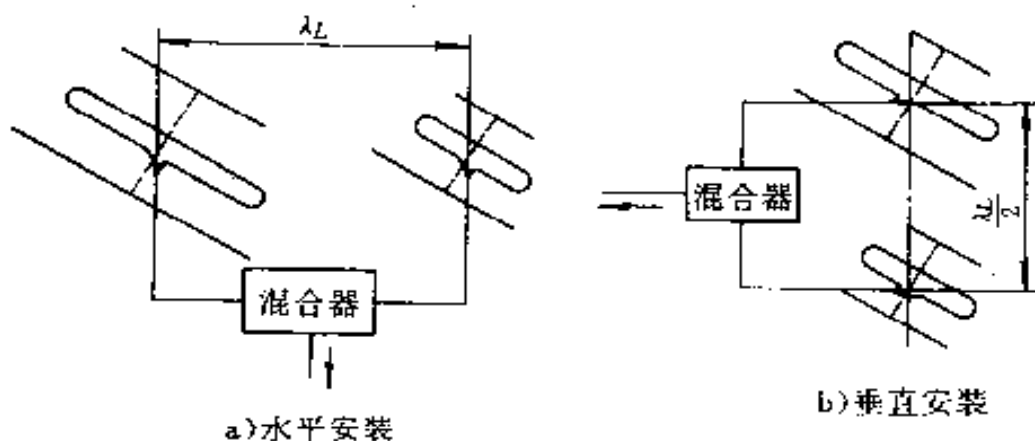


图23-8 组合天线

### 三、电 声

#### 1. 扩音机

表23-11 国内扩音机输入通道参数

输入通道	阻抗	输入电压 (mV)	输入电平 (基压0.775V)	线路输入 插孔形式
传声器	$\geq 20k\Omega$	$\leq 10$	$\leq 38dB$	不平衡式 平衡或不平衡式
	$\geq 600\Omega$	$\leq 1$	$\leq -58dB$	
拾音(唱机、录音机等)	$\geq 100\Omega$	$\leq 200$	$\leq -11.5dB$	不平衡式
线路	$600\Omega$	$\leq 775$	$\leq 0dB$	平衡或不平衡式

## 2. 输送变压器

表23-12 常用定阻抗式输送变压器型号规格

	初级阻抗( $\Omega$ )	端 子	连 接	初级阻抗( $\Omega$ )	端 子	连 接
1~2W 输送变压器 (SBR-2-1型)	250	1~8	1~5 2~6	9000	1~6	2~4 3~5
	1000	1~6	2~5	16000	2~5	3~4
	4000	2~5	2~4 3~5	20000	1~5	3~4
	6250	1~6	1~4 3~6	25000	1~6	3~4
3~5W 输送变压器 (SBR-5 2型)	500	1~6	1~5 2~6	4000	2~5	3~4
	1000	2~5	2~4 3~5	6000	1~6	2~4
	2000	1~6	2~5	7000	2~6	3~4
	3000	1~6	1~4 3~6	12000	1~6	3~4
10~25W 输送变压器 (SBR-10-3型) (SBR-15-4型) (SBR-25 5型)	250	1~6	1~5 2~6	2000	2~5	3~4
	500	2~5	2~4 3~5	3000	1~6	3~5
	1000	1~6	2~5	3500	1~5	3~4
	1500	1~6	1~4 3~6	6000	1~6	3~4

表23-13 常用定电压式输送变压器型号规格

型 号	标称功率 (W)	一次电压 (V)		二次电压 (V)
SBV-5-1	5	0-90-120	0-90-120	0-20-30-45
SBV-10-2	10	0-90-120	0-90-120	0-20-30-45
SBV-15-3	15	0-90-120	0-90-120	0-20-30-45
SBV-20-4	20	0-90-120	0-90-120	0-20-30-45
SBV-25-5	25	0-90-120	0-90-120	0-20-30-60
SBV-30-6	30	0-90-120	0-90-120	0-20-30-60
SBV-60-7	60	0-90-120	0-90-120	0-20-30-60

### 3. 末级配接

(1) 定阻抗式配接 定阻抗扩音机的输出端一般设有几个抽头,以供连接不同的扬声器及其组合之用。国产扩音机一般标有4, 8, 16, 100, 150和250Ω 等若干档。一般16Ω 及以下诸档统称为低阻抗输出,大于16Ω 诸档称为高阻抗输出。

低阻抗输出一般适用于输出导线长度不超过50m 的场合;高阻抗输出适用于传送线较长的情况,此时,在扩音机与扬声器之间接入相应的线间变压器,线间变压器的一次和二次绕组都各有若干不同的阻抗抽头,可以比较灵活方便地实现阻抗匹配。

声场内的各只声柱或扬声器可根据相应的供声区域分配不同的功率比例,此时,输送变压器的一次绕组阻抗  $Z$  可按下式求取:

$$Z = Z_K \times \frac{P_K}{P_Y}$$

式中  $Z_K$  ——扩音机所用输出阻抗值(Ω);

$P_K$  ——扩音机额定输出功率(W);

$P_Y$  ——扬声器对应实得功率(W)。

#### (2) 定电压式配接

##### 1) 扬声器额定工作电压的换算



$$U_Y = \sqrt{P_Y Z_Y} \quad (\text{V})$$

式中  $U_Y$  ——扬声器的换算额定工作电压(V);  
 $P_Y$  ——扬声器的标称功率(W);  
 $Z_Y$  ——扬声器的标称阻抗( $\Omega$ )。

## 2) 配接原则

$$U_R \leq U_Y$$

式中  $U_R$  ——扬声器的输入电压;  
 $U_Y$  ——扬声器的工作电压。

3) 扬声器的实得功率  $P_{Y_a}$  按下式计算:

$$P_{Y_a} = P_Y \times \frac{U^2}{U_Y^2} \quad (\text{W})$$

或

$$P_{Y_a} = U^2 / Z_Y \quad (\text{W})$$

式中  $P_Y$  ——扬声器的标称功率(W);  
 $U$  ——扬声器的计算实得输入电压(V);  
 $U_Y$  ——扬声器的额定工作电压(V);  
 $Z_Y$  ——扬声器的标称阻抗( $\Omega$ )。

## 4) 输送变压器的选用

① 选用定电压式输送变压器 这种变压器的一次和二次绕组都常有几个线圈,每个线圈中间又有若干抽头,使用时可将线圈加以串并联和变换抽头来获得不同的输入输出电压。

② 选用定阻抗式输送变压器 定阻抗式输送变压器都标明标称功率、一次阻抗和二次阻抗,根据下式可以换算出变压器各个抽头上的相应工作电压  $U_1$ (一次)和  $U_2$ (二次)

$$U_1 = \sqrt{P Z_1}$$

$$U_2 = \sqrt{P Z_2}$$

式中  $P$  ——标称功率(W);  
 $Z_1$  ——一次阻抗( $\Omega$ );  
 $Z_2$  ——二次阻抗( $\Omega$ )。

## 四、共用天线电视系统

### 1. 共用天线电视系统示意图

见图23-9。

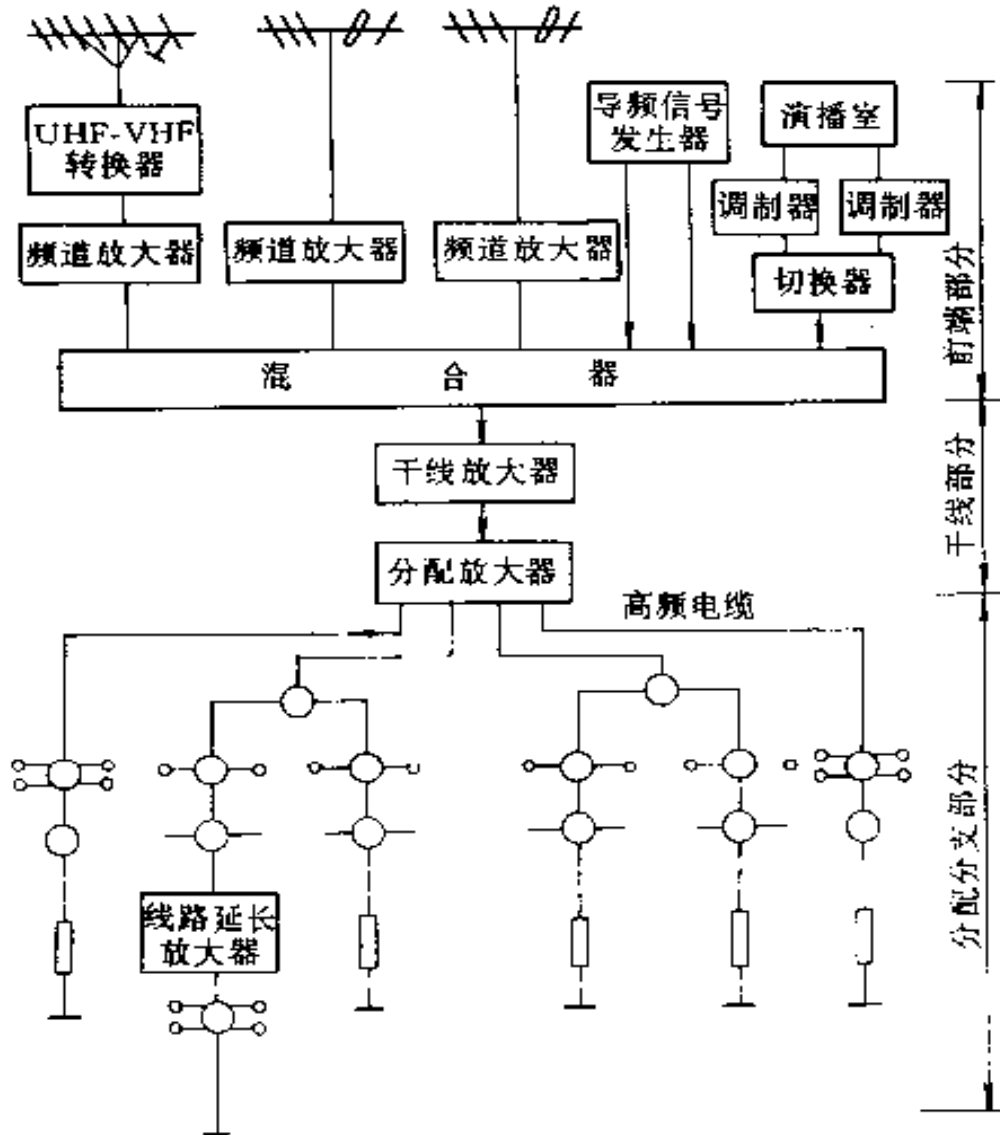


图23-9 典型的共用天线系统示意图

## 2. 共用天线电视系统主要性能指标

表23-14 共用天线电视系统主要性能指标

项 目		单 位	极 限 值	
			UHF	VHF
用 户 端	频道范围		13~68	1~12
	用户端电平	$\text{dB}\mu\text{V}$	60~83	57~83
	频道间电平差	$\text{dB}$	$\leq 15$	$\leq 12$
信 号 质 量	图象与伴音电平差	$\text{dB}$	$\geq 3$	$\geq 3$
	载噪比	$\text{dB}$	$\geq 45$	$\geq 45$
	载波互调比	$\text{dB}$	$\geq 54$	$\geq 54$
	调制交扰比	$\text{dB}$	$\geq 46$	$\geq 46$
	交流声	$\text{dB}$	$\geq 46$	$\geq 46$
图象质量	标准用户电视机	级	$\geq 4$	$\geq 4$

## 3. 电视机与用户盒的连接

(1)  $75\Omega$  插孔与电视机  $75\Omega$  输入端(插孔)的连接 可用同轴电缆配  $75\Omega$  插头,根据用户盒插孔的情况,选用莲花插头或  $75\Omega$ (直、直角)插头,电视机一端一般为  $75\Omega$  插头,如图23-10所示。

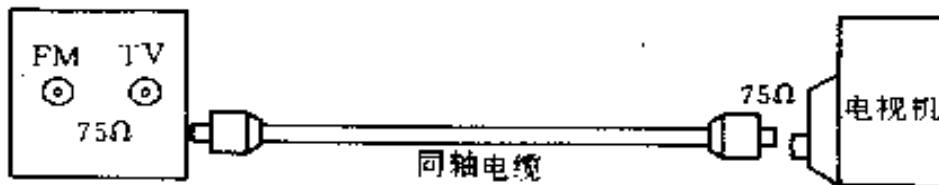


图23-10  $75\Omega$ - $75\Omega$  连接

(2) 用分配器把信号分为多路 利用分配器可以把闭路电视信号分为多路,分别供给不同的电视机,如图23-11所示。

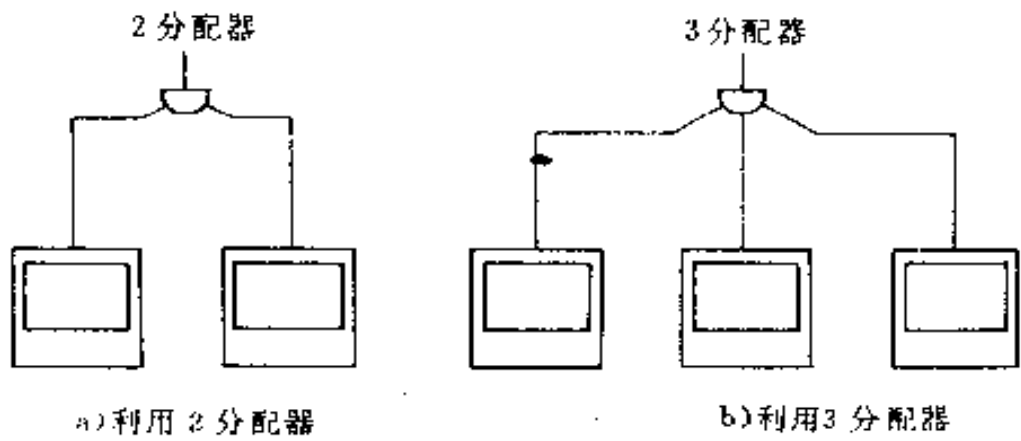


图23 11 用分配器把信号分为多路

## 第二十四章 电气安全

### 一、概 述

#### 1. 人体电阻

表24-1 不同条件下的人体电阻 (Ω)

接触电压 (V)	人 体 电 阻			
	皮肤干燥①	皮肤潮湿②	皮肤湿润③	皮肤浸入水中④
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

① 相当干燥场所的皮肤,电流途径为单手至双足。

② 相当潮湿场所的皮肤,电流途径为单手至双足。

③ 相当有水蒸汽等特别潮湿场所的皮肤,电流途径为双手至双足。

④ 相当游泳池或浴池中的情况,基本上为体内电阻。

#### 2. 安全电压

表24-2 我国安全电压标准

安全电压(交流有效值)(V)		选 用 举 例
额定值	空载上限值	
42	50	在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等
36	43	在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯等
24	29	可供某些具有人体可能偶然触及的带电体的设备选用
12	15	
6	8	

## 二、绝缘、屏护和间距

### 1. 绝缘电阻

绝缘电阻用兆欧表测定,一般来说,测量额定电压500V以下的线路或设备的绝缘电阻,应采用500V或1000V的兆欧表;测量额定电压500V以上的线路或设备的绝缘电阻,应采用1000~2500V的兆欧表(详见表5-7)。

运行中电缆线路的绝缘电阻可参考表24-3,变压器的绝缘电阻可参考表24-4。

表24-3 电缆线路的绝缘电阻

额定电压 (kV)	3	6~10	20~35
绝缘电阻 (MΩ)	300~750	400~700	600~1500

注:表内绝缘电阻值,在干燥季节应取较大值,潮湿季节应取较小值。

表24-4 变压器的绝缘电阻 (MΩ)

额定电压(kV)		温 度 (C)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
3~10	良好值	900	450	225	120	64	36	19	12
	最低值	600	300	150	80	43	24	13	8
20~35	良好值	1200	600	300	155	83	50	27	15
	最低值	800	400	230	105	55	33	18	10
60~220	良好值	2400	1200	600	315	165	100	60	30
	最低值	1600	800	400	210	110	65	35	21

注:测定变压器绝缘电阻时,如发现绝缘电阻低于出厂或大修后试验值的70%时,应根据有关规定对绝缘油作耐压强度及其他试验。

### 2. 屏护

变配电设备应有完善的屏护装置,安装在室外地上的变压器,以及安装在车间或公共场所的变配电设备,均需装设遮栏或栅栏作为屏护。

遮栏高度不应低于1.7m,下部边缘离地不应超过0.1m。

网眼遮栏与带电体的距离不宜小于表24-5的要求。户内栅栏高度不应低于1.2m,户外不应低于1.5m。对于低压设备,栅栏与裸导体的距离不应小于0.8m,围栏高度不应低于1.2m,栏条间距离不应超过0.2m。户外变电装置围墙高度一般不应低于2.5m。

表24-5 网眼遮栏与带电体的距离

电压 (kV)	1以下	10	20~35
距离 (m)	0.15	0.35	0.6

### 3. 间距

- (1)架空线路间距 参见第十六章一节。
- (2)接户线和进户线间距 参见第十七章三节。
- (3)户内低压线路间距 参见第十七章三节。
- (4)电缆线路间距 参见第十六章二节。
- (5)室外配电装置安全净距 参见第十六章三节。
- (6)室内配电装置安全净距 参见第十六章三节。

## 三、系统及设备接地

### 1. 接地电阻

表24-6 接地电阻的最大允许值 (Ω)

接地装置名称	接地电阻最大允许值
保护接地(低压电力设备)	4
交流中性点接地(低压电力设备)	4
常用的共同接地(低压电力设备)	4
单台容量或并列运行总容量小于100kVA的变压器、发电机及其所供电的电气设备的交流工作接地和共同接地	10

(续)

接地装置名称	接地电阻最大允许值
PE或PEN线的重复接地	10,如重复接地在三处以上,允许每一处不大于30
3~10kV线路在居民区中钢筋混凝土杆的接地	10
防静电接地	100

表24-7 电力设备接地电阻容许值

接地装置种类		工频接地电阻容许值( $\Omega$ )	备注
1000V以上的高压设备	大接地短路电流系统( $I \geq 500A$ )	一般情况	$R \leq \frac{2000}{I}$
		$I > 4000A$	可取 $R \leq 0.5$
	小接地短路电流系统( $I < 500A$ )	高低压设备共用的接地装置	$R \leq \frac{120}{I}$ , 一般不应大于10
		高压设备单独用的接地装置	$R \leq \frac{250}{I}$ , 一般不应小于10
1000V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	$R \leq 4$
		零线上的重复接地	$R \leq 10$
	中性点不接地系统	一般情况	$R \leq 4$
		发电机或变压器容量小于100kVA	可取 $R \leq 10$
利用大地作导线的电力设备	永久性工作接地	$R \leq 50/I$	
	临时性工作接地	$R \leq 100/I$	



## 2. 按接地方式分类的电力系统

见图24-1。

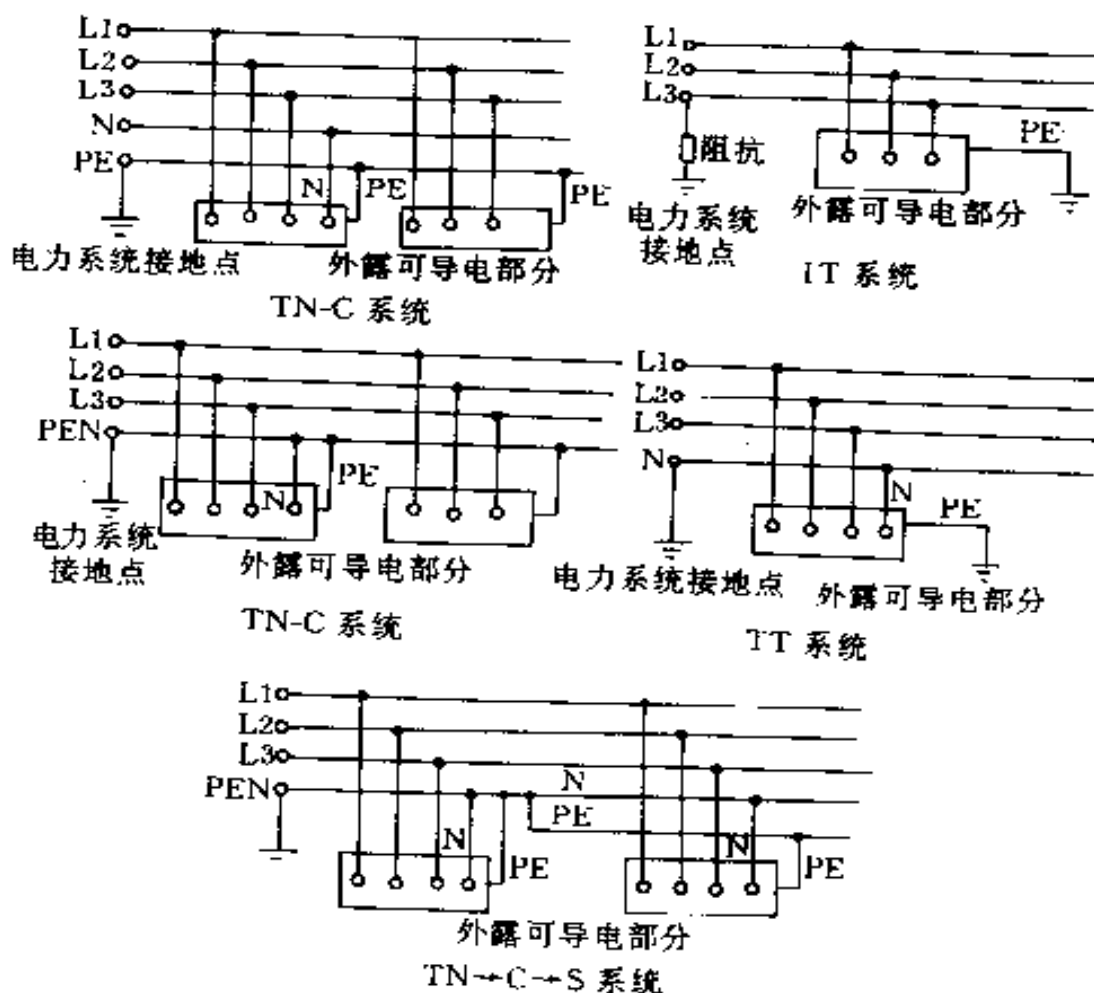


图24-1 按接地方式分类的电力系统

## 3. 人工接地

表24-8 单个人工接地体接地电阻( $R_{ag}$ )计算公式

接地方式	计算公式	备注
接地棒垂直接地	$R_{ag} = \frac{\rho}{L}$	
接地带水平接地	$R_{ag} = \frac{2\rho}{L}$	
接地带环形接地	$R_{ag} = 0.6 \frac{\rho}{G}$	
矩形接地体	$R_{ag} = K \frac{\rho}{\sqrt{bc}}$	$K$ : 平放时为0.22, 垂直时为0.253

注:  $L$ ——接地体长度(m);  $b$ 及 $c$ ——矩形接地体长和宽(m);  $G$ ——接地体所包围的土壤面积( $m^2$ );  $\rho$ ——土壤电阻率( $\Omega \cdot m$ )。

表24-9 钢接地体的最小规格

类 别	建筑物内	屋 外	地 下
圆钢,直径(mm)	5	6	6
扁钢,截面积(mm <sup>2</sup> )	24	4.8	4.8
厚(mm)	3	4	4
角钢,厚(mm)	2	2.5	4
钢管,管壁厚(mm)	2.5	2.5	2.5

注:人工接地体的顶面离开地面一般为0.6m,如达不到这个要求,应盖以水泥板或金属板,防止机械损伤。

表24-10 接地线最小尺寸

接地线类别	最小截面积(mm <sup>2</sup> )
移动设备的接地线(多芯软铜线)	1.5
绝缘铜线	1.5
裸铜线	4.0
绝缘铝线	2.5
裸铝线	6.0
扁钢(户内)	24(厚度≥3mm)
扁钢(户外)	48(厚度≥4mm)
圆钢(户内)	20(直径≥5mm)
圆钢(户外)	28(直径≥6mm)

## 四、漏电保护器

### 1. 漏电保护器主要技术性能参数(GB6829-86)

表24-11 直接接触补充保护用漏电保护器最大分断时间

$I_{\Delta n}$ (A)	$I_n$ (A)	最大分断时间(s)		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	0.25(A)
≤0.03	任何值	0.2	0.1	0.04

注: $I_{\Delta n}$ ——漏电保护器额定漏电动作电流整定值;  
 $I_n$ ——漏电保护器额定工作电流或额定电流。

表24-12 间接接触保护用漏电保护器最大分断时间

$I_{\Delta n}$ (A)	$I_n$ (A)	最大分断时间 (s)		
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$
$\geq 0.03$	任何值	0.2	0.1	0.04
	$\geq 40$	0.2	—	0.15

注：延时型漏电保护器只适用于间接接触保护。

$I_{\Delta n} > 0.03A$ ，延时时间优选值为0.2、0.4、0.8、1、1.5、2s。

表24-13 漏电保护器基本参数

额定电压 (V)	额定电流 (A)	频率 (Hz)	过电流不动作值	极数	额定漏电动作电流 (A)	额定漏电不动作电流
220 380	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 100, 160, 200	50	$6I_n$	一极二线	0.006 0.01	大于或等于额定漏电流的 1/2
	二极 二极二线 三极 三极四线 四极			0.03 0.1 0.3 0.5 1 2		

表24-14 不带短路保护的漏电保护器的额定短路接通分断能力的最小值

$I_n$ (A)	$I_m$ (A)
$I_n \leq 10$	300
$10 > I_n \leq 50$	500
$50 > I_n \leq 100$	1000
$100 > I_n \leq 150$	1500
$150 > I_n \leq 200$	2000
$200 > I_n \leq 250$	3000

表24-15 漏电保护器的机械、电气寿命

额定电压 (V)	额定电流 (A)	额定漏电动作电流 (A)	机械寿命 (次)	电 气 寿 命			操作频率 (次/h)
				总计(次)	试验装置	突变电流	
220	≤100	≤0.015	4000	4000	1500	1500	120
		>0.015			500	500	
380	>100	>0.015	6000	2000	500	500	120

## 2. 漏电保护器的安装

表24-16 漏电保护器的正常安装及工作条件

周围空气温度	上限不超过+40℃ 24h 平均不超过+35℃ 下限不低于-5℃或-25℃
海 拔	不超过2000m
大 气 条 件	最高气温+40℃时,相对湿度不超过50% 平均最低温度+25℃时,平均最大相对湿度不超过90%
场 所	无腐蚀气体、无爆炸危险,防潮、防尘、防震、防阳光直射
外 磁 场	任何方向不应超过地磁场5倍

表24-17 接线端子可以连接的铜导线标称截面

I(A)	被夹紧导线的标称截面积(mm <sup>2</sup> )
$I_n \leq 10$	1~2.5
$10 < I_n \leq 16$	1.5~4
$16 < I_n \leq 25$	2.5~6
$25 < I_n \leq 32$	4~10
$32 < I_n \leq 50$	6~16
$50 < I_n \leq 80$	10~25
$80 < I_n \leq 100$	16~35
$100 < I_n \leq 125$	25~50
$125 < I_n \leq 200$	35~95
$200 < I_n \leq 250$	95~150

表24-18 安装漏电保护器的电网中的电动机及其他电气设备最大接地电阻

保护器额定漏电动作电流(mA)		接地电阻( $\Omega$ )					
		30及以下	50	75	100	200	300
场所	一般场所	自然接地	500	500	510	250	160
	特别潮湿场所	自然接地	500	330	250	125	80

## 五、防 雷

### 1. 防雷装置

#### (1) 避雷针

表24-19 避雷针的最小尺寸

使用材料	针的长度(m)	针的最小直径(mm)
圆钢	$\leq 1$	12
钢管		20
圆钢	1~2	16
钢管		25

#### (2) 接地引线

表24-20 接地引线最小尺寸

使用材料		最小尺寸(mm)
圆钢	一般情况	直径8
	烟囱上	直径12
扁钢	一般情况	厚度4(截面积48mm <sup>2</sup> )
	烟囱上	厚度4(截面积100mm <sup>2</sup> )

#### (3) 接地体

表24-21 接地体材料及其最小尺寸

材 料	最小尺寸(mm)
圆 钢	直径10
扁 钢	厚度4(截面积100mm <sup>2</sup> )
角 钢	厚度4
钢 管	壁厚3.5

(4) 避雷器 参见第十一章八节。

## 2. 避雷针和避雷线保护范围

表 24 22 避雷针和避雷线保护范围

类别	保护范围图	计算公式
单支避雷针		<p>地面上的保护半径 <math>r = 1.5h</math> (m)</p> <p>在 <math>h_x</math> 高度的 <math>X'X'</math> 平面上的保护半径 <math>r_x'</math>:</p> <p>当 <math>h_x \geq \frac{h}{2}</math> 时, <math>r_x' = h_0 - h - h_x</math> (m)</p> <p>当 <math>h_x &lt; \frac{h}{2}</math> 时, <math>r_x' = 1.5h - 2h_x</math> (m)</p> <p>当 <math>30 &lt; h \leq 120</math> (m) 时, 则上两式均乘以高度影响系数 <math>p</math>,</p> $p = 5.5 \sqrt{h}$ <p><math>h</math> 避雷针高度 (m), <math>h_x</math> 被保护物高度 (m), <math>h_0</math> 避雷针有效高度 (m)</p>
双支避雷针		<p>两针外侧保护范围, 按单支避雷针计算</p> <p>两针间在 <math>X'X'</math> 平面上, 以心线每侧的最小保护宽度 <math>b_x</math> (m):</p> <p><math>h_0</math> 两针间保护范围边缘最低点的高度 (m), <math>D</math> 两针间距离 (m)</p> <p>当 <math>h \leq 30</math> (m) 时, <math>h_0 = h - \frac{D}{7}</math> (1)</p> <p>当 <math>h &gt; 30</math> (m) 时, <math>h_0 = h - \frac{D}{7p}</math> (2)</p> <p><math>b_x = 1.5(h_0 - h_x)</math> (m)</p>

(续)

类别	保护范围图	计算公式
单根避雷线		<p>避雷线在地面上投影每侧最小保护宽度 <math>b</math> (m)</p> $b = 1.2h$ <p>避雷线在 XX' 平面上投影每侧最小保护宽度 <math>b_x</math> (m):</p> <p>当 <math>h_r \geq \frac{h}{2}</math> 时, <math>b_x = 0.7(h - h_r)</math> (m)</p> <p>当 <math>h_r &lt; \frac{h}{2}</math> 时, <math>b_x = 1.2h - 1.7h_r</math> (m)</p> <p>当 <math>h &gt; 30</math> 时, 则上两式均乘以 <math>p</math>,</p> <p><math>h</math> 避雷线最大弧垂点的高度 (m)</p>
双根避雷线		<p>两根避雷线外侧的保护范围, 按单根避雷线方法计算</p> <p>两根避雷线间的保护范围, 按单根避雷线的 <math>b_x</math> 计算, 但应以 <math>h_c</math> 代替式中的 <math>h</math> 值, 即</p> <p>当 <math>h \leq 30</math> m 时, <math>h_c = h - \frac{D}{4}</math> ③</p> <p>当 <math>h &gt; 30</math> m 时, <math>h_c = h - \frac{D}{4p}</math> ④</p>

①改为  $D/5$ , ②改为  $D/(5p)$ , ③改为  $D/3$ , ④改为  $D/(3p)$ 。  
注: 山坡上避雷针或避雷线的保护范围, 按上述计算结果乘以 0.75。

### 3. 防雷装置与被保护物的距离

(1) 避雷针与被保护物的距离 避雷针至被保护建筑物和构筑物及其有联系的金属物(如管道、电缆等)之间的距离,应符合下式要求,且不得小于3m(见图24-2)。

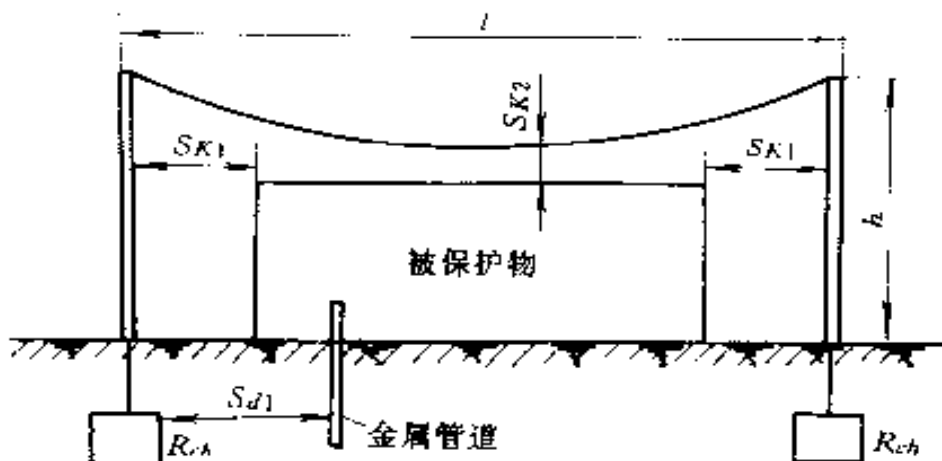


图24-2 防雷装置至被保护物的距离

地上部分

$$S_{K1} \geq 0.3R_{ca} + 0.1h_x$$

地下部分

$$S_{d1} \geq 0.3R_{ca}$$

式中  $S_{K1}$ ——避雷针至被保护物之间的空气中距离(m);

$S_{d1}$ ——避雷针的接地装置至被保护物及其有联系的金属物之间的地中距离(m);

$R_{ca}$ ——避雷针接地装置的冲击电阻( $\Omega$ );

$h_x$ ——被保护建筑物和构筑物或计算点的高度(m)。

(2) 架空避雷线与被保护物的距离 架空避雷线的支柱和接地装置至被保护物和构筑物及其有联系的金属物之间的距离同避雷针与被保护物的距离。架空避雷线至屋面和各种突出屋面的物体(如风帽、散热管等)之间的距离应符合下式要求,且不得小于3m(见图24-2)。



$$S_{K2} \geq 0.15R_{cl} + 0.08\left(h + \frac{l}{2}\right)$$

式中  $S_{K2}$ ——架空避雷线至被保护物之间的空气中距离(m)；

$h$ ——避雷线的支柱高度(m)；

$l$ ——避雷线的水平长度(m)。

## 参 考 文 献

1. 机械工程手册电机工程手册编辑委员会编. 电机工程手册. 北京:机械工业出版社. 1982
2. 日本电气学会编. 电工技术手册. 北京:机械工业出版社. 1984
3. 机械工程手册电机工程手册编辑委员会编. 电气工程师手册. 北京:机械工业出版社. 1987
4. [日]电气书院编辑部编. 最新电气工程基础考试手册. 北京:机械工业出版社. 1988
5. 张士林, 屈文莺编. 电工手册(修订本). 北京:石油工业出版社. 1990
6. 《电工手册》编写组编. 电工手册(第二版). 上海:上海科学技术出版社. 1990
7. 上海市电子电器技术协会编著. 简明实用电工手册. 上海:上海科学技术出版社. 1986
8. 陈效杰主编. 工厂企业电工手册. 北京:水利电力出版社. 1991
9. 周文森等编. 简明电工手册. 北京:机械工业出版社. 1981
10. 《农村电工手册》编写组编. 农村电工手册. 北京:机械工业出版社. 1987
11. 李燕生主编. 实用电工问答(第二版). 北京:金盾出版社. 1989
12. 《新编实用电子电工手册》编写组编. 新编实用电子电工手册. 北京:科学普及出版社. 1991
13. 周勵志编. 实用电工计算手册. 沈阳:辽宁科学技术出版社. 1990
14. 朱承高主编. 电工及电子技术手册. 北京:高等教育出版社. 1990
15. 《新编实用电工手册》编写组编. 新编实用电工手册. 北京:海洋出版社. 1990
16. 机械电子工业部编. 机械产品目录. 北京:机械工业出版社. 1991

17. 《工厂常用电气设备手册》编写组编. 工厂常用电气设备手册(补充本). 北京: 水力电力出版社. 1990
18. 罗初东等编. 现代实用电子技术手册. 广州: 广东科技出版社. 1990
19. 西门子电气公司编. 袖珍工程技术手册. 余维张等译. 上海: 上海科学技术文献出版社. 1984
20. 潘科等编译. 现代电子学实用手册. 北京: 中国广播电视出版社. 1988
21. 李慎安编著. 法定计量单位实用手册. 北京: 机械工业出版社. 1988
22. 国家标准局编. 电气制图及图形符号国家标准汇编. 北京: 中国标准出版社. 1989
23. GB249 89 半导体分立器件型号命名方法. 北京: 电子工业出版社. 1990
24. 康华光主编. 电子技术基础. 北京: 人民教育出版社. 1979
25. 童诗白主编. 模拟电子技术基础. 北京: 人民教育出版社. 1980
26. 张维力, 王京平编译. 新编中外晶体管置换手册. 北京: 人民邮电出版社. 1988
27. 《国内外功率晶体管实用手册》编写组编. 国内外功率晶体管实用手册. 北京: 电子工业出版社. 1987
28. 李锦春编. 常用小功率晶体三极管手册, 常用晶体二极管、大功率三极管手册(续编). 北京: 人民邮电出版社. 1989
29. 杨生庚等编. 最新简明中外集成电路互换型号手册. 北京: 电子工业出版社. 1990
30. 李双庆等编著. 常用半导体器件简明手册. 北京: 电子工业出版社. 1989
31. 张士炯主编. 家用电器元器件手册. 北京: 电子工业出版社. 1990
32. 华中工学院电磁测量教研室编. 常用电工仪表与测量. 北京: 机械工业出版社. 1985

33. 保定电力技工学校林正馨编. 电工仪表和测量. 北京: 电力工业出版社. 1982
34. 陈立周编. 电气测量. 北京: 机械工业出版社. 1984
35. 韩永盛编著. 常用电气线路100例. 北京: 金盾出版社. 1989
36. 蔡尚峰主编. 自动控制理论. 北京: 机械工业出版社. 1980
37. 上海市电子电器技术协会主编. 常用电工材料手册. 上海: 上海科学技术出版社. 1988
38. 季杏法主编. 小型三相异步电动机技术手册. 北京: 机械工业出版社. 1987
39. 张金兰, 夏长发编. 中小型电动机选型手册. 北京: 机械工业出版社. 1989
40. 庞启淮主编. 小功率电动机应用技术手册. 北京: 机械工业出版社. 1990
41. 顾绳谷主编. 电机及拖动基础. 北京: 机械工业出版社. 1980
42. 赵家礼主编. 电动机修理手册. 北京: 机械工业出版社. 1988
43. 许实章主编. 电机学. 北京: 机械工业出版社. 1980
44. 徐玉琦编著. 工厂电气设备经济运行. 北京: 机械工业出版社. 1988
45. 陈叔涛, 陈涑均编. 电力变压器的并联运行. 北京: 机械工业出版社. 1984
46. 周希章编. 常用电工计算. 北京: 机械工业出版社. 1983
47. 国家机械工业委员会编. 高压电器产品样本. 北京: 机械工业出版社. 1989
48. 王霁宗主编. 工企电气设备及其运行. 北京: 水力电力出版社. 1983
49. 郑铭芳等编. 低压电器选用维修手册. 北京: 机械工业出版社. 1989
50. 张明勋主编. 电力电子设备设计 and 应用手册. 北京: 机械工业出版社. 1990
51. 郑忠杰主编. 晶闸管变流技术. 北京: 机械工业出版社. 1989

TM-6  
2506

141049



京电力大 00039368

52. 黄俊主编. 半导体变流电路. 北京:机械工业出版社. 1980
53. 贺文编著. 微型水电站实用手册. 北京:机械工业出版社. 1987
54. 龚顺益, 施启达编著. 安装与维修电工技术. 北京:机械工业出版社. 1985
55. 金书林编著. 值班电工技术. 北京:机械工业出版社. 1987
56. 苏文成主编. 工厂供电. 北京:机械工业出版社. 1990
57. 丁明往, 汤继东编. 高层建筑电气工程. 北京:水利电力出版社. 1988
58. 中国建筑工业出版社编. 工程建设规范汇编19. 建筑电气设计技术规程. 北京:中国建筑工业出版社. 1987
59. JBJ6-80 工厂电力设计技术规程. 北京:机械工业出版社. 1981
60. 航空工业部第四规划设计研究院等编. 工厂配电设计手册. 北京:水利电力出版社. 1983
61. 朱松然, 张勃然等编著. 铅蓄电池技术. 北京:机械工业出版社. 1988
62. 陈伯时主编. 自动控制系统. 北京:机械工业出版社. 1981
63. 赵伟坤主编. 日用电器技术知识手册. 北京:机械工业出版社. 1985
64. 廖秉权著. 家用电器维修手册. 北京:人民教育出版社. 1988
65. 潘家忠编著. 闭路电视系统的调试、维修和使用. 北京:机械工业出版社. 1991
66. 黄金凯主编. 农村用电管理手册. 沈阳:辽宁科学技术出版社. 1989
67. 《安全技术手册》编写组编. 安全技术手册(第二版). 北京:水力电力出版社. 1989
68. 刘宝林主编. 电气规程规范及标准大全. 北京:中国计划出版社. 1991