

# 实用 供配电技术手册

刘介才 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 实用供配电技术手册

刘介才 主编



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本手册是为适应新世纪我国电力工业大发展,满足广大供配电技术人员工作需要而编写的一本实用技术手册。内容包括常用的基础资料和基本知识,供配电系统的电源与负荷,主要电气设备及其选择与校验,供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择,供配电系统的保护、二次回路与自动装置,动力用电设备及其配电,电气照明及其配电,安全用电、节约用电与计划用电,供配电系统的运行维护与检修试验等,并附有《电力法》、《供电营业规则》等六个重要的电力法规。

本手册力求全面准确地贯彻我国最新的标准规范,并采用了新型先进的产品资料,内容新颖实用,简明便查。不仅可供供配电技术人员工作参考,对大、中专供配电专业的师生也有参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

实用供配电技术手册/刘介才主编. —北京:中国水利水电出版社

ISBN 7-5084-0821-7

I. 实… I. 刘… II. ①供电-技术手册②配电系统-技术手册 N. TM72-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第066968号

书 名	实用供配电技术手册
作 者	刘介才 主编
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sale@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光印刷厂
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 34.5印张 1143千字
版 次	2002年1月第一版 2002年1月北京第一次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	59.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

经济要发展，电力需先行。进入 21 世纪，随着我国“十五”计划的进行和“西部大开发”战略的实施，我国的电力建设事业将出现一个大发展的新局面，供配电技术的应用将更加广泛。为了适应这一新形势的要求，特应中国水利水电出版社之约，编写了这本《实用供配电技术手册》。

本手册共分十二章。首先介绍常用的基础资料，包括常用的现行电气标准和电力法规，常用的物理量和单位，电压、电流和频率标准，电能质量及对供电的要求，常用的电气图形符号和文字符号，其中图形符号采用 2001 年出版的最新国家标准<sup>[15]</sup>。随后介绍常用的数学、电工、测量、电子技术和计算机等基本知识。接着依次讲述供配电系统的电源与负荷，供配电系统的主要电气设备，短路计算及电器的选择校验，供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择，供配电系统的保护、二次回路与自动装置，动力用电设备及其配电，电气照明及其配电，安全用电、节约用电与计划用电。最后讲述供配电系统的运行维护与检修试验。在手册后面附录了六个重要的电力法规。

本手册的编写全部采用简明扼要、一目了然的表格形式，而且力求全面准确地采用我国供配电技术方面的最新标准规范和技术资料，从而使手册具有简明实用的特点和较强的技术权威性。不过也需说明，国家和行业的标准规范不是一成不变的；如有更新的标准规范时，应以新颁标准规范为准。

本手册在编写过程中，得到不少单位包括中国标准出版社的大力支持，得到很多同志的热情指导和帮助，副教授宋金华、高级工程师罗宓和教授级高工王大勇等同志还应邀审阅了部分书稿，提出了不少宝贵意见，中国水利水电出版社的领导和编辑也给予了很大关怀和指导，谨在此表示衷心的感谢！

本手册的书稿虽经反复审阅修改，但限于编者水平，错漏难免，敬希有关专家和广大读者批评指正，本人不胜感激！

刘介才

2001 年 10 月于成都



## 前 言

<b>第一章 常用的基础资料</b> .....	1
<b>第一节 标准代号及电气标准与法规</b> .....	1
一、常见的国际、国内标准代号 .....	1
二、常用的电气标准和规范 .....	2
三、常用的电力法规简介 .....	3
<b>第二节 常用的物理量和单位</b> .....	4
一、国际单位制(SI)的单位和词头 .....	4
二、常用的物理量和单位 .....	6
三、常用物理量单位的换算 .....	9
<b>第三节 电压、电流及频率的标准</b> .....	11
一、电力系统和电气设备的额定 电压标准 .....	11
二、电气设备的额定电流标准 .....	12
三、电气设备的额定频率标准 .....	12
<b>第四节 电能质量及供用电的要求</b> .....	12
一、供电系统的电压偏差及其减小措施 .....	12
二、供电系统的电压波动和闪变及其减小 措施 .....	13
三、电网谐波及其抑制措施 .....	14
四、三相电压不平衡度及其补偿措施 .....	16
五、用电单位供配电电压的选择 .....	17
六、供用电的基本要求 .....	17
<b>第五节 电气图形符号和文字符号</b> .....	18
一、常用的电气图形符号 .....	18
二、电气图形符号的使用与派生 .....	44
三、常用的电气文字符号 .....	45
四、电气文字符号的编写与补充 .....	53
<b>第二章 常用的基础知识</b> .....	55
<b>第一节 常用的数学知识</b> .....	55
一、初等代数知识 .....	55
二、初等几何知识 .....	57
三、初等函数知识 .....	59
四、解析几何知识 .....	62
五、复数知识 .....	64
六、微积分知识 .....	65
七、傅里叶级数和拉普拉斯变换知识 .....	69
<b>第二节 常用的电工基础知识</b> .....	73
一、电磁学部分名词概念和基本定律 .....	73
二、电路的基本定律和电路参数计算 .....	76
三、直流电路的分析计算 .....	79
四、正弦交流电路的分析计算 .....	81
五、非正弦交流电路的分析计算 .....	87
六、线性电路过渡过程的分析计算 .....	88
七、载流导体的电磁力计算 .....	89
<b>第三节 常用的电工测量知识</b> .....	90
一、测量技术基础知识 .....	90
二、常用的电工测量仪表 .....	91
三、常用的电工测量方法 .....	99
<b>第四节 常用的电子技术知识</b> .....	105
一、电子技术部分名词概念 .....	105
二、半导体器件 .....	107
三、晶体管放大电路 .....	114
四、集成运算放大器 .....	115
五、常用的整流电路和滤波电路 .....	116
<b>第五节 常用的计算机知识</b> .....	118
一、计算机部分名词概念 .....	118
二、计算机的类型、特点及其应用 .....	120
三、计算机系统及其硬件和软件 .....	121
四、计算机网络基本知识 .....	128
<b>第三章 供配电系统的电源与负荷</b> .....	130
<b>第一节 供配电系统的电源</b> .....	130
一、水电站、火电厂和核电站 .....	130
二、风力发电、地热发电及太阳能 发电简介 .....	134
三、电力系统及其中性点运行方式 .....	136
四、低压配电系统的接地型式 .....	138
五、用户的自备电源 .....	140
<b>第二节 电力负荷的分级及其要求</b> .....	142
一、电力负荷的分级及有关说明 .....	142
二、机械工厂中常用重要电力负荷 的级别 .....	142
三、民用建筑中常用重要电力负荷 的级别 .....	143
四、各级电力负荷对供电电源的要求 .....	144
<b>第三节 用电设备组计算负荷</b>	

的确定 .....	144	<b>第五章 短路计算及电器的选择校验</b> .....	251
一、计算负荷的含义及其确定方法 .....	144	<b>第一节 短路及短路电流的有关概念</b> .....	251
二、按需要系数法确定三相用电设备组的计算负荷 .....	145	一、短路的有关概念 .....	251
三、按二项式法确定三相用电设备组的计算负荷 .....	146	二、短路电流的有关概念 .....	252
四、单相负荷的计算 .....	147	<b>第二节 电力系统对称短路的分析计算</b> .....	252
<b>第四节 企业计算负荷及其年耗电量的计算</b> .....	148	一、无限大容量电力系统的三相短路及短路电流 .....	252
一、企业计算负荷的计算方法 .....	148	二、有限容量电力系统的三相短路及短路电流 .....	253
二、企业供配电系统的电能损耗和年耗电量计算 .....	151	三、利用标么值法进行三相短路计算 .....	257
<b>第五节 尖峰电流及其计算</b> .....	151	四、利用欧姆法进行三相短路计算 .....	261
一、尖峰电流的概念 .....	151	五、对大型交流电动机反馈冲击电流的计算 .....	262
二、尖峰电流的计算 .....	151	六、三相短路计算的实用数据 .....	262
<b>第四章 供配电系统的主要电气设备</b> .....	152	<b>第三节 电力系统不对称短路的分析计算</b> .....	264
<b>第一节 电气设备及其使用条件概述</b> .....	152	一、电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗 .....	264
一、电气设备的含义、类别及其一般要求 .....	152	二、两相短路的分析计算 .....	265
二、电工电子设备防触电保护分类 .....	153	三、单相短路的分析计算 .....	266
三、影响电器使用的环境因素及环境条件分区 .....	153	<b>第四节 短路电流的效应</b> .....	267
四、电气设备外壳防护等级 (IP 代码) .....	155	一、短路电流的电动效应与动稳定度 .....	267
<b>第二节 电力变压器和互感器</b> .....	155	二、短路电流的热效应与热稳定度 .....	268
一、电力变压器概述 .....	155	<b>第五节 高低压电器的选择与校验</b> .....	269
二、部分常用电力变压器的技术数据 .....	162	一、高低压电器的选择校验项目和条件 .....	269
三、电流互感器及其技术数据 .....	165	二、高低压开关的选择与校验 .....	269
四、电压互感器及其技术数据 .....	169	三、电流互感器和电压互感器的选择与校验 .....	269
<b>第三节 高低压开关电器</b> .....	171	<b>第六章 供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择</b> .....	271
一、高压开关电器概述 .....	171	<b>第一节 变配电所的主接线方案</b> .....	271
二、部分高压开关电器的技术数据 .....	175	一、主接线的基本要求及其绘制方式 .....	271
三、低压开关电器概述 .....	177	二、6~10kV 变配电所常见的主接线方案 .....	273
四、部分低压开关电器的技术数据 .....	182	三、35kV 及以上总降压变电所常见的主接线方案 .....	274
<b>第四节 高低压熔断器和避雷器</b> .....	185	<b>第二节 变配电所的类型、所址及其布置与结构</b> .....	275
一、高压熔断器及其技术数据 .....	185	一、变配电所的类型及其特点和适用范围 .....	275
二、低压熔断器及其技术数据 .....	189	二、变配电所所址的选择及负荷中心的	
三、避雷器及其技术数据 .....	194		
<b>第五节 无功补偿设备和成套配电装置</b> .....	199		
一、无功补偿设备及其技术数据 .....	199		
二、高压配电装置及其一次线路方案 .....	201		
三、低压配电装置及其一次线路方案 .....	224		

确定 .....	276	零保护 .....	365
三、变配电所的总体布置要求及方案		一、接地与接零的有关概念及其一	
示例 .....	276	般要求 .....	365
四、变配电所的建筑结构要求及有关		二、接地装置的选择与敷设 .....	367
尺寸 .....	290	三、接地装置的设计计算 .....	370
第三节 变配电所主变压器的选择 .....	291	四、等电位联结及接地故障保护 .....	371
一、变压器的实际容量与过负荷能力 .....	291	五、特殊接地 .....	374
二、变电所主变压器台数、容量及联结组别			
的选择 .....	292	<b>第八章 供配电系统的二次回路与自动</b>	
第四节 供配电线路的接线及其结构		<b>装置</b> .....	377
与敷设 .....	293	第一节 供配电系统的二次回路及其	
一、高低压配电网线路的接线方式 .....	293	操作电源 .....	377
二、架空线路的结构与敷设 .....	295	一、二次回路及其操作电源概述 .....	377
三、电缆线路的结构与敷设 .....	298	二、常用的直流操作电源 .....	377
四、低压配电网线路的结构与敷设 .....	303	第二节 断路器的控制与信号回路 .....	382
第五节 导线、电缆及其选择 .....	306	一、断路器的控制与信号回路概述 .....	382
一、导线和电缆选择的一般规定及有		二、断路器的控制与信号回路示例 .....	382
关资料 .....	306	第三节 电测量仪表与绝缘监	
二、导线和电缆的类型及其载流量 .....	308	视装置 .....	386
三、导线和电缆截面的选择计算 .....	319	一、电测量仪表的一般要求及其装设与	
		接线 .....	386
<b>第七章 供配电系统的保护</b> .....	323	二、绝缘监视装置及其接线 .....	389
第一节 供配电系统的熔断器保护 .....	323	第四节 供配电系统的自动装置 .....	390
一、熔断器保护的任任务及其配置方案 .....	323	一、电力线路的自动重合闸装	
二、熔断器的选择与校验 .....	323	置 (ARD) .....	390
第二节 低压配电系统的低压断路器		二、备用电源自动投入装置 (APD) .....	392
保护 .....	324	三、变电所自动化基本知识 .....	396
一、低压断路器保护的任任务及其		四、高层建筑自动化系统基本知识 .....	398
配置方案 .....	324	第五节 二次回路的接线及其简图	
二、低压断路器的选择、整定与校验 .....	325	绘制 .....	400
第三节 供配电系统的继电保护 .....	326	一、二次回路的接线要求 .....	400
一、继电保护的任任务、要求及灵敏系数 .....	326	二、二次回路简图的类别及其绘制 .....	402
二、常用的保护继电器及其接线和操作			
电源 .....	327	<b>第九章 动力用电设备及其配电</b> .....	403
三、高压电力线路的继电保护 .....	339	第一节 电动机及其配电 .....	403
四、电力变压器的继电保护 .....	348	一、电动机的类型、特点及其应用范围 .....	403
第四节 供配电系统与建筑物的防雷		二、电动机的选择、起动与保护 .....	406
保护 .....	352	三、部分常用异步电动机起动、保护电器	
一、过电压与防雷的有关概念 .....	352	及导线的选择 .....	407
二、接闪器及其引下线 and 接地装置的		四、低压交流电动机的主回路及控制回路	
要求 .....	353	要求 .....	421
三、变配电所和电力线路的防雷保护 .....	354	第二节 机床设备及其配电 .....	422
四、建筑物的防雷保护 .....	357	一、常见金属切削机床的基本结构和加工	
第五节 电气装置的接地与接		特点 .....	422

二、数控机床简介 .....	425	二、用户受电设施建设与维护管理	
三、机床设备的配电要求 .....	427	的要求 .....	473
<b>第三节 起重运输设备及其配电</b> .....	428	<b>第二节 安全用电及触电急救</b> .....	474
一、起重运输设备的类别、结构及其电气		一、安全用电的有关概念 .....	474
传动 .....	428	二、安全用电措施与安全用具 .....	475
二、起重机的配电要求 .....	430	三、触电急救 .....	481
三、胶带输送机运输线的配电要求 .....	431	<b>第三节 节约用电及并联电容器的</b>	
四、电梯和自动扶梯的配电要求 .....	432	<b>装设与运行</b> .....	483
<b>第四节 电焊、电镀及其配电</b> .....	432	一、节电、节能的有关概念 .....	483
一、电焊和电镀简介 .....	432	二、节约用电的一般措施 .....	483
二、电焊机的配电要求 .....	433	三、供用电设备的电能节约 .....	484
三、电镀设备的配电要求 .....	434	四、并联电容器的装设与运行 .....	489
<b>第五节 电热设备及其配电</b> .....	434	<b>第四节 计划用电及电价与电费</b> .....	492
一、电热设备的类型、特点及其		一、计划用电的必要性及其一般措施 .....	492
应用范围 .....	434	二、电价政策与电费计收 .....	493
二、电热设备的配电要求 .....	436	三、按功率因数调整电费表 .....	494
<b>第十章 电气照明及其配电</b> .....	438	<b>第十二章 供配电系统的运行维护与</b>	
<b>第一节 照明技术的有关概念</b> .....	438	<b>检修试验</b> .....	495
一、光和光谱 .....	438	<b>第一节 变配电所的运行维护</b> .....	495
二、光度量的名称、符号、定义和单位 .....	438	一、变配电所的运行值班 .....	495
三、物体的光照性能 .....	438	二、变配电所的倒闸操作 .....	496
四、部分材料的反射比和吸收比 .....	439	三、电力变压器的运行维护 .....	497
<b>第二节 电光源和灯具</b> .....	439	四、配电装置的运行维护 .....	499
一、常用的照明电光源 .....	439	<b>第二节 供配电线路的运行维护</b> .....	499
二、常用的照明灯具 .....	445	一、架空线路的运行维护 .....	499
<b>第三节 照明质量与照度标准</b> .....	448	二、电缆线路的运行维护 .....	500
一、照明质量 .....	448	三、车间配电线路的运行维护及线路运行中	
二、照度标准 .....	450	突然事故停电的处理 .....	500
<b>第四节 照明的设计计算</b> .....	453	<b>第三节 变配电所主要电气设备的</b>	
一、照明设计概述 .....	453	<b>检修试验</b> .....	501
二、照明方式和种类的选择 .....	454	一、电力变压器的检修 .....	501
三、照度标准值的确定 .....	454	二、电力变压器及绝缘油的试验 .....	504
四、照明光源和灯具的选择与布置 .....	455	三、配电装置的检修试验 .....	507
五、照度计算 .....	456	<b>第四节 供配电线路的检修试验</b> .....	513
<b>第五节 照明供配电系统</b> .....	467	一、供配电线路的检修 .....	513
一、照明配电的一般要求 .....	467	二、供配电线路的试验 .....	514
二、照明供配电系统的组成与接线 .....	467	<b>附录</b> .....	515
三、照明线路导线的选择计算 .....	469	附录一 中华人民共和国电力法 .....	515
<b>第十一章 安全用电、节约用电与计划</b>		附录二 电力供应与使用条例 .....	520
<b>用电</b> .....	472	附录三 供用电监督管理办法 .....	523
<b>第一节 供用电的管理原则与要求</b> .....	472	附录四 用电检查管理办法 .....	525
一、供用电运营管理的一般规定 .....	472	附录五 居民用户家用电器损坏处理办法 .....	528
		附录六 供电营业规则 .....	529
		<b>参考文献</b> .....	541



# 第一章 常用的基础资料

续表

## 第一节 标准代号及电气标准与法规

### 一、常见的国际、国内标准代号

常用的国际、国内标准代号如表 1-1 所列。

表 1-1 常见的国际、国内标准代号

代号	标准代号	标准名称
1	常见的国际标准代号	
1.1	ISO	国际标准化组织 (标准)
1.2	IEC	国际电工委员会 (标准)
1.3	CIE	国际照明委员会 (标准)
1.4	CEE	国际电气设备合格认证委员会 (标准)
1.5	BIPM	国际计量局 (标准)
1.6	ITO	国际电信组织 (标准)
1.7	CIS	国际劳动安全与卫生情报中心 (标准)
1.8	CISPR	国际无线电干扰特别委员会 (标准)
1.9	CCIR	国际无线电咨询委员会 (标准)
1.10	IAEA	国际原子能机构 (标准)
1.11	EN	欧洲标准化委员会 (标准)
1.12	CENELEC	欧洲电工标准化委员会 (标准)
1.13	CEC	欧洲共同体委员会 (标准)
1.14	CTCQB	原经互会标准
1.15	ASAC	亚洲标准咨询委员会 (标准)
1.16	ASMO	阿拉伯标准化与计量组织 (标准)
1.17	ARSO	非洲地区标准组织 (标准)
1.18	COPANT	泛美技术标准委员会 (标准)
2	常见的国外标准代号	
2.1	ANSI	美国国家标准
2.2	IEEE	美国电气与电子工程师学会 (标准)
2.3	NEMA	美国全国电气制造商协会 (标准)
2.4	ASTM	美国试验与材料协会 (标准)
2.5	EIA	美国电子工业协会 (标准)
2.6	AEIC	爱迪生照明公司协会 (标准)
2.7	NEC	美国全国电气规程
2.8	ГОСТ	前苏联国家标准
2.9	ГОСТP	俄罗斯国家标准
2.10	BS	英国国家标准
2.11	IEE	英国电气工程师协会 (标准)
2.12	DIN	德国国家标准
2.13	DKE	德国电工委员会 (标准)
2.14	VDE	德国电气工程师协会 (标准)
2.15	NF	法国国家标准
2.16	UTE	法国电气技术联合会 (标准)
2.17	JIS	日本工业标准
2.18	JEC	日本电气学会标准
2.19	JEAC	日本电气协会标准
2.20	JEM	日本电机工业会标准
2.21	JEUS	日本电气事业联合会标准

代号	标准代号	标准名称
2	常见的国外标准代号	
2.22	AS	澳大利亚国家标准
2.23	CAN	加拿大国家标准
2.24	UNI	意大利国家标准
2.25	CEI	意大利电工委员会标准
2.26	SNV	瑞士国家标准
2.27	SEV	瑞士电气技术协会标准
2.28	SIS	瑞典国家标准
2.29	NEN	荷兰国家标准
2.30	IS	印度国家标准
3	常见的我国标准代号	
3.1	GB	国家标准
3.2	GB/T <sup>†</sup>	国家标准 (推荐性)
3.3	GBJ <sup>‡</sup>	国家标准 (工程建设方面)
3.4	DL	电力行业标准
3.5	SD	水电行业标准
3.6	SL	水利行业标准
3.7	JB	机械行业标准
3.8	JBJ	机械行业标准 (工程建设方面)
3.9	SJ	电子行业 (原四机部) 标准
3.10	YD	邮电通信行业标准
3.11	QB	轻工业行业标准
3.12	FZ	纺织行业标准
3.13	HG	化工行业标准
3.14	SH	石油化工业行业标准
3.15	SY	石油天然气行业标准
3.16	MT	煤炭行业标准
3.17	DZ	地质矿产行业标准
3.18	YB	黑色冶金行业标准
3.19	YS	有色冶金行业标准
3.20	JC	建材行业标准
3.21	JG	建筑行业标准
3.22	JGJ <sup>§</sup>	建筑行业标准 (工程建设方面)
3.23	CJ	城镇建设行业标准
3.24	WJ	兵工民品行业 (原五机部) 标准
3.25	EJ	核工业行业 (原二机部) 标准
3.26	JT	交通行业标准
3.27	TB	铁道行业标准
3.28	MH	民航行业标准
3.29	CB	船舶行业标准
3.30	HY	海洋行业标准
3.31	SC	水产行业标准
3.32	NY	农业行业标准
3.33	LY	林业行业标准
3.34	LD	劳动和劳动安全行业标准
3.35	GA	公共安全行业标准
3.36	WS	卫生行业标准
3.37	WH	文化行业标准

续表

代号	标准代号	标准名称
3		常见的我国标准代号
3.38	KY	中国科学院标准
3.39	TJ	全国通用建筑设计标准
3.40	ZB	专业标准
3.41	JJG	国家计量检定规程

①标准代号中带“/T”的，表示该标准为“推荐性标准”，而未带“/T”的为“强制性标准”（1990年前标准未分强制性和推荐性）。

②标准代号中第三个字母“J”，一般表示为“工程建设方面标准”。代号为“GBJ”的国家标准，自1991年起相继修订后改为“GB5□□□□”，例如GBJ52—83《工业与民用供电系统设计规范》于1995年修订后改为GB50052—95《供电系统设计规范》。

③标准代号“JGJ”原来的全称为“城乡建设环境保护部标准”；其他行业标准代号的名称亦有类似变动情况。

## 二、常用的电气标准和规范

常用的电气标准和规范，如表1-2所示。标准代号后边的年号，1996年前一般只用两位数。为了确切表示年号，本手册统一改用四位数。

表1-2 常用的电气标准和规范

序号	标准代号	标准名称
1		常用的电气标准
1.1	GB156—1993	标准电压（1993年12月1日起实施）
1.2	GB/T762—1996	标准电流（1996年10月1日起实施）
1.3	GB/T1980—1996	标准频率（1997年12月1日起实施）
1.4	GB12325—1990	电能质量·供电电压允许偏差（1990年12月1日起实施）
1.5	GB12326—1990	电能质量·电压允许波动和闪变（1990年12月1日起实施）
1.6	GB/T14549—1993	电能质量·公用电网谐波（1994年3月1日起实施）
1.7	GB/T15543—1995	电能质量·三相电压允许不平衡度（1996年1月1日起实施）
1.8	GB/T15945—1995	电能质量·电力系统频率允许偏差（1996年8月1日起实施）
1.9	GB3805—1983	安全电压（1984年5月1日起实施）
1.10	GB4208—1993	外壳防护等级（1994年8月1日起实施）
1.11	GB/T12501—1990	电工电子设备防触电保护分类（1991年7月1日实施）
1.12	GB/T4728—1996 ~2000	电气简图用图形符号（本标准分13个部分，是从1996年起分别对GB4728—84.85《电气简图用图形符号》全面修订后的新标准，等同采用了IEC617—1996《简图用图形符号》，从1997年起相继实施；但GB4728.1未予修改，仍予沿用）

续表

序号	标准代号	标准名称
1		常用的电气标准
1.13	GB/T6988—1997	电气技术用文件的编制（本标准分3个部分，是对GB6988—86《电气制图》全面修订后的新标准，等同采用了IEC1082—1991《电气技术用文件的编制》，从1998年8月1日起实施）
1.14	GB7159—1987	电气技术中的文字符号制订通则（1987年10月1日起实施）
2		常用的电气设计规范
2.1	GB50052—1995	供电系统设计规范（1996年5月1日起实施）
2.2	GB50053—1994	10kV及以下变电所设计规范（1994年11月1日起实施）
2.3	GB50054—1995	低压配电设计规范（1996年6月1日起实施）
2.4	GB50055—1993	通用用电设备配电设计规范（1994年3月1日起实施）
2.5	GB50056—1993	电热设备电力装置设计规范（1994年2月1日起实施）
2.6	GB50057—1994	建筑物防雷设计规范（1994年11月1日起实施）
2.7	GB50058—1992	爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范（1992年12月1日起实施）
2.8	GB50059—1992	35~110kV变电所设计规范（1993年5月1日起实施）
2.9	GB50060—1992	3~110kV高压配电装置设计规范（1993年5月1日起实施）
2.10	GB50061—1997	66kV及以下架空电力线路设计规范（1998年6月1日起实施）
2.11	GB50062—1992	电力装置的继电保护和自动装置设计规范（1992年12月1日起实施）
2.12	GBJ63—1990	电力装置的电测量仪表装置设计规范（1991年6月1日起实施）
2.13	GBJ64—1983	工业与民用电力装置的过电压保护设计规范（有待修订）
2.14	GBJ65—1983	工业与民用电力装置的接地设计规范（有待修订）
2.15	GB50217—1994	电力工程电缆设计规范（1995年7月1日起实施）
2.16	GB50227—1995	并联电容器装置设计规范（1996年7月1日起实施）
2.17	GB50293—1999	城市电力规划规范（1999年10月1日起实施）
2.18	GB50034—1992	工业企业照明设计标准（1993年5月1日起实施）
2.19	GBJ133—1990	民用建筑照明设计标准（1991年3月1日起实施）
3		常用的电气装置工程施工及验收规范
3.1	GBJ147—1990	电气装置安装工程·高压电器施工及验收规范（1991年10月1日起实施）

续表

序号	标准代号	标准名称
3	常用的电气装置工程施工及验收规范	
3.2	GBJ148-1990	电气装置安装工程·电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范 (1991年10月1日起实施)
3.3	GBJ149-1990	电气装置安装工程·母线装置施工及验收规范 (1991年10月1日起实施)
3.4	GB50150-1991	电气装置安装工程·电气设备交接试验标准 (1992年7月1日起实施)
3.5	GB50168-1992	电气装置安装工程·电缆线路施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.6	GB50169-1992	电气装置安装工程·接地装置施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.7	GB50170-1992	电气装置安装工程·旋转电机施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.8	GB50171-1992	电气装置安装工程·盘、柜及二次回路接线施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.9	GB50172-1992	电气装置安装工程·蓄电池施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.10	GB50173-1992	电气装置安装工程·35kV及以下架空电力线路施工及验收规范 (1993年7月1日起实施)
3.11	GB50182-1993	电气装置安装工程·电梯电气装置施工及验收规范 (1994年2月1日起实施)
3.12	GBJ233-1990	110~500kV架空电力线路施工及验收规范 (1991年5月1日起实施)
3.13	GB50254-1996	电气装置安装工程·低压电器施工及验收规范 (1996年12月1日起实施)
3.14	GB50255-1996	电气装置安装工程·电力变流设备施工及验收规范 (1996年12月1日起实施)
3.15	GB50256-1996	电气装置安装工程·起重机电气装置施工及验收规范 (1996年12月1日起实施)
3.16	GB50257-1996	电气装置安装工程·爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范 (1996年12月1日起实施)
3.17	GB50258-1996	电气装置安装工程·1kV及以下配线工程施工及验收规范 (1997年2月1日起实施)
3.18	GB50259-1996	电气装置安装工程·电气照明装置施工及验收规范 (1997年2月1日起实施)
4	常用的电气装置标准安装图集	
4.1	94D164	35kV及以下电缆敷设
4.2	94D165	户内电缆终端头
4.3	93D166	户外电缆终端头

续表

序号	标准代号	标准名称
4	常用的电气装置标准安装图集	
4.4	93D167	电缆中间对接头
4.5	93SD168	电力电缆终端头及接头
4.6	86SD169	电缆桥架安装
4.7	96D170	380/220V 架空线路安装
4.8	86D171	6~10kV 瓷横担架空线路安装
4.9	86D172	6~10kV 铁横担架空线路安装
4.10	SD180	电气竖井设备安装
4.11	96D181	线槽配线安装
4.12	88D263	变配电所常用设备构件安装
4.13	88D264	电力变压器室布置 (变压器电压为6~10/0.4kV)
4.14	86D265	杆上变压器台
4.15	86D266	落地式变压器台
4.16	97D267	附设式电力变压器室布置 (变压器电压为35/0.4kV)
4.17	99D268	干式变压器安装
4.18	91D366	非标准电力配电箱 (盘)
4.19	90D367	常用低压配电设备安装
4.20	90D368	非标准实验室用配电箱
4.21	89D464	非标准照明配电箱
4.22	88D369	电气设备在轻钢龙骨隔墙及吊顶上的安装
4.24	91D365	车间母线安装
4.25	90SD371	塑料防护式安全滑触线安装
4.26	89D463	钢索配线安装
4.27	87D465	硬塑料管及板孔暗布线
4.28	98D467	硬塑料管明配线安装
4.29	86D468	钢管明配线安装
4.30	96SD469	常用灯具安装
4.31	97SD567	等电位联结安装
4.32	94D801	爆炸和火灾危险环境电气线路电气设备安装
4.33	86D562	建筑物、构筑物防雷设施安装
4.34	88D563	接地装置安装
4.35	86D565	独立避雷针
4.36	86SD566	利用建筑物金属体做防雷及接地装置安装

### 三、常用的电力法规简介

常用的电力法规简介, 如表 1-3 所列。

表 1-3 常用的电力法规简介

序号	法规名称	法规简介
1	中华人民共和国电力法	本法是为了保障和促进我国电力事业的发展, 维护电力投资者、经营者和使用者的合法权益, 保障电力安全运行而制订的 本法于 1995 年 12 月 28 日由八届人大 17 次会议通过, 同日由国家主席江泽民签发命令, 规定自 1996 年 4 月 1 日起施行 (全文见附录一)

续表

序号	法规名称	法规简介
2	电力供应与使用条例	本条例是为了加强电力供应与使用的管理,保障供电与用电双方的合法权益,维护供电和用电秩序,安全、经济、合理地供电和用电,根据《中华人民共和国电力法》的有关规定制订的 本条例于1996年4月17日由国务院总理李鹏签发命令,规定自1996年9月1日起施行(全文见附录二)
3	供用电监督管理办法	本办法是为了加强电力供应与使用的监督管理,根据《电力供应与使用条例》第36条规定而制订的 本办法于1996年5月19日由电力工业部批准发布,规定自1996年9月1日起施行(全文见附录三)
4	供电营业区划分及管理办法(含补充规定)	本办法是为划分和管理供电营业区域,依法保障电力供应与经销的专营权、保障向电力用户安全供电和保护电力用户的合法权益,根据《电力供应与使用条例》第9条规定而制订的 本办法于1996年5月19日由电力工业部批准发布,规定自1996年9月1日起施行 1997年5月22日又由电力工业部批准发布了本办法的补充规定,进一步规范供电营业区的划分工作,确保供电营业区公正、合理地划分。补充规定与原办法同时适用
5	用电检查管理办法	本办法是为规范供电企业的用电检查行为,保障正常供用电秩序和公共安全,根据《中华人民共和国电力法》、《电力供应与使用条例》和国家有关规定而制订的 本办法于1996年8月21日由电力工业部批准发布,规定自1996年9月1日起施行(全文见附录四)
6	居民家用电器损坏处理办法	本办法是为保护供用电双方的合法权益,规范因电力运行事故引起的居民家用电器损坏的理赔处理,公正、合理地调解纠纷,根据《中华人民共和国电力法》、《电力供应与使用条例》和国家有关规定而制订的 本办法于1996年8月21日由电力工业部批准发布,规定自1996年9月1日起施行(全文见附录五)
7	供电营业规则	本规则是为了加强供电营业管理、建立正常的供电营业秩序,保障供用电双方的合法权益,根据《电力供应与使用条例》和国家有关规定而制订的 本规则于1996年10月8日由电力工业部批准发布,规定自发布之日起施行(全文见附录六)
8	电力设施保护条例	本条例是为保障电力生产和建设的顺利进行、维护公共安全而制订的 本条例原于1987年9月15日由国务院批准发布施行,1998年1月7日由国务院总理李鹏签发国务院令,公布《国务院关于修改〈电力设施保护条例〉的决定》,并决定修订后的条例自发布之日起施行
9	电力设施保护条例实施细则	本细则是根据《电力设施保护条例》第三十一条规定而制订的,由国家经贸委和公安部于1999年3月18日联合签发,发布施行

## 第二节 常用的物理量和单位

### 一、国际单位制(SI)的单位和词头

(1) 国际单位制(SI)的基本单位。如表1-4所示。

表1-4 国际单位制(SI)的基本单位

(据GB3100—1993和GB3102--1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	单位定义
1	长度 length	$l, L$	米 metre	m	“米”是光在真空中(1/299792458)s时间间隔内所经路径的长度
2	质量 mass	$m$	千克 (公斤) kilogram	kg	“千克”等于国际千克原器的质量
3	时间 time	$t$	秒 second	s	“秒”是铯-133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的9192631770个周期的持续时间
4	电流 electric current	$I$	安[培] ampere	A	在真空中,截面积可忽略的两根相距1m的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时,若导线间相互作用力在每米长度上为 $2 \times 10^{-7}$ N,则每根导线中的电流为1A
5	热力学温度 thermodynamic temperature	$T, (\theta)$	开[尔文] kelvin	K	“开尔文”是水的三相点热力学温度的1/273.16(注:水的三相点是指水、冰、汽三相平衡共存时的温度)
6	物质的量 amount of substance	$n, (\nu)$	摩[尔] mole	mol	“摩尔”是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与0.012kg碳-12的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合
7	发光强度 luminous intensity	$I, (I_v)$	坎[德拉] candela	cd	“坎德拉”是一光源在给定方向上的发光强度,该光源发出频率为 $540 \times 10^{12}$ Hz的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为1/683W/sr

(2) 国际单位制(SI)的辅助单位。如表1-5所示。

表 1-5 国际单位制 (SI) 的辅助单位  
(据 GB3100-1993 和 GB3102.1-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	单位定义
1	[平面]角 angle (plane angle)	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度 radian	rad	“弧度”是一圆内两条半径之间的平面角, 这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等
2	立体角 solid angle	$\Omega$	球面度 steradian	sr	“球面度”是一立体角, 其顶点位于球心, 而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积

(3) 国际单位制 (SI) 中部分具有专门名称的导出单位。如表 1-6 所示。

表 1-6 国际单位制 (SI) 中部分具有专门名称的导出单位  
(据 GB3100-1993 和 GB3102-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	频率 frequency	$f, \nu$	赫 [兹] hertz	Hz	$1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$
2	力 force	$F$	牛 [顿] newton	N	加在质量为 1kg 的物体上使之产生 $1\text{m/s}^2$ 加速度的力为 1N, 即 $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
3	压力、压强 pressure	$p$	帕 [斯卡] pascal	Pa	$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 标准大气压 (atm) $1\text{atm} = 101.325\text{kPa}$ 巴 (bar) $1\text{bar} = 100\text{kPa}$
	[正]应力 normal stress	$\sigma$			
4	能 [量] energy	$E$	焦 [耳] joule	J	1J 是 1N 的力在沿力的方向上移动 1m 距离所作的功, 即 $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m} = 1\text{W} \cdot \text{s}$ $1\text{W} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^3\text{J} = 3.6\text{kJ}$
	功 work	$W, (A)$			
	热量 quantity of heat	$Q$			
5	功率 power	$P$	瓦 [特] watt	W	$1\text{W} = 1\text{J/s}$
	辐 [射能] 通量 radiant energy flux	$\rho, \Phi, (\Phi_e)$			
6	电荷 [量] electric charge, quantity of electricity	$Q$	库 [仑] coulomb	C	$1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
7	电压 voltage	$U, (V)$	伏 [特] volt	V	$1\text{V} = 1\text{W/A}$
	电动势 electromotive	$E$			
	电位, (电势) electric potential	$V, \varphi$			
8	电容 capacitance	$C$	法 [拉] farad	F	$1\text{F} = 1\text{C/V}$
9	电阻 resistance	$R$	欧 [姆] ohm	$\Omega$	$1\Omega = 1\text{V/A}$
10	电导 conductance	$G$	西 [门子] siemens	S	$1\text{S} = 1\Omega^{-1}$
11	磁通 [量] magnetic flux	$\Phi$	韦 [伯] weber	Wb	$1\text{Wb} = 1\text{V} \cdot \text{s}$
12	磁通 [量] 密度 magnetic flux density; 磁感应强度 magnetic induction	$B$	特 [斯拉] tesla	T	$1\text{T} = 1\text{N}/(\text{A} \cdot \text{m}) = 1\text{Wb/m}^2$
13	电感 inductance	$L$	亨 [利] henry	H	$1\text{H} = 1\text{Wb/A}$
14	摄氏温度 Celsius temperature	$t, \theta$	摄氏度 Celsius	$^{\circ}\text{C}$	摄氏度是开尔文用于表示摄氏温度值的一个专门名称
15	光通量 luminous flux	$\Phi, (\Phi_v)$	流 [明] lumen	lm	$1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot \text{sr}$
16	[光] 照度 illuminance	$E, (E_v)$	勒 [克斯] lux	lx	$1\text{lx} = 1\text{lm/m}^2$

(4) 可与国际单位制 (SI) 单位并用的我国法定计量单位。如表 1-7 所示。

表 1-7 可与国际单位制 (SI) 单位并用的我国法定计量单位  
(据 GB3100-1993 和 GB3102-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	与 SI 单位的关系
1	时间 time	$t$	分 minute	min	$1\text{min} = 60\text{s}$
			[小]时 hour	h	$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$
			日, (天) day	d	$1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	与 SI 单位的关系
2	[平面]角 <sup>①</sup>	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	度	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	[角]分		'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10800) \text{ rad}$	
	[角]秒		"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000) \text{ rad}$	
3	体积 <sup>②</sup>	V	升	l, L	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$
4	质量	m	吨	t	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$
5	旋转速度	n	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60) \text{ s}^{-1}$
6	长度	l, L	海里	n mile	$1\text{n mile} = 1852\text{m}$ (只用于航行)
7	速度	v	节	kn	$1\text{kn} = 1\text{n mile/h}$ (只用于航行)
8	能	E	电子伏	eV	$1\text{eV} \approx 1.602177 \times 10^{-19}\text{J}$
9	级差	$L_d$	分贝	dB	
10	线密度	$\rho$	特 [克斯]	tex	$1\text{tex} = 10^{-6} \text{ kg/m}$
11	面积 <sup>③</sup>	A, (S)	公顷	hm <sup>2</sup>	$1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$

- ①平面角的单位度、分、秒的符号，在组合单位中应采用 (°)、(′)、(″) 的形式。
- ②体积单位升的符号 l 和 L，属同等级地位，可任意选用。
- ③面积单位公顷的国际通用符号为 ha。
- \* 物理量符号  $L_d$ ，系编者补充，供参考。

(5) 国际单位制 (SI) 的词头。如表 1-8 所示。

表 1-8 国际单位制 (SI) 的词头  
(据 GB3100—1993)

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
$10^{24}$	yotta	尧 [它]	Y
$10^{21}$	zetta	泽 [它]	Z
$10^{18}$	exa	艾 [可萨]	E
$10^{15}$	peta	拍 [它]	P
$10^{12}$	tera	太 [拉]	T
$10^9$	giga	吉 [咖]	G
$10^6$	mega	兆	M
$10^3$	kilo	千	k
$10^2$	hecto	百	h
$10^1$	deca	十	da

续表

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
$10^{-1}$	deci	分	d
$10^{-2}$	centi	厘	c
$10^{-3}$	milli	毫	m
$10^{-6}$	micro	微	$\mu$
$10^{-9}$	nano	纳 [诺]	n
$10^{-12}$	pico	皮 [可]	p
$10^{-15}$	femto	飞 [母托]	f
$10^{-18}$	atto	阿 [托]	a
$10^{-21}$	zepto	仄 [普托]	z
$10^{-24}$	yocto	幺 [科托]	y

注意：①词头 h (百)、da (十)、d (分)、c (厘) 一般用于某些长度、面积和体积单位；②组合单位的倍数单位一般只用一个词头，并尽量用于组合单位中的第一个单位；③摄氏温度单位摄氏度，角度单位度、分、秒与时间单位日、时、分等不得用 SI 词头构成倍数单位。

## 二、常用的物理量和单位

(1) 常用的空间、时间、周期及有关现象的量和单位。如表 1-9 所示。

表 1-9 常用的空间、时间、周期及有关现象的量和单位  
(据 GB3102.1~2—1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad	其他单位：度 (°)、分 (′)、秒 (″)
2	立体角	$\Omega$	球面度	sr	
3	长度	l, L	米	m	(1) 其他单位：海里 (n mile) $1\text{n mile} = 1852\text{m}$ 埃 (Å) $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ (2) 千米 (km) 俗称“公里”
4	宽度	b			
5	高度	h			
6	厚度	d, $\delta$			
7	半径	r, R			
8	直径	d, D			
9	程长；距离	s; d, r			
10	面积	A, (S)			
11	体积	V	立方米	m <sup>3</sup>	另一单位：升 (l, L)， $1\text{L} = 1\text{dm}^3$
12	时间	t	秒	s	其他单位：分 (min)，时 (h)，日 (d)

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
13	速度	$v, c$ $u, v, w$	米每秒	m/s	速度符号一般用 $v$ ; $c$ 用作波的传播速度。当不用矢量标志时, 建议用 $u, v, w$ 作速度 $c$ 的分量
14	加速度	$a$	米每二次方秒	$m/s^2$	
15	重力加速度	$g$			
16	角速度	$\omega$	弧度每秒	rad/s	
17	角加速度	$\alpha$	弧度每二次方秒	rad/s <sup>2</sup>	$\alpha = d\omega/dt$
18	周期	$T$	秒	s	
19	时间常数	$\tau$	秒	s	
20	频率	$f, \nu$	赫 [兹]	Hz	1Hz = 1s <sup>-1</sup>
21	角频率	$\omega$	弧度每秒	rad/s	$\omega = 2\pi f$
22	旋转频率 (转速)	$n$	每秒	s <sup>-1</sup>	“转每分” (r/min) 和 “转每秒” (r/s) 广泛用作旋转机械转速的单位
23	波长	$\lambda$	米	m	另一单位: 埃 (Å), 1Å = 10 <sup>-10</sup> m
24	功率 [量] 级	$L_p$	分贝	dB	1dB 是当 10lg(P <sub>1</sub> /P <sub>2</sub> ) = 1 时的功率量级

(2) 常用的力学和热学的量和单位。如表 1-10 所示。

表 1-10 常用的力学和热学的量和单位 (据 GB3102.3~4-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	质量	$m$	千克 (公斤)	kg	1t = 1000kg
			吨	t	
2	体积质量, [质量] 密度	$\rho$	千克每立方米	kg/m <sup>3</sup>	$\rho = m/V$
3	力	$F$	牛 [顿]	N	(1) 1N = 1kg · m/s <sup>2</sup> (2) “重量”一词按照习惯仍可用于表示质量 (单位为 kg)。但不赞成这种习惯
4	重量 (重力)	$W, (P, G)$			
5	力矩, 力偶矩	$M$	牛 [顿] 米	N · m	
6	转矩	$M, T$			

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
7	压力, 压强	$p$	帕 [斯卡]	Pa	① 1Pa = 1N/m <sup>2</sup> ② 另一单位: 巴 (bar) 1bar = 100kPa
8	正压力	$\sigma$			
9	截面系数	$W, Z$	三次方米	m <sup>3</sup>	
10	功	$W, (A)$	焦 [耳] 瓦 [特] [小] 时 电子伏	J W · h eV	1J = 1N · m = 1W · s 1kW · h = 3.6MJ 1W · h = 3.6kJ 1eV = 1.602177 × 10 <sup>-19</sup> J
11	能 [量]	$E$			
12	势能, 位能	$E_p, (V)$			
13	动能	$E_k, (T)$			
14	功率	$P$	瓦 [特]	W	1W = 1J/s
15	热力学温度	$T, (\theta)$	开 [尔文]	K	
16	摄氏温度	$t, \theta$	摄氏度	°C	$t = T - T_0$ 式中 $T_0 = 273.15K$
17	热量	$Q$	焦 [耳]	J	
18	热容	$C$	焦 [耳] 每开 [尔文]	J/K	
19	质量热容, 比热容	$c$	焦 [耳] 每千克开 [尔文]	J/(kg · K)	$c = C/m$
20	热阻	$R$	开 [尔文] 每瓦 [特]	K/W	
21	嫡	$S$	焦 [耳] 每开 [尔文]	J/K	

(3) 常用的电学和磁学的量和单位。如表 1-11 所示。

表 1-11 常用的电学和磁学的量和单位 (据 GB3102.5-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	电流	$I$	安 [培]	A	在交流电技术中, 用 $i$ 表示电流瞬时值, 用 $I$ 表示电流有效值
2	电荷 [量]	$Q$	库 [仑]	C	电荷也可使用符号 $q$ 1C = 1A · s

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
3	电位 (电势)	$V, \varphi$	伏 [特]	V	在交流电技术中, 用 $u, e$ 分别表示电位 差(电压)、电动势的 瞬时值,用 $U, E$ 分别 表示其有效值
4	电位差, (电势差), 电压	$U, (V)$			
5	电动势	$E$			
6	电场强度	$E$	伏 [特] 每米	V/m	$1V/m=1N/C$
7	电容	$C$	法 [拉]	F	$1F=1C/V$
8	介电常数, (电容率)	$\epsilon$	法 [拉] 每米	F/m	真空介电常数用符 号 $\epsilon_0$ 表示 $\epsilon_0 = 8.854188 \times 10^{-12} F/m$ 对于 $\epsilon$ , IEC 给出名 称“绝对介电常数(绝 对电容率)”, ISO 和 IEC 还给出名称“电 常数”
9	相对介电常数 (相对电 容率)	$\epsilon_r$	—	1	$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$
10	面积电 流, 电流 密度	$J, j, (\delta)$	安 [培] 每平方米	$A/m^2$	电力技术中电流密 度单位多使用 $A/mm^2$ (编者注)
11	磁场强度	$H$	安 [培] 每米	$A/m$	
12	磁通势, 磁势	$F, F_m$	安 [培]	A	磁位差(磁势差)用 符号 $U_m$ , 其单位亦为 安 [培]
13	磁通 [量] 密度, 磁 感应强度	$B$	特 [斯拉]	T	$1T=1N/(A \cdot m)$ $=1Wb/m^2$
14	磁通 [量]	$\Phi$	韦 [伯]	Wb	$1Wb=1V \cdot s$
15	自感	$L$	亨 [利]	H	(1) 自感和互感统 称“电感” (2) $1H=1Wb/A$
16	互感	$M, L_{12}$			
17	磁导率	$\mu$	亨 [利] 每米	H/m	(1) 磁导率又称“绝 对磁导率”、“磁常数” (2) $\mu=B/H$
18	真空磁 导率	$\mu_0$	亨 [利] 每米	H/m	$\mu_0=4\pi \times 10^{-7} H/m$

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
19	相对磁 导率	$\mu_r$	—	1	$\mu_r = \mu/\mu_0$
20	[直流] 电阻	$R$	欧 [姆]	$\Omega$	$1\Omega=1V/A$
21	[直流] 电导	$G$	西 [门子]	S	$1S=1\Omega^{-1}=1A/V$
22	[交流] 电阻	$R$	欧 [姆]	$\Omega$	阻抗的实部
23	电抗	$X$			阻抗的虚部
24	阻抗, (复 [数] 阻抗)	$Z$			$Z =  Z e^{j\varphi} = R + jX$
25	阻抗 模, (阻 抗)	$ Z $			$ Z  = \sqrt{R^2 + X^2}$
26	[交流] 电导	$G$	西 [门子]	S	导纳的实部
27	电纳	$B$			导纳的虚部
28	导纳, (复 [数] 导纳)	$Y$			$Y =  Y e^{-j\varphi} = G + jB$ $B = \frac{R - jX}{ Z ^2}$
29	导纳 模, (导 纳)	$ Y $			$ Y  = \sqrt{G^2 + B^2}$
30	电阻率	$\rho$	欧 [姆] 米	$\Omega \cdot m$	$\rho = RA/l$ 式中 $A$ 为面积, $l$ 为 长度
31	电导率	$\gamma, \sigma$	西 [门子] 每米	S/m	电化学中电导率用 符号 $\kappa$
32	磁阻	$R_m$	每亨 [利]	$H^{-1}$	$R_m = U_m/\Phi$
33	磁导	$\Lambda, (P)$	亨 [利]	H	$\Lambda = R_m^{-1}$
34	绕组匝数	$N$	—	1	
35	相数	$m$	—	1	
36	极对数	$p$	—	1	符号 $p$ 在 GB3102.5-1993 中 被删, 编者补充
37	频率	$f, \nu$	赫 [兹] 每秒, 负 一次方秒	Hz $s^{-1}$	$1Hz=1s^{-1}$
38	角频率	$\omega$	弧度每秒 每秒, 负 一次方秒	rad/s $s^{-1}$	$\omega = 2\pi f$
39	相 [位] 差, 相 [位] 移	$\varphi$	弧度 —	rad 1	另有度 ( $^\circ$ )、分 ( $'$ )、 秒 ( $''$ ) 单位



续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
40	品质因数	Q	—	1	
41	损耗因数	d	—	1	$d=1/Q$
42	损耗角	$\delta$	弧度	rad	$\delta=\arctan d$
43	功率, 有功功率	P	瓦 [特]	W	(1) 在电力技术中, 有功功率单位为瓦 (W), 无功功率单位为乏 (var), 视在功率单位为伏安 (VA) (2) 视在功率又称“表观功率”。需强调其复数性质时, 使用“复[数视在]功率”名称; 复功率模符号用 $ S $ 或 $ P_s $ 表示。
44	无功功率	$Q, P_Q$			
45	视在功率	$S, P_s$			
46	功率因数	$\lambda$	—	1	$\lambda=\cos\varphi=P/S$
47	[有功] 电能 [量]	W	焦 [耳] 瓦 [特] [小] 时	J W·h	$1\text{kW}\cdot\text{h}=3.6\text{MJ}$

(4) 常用的光及有关电磁辐射的量和单位。如表 1-12 所示。

表 1-12 常用的光及有关电磁辐射的量和单位 (据 GB3102.6-1993)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	辐[射]能	Q, W, (U, Q <sub>e</sub> )	焦 [耳]	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
2	辐[射]功率 [射能] 通量	P, Φ, (Φ <sub>e</sub> )	瓦 [特]	W	$1\text{W}=1\text{J/s}$

表 1-13 长度单位的换算

国际单位制			我国旧市制				英 制			
公里 (km)	米 (m)	海里 (n mile)	市里	市丈	市尺	市寸	英里 (mile)	码 (Yd)	英尺 (ft)	英寸 (in)
1	1000	0.53996	2	300	3000	30000	0.6214	1093.6	3280.8	39370
0.001	1		0.002	0.3	3	30		1.0936	3.2808	39.37
1.852	1852	1	3.704	555.6	5556		1.1508	2025.4	6076.2	
0.5	500	0.28998	1	150	1500	15000	0.3107	546.8	1640.4	
	3.333			1	10	100		3.645	10.936	131.23
	0.3333			0.1	1	10		0.3645	1.0936	13.123
	0.03333			0.01	0.1	1			0.10936	1.3123
1.6093	1609.3	0.869	3.2187				1	1760	5280	
	0.9144			0.27432	2.7432	27.432		1	3	36
	0.3048				0.9144	9.144		0.3333	1	12
	0.0254				0.0762	0.762		0.0278	0.0833	1

续表

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
3	辐[射]强度	I, (I <sub>e</sub> )	瓦 [特] 每球面度	W/sr	
4	辐[射]照度	E, (E <sub>e</sub> )	瓦 [特] 每平方米	W/m <sup>2</sup>	
5	发光强度	I, (I <sub>v</sub> )	坎 [德拉]	cd	
6	光通量	Φ, (Φ <sub>v</sub> )	流 [明]	lm	
7	[光]亮度	L, (L <sub>v</sub> )	坎 [德拉] 每平方米	cd/m <sup>2</sup>	
8	[光]照度	E, (E <sub>v</sub> )	勒 [克斯]	lx	
9	光谱吸收比, 光谱吸收因数	$\alpha(\lambda)$			符号 $\alpha, \rho, \tau$ 分别用来表示 $\alpha(\lambda), \rho(\lambda), \tau(\lambda)$ 的加权平均值, 这时“光谱”应从这些名称中除去
10	光谱反射比, 光谱反射因数	$\rho(\lambda)$		1	
11	光谱透射比, 光谱透射因数	$\tau(\lambda)$			
12	折射率	n			
13	焦距	f	米	m	薄透镜的焦距, 是透镜中心至焦点的距离
14	透镜焦距	Φ, F	每米	m <sup>-1</sup>	薄透镜的焦距 $\Phi=1/f$

### 三、常用物理量单位的换算

- (1) 长度单位的换算。如表 1-13 所示。
- (2) 面积单位的换算。如表 1-14 所示。
- (3) 体积、容积单位的换算。如表 1-15 所示。

表 1-14 面积单位的换算

国际单位制			我国旧市制				英 制			
公里 <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )	公顷 (ha)	米 <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	市里 <sup>2</sup>	亩	市丈 <sup>2</sup>	市尺 <sup>2</sup>	英里 <sup>2</sup> (mile <sup>2</sup> )	英亩 (acre)	英尺 <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	英寸 <sup>2</sup> (in <sup>2</sup> )
1	100	10 <sup>8</sup>	4	1500			0.3861	247.11		
	1	10 <sup>4</sup>		15				2.4711		
		1		0.0015		9			10.764	1550
0.25			1	375	22500		0.0965	61.763		
		666.67		1	60	6000		0.1647	7176	
		11.11		0.01667	1	100			119.6	
		0.1111			0.01	1			1.196	172.22
2.59	259		10.36	3885			1	640		
		4046.9		6.0703	364.22	36422		1	43560	
		0.0928				0.8361			1	144
						0.0058			0.0069	1

表 1-15 体积、容积单位的换算

国际单位制			我国旧市制			英 制			美 制
米 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	升 (L)	毫升 (mL)	市尺 <sup>3</sup>	市石	市斗	英尺 <sup>3</sup> (ft <sup>3</sup> )	英寸 <sup>3</sup> (in <sup>3</sup> )	加仑 (gallon)	加仑 (U.S. gallon)
1	1000	10 <sup>6</sup>	27	10	100	35.315	61027	219.98	264.18
	1	1000	0.027	0.01	0.1		61.027		
	0.001	1			10 <sup>-4</sup>		0.061		
0.037	37.046		1	0.3705	3.7046	1.3078	2260	8.1515	9.784
	100			1	10				
	10			0.1	1				
	28.317				2.8317	1	1728	6.229	7.4805
	0.0164	16.387					1		
	4.546		0.1227			0.1605	277.42	1	1.201
	3.7853		0.1022			0.1337	231	0.8327	1

注意：我国旧市制中“市升”，与国际单位制中“升”相等，表中从略。

注意：①这里的“质量”即通常所谓的“重量”；②英制中尚有一种金衡的单位“盎司”，合(1/12)磅。

(4) 质量单位的换算。如表 1-16 所示。

(5) 功率单位的换算。如表 1-17 所示。

表 1-16 质量单位的换算

国际单位制			我国旧市制				英 制			美 制
吨 (t)	千克 (kg)	克 (g)	市担	市斤	市两	市钱	英吨 (long ton)	磅 (lb)	盎司 (oz)	美吨 (short ton)
1	1000	10 <sup>6</sup>	20	2000			0.9842	2204.6		1.1023
	1	1000		2				2.2046	35.274	
		1			0.02	0.2			0.0353	
			1	100						
	0.5	500		1	10	100		1.1023	17.637	
		50			1	10		0.1102	1.7637	
		5			0.1	1				
1.016	1016.05			2032.1			1	2240		1.12
	0.4536	453.6		0.9072	9.072			1	16	
		28.35			0.567			0.0625	1	
0.9072	907.19			1814.4			0.8929	2000		1

表 1-17 功率单位的换算

国际单位制				英 制	
千瓦 (kW)	千克力·米每秒 (kgf·m/s)	公制马力	千卡每秒 (kcal/s)	英制马力	磅力英尺每秒 (lbf·ft/s)
1	101.972	1.3596	0.2391	1.341	737.56
0.00981	1	0.01333	0.002345	0.01315	7.233
0.7355	75	1	0.1758	0.9863	542.47
4.182	426.45	5.7	1	5.6	3092
0.7457	76.04	1.0139	0.178	1	550
0.00136	0.1383	0.00184	0.00032	0.00182	1

(6) 能量单位的换算。如表 1-18 所示。

表 1-18 能量单位的换算

国际单位制				英制			
千克力·米 (kgf·m)	千瓦时 (kW·h)	公制 马力时	焦耳 (J)	千卡 (kcal)	英热单位 (B. T. U)	磅力·英尺 (lbf. ft)	英制 马力时
1	$2.724 \times 10^{-6}$	$3.7046 \times 10^{-6}$	9.8067	0.00234	$9.296 \times 10^{-3}$	7.2334	$3.65 \times 10^{-6}$
$3.6711 \times 10^5$	1	1.36	$3.6 \times 10^6$	859.9	3410.7	$2.654 \times 10^6$	1.34
$2.6993 \times 10^5$	0.735294	1	$2.647 \times 10^6$	632.28	2508.5	$1.952 \times 10^6$	0.986
0.1020	$2.778 \times 10^{-7}$	$3.777 \times 10^{-7}$	1	$2.39 \times 10^{-4}$	$9.48 \times 10^{-4}$	0.7376	$3.73 \times 10^{-7}$
427.20	$1.163 \times 10^{-3}$	$1.581 \times 10^{-3}$	4186	1	3.968	3087.8	$1.558 \times 10^{-3}$
107.57	$2.93 \times 10^{-4}$	$3.99 \times 10^{-4}$	$1.055 \times 10^3$	0.252	1	778.17	$3.9264 \times 10^{-4}$
0.1383	$3.768 \times 10^{-7}$	$0.512 \times 10^{-6}$	1.356	$3.24 \times 10^{-4}$	$1.2851 \times 10^{-3}$	1	$5.0505 \times 10^{-7}$
$2.74 \times 10^5$	0.746	1.014	$2.68 \times 10^6$	641.8	$2.5469 \times 10^3$	$1.9802 \times 10^6$	1

(3) 发电机的额定电压标准。如表 1-21 所示。

### 第三节 电压、电流及频率的标准

表 1-21 发电机的额定电压标准

(据 GB156—1993) (单位: V)

#### 一、电力系统和电气设备的额定电压标准

(1) 220~1000V (1140V) 的交流电力系统和电气设备的额定电压标准。如表 1-19 所示。

表 1-19 220~1000V (1140V) 的交流电力系统和电气设备的额定电压标准  
(据 GB156—1993) (单位: V)

系统额定电压	设备额定电压	备注
220/380	220/380	(1) 表中有斜线“/”的数值, 斜线左边为相电压, 斜线右边为线电压, 无斜线者为线电压 (2) 1140V 电压仅限于矿井下使用
380/660	380/660	
1000 (1140)	1000 (1140)	

(2) 3kV 及以上的三相交流系统的额定电压标准及电气设备的最高电压值。如表 1-20 所示。

表 1-20 3kV 及以上的三相交流系统的额定电压标准及电气设备的最高电压值  
(据 GB156—1993) (单位: kV)

系统额定电压	设备最高电压	备注
3	3.6	(1) 括号内数值为用户有要求时使用 (2) 电气设备的额定电压可从本表中选取, 由产品标准确定
6	7.2	
10	12	
(20)	(24)	
35	40.5	
66	72.5	
110	125 (123)	
220	252 (245)	
330	363	
500	550	
(750)	(800)	
—	1200	

直流发电机 额定电压	交流发电机 额定电压	备注
115	115	与发电机出线端配套的电气设备额定电压, 可采用发电机的额定电压, 在产品标准中具体规定
230	230	
460	400	
—	690	
—	3150	
—	6300	
—	10500	
—	13800	
—	15750	
—	18000	
—	20000	
—	22000	
—	24000	
—	26000	

(4) 电力变压器的额定电压及其说明。如表 1-22 所示。

表 1-22 电力变压器的额定电压及其说明

项目	电网和用电设备额定电压 (kV)	电力变压器额定电压 (kV)	
		一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.38	0.4
	0.66	0.66	0.69
高压	3	3	3.15, 3.3
	6	6	6.3, 6.6
	10	10	10.5, 11
	—	按发电机电压标准 (表 1-21)	—
	35	35	38.5
	66	66	72.5
	110	110	121
	220	220	242
	330	330	363
	500	500	550

续表

项目	电网和用电设备额定电压 (kV)	电力变压器额定电压 (kV)	
		一次绕组	二次绕组
关于额定电压规定的说明	用电设备的端电压与接入电网的位置有关, 但为了大批量生产, 用电设备额定电压规定与其接入电网额定电压相同	①变压器的一次绕组如与发电机直接相连, 其额定一次电压规定与发电机额定电压相同, 高电网额定电压 5%; ②变压器的一次绕组如不与发电机直接相连, 则规定按用电设备考虑, 其额定一次电压规定与其接入电网额定电压相同	①如果变压器二次侧线路不长, 或直接接用电设备时, 变压器额定二次电压应高于电网额定电压 5%, 以补偿变压器内部 5% 的电压降 (因变压器额定二次电压是在额定一次电压下的二次空载电压, 在额定负荷时绕组内有约 5% 的电压降); ②如果变压器二次侧线路较长, 如为高压电网, 则其额定二次电压应高电网额定电压 10%

## 二、电气设备的额定电流标准

如表 1-23 所示。

表 1-23 电气设备的额定电流标准

(据 GB/T 762—1996) (单位: A)

1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
10000	注: 1A 以下及 10000A 以上的额定电流值按以上规律取值								

## 三、电气设备的额定频率标准

如表 1-24 所示。

表 1-24 电气设备的额定频率标准

(据 GB/T 1980—1996)

(单位: Hz)\*

50 (60)	100	150	200	250
1000	1200	1500	2000	2400
300	400	500	600	750
3000	4000	8000	10000**	

\* 括号内的频率值仅供专用电源系统使用。

\*\* 加有横线的频率值为优先值。

## 第四节 电能质量及供用电的要求

### 一、供电系统的电压偏差及其减小措施

如表 1-25 所示。

表 1-25 供电系统的电压偏差及其减小措施

序号	项目	说明
1	电压偏差及其对用电设备运行的影响	
1.1	电压偏差的定义	电压偏差指电气设备的实际端电压 $U$ 与其额定电压 $U_N$ 之差对设备额定电压 $U_N$ 的百分比, 即: $\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$ 注: “ $\frac{\text{def}}{\text{def}}$ ”为 GB3102.11—1993《物理学和技术中使用的数学符号》中规定的“定义”(definition)符号
1.2	电压偏差对感应电动机的影响	由于电动机转矩 $M$ 与其端电压 $U$ 之间存在着 $M \propto U^2$ 的关系, 因此当端电压 $U$ 低于其额定电压 $U_N$ 10% 时, 其转矩 $M$ 将只有额定转矩 $M_N$ 的 81%, 而负荷电流将增大 5%~10% 以上, 温升将增高 10%~15% 以上, 使电动机的绝缘老化加快, 明显地缩短使用寿命。而且由于转矩减小, 转速下降, 使生产效率下降, 并影响产品质量。当其端电压偏高时, 负荷电流和温升也会增加, 同样要使绝缘受损, 缩短使用寿命
1.3	电压偏差对同步电动机的影响	当端电压偏高或偏低时, 转矩也要按端电压平方成正比变化, 除了转速不变外, 其他影响与感应电动机相同
1.4	电压偏差对电气照明的影响	电压偏差对白炽灯的影响最为显著。当白炽灯的端电压较其额定电压低 10% 时, 灯的使用寿命可延长 2~3 倍, 但其发光效率将下降 30% 以上, 照度明显降低。当其端电压较其额定电压高 10% 时, 照度明显增大, 但灯的使用寿命将大大缩短, 只有正常寿命 1/3 左右。电压偏差对气体放电灯的影响没有对白炽灯那么显著, 但也有影响, 或缩短寿命, 或降低照度, 电压过低时, 甚至不能启燃
2	供电电压的允许电压偏差值	
2.1	GB12325—1990《电能质量·供电电压允许偏差》的规定	①35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10% (注: 如供电电压上下偏差同号时, 按较大的偏差绝对值作为衡量依据); ②10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ ; ③220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的 $+7\%$ 、 $-10\%$ 注: ①用电设备额定工况的电压允许偏差仍由各自标准规定, 例如旋转电机按 GB755《旋转电机基本技术要求规定》; ②对电压有特殊要求的用户, 供电电压允许偏差由供用电合同确定

续表

序号	项 目	说 明
2	供电电压的允许电压偏差值	
2.2	GB50052—1995《供配电系统设计规范》的规定	正常运行情况下,用电设备端子处电压偏差允许值(以额定电压的百分数表示)应符合下列要求:①电动机为±5%;②照明,在一般工作场所为±5%;对于远离变电所的小面积一般工作场所,难以满足上述要求时,可为+5%、-10%;③应急照明、道路照明和警卫照明等为+5%、-10%;④其他用电设备当无特殊规定时为±5%
2.3	《供电营业规则》的规定	①在电力系统正常状况下,供电企业供到用户受端端的供电电压允许偏差,应达到GB12325—1990的规定(见序号2.1);②在电力系统非正常状况下,用户受端端的电压最大允许偏差不应超过额定值的±10%;③用户用电功率因数达不到本规则第四十一条规定的(参看附录五),其受端端的电压偏差不受此限制
3	减小电压偏差的措施	
3.1	正确选择变压器的电压分接头位置	对于无载调压型电力变压器,可利用选择分接开关位置来减小电压偏差。如果设备端电压长期偏高,则可将分接开关置于+5%的分接头位置,以降低端电压;如果设备端电压长期偏低,则可将分接开关置于-5%的分接头位置,以升高端电压
3.2	合理减小系统阻抗	由于供电系统的电压损耗与系统中各元件包括电力变压器和线路的阻抗成正比,因此适当减少系统的变压级数、适当增大导线电缆的截面或以电缆取代架空线路等来减小系统的阻抗,降低电压损耗,从而减小电压偏差。但不能过分增加电力建设投资,所以应进行技术经济分析和比较,力求经济合理
3.3	尽量使三相负荷均衡	在有中性线的低压配电系统中,如果三相负荷分配不均衡,将使负荷端的中性点电位偏移,造成有的相电压升高,从而增大线路的电压偏差。为此,应尽量使三相负荷分配均衡,以降低电压偏差
3.4	适时调整系统的运行方式	对一班制或两班制生产的企业或车间,工作班内的负荷重,往往电压偏低,因此需将变压器高压侧分接头调在-5%的位置上;但这将造成非工作班时间负荷轻时,电压偏高。这时若能切除变压器,改用低压联络线供电,就能消除电压偏高的现象。两台变压器并列运行的变电所,在负荷轻的一段时间内,可切除一台变压器
3.5	合理地进行无功补偿	由于产生电压偏差的主要因素是系统中滞后的无功负荷所引起的电压损耗,因此采用适当的无功补偿措施能有效地减小系统的电压偏差。通常采用并联电容器进行无功补偿。如果经技术经济分析确认合理时,也可采用同步补偿机进行无功补偿

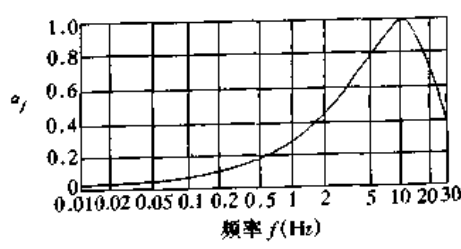
续表

序号	项 目	说 明
3	减小电压偏差的措施	
3.6	采用有载调压变压器	①35kV以上电压的变电所中的降压变压器,直接向35kV或10(6)kV电网送电时,应采用有载调压变压器;②35kV降压变电所的主变压器,在电压偏差不能满足要求时,应采用有载调压型;③10(6)kV配电变压器一般不宜采用有载调压型;但在电压偏差不能满足要求、且用电单位有对电压要求严格的设备,单独设置调压装置技术经济不合理时,亦可采用10(6)kV有载调压变压器

## 二、供电系统的电压波动和闪变及其减小措施

如表 1-26 所示。

表 1-26 供电系统的电压波动和闪变及其减小措施

序号	项 目	说 明
1	电压波动和闪变及其危害	
1.1	电压波动的定义	电压波动是指电网电压的快速变动,用电压调幅波(即交流电压波的包络线)中相邻两个极值电压均方根值之差( $U_{max}-U_{min}$ )对额定电压 $U_N$ 的百分比值来表示,即: $\delta U\% = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_N} \times 100\%$
1.2	闪变电压及等效闪变电压	①闪变是指人眼对灯闪的主观感觉,因灯光照度急剧变化使人眼感到不适的电压,称为“闪变电压”;②波动的电压调幅波中不同频率的正弦波分量的均方根值等效为10Hz值的1min平均值,以额定电压的百分值表示,称为“等效闪变电压值”,即 $\delta U_{10} = \sqrt{\sum (a_f \delta U_{f1})^2}$ 式中 $\delta U_{f1}$ 为电压调幅波中频率为 $f$ 的正弦波分量的1min均方根值,以额定电压的百分值表示; $a_f$ 为人眼对不同频率的电压波动而引起的灯闪敏感程度,称为“闪变视感度系数”,其与频率 $f$ 的关系曲线如图所示 

续表

续表

序号	项目	说明								
1	电压波动和闪变及其危害									
1.3	电压波动和闪变的危害	电压波动可影响电动机的正常启动,甚至使电动机无法启动;对同步电动机还可引起其转子振动;可使电子设备和计算机无法正常工作;可使照明灯发生明显的闪烁,严重影响视力,使人无法正常工作、工作和学习。严重的电压闪变还会增加发生事故的机率								
2	允许的电压波动和闪变值									
2.1	GB 12326 1990 《电能质量·电压允许波动和闪变》的规定	(1) 电力系统公共供电点,由冲击性功率负荷产生的电压波动允许值如以下表1所示: 表1 电压波动允许值								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>电网额定电压 (kV)</th> <th>电压波动允许值 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 及以下</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>35~110</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>220 及以上</td> <td>1.6</td> </tr> </tbody> </table>	电网额定电压 (kV)	电压波动允许值 (%)	10 及以下	2.5	35~110	2	220 及以上	1.6
		电网额定电压 (kV)	电压波动允许值 (%)							
		10 及以下	2.5							
35~110	2									
220 及以上	1.6									
(2) 电力系统公共供电点,由冲击性功率负荷产生的闪变电压值应满足 $\delta U_{10}$ 的允许值,如以下表2所示: 表2 闪变电压 $\delta U_{10}$ 允许值										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>应用场合</th> <th><math>\delta U_{10}</math> 允许值 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>对照明要求较高的白炽灯负荷</td> <td>0.4 (推荐值)</td> </tr> <tr> <td>一般性照明负荷</td> <td>0.6 (推荐值)</td> </tr> </tbody> </table>	应用场合	$\delta U_{10}$ 允许值 (%)	对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4 (推荐值)	一般性照明负荷	0.6 (推荐值)				
应用场合	$\delta U_{10}$ 允许值 (%)									
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4 (推荐值)									
一般性照明负荷	0.6 (推荐值)									
2.2	《供电营业规则》的规定	用户的冲击负荷、波动负荷、非对称负荷对供电质量产生影响或对安全运行构成干扰和妨碍时,用户必须采取措施予以消除。如不采取措施或采取措施不力,达不到国家标准 GB12326—1990 或 GB/T15543—1995 规定的要求时,供电企业可终止对其供电								

序号	项目	说明
3	减小电压波动和闪变的措施	
3.1	专线或专用变压器供电	对负荷变动剧烈的大型电气设备,宜采用专用线路或专用变压器单独供电。这是最简便有效的办法
3.2	降低配线路阻抗	当引起电压波动的冲击性负荷与其他负荷共用配电路径时,应设法降低配电路径的阻抗,例如适当增大导线截面,或将架空线路改为电缆线路,从而减小负荷变动时引起的电压波动
3.3	增大供电电网容量	对大功率电弧炉的炉用变压器,宜由短路容量较大的电网供电,一般是选用更高电压等级的电网供电
3.4	采用静止型无功补偿装置 (SVC)	对大容量冲击性负荷,如采取上述措施尚达不到要求时,可装设能“吸收”冲击无功功率的静止型无功补偿装置 (SVC)。SVC 是一种能吸收随机变化的冲击无功功率和动态谐波电流的无功补偿装置,其类型有多种,而以自饱和电抗器型 (SR 型) 的效能最好,其电子元件少,可靠性高,反应速度快,维护方便经济

### 三、电网谐波及其抑制措施

如表 1-27 所示。

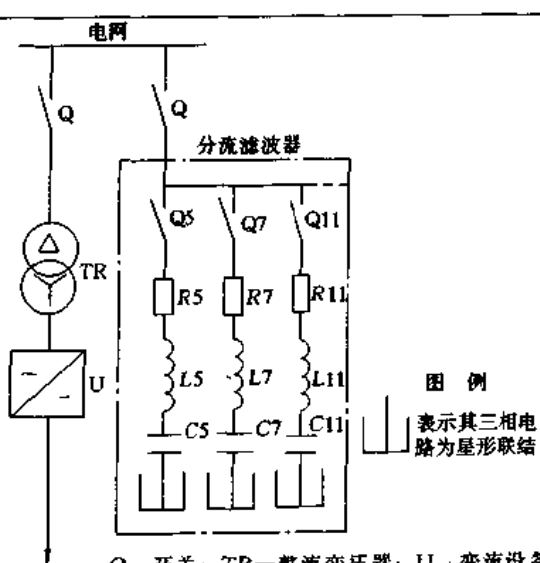
表 1-27 电网谐波及其抑制措施

序号	项目	说明
1	电网谐波及其危害	
1.1	谐波的含义	谐波是指一个非正弦波按傅里叶级数分解后所含的频率为基波频率整数倍 ( $n=2, 3, 4, \dots$ ) 的所有谐波分量,而基波频率即工频 50Hz。谐波亦称“高次谐波”
1.2	谐波产生的主要原因	谐波的产生主要是由于电力系统中存在着各种非线性元件。因此即使系统中的电源电压为正弦波,但由于非线性元件存在,电网中也会出现谐波电流和电压。产生谐波的非线性元件很多,例如气体放电灯、感应电动机、电焊机、变压器和感应电炉等,特别是大型晶闸管变流设备和大型电弧炉,它们产生的谐波电流和谐波电压最为突出,是电力系统中最主要的“谐波源”
1.3	谐波的危害	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 谐波电流可使变压器铁损明显增加,从而使铁芯过热,不仅增加能耗,而且缩短变压器使用寿命</li> <li>(2) 谐波电流也可使电动机铁损明显增加,并使电动机转子出现振动现象,严重影响机械加工的产品质量</li> <li>(3) 谐波对电容器的影响更为显著。由于电容器对高次谐波的阻抗很小 (<math>X_C = 1/2\pi fC</math>, <math>f</math> 越大, <math>X_C</math> 越小),因此含有高次谐波的电压加在电容器两端时,将使电容器发生过负荷甚至烧毁</li> <li>(4) 谐波可使电力线路的电能损耗增加,可导致电缆过热损坏</li> <li>(5) 谐波可使计费的感应式电能表的计度不准</li> <li>(6) 谐波可使电力系统出现电压谐波,引起过电压,有可能导致线路设备绝缘击穿损坏</li> <li>(7) 谐波可使继电保护和自动装置发生误动或拒动,可使计算机失控,或使电子设备误触发,或使电子元件的测试无法进行</li> <li>(8) 谐波可对附近的通信线路和设备产生信号干扰等</li> </ul>

续表

序号	项 目	说 明																																																																																																																																																																																																																														
2		公用电网谐波的计算与限制																																																																																																																																																																																																																														
2.1	谐波含有率的计算 (据 GB/T14549-1993)	<p>(1) 第 <math>h</math> 次谐波电压含有率 (<math>HRU_h</math>) 按下式计算:</p> $HRU_h = \frac{U_h}{U_1} \times 100 (\%)$ <p>式中 <math>U_h</math> 为第 <math>h</math> 次谐波电压均方根值; <math>U_1</math> 为基波电压均方根值</p> <p>(2) 第 <math>h</math> 次谐波电流含有率 (<math>HRI_h</math>) 按下式计算:</p> $HRI_h = \frac{I_h}{I_1} \times 100 (\%)$ <p>式中 <math>I_h</math> 为第 <math>h</math> 次谐波电流均方根值; <math>I_1</math> 为基波电流均方根值</p>																																																																																																																																																																																																																														
2.2	电压总谐波畸变率的计算 (据 GB/T14549-1993)	<p>电压总谐波畸变率 (<math>THD_u</math>) 按下式计算:</p> $THD_u = \frac{U_H}{U_1} \times 100 (\%)$ <p>式中 <math>U_1</math> 为基波电压 (均方根值); <math>U_H</math> 为谐波电压总含量, 按下式计算:</p> $U_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (U_h)^2}$ <p>式中 <math>U_h</math> 为第 <math>h</math> 次谐波电压均方根值</p>																																																																																																																																																																																																																														
2.3	公用电网的谐波电压限值 (据 GB/T14549-1993)	<p>(1) GB/T14549-1993 《电能质量·公用电网谐波》规定, 公用电网谐波电压 (相电压) 限值如下附表 1 所示:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>附表 1 公用电网谐波电压 (相电压) 限值</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">电网额定电压 (kV)</th> <th rowspan="2">电压总谐波畸变率 (%)</th> <th colspan="2">各次谐波电压含有率 (%)</th> </tr> <tr> <th>奇 次</th> <th>偶 次</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.38</td> <td>5.0</td> <td>4.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>4.0</td> <td>3.2</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>3.0</td> <td>2.4</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>3.0</td> <td>2.4</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>2.0</td> <td>1.6</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>2.0</td> <td>1.6</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>	电网额定电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)		奇 次	偶 次	0.38	5.0	4.0	2.0	6	4.0	3.2	1.6	10	3.0	2.4	1.2	35	3.0	2.4	1.2	66	2.0	1.6	0.8	110	2.0	1.6	0.8																																																																																																																																																																																																
电网额定电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率 (%)																																																																																																																																																																																																																														
		奇 次	偶 次																																																																																																																																																																																																																													
0.38	5.0	4.0	2.0																																																																																																																																																																																																																													
6	4.0	3.2	1.6																																																																																																																																																																																																																													
10	3.0	2.4	1.2																																																																																																																																																																																																																													
35	3.0	2.4	1.2																																																																																																																																																																																																																													
66	2.0	1.6	0.8																																																																																																																																																																																																																													
110	2.0	1.6	0.8																																																																																																																																																																																																																													
2.4	注入电网公共连接点的谐波电流允许值 (据 GB/T14549-1993)	<p>(2) GB/T14549-1993 规定, 公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量 (均方根值) 不应超过以下附表 2 规定的允许值:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>附表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">额定电压 (kV)</th> <th rowspan="2">基准短路容量 (MVA)</th> <th colspan="13">谐波次数及谐波电流允许值 (A)</th> </tr> <tr> <th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.38</td> <td>10</td> <td>78</td><td>62</td><td>39</td><td>62</td><td>26</td><td>44</td><td>19</td><td>21</td><td>16</td><td>28</td><td>13</td><td>24</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100</td> <td>43</td><td>34</td><td>21</td><td>34</td><td>14</td><td>24</td><td>11</td><td>11</td><td>8.5</td><td>16</td><td>7.1</td><td>13</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>100</td> <td>26</td><td>20</td><td>13</td><td>20</td><td>8.5</td><td>15</td><td>6.4</td><td>6.8</td><td>5.1</td><td>9.3</td><td>4.3</td><td>7.9</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>250</td> <td>15</td><td>12</td><td>7.7</td><td>12</td><td>5.1</td><td>8.8</td><td>3.8</td><td>4.1</td><td>3.1</td><td>5.6</td><td>2.6</td><td>4.7</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>500</td> <td>16</td><td>13</td><td>8.1</td><td>13</td><td>5.4</td><td>9.3</td><td>4.1</td><td>4.3</td><td>3.3</td><td>5.9</td><td>2.7</td><td>5.0</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>750</td> <td>12</td><td>9.6</td><td>6.0</td><td>9.6</td><td>4.0</td><td>6.8</td><td>3.0</td><td>3.2</td><td>2.4</td><td>4.3</td><td>2.0</td><td>3.7</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">额定电压 (kV)</th> <th rowspan="2">基准短路容量 (MVA)</th> <th colspan="13">谐波次数及谐波电流允许值 (A)</th> </tr> <tr> <th>14</th><th>15</th><th>16</th><th>17</th><th>18</th><th>19</th><th>20</th><th>21</th><th>22</th><th>23</th><th>24</th><th>25</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.38</td> <td>10</td> <td>11</td><td>12</td><td>9.7</td><td>18</td><td>8.6</td><td>16</td><td>7.8</td><td>8.9</td><td>7.1</td><td>14</td><td>6.5</td><td>12</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100</td> <td>6.1</td><td>6.8</td><td>5.3</td><td>10</td><td>4.7</td><td>9.0</td><td>4.3</td><td>4.9</td><td>3.9</td><td>7.4</td><td>3.6</td><td>6.8</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>100</td> <td>3.7</td><td>4.1</td><td>3.2</td><td>6.0</td><td>2.8</td><td>5.4</td><td>2.6</td><td>2.9</td><td>2.3</td><td>4.5</td><td>2.1</td><td>4.1</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>250</td> <td>2.2</td><td>2.5</td><td>1.9</td><td>3.6</td><td>1.7</td><td>3.2</td><td>1.5</td><td>1.8</td><td>1.4</td><td>2.7</td><td>1.3</td><td>2.5</td> </tr> <tr> <td>66</td> <td>500</td> <td>2.3</td><td>2.6</td><td>2.0</td><td>3.8</td><td>1.8</td><td>3.4</td><td>1.6</td><td>1.9</td><td>1.5</td><td>2.8</td><td>1.4</td><td>2.6</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>750</td> <td>1.7</td><td>1.9</td><td>1.5</td><td>2.8</td><td>1.3</td><td>2.5</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.1</td><td>2.1</td><td>1.0</td><td>1.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 注意: ①当电网公共连接点的最小短路容量 <math>S'_k</math> 不同于表 2 基准短路容量 <math>S_k</math> 时, 则应按下式修正附表 2 中的谐波电流允许值:</p> $I'_{d(h)} = \frac{S'_k}{S_k} I_{d(h)}$ <p>式中 <math>I_{d(h)}</math> 为附表 2 中第 <math>h</math> 次谐波电流允许值 (A); <math>I'_{d(h)}</math> 为短路容量 <math>S'_k</math> 时的第 <math>h</math> 次谐波电流允许值 (A); ②同一公共连接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值, 按各用户在该点的协议容量与该点的供电总容量之比进行分配</p>	额定电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)													2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	额定电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)													14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12	6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8	10	100	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1	35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5	66	500	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6	110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9
额定电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																																																																																																																																																																																																																														
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																																																																																																																																																																																																			
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24																																																																																																																																																																																																																			
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13																																																																																																																																																																																																																			
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9																																																																																																																																																																																																																			
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7																																																																																																																																																																																																																			
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0																																																																																																																																																																																																																			
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7																																																																																																																																																																																																																			
额定电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																																																																																																																																																																																																																														
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																																																																			
0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12																																																																																																																																																																																																																			
6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8																																																																																																																																																																																																																			
10	100	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1																																																																																																																																																																																																																			
35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5																																																																																																																																																																																																																			
66	500	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6																																																																																																																																																																																																																			
110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9																																																																																																																																																																																																																			
3		电网谐波的抑制措施																																																																																																																																																																																																																														
3.1	三相整流变压器采用 Yd 或 Dy 联结	<p>由于 3 次及 3 的整数倍次的谐波电流在三角形联结的绕组内形成环流, 而星形联结的绕组内不可能出现 3 次及 3 的整数倍次的谐波电流, 因此采用 Yd (即 Y/△) 联结或 Dy (即 △/Y) 联结的三相整流变压器, 能使注入电网的谐波电流消除 3 次及 3 的整数倍次的谐波电流。又由于电力系统中的非正弦交流电压或电流, 通常是正、负两半波对时间轴是对称的, 不含直流分量和偶次谐波分量, 因此采用 Yd 或 Dy 联结的整流变压器以后, 注入电网的谐波电流只有 5、7、11 等次谐波了。这是电网中抑制谐波的最基本的一种方法</p>																																																																																																																																																																																																																														

续表

序号	项 目	说 明
3	<b>电网谐波的抑制措施</b>	
3.2	增加整流变压器二次侧的相数	整流变压器二次侧的相数越多,整流波形的脉波数越多,其次数低的谐波被消去的也越多。例如整流相数为6相时,出现的5次谐波电流为基波电流的18.5%,7次谐波电流为基波电流的12%。如果整流相数增加到12相时,则出现的5次谐波电流降为基波电流的4.5%,7次谐波电流降为基波电流的3%,都差不多减少3倍。由此可见,增加整流变压器二次侧的相数对抑制谐波效果相当显著
3.3	使并列的各台整流变压器二次侧互有相角差	多台相数相同的整流装置并列运行时,使其整流变压器二次侧互有适当的相角差,这与增加整流变压器二次侧的相数有类似的效果,也能有效地减少注入电网的高次谐波
3.4	装设分流滤波器	<p>在大容量“谐波源”(如大型晶闸管整流器)与电网连接处,装设分流滤波器,如右图所示,使滤波器的各组R-L-C回路分别对需要消除的5、7、11等次谐波进行调谐,使之发生串联谐振。由于串联谐振时阻抗极小,从而使这些谐波电流被它分流吸收而不致注入公用电网中去</p>  <p style="text-align: center;">Q—开关; TR—整流变压器; U—变流设备</p>
3.5	选用 Dyn11 联结组的三相配电变压器	由于 Dyn11 联结组的配电变压器高压绕组为三角形接线,3次及3的整数倍次的谐波电流可在其中形成环流而不致注入高压电网中去,从而有利于抑制谐波
3.6	抑制谐波的其他措施	限制电力系统中接入的变流设备及交流调压装置等的容量,或提高对大容量非线性设备的供电电压,或将“谐波源”与不能受干扰的负荷电路从电网的接线上分开,均能有助于谐波的抑制或消除

续表

#### 四、三相电压不平衡度及其补偿措施

如表 1-28 所示。

表 1-28 三相电压不平衡度及其补偿措施

序号	项 目	说 明
1	电压不平衡度的定义	电压不平衡度 $\epsilon U$ , 用电压负序分量的均方根值 $U_2$ 与电压正序分量的均方根值 $U_1$ 的百分比值来表示, 即: $\epsilon U \stackrel{\text{def}}{=} \frac{U_2}{U_1} \times 100(\%)$
2	GB/T15543—1995 的规定	GB/T15543—1995《电能质量·三相电压不平衡度》规定: ①电力系统公共连接点, 正常时三相电压不平衡度允许值为 2%, 短时不超过 4%; ②接于系统公共连接点的每个用户, 三相电压不平衡度一般不得超过 1.3%

序号	项 目	说 明
3	三相电压不平衡的危害及其补偿措施	<p>(1) 三相电压不平衡度偏高, 说明电压的负序分量偏大。电压负序分量的存在, 可对电气设备的运行产生不良影响。例如电压负序分量可使感应电动机出现一个反向转矩, 削弱电动机的输出转矩, 降低电动机的效率, 同时使电动机绕组电流增大, 温升增高, 加速绝缘老化, 缩短使用寿命。三相电压不平衡, 还影响多相整流设备触发脉冲的对称性, 出现更多的高次谐波, 进一步影响电能质量</p> <p>(2) 造成三相电压不平衡的主要原因, 是单相负荷在三相系统中的容量分配和接入位置不合理、不均衡。因此在供配电设计和运行中, 应注意将单相负荷均衡地分配在三相系统中; 同时要考虑用电设备的功率因数不同, 尽量使有功功率和无功功率在三相系统中均达到均衡分配。低压配电系统中, 各相之间的容量之差不宜超过 15%</p>



### 五、用电单位供配电电压的选择

如表 1-29 所示。

表 1-29 用电单位供配电电压的选择

序号	项 目	说 明
1	用电单位供电电压的选择	<p>(1) 用电单位供电电压的选择, 应该根据当地供电企业供电的电压等级及用电单位用电设备的电压、容量和供电距离等因素, 经技术经济比较后与供电企业协商确定</p> <p>(2) 《供电营业规则》规定: 供电企业供电的额定电压, 低压有单相 220V, 三相 380V, 高压有 10、35 (66)、110、220kV。并规定: 除发电厂直配电压可采用 3kV 或 6kV 外, 其他等级的电压应逐步过渡到上述额定电压。如果用电单位需要的电压等级不在上述范围内, 应自行采取变压措施解决。用电单位的用电设备容量在 100kW 及以下, 或需用变压器容量在 50kVA 及以下时, 一般宜采用低压三相四线制供电; 但特殊情况 (例如供电点距离用电单位太远时), 也可采用高压供电</p>
2	用电单位高压配电电压的选择	<p>(1) 用电单位高压配电电压的选择, 主要取决于该单位高压用电设备的电压、容量和数量等因素</p> <p>(2) 当用电单位的供电电源电压为 10kV 及以上时, 该单位的高压配电电压一般应采用 10kV。当该单位 6kV 用电设备的总容量较大, 且选用 6kV 经济合理时, 特别是可取得附近发电厂的 6kV 直配电压时, 可采用 6kV 作高压配电电压。如果该单位 6kV 用电设备不多, 则仍应采用 10kV 作高压配电电压, 而对其 6kV 设备则通过专用的 10/6.3kV 变压器单独供电。如果用电单位有 3kV 的用电设备, 则应通过专用的 10/3.15kV 变压器单独供电</p> <p>(3) 当用电单位的供电电压为 35kV, 为了减少变压级数, 简化接线, 且技术经济合理时, 可采用 35kV 作为其高压配电电压, 深入负荷中心</p>
3	用电单位低压配电电压的选择	<p>(1) 用电单位的低压配电电压, 通常采用 220/380V, 其中线电压 380V 用来接三相动力设备及额定电压为 380V 的单相设备, 而相电压 220V 用来接额定电压为 220V 的单相设备和照明灯具等</p> <p>(2) 某些特殊场合宜采用 660V 甚至更高的 1140V 作为低压配电电压。例如矿井下, 因用电负荷往往离变电所较远, 为保证远端负荷的电压水平, 宜采用 660V 或 1140V 电压。采用较高的电压配电, 不仅可减少线路的电压损耗, 保证远端负荷的电压水平, 而且能减小导线截面和线路投资, 增大供电半径, 减少变电点, 简化供电系统。因此提高低压配电电压有其明显的经济效益, 也是节电的一项有效措施, 这在世界上已成为一种发展趋势。但低压配电系统全面升压运行, 涉及很多方面, 目前我国尚有困难。660V 电压现在只限于采矿、石油和化工等少数企业使用</p>

续表

序号	项 目	说 明			
4	各级电压线路的输送能力 (参考)	在选择用电单位的供配电电压时, 可参考以下附表所示各级电压供电线路的输送能力:			
		附表 各级电压供电线路的输送能力 (摘自 JBJ6—1996)			
		线路电压 (kV)	线路种类	供电功率 (kW)	供电距离 (km)
		0.22	架空线	<50	0.5 以下
		0.22	电缆	<100	0.2 以下
		0.38	架空线	100	0.25
		0.38	电缆	175	0.35
		6	架空线	1000	10 以下
		6	电缆	3000	8 以下
		10	架空线	200~2000	20~6
10	电缆	5000	10 以下		
35	架空线	2000~10000	50~20		
110	架空线	10000~50000	150~50		

### 六、供用电的基本要求

我国《电力法》规定: “电力生产与电网运行应当遵循安全、优质、经济的原则。电网运行应连续、稳定, 保证供电可靠性。” 又规定: “国家对电力供应和使用, 实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则。” 因此供用电的基本要求, 应如表 1-30 所示。

表 1-30 供用电的基本要求

序号	要求	说 明
1	安全	在电力的供应、分配和使用中, 应避免发生人身事故和设备事故, 实现安全供用电。
2	可靠	在发电、供电系统正常的情况下, 应连续向用户供电, 不得中断。因供电设施检修、依法限电或者用户违法用电等原因需中断供电时, 应按规定事先通知用户。《供电营业规则》规定: “供电设备计划检修时, 对 35kV 及以上电压供电的用户的停电次数, 每年不应超过 1 次; 对 10kV 供电的用户, 每年不应超过 3 次”
3	优质	应满足电力用户对电能质量的要求。电能质量包括电压偏差 (表 1-25)、电压波动和闪变 (表 1-26)、电压波形畸变及谐波 (表 1-27)、三相电压不平衡度 (表 1-28) 和频率偏差等。关于频率偏差, 《供电营业规则》规定: “在电力系统正常状况下, 供电频率的允许偏差为: ① 电网装机容量在 300 万 kW 及以上的, 为 ±0.2Hz; ② 电网装机容量在 300 万 kW 以下的, 为 ±0.5Hz。在电力系统非常状况下, 供电频率允许偏差不应超过 ±1.0Hz”
4	合理	在供用电工作中, 应合理地处理局部和全局、当前与长远等关系, 既要照顾局部和当前利益, 又要有全局观点, 按照统筹兼顾、保证重点、择优供应的原则, 作好计划用电工作

续表

### 第五节 电气图形符号和文字符号

#### 一、常用的电气图形符号

(1) 常用的符号要素、限定符号及其他基本符号。  
如表 1-31 所示。

表 1-31 常用的符号要素、限定符号及其他基本符号  
(据 GB/T4728.2-1998)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	符号要素——轮廓和外壳		
1.1		形式 1 物件, 例如: — 设备 — 器件 — 功能单元 — 元件 — 功能	=
		形式 2 注: 符号轮廓内应填入或加入适当的符号或代号以表示物件的类别。如果设计需要, 可以采用其他形状的轮廓	
		形式 3	
1.2		形式 1 外壳 (球或箱); 罩 注: 如果设计需要, 可以采用其他形状的轮廓, 如果罩具有特殊的防护功能, 可加注以引起注意。若肯定不会引起混乱, 外壳可以省略, 如果外壳与其他物件有连接, 则必须示出外壳符号。必要时, 外壳可断开画出	=
		形式 2	
1.3		边界线 注: 此符号用于表示物理上、机械上或功能上相互关联的对象组的边界。长短线可任意组合	=
1.4		屏蔽; 护罩 注: 例如为了减弱电场或电磁场的穿透程度, 屏蔽符号可以画成任何方便的形状	=
1.5		防止无意识直接接触通用符号 注: 星号应由具备无意识直接接触防护的设备或器件的符号代替	=
2	限定符号——直流和电流种类		
2.1		直流 注: 电压可标注在符号右边, 系统类型可标注在左边 示例: 2/M 220/110V	=

序号	图形符号	说 明	IEC
2	限定符号——直流和电流种类		
2.2		交流 注: 频率值或频率范围可标注在符号右边	=
	~50Hz	示例: 交流 50Hz	
	3/N~400/ 230V50Hz	示例: 交流, 三相带中性线, 400V (相电压 230V), 50Hz	
	3/N~50Hz/ TN-S	示例: 交流, 三相, 50Hz, 具有一个直接接地点且中性线与保护导体全部分开的系统	
2.3		相对低频 (工频或亚音频)	=
2.4		中频 (音频)	
2.5		相对高频 (超音频、载频或射频)	=
2.6		具有交流分量的整流电流 注: 当需要与整流并滤波的电流相区别时使用	=
2.7	+	正极性	=
2.8	-	负极性	=
2.9	N	中性 (中性线) 注: 此中性符号在 GB/T4026 中给出	=
2.10	M	中间线 注: 此中间线符号在 GB/T4026 中给出	=
3	限定符号——可调节性、可变性和自动控制		
3.1		可调节性, 一般符号	=
3.2		非线性可调	=
3.3		可变性, 内在的, 一般符号 注: 有关控制量的信息, 例如电压或温度的信息可表示在贴近符号的地方	=
3.4		可变性, 内在的, 非线性 注: 同上注	=
3.5		预调 注: 允许调节的条件可标注在符号旁	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
3 限定符号——可调节性、可变性和自动控制			
3.6		步进调节 注：可加注数字以表示步进数	=
3.7		连续可变性 示例：连续可变的预调	=
3.8		自动控制 注：被控制量可标注在符号旁 示例： 自动增益控制放大器	=
4 限定符号——力或运动方向			
4.1		按箭头方向的： 单向力；单向直线运动	=
4.2		双向力 双向直线运动	=
4.3		按箭头方向的： 单向环形运动；单向旋转；单向扭转	=
4.4		双向环形运动；双向旋转；双向扭转	=
4.5		两个方向均受到限制的： 双向环形运动；双向旋转；双向扭转	=
4.6		振动（摆动）	=
5 限定符号——流动方向			
5.1		单向传送；单向流动（例如能量、信号、信息）	=
5.2		同时双向传送；同时发送和接收	=
5.3		非同时双向传送；交替发送和接收	=
5.4		发送 注：与其他符号组合使用时，如箭头所表达的意思是明确的，小圆黑点可以省略	=
5.5		接收 注：同上注	=
5.6		能量从母线（汇流排）输出	=
5.7		能量向母线（汇流排）输入	=
5.8		双向能量流动	=
6 限定符号——特征量的动作相关性			
6.1		特征量值大于整定值时动作	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
6 限定符号——特征量的动作相关性			
6.2		特征量值小于整定值时动作	=
6.3		特征量值大于高整定值或小于低整定值时动作	=
6.4		特征量值等于零时动作	=
6.5		特征量值近似等于零时动作	=
7 限定符号——材料类型			
7.1		材料（未规定类型）	=
7.2		固体材料	=
7.3		液体材料	=
7.4		气体材料	=
7.5		驻极体材料	=
7.6		半导体材料	=
7.7		绝缘体材料	=
8 限定符号——效应或相关性			
8.1		热效应	=
8.2		电磁效应	=
8.3		磁致伸缩效应	=
8.4		磁场效应或磁场相关性	=
8.5		延时（延迟）	=
8.6		半导体效应	=
8.7		具有电隔离的耦合效应	=
9 限定符号——辐射			
9.1		非电离的电磁辐射（例如无线电波或可见光） 注： (1) 如果已标明源和靶，则箭头从源指向靶 (2) 如果有靶而未明确指出源，则箭头指向右下 (3) 如果未明确标出靶，则箭头指向右上	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
9	限定符号——辐射		
9.2		非电离的相干辐射 (例如相干光)	=
9.3		电离辐射 注: 如果需要标明电离辐射的具体类型, 可加注下列符号或字母: $\alpha$ - $\alpha$ 粒子; $\beta$ - $\beta$ 粒子; $\gamma$ - $\gamma$ 射线; $\delta$ -氘核; $\rho$ -质子; $\eta$ -中子; $\pi$ - $\pi$ 介子; $\kappa$ - $\kappa$ 介子; $\mu$ - $\mu$ 介子; X-X 射线	=
9.4		非电离的双向电磁辐射 (例如由雷达或带有镜面反射器的光控继电器产生的辐射)	=
9.5		非电离的双向相干辐射	=
10	限定符号——信号波形		
10.1		正脉冲	=
10.2		负脉冲	=
10.3		交流脉冲	=
10.4		正阶跃函数	=
10.5		负阶跃函数	=
10.6		锯齿波	=
11	限定符号——打印、打孔和传真		
11.1		纸带打印	=
11.2		纸带打孔或使用打孔纸带	=
11.3		在纸带上同时打印和打孔	=
11.4		纸页打印	=
11.5		键盘	=
11.6		传真	=
12	机械控制及其他控制符号		
12.1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;">形式 1</div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div>形式 2</div> </div>	连接, 例如: —— 机械的 —— 气动的 —— 液压的 —— 光学的 —— 功能的 注: 形式 2 的符号, 当使用形式 1 符号太受限制时使用	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
12	机械控制及其他控制符号		
12.2	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;">形式 1</div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div>形式 2</div> </div>	延时动作 注: 当运动方向是从圆弧指向圆心时动作被延时	=
12.3		自动复位 注: 三角指向复位方向	=
12.4		自锁, 非自动复位; 能保持给定位置的器件	=
12.5		脱离自锁	=
12.6		进入自锁	=
12.7		两器件间的机械联锁	=
12.8		脱扣的闭锁器件	=
12.9		锁扣的闭锁器件	=
12.10		阻塞器件	=
12.11		处于阻塞状态的阻塞器件 (向左边移动被阻塞)	=
12.12		离合器; 机械联轴器	=
12.13		脱开的机械联轴器	=
12.14		连接着的机械联轴器	=
12.15		制动器	=
12.16	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> <div style="margin-bottom: 10px;">示例</div> <div style="margin-bottom: 10px;"></div> </div>	带制动器并被制动的电动机  带制动器未制动的电动机	=
12.17		齿轮啮合	=
13	外力操纵的操作件符号		
13.1		手动控制操作件, 一般符号	=
13.2		带有防止无意操作的手动控制操作件	=
13.3		拉拔操作	=
13.4		旋转操作	=
13.5		按动操作	=
13.6		接近效应操作	=
13.7		接触操作	=
13.8		紧急开关, “蘑菇头” 式的	=
13.9		手轮操作	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
13	外力操纵的操作件符号		
13.10		脚踏式操作	=
13.11		杠杆操作	=
13.12		用可拆卸的手柄操作	=
13.13		钥匙操作	=
13.14		曲柄操作	=
13.15		滚子操作	=
13.16		凸轮操作 注：如需要，可示出一个更详细的凸轮图。这也适用于仿型样板	=
13.17		储存机械能操作 注：有关储存能量形式的信息，例如 $T$ (温度)、 $p$ (压力)、 $n$ (转速)、 $v$ (线性速率或速度) 控制等表示在方框内	=
13.18		单向作用的气动或液压操作	=
13.19		双向作用的气动或液压操作	=
13.20		借助电磁效应操作	=
13.21		电磁器件操作 (例如过电流保护)	=
13.22		热器件操作 (例如过电流保护)	=
13.23		电动机操作	=
13.24		电钟操作	=
13.25		半导体操作件	=
14	外力操纵的附加操作件符号		
14.1		液位控制	=
14.2		计数器控制	=
14.3		流体控制	=
		示例：气流控制	
14.4		相对湿度控制	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
15	接地、接机壳和等电位符号		
15.1		接地，一般符号 注：如果接地的状况或接地目的表达得不够明显，可加补充信息	=
15.2		抗干扰接地 无噪声接地	=
15.3		保护接地 注：此符号可代替序号 15.1 的符号以表示接地连接具有专门的保护功能，例如在故障情况下防止电击的接地	=
15.4		形式1 接机壳；接底板	=
		形式2 注：形式2中表示机壳或底板的线条应加粗	
15.5		等电位	=
16	理想电路元件符号		
16.1		理想电流源	=
16.2		理想电压源	=
17	其他符号		
17.1		故障 (指明假定故障的位置)	=
17.2		闪络 击穿	=
17.3		永久磁铁	=
17.4		动 (如滑动) 触点	=
17.5		测试点指示符	=
17.6		变换器一般符号，例如：能量转换器；信号转换器；测量用传感器 注：如果变换方向不明确，可在符号的轮廓线上用箭头标明。表示输入、输出和波形等的符号或代号，可以写进一般符号的每半部分内，以表示变换的性质	=
18	仅用于理解简图的旧符号 (GB/T4728.2—1998 附录)		
18.1		直流 注：电压可标注在符号右边，系统类型可标注在符号左边，如：2M—220/110V	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC
18	仅用于理解简图的旧符号 (GB/T4728.2—1998 附录)		
18.2		交直流	
18.3		温度控制 注: $\theta$ 可用 $t$ 代替	
18.4		压力控制	
18.5		转速控制	
18.6		线性速率或速度控制	
18.7		导线间绝缘击穿	
18.8		导线对地绝缘击穿	
18.9		形式 1	导线对机壳绝缘击穿
		形式 2	

\* 序号 18.1 的符号在 IEC617—2: 1983 中有, 且被 GB4728.2—1984 所采用; 现 IEC617—2: 1996 已予取消, GB/T4728.2—1998 作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”。序号 18.2~序号 18.9 的符号系 GB4728.2—1984 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.2—1998 也只作为“提示的附录”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC617—2: 1996 等同。

(2) 常用的导体和连接件符号。如表 1-32 所示。

表 1-32 常用的导体和连接件符号  
(据 GB/T4728.3—1998)

序号	图形符号	说明	IEC
1	连接线符号		
1.1		连线、连接; 连线组 示例: 导线, 电缆, 电线, 传输通路 注: 如用单线表示一组导线时, 导线的数可标以相应数量的短斜线或一个短斜线后加导线的数字	**
1.2		形式 1 导线组 示例: 三根导线 注: 可标注附加信息, 如: 电流种类、配电系统、频率、电压、导线数、每根导线的截面积、导线材料的化学符号。导线数后面标其截面积, 并用“×”号隔开。若截面积不同时, 应用“+”号分别隔开	=
		形式 2	

续表

序号	图形符号	说明	IEC
1	连接线符号		
1.3		示例: 直流电路, 110V, 两根 120mm <sup>2</sup> 的铝导线	=
		示例: 三相电路, 400/230V <sup>*</sup> , 50Hz, 三根 120mm <sup>2</sup> 的导线, 一根 50mm <sup>2</sup> 的中性线 * 国家标准 GB156—1993《标准电压》中的相应电压写法为 220/380V, 斜线左边为相电压, 右边为线电压 (编者注)	
1.4		柔性连接	=
1.5		屏蔽导体 注: (1) 如果几根导体包含在同一屏蔽内或同一电缆内, 或者绞合在一起, 但这些导体符号与其他导体符号互相混杂, 则可用本表序号 1.8 的画法 (2) 电缆、屏蔽或绞合线的符号可画在导线混合组符号的上边、下边或旁边。应用连在一起的指引线指到各个导线上来表示这些在同一屏蔽内或电缆内或绞合线组内的导线, 如序号 1.8 所示	=
1.6		绞合导线 (示出两根) 注: 参看序号 1.5 注	=
1.7		电缆中的导线 (示出三根) 注: 参看序号 1.5 注	=
1.8		示例: 五根导线, 其中箭头所指的两根在同一电缆 (或屏蔽) 内	=
1.9		导线或电缆的终端未连接	=
1.10		导线或电缆终端未连接, 并有专门的绝缘	=
2	连接、端子和支路符号		
2.1		连接; 连接点	=
2.2		端子	=
2.3		端子板 注: 可加端子标志 (编号)	=
2.4		形式 1 T 型连接	=
		形式 2 T 型连接 (在形式 1 中增加连接符号)	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	连接、端子和支路符号		
2.5		形式 1	导线的双重连接 形式 2 仅在设计 认为必要时使用
		形式 2	
2.6		支路 注：一组相同并重复并 联的电路的公共连接，应 以支路总数取代“n”，该数 字置于连接符号旁	=
		示例： 10 个等值的并联电阻	
2.7		导体的换位 相序变更 极性反向 注：符号用于多相或直 流电力电路。可标明换位 的导体	=
		示例：相序变更 [编者注]三相交流相序 代号采用 A、B、C 时，则 L1 改用 A、L3 改用 C	
2.8		中性点（在该点多重导 体连接在一起形成多相系 统的中性点）	=
		示例：三相同步发电机 （绕组每相两端引出，示出 外部中性点的三相同步发 电机）	
3	连接件符号		
3.1		插座；（连接器的）阴接 触件 注：用单线表示法表示 多接触件连接器的阴端	=
3.2		插头；（连接器的）阳接 触件 注：用单线表示法表示 多接触件连接器的阳端	=
3.3		插头和插座 注：同序号 3.1 和序号 3.2 注	=
3.4		多线 表示	=
		单线 表示	
3.5		形式 1	=
		形式 2	
接通的连接件			

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
3	连接件符号		
3.6		断开的连接片	=
4	电缆装配附件符号		
4.1		电缆密封终端（表示带 有一根三芯电缆）	=
4.2		电缆密封终端（表示带 有三根单芯电缆）	=
4.3		多线 表示	=
		单线 表示	
4.4		多线 表示	=
		单线 表示	
直通接线盒（表示 带有三根导线）			
电缆接线盒（表示 带 T 型连接的三根导 线）			
5	仅用于理解旧的简图的旧符号 （GB/T4728.3—1988 附录）		
5.1		插座（内孔的）或插座 的一个极	
5.2		插头（凸头的）或插头 的一个极	
5.3		插头和插座（凸头的和 内孔的）	
5.4		单线 表示	=
		多线 表示	
导线的交叉示例 连接（点）			
导线的交叉示例			
5.5		单线 表示	=
		多线 表示	
导线的非连接			
导线的非连接示例			
5.6		可拆卸的端子	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
5	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.3—1988 附录)		
5.7		示出带三芯电缆	电缆密封终端头
		不需示出电缆芯数时	

\* 序号 5.1~序号 5.3 的符号在 IEC617-3:1983 中有,且在 GB4728.3—1984 中被采用;而现在 IEC617-3:1996 已予取消, GB/T4728.3—1998 作为“提示的附录”,“仅用作理解旧的简图”。序号 5.4~序号 5.7 的符号系 GB4728.3—1984 中非 IEC 部分,现 GB/T4728.3—1998 也只作为“提示的附录”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者,表示与 IEC617-3:1996 等同。

(3) 常用的无源元件符号。如表 1-33 所示。

表 1-33 常用的无源元件符号  
(据 GB/T4728.4—1999)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	电 阻 器 符 号		
1.1		电阻器,一般符号	=**
1.2		可调电阻器	=
1.3		压敏电阻器;变阻器	=
1.4		带滑动触点的电阻器	=
1.5		带滑动触点和断开位置的电阻器	=
1.6		带滑动触点的电位器	=
1.7		带固定抽头的电阻器(示出两个抽头)	=
1.8		分路器 带分流和分压端子的电阻器	=
1.9		碳堆电阻器	=
1.10		电热元件	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	电 容 器 符 号		
2.1		电容器,一般符号	=
2.2		穿心电容器 旁路电容器	=
2.3		极性电容器(例如电解电容)	=
2.4		可调电容器	=
2.5		预调电容器	=
2.6		差动可调电容器	=
2.7		定片分离可调电容器	=
2.8		热敏极性电容器(利用其热敏特性,例如陶瓷电容器)	=
2.9		压敏极性电容器(利用其压敏特性,例如半导体电容器)	=
3	电 感 器 符 号		
3.1		电感器;线圈;绕组;扼流圈(若表示带磁芯的电感器,可以在该符号上加一条平行线;若磁芯为非磁性材料可加注释;若磁芯有间隙,这条线可断开画)	=
3.2		示例:带磁芯的电感器	=
3.3		磁芯有间隙的电感器	=
3.4		带磁芯连续可变电感器	=
3.5		带固定抽头的电感器(示出两个抽头)	=
3.6		可变电感器	=



续表

序号	图形符号	说 明	IEC
4	其他符号		
4.1		具有两个电极的压电晶体	=
4.2		延迟线, 一般符号 延迟元件, 一般符号	=
5	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.4-1999 附录)		
5.1*		电阻器, 一般符号	
5.2		电容器, 一般符号	
5.3		极性电容器	
5.4		可变电容器 可调电容器	
5.5		微调电容器	
5.6		电感; 线圈; 绕组; 扼流圈	
5.7		热敏电阻器 注: $\theta$ 可用 $t^\circ$ 代替	
5.8		0.125W 电阻器	
5.9		0.25W 电阻器	
5.10		0.5W 电阻器	
5.11		1W 电阻器 (注: 大于 1W 电阻器用阿拉伯数字表示)	
5.12		熔断电阻器	
5.13		两个固定抽头的可变电阻器	
5.14		双联同调可变电容器	
5.15		移相电容器	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
5	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.4-1999 附录)		
5.16		可变延迟线	

\* 序号 5.1~序号 5.6 的符号在 IEC60617-4:1983 中有, 且在 GB4728.4-1985 中被采用; 而现在 IEC60617-4:1996 已予取消, GB/T4728.4-1999 作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”; 序号 5.7~序号 5.16 的符号系 GB4728.4-1985 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.4-1999 也只作为“提示的附录”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC60617-4:1996 等同。

(4) 常用的半导体管和电子管符号。如表 1-34 所示。

表 1-34 常用的半导体管和电子管符号  
(据 GB/T4728.5-2000)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	半导体二极管示例		
1.1		半导体二极管, 一般符号	=**
1.2		发光二极管 (LED), 一般符号	=
1.3		热敏二极管	=
1.4		变容二极管	=
1.5		隧道二极管; 江崎二极管	=
1.6		单向击穿二极管; 电压调整二极管; 齐纳二极管	=
1.7		双向击穿二极管	=
1.8		反向二极管 (单隧道二极管)	=
1.9		双向二极管	=
2	晶体闸流管示例		
2.1		反向阻断二极晶体闸流管	=
2.2		反向导通二极晶体闸流管	=
2.3		双向二极晶体闸流管 双向开关二极管	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	晶体闸流管示例		
2.4		无指定形式的三极晶体闸流管 注：若没有必要指定控制极的类型时，本符号用于表示反向阻断三极晶体闸流管	=
2.5		反向阻断三极晶体闸流管，N型控制极（阳极侧受控）	=
2.6		反向阻断三极晶体闸流管，P型控制极（阴极侧受控）	=
2.7		可关断三极晶体闸流管，未指定控制极	=
2.8		可关断三极晶体闸流管，N型控制极（阳极侧受控）	=
2.9		可关断三极晶体闸流管，P型控制极（阴极侧受控）	=
2.10		反向阻断四极晶体闸流管	=
2.11		双向三极晶体闸流管 三端双向晶体闸流管	=
2.12		反向导通三极晶体闸流管，未指定控制极	=
2.13		反向导通三极晶体闸流管，N型控制极（阳极侧受控）	=
2.14		反向导通三极晶体闸流管，P型控制极（阴极侧受控）	=
3	半导体管示例		
3.1		PNP 半导体管	=
3.2		集电极接管壳的 NPN 半导体管	=
3.3		NPN 雪崩半导体管	=
3.4		具有 P 型双基极的单结半导体管	=
3.5		具有 N 型双基极的单结半导体管	=
3.6		具有横向偏压基极的 NPN 半导体管	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
3	半导体管示例		
3.7		与本征区有欧姆接触的 PNIP 半导体管	=
3.8		与本征区有欧姆接触的 PNIN 半导体管	=
3.9		N 型沟道结型场效应半导体管 注：栅极与源极的引线应绘在一直线上 	=
3.10		P 型沟道结型场效应半导体管	=
3.11		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 增强型、单栅、P 型沟道、衬底无引出线	=
3.12		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 增强型、单栅、N 型沟道、衬底无引出线	=
3.13		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 增强型、单栅、P 型沟道、衬底有引出线	=
3.14		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 增强型、单栅、N 型沟道、衬底与源极内部连接	=
3.15		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 耗尽型、单栅、N 型沟道、衬底无引出线	=
3.16		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 耗尽型、单栅、P 型沟道、衬底无引出线	=
3.17		绝缘栅场效应半导体管 (IGFET) 耗尽型、双栅、N 型沟道、衬底有引出线 注：在多栅的情况下，主栅和源极的引出线应绘在一直线上	=
3.18		绝缘栅双极半导体管 (IGBT) 增强型、P 沟道 注：字母 E、G 和 C 分别表示发射极、栅极和集电极的端子名，若不会引起混淆，字母可省略	=
3.19		绝缘栅双极半导体管 (IGBT) 增强型、N 沟道	=
3.20		绝缘栅双极半导体管 (IGBT) 耗尽型、P 沟道	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
3	半导体管示例		
3.21		绝缘栅双极半导体管 (IGBT) 耗尽型、N沟道	=
4	光敏和磁敏器件示例		
4.1		光敏电阻; 光电导管 具有对称导电性的光电器件	=
4.2		光电二极管 具有非对称导电性的光电器件	=
4.3		光电池	=
4.4		光电半导体管 (示出 PNP 型)	=
4.5		具有四根引出线的霍尔发生器	=
4.6		磁敏电阻 (示出线性型)	=
4.7		磁耦合器件 磁隔离器	=
4.8		光耦合器件 光隔离器 (示出发光二极管和光电半导体管)	=
4.9		具有光阻挡槽光耦合器件 (示出机械阻挡)	=
5	电子管示例		
5.1		直热式阴极三极管	=
5.2		间热管 间热式阴极充气三极管	=
5.3		抑制极与阴极间有内连接的 间热式阴极五极管	=
5.4		间热式三极-六极管	=
5.5		间热式阴极调谐指示管 (电眼)	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
5	电子管示例		
5.6		光电管 光电发射二极管	=
5.7		引燃管	=
6	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.5—2000 附录)		
6.1*		整流结	
6.2		阶跃恢复二极管	
6.3		体效应二极管	
6.4		光控晶体闸流管	
6.5		N 沟道结型场效应半导体对管	
6.6		半导体激光器	
6.7		发光数码管	
6.8		磁敏二极管	
6.9		NPN 型磁敏半导体管	
6.10		光电二极管型光耦合器	
6.11		直热式阴极二极管	
6.12		间热式阴极二极管	
6.13		间热式阴极三极管	
6.14		充气二极管	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
6	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.5—2000 附录)		
6.15		稳流管	

\* 序号 6.1 的符号在 IEC617-5: 1983 中有, 且在 GB4728.5—1985 中被采用; 现 IEC617-5: 1996 已予取消, GB/T4728.5—2000 作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”。序号 6.2~序号 6.15 的符号(其他还有 107 个符号, 从略)系 GB4728.5 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.5—2000 也只作为“提示的附录”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC617-5: 1996 等同。

(5) 常用的电能发生与转换符号。如表 1-35 所示。

表 1-35 常用的电能发生与转换符号  
(据 GB/T4728.6—2000)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	绕组内部连接符号		
1.1		两相绕组	==
1.2		V 形 (60°) 连接的三相绕组	=
1.3		中性点引出的四相绕组	=
1.4		三角形连接的三相绕组 注: 本符号用加注数字表示相数, 可用于表示多边形连接的多相绕组	=
1.5		开口三角形连接的三相绕组	=
1.6		星形连接的三相绕组 注: 本符号用加注数字表示相数, 可用于表示星形连接的多相绕组	=
1.7		中性点引出的星形连接的三相绕组	=
1.8		曲折形或互联星形的三相绕组	=
1.9		双三角形连接的六相绕组	=
1.10		星形连接的六相绕组	=
2	电机符号		
2.1		换向绕组或补偿绕组	=
		串励绕组	
		并励绕组或其他励绕组	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	电机符号		
2.2		电刷 (集电环或换向器上的) 注: 仅在必要时标出电刷	=
2.3		电机的一般符号 符号内的星号用下述字母之一代替: C—旋转变流机; G—发电机; GS—同步发电机; M—电动机; MG—能作为发电机或电动机使用的电机; MS—同步电动机	=
2.4		直线电动机, 一般符号	=
2.5		步进电动机, 一般符号	=
2.6		手摇发电机	=
2.7		直流串励电动机	=
2.8		直流并励电动机	=
2.9		短分路复励直流发电机 (示出接线端子和电刷)	=
2.10		单相串励电动机	=
2.11		单相排斥电动机	=
2.12		三相串励电动机	=
2.13		三相永磁同步发电机	=
2.14		单相同步电动机	=
2.15		中性点引出的星形连接的三相同步发电机	=

续表

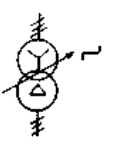
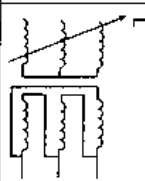
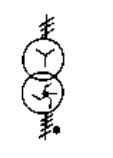
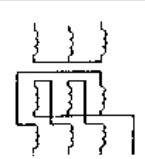

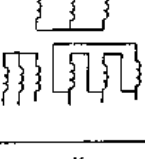
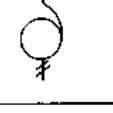
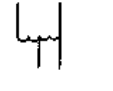

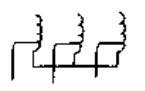
续表





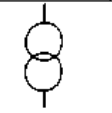
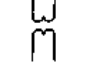
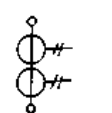
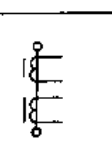
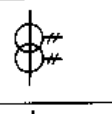

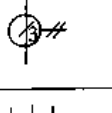
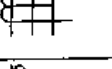
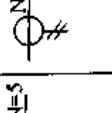
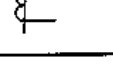
序号	图形符号	说明	IEC
2	电机符号		
2.16		三相鼠笼式感应电动机	=
2.17		单相鼠笼式有分相绕组引出端的感应电动机	=
2.18		三相绕线式转子感应电动机	=
2.19		有自动起动器的三相星形连接的感应电动机	=
2.20		限于一个方向运动的三相直线感应电动机	=
感应型(异步)电机示例			
3	变压器和电抗器符号		
3.1		形式1 双绕组变压器	=
		形式2 双绕组变压器	
		形式3 双绕组变压器 (示出瞬时电压极性)	
3.2		形式1 三绕组变压器	=
		形式2 三绕组变压器	
3.3		形式1 自耦变压器	=
		形式2 自耦变压器	
3.4		形式1 扼流圈电抗器	=
		形式2 扼流圈电抗器	
3.5		形式1 电流互感器	=
		形式2 电流互感器	
变压器和电抗器的一般符号			

序号	图形符号	说明	IEC
3	变压器和电抗器符号		
3.6		形式1 绕组间有屏蔽的双绕组单相变压器	=
		形式2 绕组间有屏蔽的双绕组单相变压器	
3.7		形式1 在一个绕组上有中心点抽头的变压器	=
		形式2 在一个绕组上有中心点抽头的变压器	
3.8		形式1 星形-三角形连接的三相变压器	=
		形式2 星形-三角形连接的三相变压器	
3.9		形式1 具有4个抽头的星形-星形连接的三相变压器(每个初级绕组除其端头外,还示出4个可用的连接点)	=
		形式2 具有4个抽头的星形-星形连接的三相变压器(每个初级绕组除其端头外,还示出4个可用的连接点)	
3.10		形式1 单相变压器组成的三相变压器(星形-三角形连接)	=
		形式2 单相变压器组成的三相变压器(星形-三角形连接)	
具有独立绕组的变压器示例			

续表

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
3	变压器和电抗器符号		
3.11		形式 1 具有有载分接开关的三相变压器 (星形-三角形连接)	=
		形式 2	
3.12		具有独立绕组的变压器示例 形式 1 三相变压器 (星形-曲折形中性点引出的连接)	=
			
3.13		形式 1 三相变压器 (星形-星形-三角形连接)	=
			
3.14		形式 1 单相自耦变压器	=
			
3.15		形式 1 三相自耦变压器 (星形连接)	=
			

序号	图形符号	说 明	IEC
3	变压器和电抗器符号		
3.16		自耦变压器示例 形式 1 可调压的单相自耦变压器	=
			
3.17		感应调压器示例 形式 1 三相感应调压器	=
			
3.18		形式 1 电压互感器	=
			
3.19		形式 1 具有两个铁芯, 每个铁芯有一个次级绕组 电流互感器 注: 在初级电路符号表明只是使每个端子一个用了一个端子符号可以省略 形式 2 中铁芯符号可以略去	=
			
3.20		形式 1 在一个铁芯上具有两个次级绕组的电流互感器 注: 形式 2 的铁芯符号必须画出	=
			
3.21		形式 1 具有三条穿线一次导体的电流互感器或脉冲变压器	=
			
3.22		形式 1 初级绕组为 5 匝导体贯穿的电流互感器	=
			

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
4	电能变换器符号		
4.1		变换, 一般符号	=
4.2		直流/直流变换器	=
4.3		整流器	=
4.4		桥式全波整流器	=
4.5		逆变器	=
4.6		整流器/逆变器	=
5	原电池、蓄电池和电池组符号		
5.1		原电池、蓄电池 原电池或蓄电池组 注: 长线代表阳极, 短线代表阴极	=
6	电能发生器符号		
6.1		无旋转电能发生器, 一般符号 注: 旋转的电能发生器用序号 2.3 符号	=
6.2		热源, 一般符号	=
6.3		用燃烧热源的热电发生器 (示例)	=
6.4		光电发生器 (示例)	=
7	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.6-2000 附录)		
7.1*		形式 1	原电池组或蓄电池组
		形式 2	
7.2		带抽头的原电池组或蓄电池组	

\* 序号 7.1 的符号在 IEC617-6: 1983 中有, 且在 GB4728.6-1984 中被采用; 而现在 IEC617-6: 1996 已予取消, GB/T4728.6-1998 作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”。序号 7.2 的符号 (其他还有 55 个符号, 从略) 第 GB4728.6-1984 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.6-1998 也只作为“提示的附录”。表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC617-6: 1996 等同。

(6) 常用的开关、控制和保护器件符号。如表 1-36 所示。

表 1-36 常用的开关、控制和保护器件符号 (据 GB/T4728.7-2000)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	触点 (触头) 的限定符号		
1.1		接触器功能	=**
1.2		断路器功能	=
1.3		隔离开关功能	=
1.4		负荷开关功能	=
1.5		自动释放功能	=
1.6		位置开关功能	=
1.7		自动返回功能 (例如弹性返回)	=
1.8		无自动返回功能 (保持原位)	=
2	触点符号示例		
2.1	形式 1	动合 (常开) 触点 注: 本符号也可以用作开关一般符号	=
	形式 2		
2.2		动断 (常闭) 触点	=
2.3		先断后合的转换触点	=
2.4		中间断开的双向转换触点	=
2.5	形式 1	先合后断的转换触点	=
	形式 2		
2.6		当操作器件被吸合时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
2.7		当操作器件被释放时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
2.8		当操作器件被吸合或释放时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
2.9		(多触点组中) 比其他触点提前吸合的动合触点	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	触点符号示例		
2.10		(多触点组中)比其他触点滞后吸合的动合触点	=
2.11		(多触点组中)比其他触点滞后释放的动断触点	=
2.12		(多触点组中)比其他触点提前释放的动断触点	=
2.13		当操作器件被吸合时延时闭合的动合触点	=
2.14		当操作器件被释放时延时断开的动合触点	=
2.15		当操作器件被吸合时延时断开的动断触点	=
2.16		当操作器件被释放时延时闭合的动断触点	=
2.17		有自动返回的动合触点	=
2.18		无自动返回的动合触点	=
2.19		有自动返回的动断触点	=
2.20		左边有自动返回、右边无自动返回的中间断开的双向触点	=
3	开关和开关装置符号		
3.1		手动操作开关, 一般符号	=
3.2		具有动合触点且自动复位的按钮开关	=
3.3		具有动合触点且自动复位的拉拔开关	=
3.4		具有动合触点但无自动复位的旋转开关	=
3.5		位置开关(动合触点)	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
3	开关和开关装置符号		
3.6		位置开关(动断触点)	=
3.7		热敏开关(动合触点) 注: $\theta$ 可用动作温度代替	=
3.8	形式1 	形式2 	开关
3.9		接触器 接触器的主动合触点(在非动作位置触点断开)	=
3.10		具有由内装的测量继电器或脱扣器触发的自动释放功能的接触器	=
3.11		接触器 接触器的主动断触点(在非动作位置触点闭合)	=
3.12		断路器	=
3.13		隔离开关	=
3.14		具有中间断开位置的双向隔离开关	=
3.15		负荷开关(负荷隔离开关)	=
3.16		具有由内装的测量继电器或脱扣器触发的自动释放功能的负荷开关	=
3.17		手工操作带有闭锁器件的隔离开关	=
3.18		三个动断主触点具有正向断开操作而辅助动合触点无正向操作的开关	=
4	电动机起动器的方框符号		
4.1		电动机起动器, 一般符号 注: 特殊类型的起动器可以在一般符号内加上限定符号	=
4.2		步进起动器 注: 起动步数可以示出	=



续表

序号	图形符号	说 明	IEC
4	电动机起动器的方框符号		
4.3		调节-起动器	=
4.4		星-三角起动器	=
4.5		自耦变压器式起动器	=
4.6		带可控硅整流器的调节-起动器	=
5	机电式有或无继电器操作器件		
5.1		形式1 操作器件。一般符号 继电器线圈一般符 号 注：具有几个绕组的 操作器件，可以由包含 在内的适当数量的斜 线来表示	=
		形式2	
5.2		形式1 示例： 具有两个独立绕组的 操作器件组合表示 法	=
		形式2	
5.3		形式1 示例： 具有两个独立绕组的 操作器件分立表示 法	=
		形式2	
5.4		缓慢释放(缓放)继电器的 线圈	=
5.5		缓慢吸合(缓吸)继电器的 线圈	=
5.6		缓吸和缓放继电器的线圈	=
5.7		快速继电器(快吸和快放) 的线圈 [编者注]本符号可作为中 间继电器线圈符号 <sup>[42]</sup>	=
5.8		机械保持继电器的线圈 [编者注]本符号可作为信 号继电器线圈符号 <sup>[42]</sup>	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
5	机电式有或无继电器操作器件		
5.9		极化继 电器的 线圈	=
		注：极性圆点(•) 用以表示通过极化 继电器绕组的电流 方向与按如下方式 连接方式连接的动 触点的运动之间的 关系；当标有极点的 绕组端子相对于另 一绕组端子是正极 时，动触点朝着标有 圆点的位置运动  示例： 具有两 个稳 定 位置 的极 化继 电器	
5.10		热继电器的驱动器件	=
5.11		电子继电器的驱动器件	=
6	测量继电器和有关器件		
6.1		测量继电器，或与之有关 的器件 注：(1)星号(★)必须由 表示这个器件参数的一个或 多个字母或限定符号按下述 顺序代替：特性量及其变化 方式、能量流动方向、整定范 围、重整定比(复位比)、延 时作用、延时值 (2)此符号可作为整个器 件的功能符号或仅表示器件 的驱动元件	=
6.2		零电压继电器 注：序号6.2~6.11均为 测量继电器示例	=
6.3		逆电流继电器	=
6.4		欠功率继电器	=
6.5		延时过流继电器	=
6.6		具有两个测量元件、整定 范围从5~10A的过流继电 器	=
6.7		欠压继电器 (整定范围从50~80V重 整定比130%)	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
6	测量继电器和有关器件		
6.8		有最大和最小整定值的电流继电器 (示出限值 3A 和 5A)	=
6.9		欠阻抗继电器	=
6.10		具有一路在电流大于 5 倍整定值动作、另一路为反延时特性的两路输出的过流继电器	=
6.11		瓦斯保护器件(气体继电器) [编者注]气体继电器通称“瓦斯继电器”	=
7	接近和接触敏感器件		
7.1		接近传感器	=
7.2		接触传感器	=
7.3		接触敏感开关动合触点	=
7.4		接近开关动合触点	=
7.5		磁铁接近时动作的接近开关, 动合触点	=
8	熔断器和熔断器式开关		
8.1		熔断器一般符号	=
8.2		熔断器式开关	=
8.3		熔断器式隔离开关	=
8.4		熔断器式负荷开关	=
9	火花间隙和避雷器		
9.1		火花间隙	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
9	火花间隙和避雷器		
9.2		双火花间隙	=
9.3		避雷器	=
10	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728. 7--2000 附录)		
10.1*		当操作器件被释放时延时断开的动合触点	
10.2		当操作器件被吸合时延时断开的动断触点	
10.3		单线表示 多极开关, 一般符号 多线表示	
10.4		可调延时特性	
10.5		跌落式熔断器 [编者注]按新国标 GB/T4728. 7—2000 规定, 一般跌落式熔断器可采用本表序号 8.3 “熔断器式隔离开关”的图形符号, 负荷型跌落式熔断器可采用本表序号 8.4 “熔断器式负荷开关”的图形符号, 而相应的文字符号建议分别采用 FD 和 FDL (参看表 1-43)	

\* 序号 10.1~序号 10.5 的符号系 GB4728.7-1984 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.7-2000 只作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC617-7: 1996 等同。

(7) 常用的测量仪表、灯和信号器件符号, 如表 1-37 所示。

(8) 常用的建筑安装平面布置图符号, 如表 1-38~表 1-40 所示。

表 1-37 常用的测量仪表、灯和信号器件符号  
(据 GB/T4728.8-2000)

序号	图形符号	说 明	IEC
1	测量仪表通用符号		
1.1		指示仪表 注：图形符号内的星号必须被下列之一代替： (1) 被测量单位的文字符号或倍数、约数	=..
1.2		记录仪表	=
1.3		积算仪表 (如电能表) (2) 被测量的文字符号 (3) 化学分子式 (4) 图形符号	=
2	指示仪表示例		
2.1		电压表	=
2.2		无功电流表	=
2.3		积算仪表激励的最大需量指示器	=
2.4		无功功率表	=
2.5		功率因数表	=
2.6		相位表	=
2.7		频率表	=
2.8		同步指示器	=
2.9		波长表	=
2.10		示波器	=
2.11		差动式电压表	=
2.12		检流计	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
2	指示仪表示例		
2.13		盐度计	=
2.14		温度计 高温计	=
2.15		转速表	=
3	记录仪表示例		
3.1		记录式功率表	=
3.2		组合式记录功率表和无功功率表	=
3.3		录波器	=
4	积算仪表示例		
4.1		小时计 计时器	=
4.2		安培小时计	=
4.3		电度表 (瓦時計) [编者注] 又称“有功电能表”	=
4.4		电度表 (仅测量单向传输能量)	=
4.5		电度表 (计算从母线流出的能量)	=
4.6		电度表 (计算流向母线的能量)	=
4.7		电度表 (计算输出或输入的双向流动能量)	=
4.8		复费率电度表 (示出二费率)	=
4.9		超量电度表	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
4	积算仪表示例		
4.10		带发送器电度表	=
4.11		从动电度表 (转发器)	=
4.12		从动电度表 (转发器), 带有打印装置	=
4.13		带最大需量指示器电度表	=
4.14		带最大需量记录器电度表	=
4.15		无功电度表 [编者注] 又称“无功电能表”	=
5	计数器件符号		
5.1		计数功能限定符号	=
5.2		脉冲计 (电动计数装置)	=
6	热 电 偶 符 号		
6.1	形式 1	热电偶 (示出极性符号) 注: 形式 2 的负极用粗线表示	=
	形式 2		
6.2		带有非绝缘加热元件的热电偶 注: 形式 2 为简化形式	=
6.3		带有绝缘加热元件的热电偶 注: 形式 2 为简化形式	=
7	遥 测 装 置 符 号		
7.1		信号变换器, 一般符号	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
8	电 子 钟 符 号		
8.1		钟, 一般符号 子钟	=
8.2		母钟	=
8.3		带有触点的钟	=
9	其他测量元件和仪表		
9.1		同步器件, 一般符号 注: 对于特定的同步器件其星号必须用适当的字母代替, 根据同步器件功能使用下列字母: 第一位字母: C——控制式; T——转矩式; R——旋转变压器 (解算器) 第二位字母: D——差动; R——接收机; T——变压器; X——发送机; B——旋转定子绕组 在这些符号内, 内圆表示转子, 外圆表示定子, 或在一定情况下表示一个旋转的外绕组	=
9.2		力矩发送机	=
9.3		陀螺仪	=
10	灯 和 信 号 装 置		
10.1		灯, 一般符号	=
		信号灯, 一般符号 注: (1) 如果要求指示颜色, 则在靠近符号处标出下列代码: RD——红; YE——黄; GN——绿; BU——蓝; WH——白 (2) 如果要求指示灯类型, 则在靠近符号处标出下列代码: Ne——氖; Xe——氙; Na——钠气; Hg——汞; I——碘; IN——白炽; EL——电发光; ARC——弧光; FL——荧光; IR——红外线; UV——紫外线; LED——发光二极管	
10.2		闪光型信号灯	=
10.3		机电型指示器; 信号元件	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
10	灯和信号装置		
10.4		带有一个断开位置和两个工作位置的机电型位置指示器	=
10.5		电喇叭	=
10.6		电铃 (优选形)	=
10.7		单击电铃	=
10.8		报警器	=
10.9		蜂鸣器 (优选形)	=
10.10		电动气笛	=
10.11		由内置变压器供电的指示灯	=
11	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.8-2000 附录)		
11.1*		遥测发送器	
11.2		遥测接收器	
11.3		电铃 (其他形式)	
11.4		蜂鸣器 (其他形式)	
11.5		和量仪表 (示出电流和量)	
11.6		极性表	
11.7		静电计	

\* 序号 11.1~序号 11.4 的符号 (尚有其他 4 个符号, 从略) 在 IEC60617-8:1983 中有, 且在 GB4728.8-1984 中被采用; 而现在 IEC60617-8:1996 已予取消, GB/T4728.8-2000 作为“提示的附录”, “仅用作理解旧的简图”。序号 11.5~序号 11.7 的符号系 GB4728.8-1984 中非 IEC 部分, 现 GB/T4728.8-2000 也只作为“提示的附录”。

\*\* 表中“IEC”栏内标“=”者, 表示与 IEC60617-8:1996 等同。

表 1-38 发电站和变电所的平面布置图符号 (据 GB/T4728.11-2000)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
	规划 (设计) 的	运行的或未加规定的		
1	一 般 符 号			
1.1*			发电站	=
1.2			热电站	=
1.3			变电所, 配电所	=
2	各种发电站和变电所符号			
2.1			水力发电站	=
2.2			火力发电站	=
2.3			核能发电站	=
2.4			地热发电站	=
2.5			太阳能发电站	=
2.6			风力发电站	=
2.7			等离子体发电站 MHD (磁流体发电)	=
2.8			变流所 (示出由直流变交流)	=
3	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11-2000 附录)			
3.1**			移动发电站	
3.2			变电所 (示出改变电压)	
3.3			杆上变电站	
3.4			移动变电所	
3.5			防爆式移动变电所	

续表

序号	图形符号		说明	IEC
	规划(设计)的	运行的或未加规定的		
3			仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11-2000 附录)	
3.6			地下变电所	

\* 发电站一般符号的方形也可以用矩形代替。在小比例的地图上,可用完全填满的面积代替画阴影线的面积。  
\*\* 序号 3.1~3.6 的符号系 GB4728.11-1985 中非 IEC 部分,现 GB/T4728.11-2000 已予取消。

表 1-39 线路及设备的平面布置图符号  
(据 GB/T4728.11-2000)

序号	图形符号	说明	IEC
1	线路符号		
1.1		地下线路	=
1.2		水下(海底)线路	=
1.3		架空线路	=
1.4		管道线路(注:附加信息可标注在管道线路的上方,如管孔的数量) 示例:6孔管道的线路	=
1.5		过孔线路	=
1.6		具有埋入地下连接点的线路	=
1.7		具有充气或注油堵头的线路	=
1.8		具有充气或注油截止阀的线路	=
1.9		具有旁路的充气或注油堵头的线路	=
1.10		电信线路上交流供电	=
1.11		电信线路上直流供电	=
2	专用导线的识别符号		
2.1		中性线(N线)	=
2.2		保护线(PE线)	=
2.3		保护线和中性线共用线(PEN线)	=

续表

序号	图形符号	说明	IEC				
2	专用导线的识别符号						
2.4		示例:具有中性线和保护线的三相配线	=				
3	配线符号						
3.1		向上配线 (若箭头指向图纸的上方,向上配线)	=				
3.2		向下配线 (若箭头指向图纸的下方,向下配线)	=				
3.3		垂直通过配线	=				
3.4		盒,一般符号	=				
3.5		连接盒;接线盒	=				
3.6		用户端;供电输入设备 (示出带配线)	=				
3.7		配电中心(示出五路馈线)	=				
4	插座符号						
4.1		(电源)插座,一般符号	=				
4.2	<table border="1"> <tr> <td>形式1</td> <td>形式2</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	形式1	形式2			(电源)多个插座(示出三个)	=
形式1	形式2						
4.3		带保护接点(电源)插座	=				
4.4		带护板的(电源)插座	=				
4.5		带单极开关的(电源)插座	=				
4.6		带联锁开关的(电源)插座	=				
4.7		具有隔离变压器的插座 (示例:电动剃刀用插座)	=				
4.8		电信插座,一般符号 注:根据有关的 IEC 或 ISO 标准,可用以下的文字或符号区别不同插座: TP—电话 FX—传真 M—传声器 —扬声器 FM—调频 TV—电视 TX—电传	=				

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
5	开 关 符 号		
5.1		开关, 一般符号	=
5.2		带指示灯的开关	=
5.3		单极限时开关	=
5.4		双极开关	=
5.5		多拉单极开关 (如用于不同照度)	=
5.6		双控单极开关	=
5.7		中间开关 等效电路图 如右:	=
5.8		调光器	=
5.9		单极拉线开关	=
5.10		按钮	=
5.11		带有指示灯的按钮	=
5.12		防止无意操作的按钮 (例如借助打碎玻璃罩)	=
5.13		限时设备; 定时器	=
5.14		定时开关	=
5.15		钥匙开关; 看守系统装置	=
6	照 明 引 出 线 和 附 件 符 号		
6.1		照明引出线位置 (示出配线)	=
6.2		在墙上的照明引出线 (示出来自左边的配线)	=
6.3		灯, 一般符号	=

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
6	照 明 引 出 线 和 附 件 符 号		
6.4		荧光灯, 一般符号 发光体, 一般符号 示例: 三管荧光灯 示例: 五管荧光灯	=
6.5		投光灯, 一般符号	=
6.6		聚光灯	=
6.7		泛光灯	=
6.8		气体放电灯的辅助设备 注: 仅用于辅助设备与光源不在一起时	=
6.9		在专用电路上的事故照明灯	=
6.10		自带电源的事故照明灯	=
7	其 他 设 备 符 号		
7.1		热水器 (示出引线)	=
7.2		风扇 (示出引线)	=
7.3		时钟 时间记录器	=
7.4		电锁	=
7.5		对讲电话机, 如入户电话	=
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11-2000 附录)		
8.1*		沿建筑物明敷设通信线路	
8.2		沿建筑物暗敷设通信线路	
8.3		电气排流电缆	
8.4		挂在钢索上的线路	
8.5		事故照明线	

续表

序号	图形符号	说明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.6		50V 及以下电力和照明线路	
8.7		控制及信号线路 (电力和照明用)	
8.8		用单线表示的多种线路	
8.9		用单线表示的多回路线路 (或电缆管束)	
8.10		母线, 一般符号 当需要区别交直流时: (1) 交流母线 (2) 直流母线	
8.11		装在支柱上的封闭式母线	
8.12		装在吊钩上的封闭式母线	
8.13		滑触线	
8.14		电杆的一般符号 (单杆、中间杆) 注: 可加文字符号表示: A—杆材或所属部门 B—杆长 C—杆号	
8.15		单接腿杆 (单接杆)	
8.16		双接腿杆 (品接杆)	
8.17		H形杆	
8.18		L形杆	
8.19		A形杆	
8.20		三角杆	
8.21		四角杆 (井形杆)	
8.22		试线杆	
8.23		分区杆 (S杆)	

续表

序号	图形符号	说明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.24		带撑杆的电杆	
8.25		带撑拉杆的电杆	
8.26		引上杆 (注: 小黑点表示电缆)	
8.27		带照明的电杆  (1) 一般画法: a—编号; b—杆型; c—杆高; d—容量; A—连接相序 (2) 需要示出灯具的投照方向时 (3) 需要时允许加画灯具本身图形	
8.28		活动电杆	
8.29		投光灯塔架 T—投光灯塔; C—装在建筑物顶上的投光灯架; a—编号; b—投光灯型号; c—容量; d—投光灯安装高度; e—塔架高度; A—连接相序; $\theta$ —偏角; $\alpha$ —俯角 注: 投照方向偏角的基准线可以是坐标轴线或其他基准线	
8.30		装有投光灯的架空线电杆 (1) 一般画法 (2) 需要时允许加画投光灯图形  a—编号; b—投光灯型号; c—容量; d—投光灯安装高度; A—连接相序; $\theta$ —偏角; $\alpha$ —俯角 注: 按照方向偏角的基准线可以是坐标轴线或其他基准线	
8.31		电信电杆上装设避雷线	
8.32		电杆上装设带有火花间隙的避雷线	
8.33		电杆上装设放电器 注: 可在 A 处标注放电器型号	



续表

序号	图形符号	说 明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.34		电杆保护用围桩(河中打桩杆)	
8.35		分水桩	
8.36	形式1	拉线一般符号(示出单 方拉线)	
	形式2		
8.37		有V形拉线的电杆	
8.38		有高桩拉线的电杆	
8.39		装设单担的电杆	
8.40		装设双担的电杆	
8.41		装设双十字担的电杆	
8.42		装设单十字担的电杆	
8.43		电缆铺砖保护	
8.44		电缆穿管保护	
8.45		电缆上方敷设防雷排流 线	
8.46		电缆预留; 电缆伸缩接 头	
8.47		电缆中间接线盒	
8.48		电缆分支接线盒	
8.49		接地 装置	(1) 有接地极 (2) 无接地极
8.50		电力电 缆与其他 设施 交叉点 交叉点 编号	(1) 电缆无保护 (2) 电缆有保护
8.51		屏、台、箱、柜一般符号	
8.52		动力或动力—照明配电 箱 注: 需要时符号内可标 示电流种类符号	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.53		信号板、信号箱(屏)	
8.54		照明配电箱(屏) 注: 需要时允许涂红	
8.55		事故照明配电箱(屏)	
8.56		多种电源配电箱(屏)	
8.57		直流配电盘(屏)	
8.58		交流配电盘(屏)	
8.59		电动机起动器一般符号	
8.60		阀的一般符号	
8.61		电磁阀	
8.62		电动阀	
8.63		电磁分离器	
8.64		电磁制动器	
8.65		按钮盒	(1) 一般 或保护型按 钮盒
			一个按钮
			两个按钮
			(2) 密闭型按钮盒
			(3) 防爆型按钮盒
8.66		电阻加热装置	
8.67		电弧炉	
8.68		感应加热炉	
8.69		电解槽或电镀槽	
8.70		直流电焊机	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.71		交流电焊机	
8.72		探伤设备一般符号 注:星号“★”必须用不同的字母代替,以表示不同的探伤设备	
8.73		一般(序号4.1)	
		暗装	
		密闭(防水)	
8.74		一般(序号4.3)	
		暗装	
		密闭(防水)	
8.75		一般	
		暗装	
		密闭(防水)	
		防爆	
8.76		插座箱(板)	
8.77		带熔断器的插座	

续表

序号	图形符号	说 明	IEC
8	仅用于理解旧的简图的旧符号 (GB/T4728.11—2000 附录)		
8.78		一般	
		暗装	
		密闭(防水)	
		防爆	
8.79		一般(序号5.4)	
		暗装	
		密闭(防水)	
		防爆	
8.80		一般	
		暗装	
		密闭(防水)	
		防爆	
8.81		单极双控拉线开关	
8.82		防爆荧光灯	
8.83		警卫信号探测器	
8.84		警卫信号区域报警器	
8.85		警卫信号总报警器	

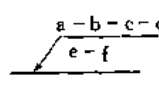
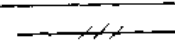
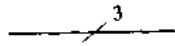
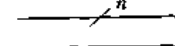
\* 序号8.1~序号8.85的符号系GB4728.11—1985中非IEC部分,现GB/T4728.11—2000只作为“提示的附录”,“仅用作理解旧的简图”。

\*\* 表示“IEC”栏内标“=”者,表示与IEC60617-11:1996等同。

表1-40 平面图上电气设备标准方法(据GB4728.11—1985附录参考件\*)

序号	标注方式	说 明	IEC
1	$\frac{a}{b}$ 或 $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$	用 电 设备 a—设备编号 b—额定功率(kW) c—线路首端熔断器熔体电流或自动开关脱扣器电流(A) d—安装标高(m)	

续表

序号	标注方式	说明		IEC	
2	$\frac{a}{b}$ 或 $a-b-c$	电力和照明设备	一般标注方法	a—设备编号 b—设备型号 c—设备功率 (kW) d—导线型号 e—导线根数 f—导线截面 (mm <sup>2</sup> ) g—导线敷设方式及部位	
	$\frac{b-c}{a}$ $\frac{b-c}{d(e \times f) - g}$		当需要标注引入线的规格时		
3	$\frac{a}{b}$ 或 $a-b-c/i$	开关及熔断器	一般标注方法	a—设备编号 b—设备型号 c—额定电流 (A) d—导线型号 e—导线根数 f—导线截面 (mm <sup>2</sup> ) g—导线敷设方式	
	$\frac{b-c/i}{a}$ $\frac{b-c/i}{d(e \times f) - g}$		当需要标注引入线的规格时		
4	a/b-c	照明变压器	a—一次电压 (V) b—二次电压 (V) c—额定容量 (VA)		
5	$a-b \frac{c \times d \times L}{e} f$	照明灯具	一般标注方法	a—灯数 b—型号或编号 c—每盏照明灯的灯泡数 d—灯泡容量 (W) e—灯泡安装高度 (m) f—安装方式 L—光源种类	
	$a-b \frac{c \times d \times L}{e}$		灯具吸顶安装		
6	⊙15	最低照度 (示出 15lx)			
7	●a	照明照度检查点	a—水平照度 (lx)		
	● $\frac{a-b}{c}$		a-b—双侧垂直照度 (lx) c—水平照度 (lx)		
8		电缆与其他设施交叉点	a—保护管根数 b—保护管直径 (mm) c—管长 (m) d—地面标高 (m) e—保护管埋设深度 (m) f—交叉点坐标		
9	$\nabla \pm 0.000$	安装或敷设标高 (m)	用于室内平面、剖面图上		
	$\nabla \pm 0.000$		用于总平面图上的室外地面		
10		导线根数	表示 3 根	当用单线表示一组导线时,若需要示出导线数,可用加小短斜线或画一条短斜线加数字表示	
			表示 3 根		
			表示 n 根		
11	$3 \times 16 \times 3 \times 10$	导线型号规格或敷设方式的改变	$3 \times 16 \text{mm}^2$ 导线改为 $3 \times 10 \text{mm}^2$		
	$\phi 2 \frac{1}{2} \times$		无穿管敷设改为导线穿管 ( $\phi 2 \frac{1}{2}$ ) 敷设		
12	V	电压损失 %			
13	-220V	直流电压 220V			
14	$m \sim fV$	交流电	m—相数; f—频率 (Hz); V—电压 (V)		
	3N~50Hz, 380V	示例	三相交流, 带中性线, 50Hz, 380V		

续表

序号	标注方式	说明		IEC
15	L1 L2 L3	交流系统相序	电源第一相 电源第二相 电源第三相	[编者注]三相交流相序,建议仍采用国际通用的A、B、C(不分电源和设备端)。对三相绕组,首端标A、B、C,末端标X、Y、Z <sup>[42]</sup>
	U V W		设备端第一相 设备端第二相 设备端第三相	
16	N	中性线		=
17	PE	保护线		=
18	PEN	保护中性线		=

\* GB/T4728.11—2000《电气简图用图形符号·第11部分:建筑安装平面布置图》中已予取消,这里列出供参考。

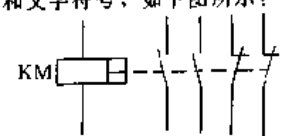
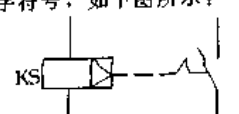
## 二、电气图形符号的使用与派生

如表 1-41 所示。



表 1-41 电气图形符号的使用与派生

序号	项目	说明
1	电气图形符号的使用要求(据 GB/T4728.1 等)	
1.1	符号的状态	GB/T4728.1 规定:“本标准规定的图形符号,均按无电压、无外力作用的正常状态示出”
1.2	符号的方位	GB/T4728.1 规定:“本标准示出的符号方位不是强制的。在不改变符号含义的前提下,符号可根据图面布置的需要旋转或成镜像放置,但文字和指示方向不得倒置” [编者注]关于“触点符号的取向”,GB/T6988.2—1997 规定:“当元件受激时,水平连接线的触点,动作向上;垂直连接线的触点,动作向右。”即触点符号一般宜采用“下开上闭,左开右闭”的形式
1.3	符号的大小	GB/T4728.1 规定:“为适应不同图样或用途的要求,可以改变彼此有关的符号的尺寸,如电力变压器和测量用互感器就经常采用不同大小的符号。本标准中的符号可根据需要缩小或放大。当一个符号用以限定另一个符号时,该符号常常缩小绘制。各符号缩小或放大时,各符号相互间及符号本身的比例应保持不变”
1.4	图线的粗细	GB/T4728.1 规定:“导线符号可以用不同宽度的线条表示” GB/T6988.1 也规定:“为突出或区分某些重要的电路,例如电源电路,可采用粗实线。必要时,允许采用两种以上的图线宽度”
1.5	符号的选用	GB/T4728.1 规定:“本标准中有些符号具有几种图形形式,‘优选形’是供优先采用的。在同一张电气图样中只能选用一种图形形式,图形符号的大小和线条的粗细亦应基本一致”
1.6	符号的派生	GB/T4728.1 规定:“本标准尽可能完整地给出符号要素、限定符号和一般符号,但只给出有限的组合符号的例子。如果某些特定装置或概念的符号在本标准中未作规定,允许通过已规定符号的适当组合进行派生”

续表

序号	项目	说明
2	电气图形符号的派生法则和示例 <sup>[2,42]</sup>	
2.1	电气图形符号的派生法则	(1) 应以同类设备、装置的一般符号为基础 (2) 应体现特定设备、装置的结构特点、功能和动作特性 (3) 配以特定设备、装置的文字符号
2.2	示例之一:中间继电器的图形符号和文字符号	电磁式中间继电器(详见表 7-9 序号 4): (1) 结构特点和功能:属机电式有或无继电器 (2) 动作特性:一般为快吸、快放(例外情况见注) (3) 文字符号:KM(K 为继电器大类代号, M 为中间 Medium 一词的英文缩写) (4) 图形符号:根据其结构特点、功能和动作特性,其线圈符号宜采用表 1-36 序号 5.7 所示“快速继电器”的线圈符号,加上其触点和文字符号,如下图所示:  注:对于具有缓吸缓放性能的中间继电器(如 DZS 型),其线圈可采用缓吸缓放线圈符号(表 1-36 序号 5.6)或有或无继电器线圈的一般符号(表 1-36 序号 5.1),其文字符号仍用 KM
2.3	示例之二:信号继电器的图形符号和文字符号	电磁式信号继电器(详见表 7-9 序号 5): (1) 结构特点和功能:属机电式有或无继电器,且具有机械保持结构 (2) 动作特性:继电器动作又失电后,其触点不能自动复位 (3) 文字符号:KS(K 为继电器大类代号, S 为信号 Signal 一词的英文缩写) (4) 图形符号:根据其结构特点、功能和动作特性,其线圈符号宜采用表 1-36 序号 5.8 所示“机械保持继电器”的线圈符号,而其触点上宜加表 1-31 序号 12.4 所示“非自动复位”的限定符号,旁边再加注信号继电器的文字符号,如下图所示: 

续表

序号	项目	说明
2	电气图形符号的派生法则和示例 <sup>[2, 42]</sup>	
2.4	示例之三: 自动开关(低压断路器)的图形符号和文字符号	<p>自动开关(低压断路器):</p> <p>(1) 从自动开关具有“自动释放功能”的特征来说, 自动开关的图形符号可以在采用表 1-36 序号 2.1 所示“开关一般符号”的基础上, 加上表 1-36 序号 1.5 所示“自动释放功能”的符号, 即自动开关的图形符号可表示为 , 其相应的文字符号可采用 QA (Q 为电力开关的大类代号, A 为自动开关 Auto-switch 的英文缩写)</p> <p>(2) 从自动开关具有“断路器”功能来说(自动开关又称低压断路器或自动空气断路器), 自动开关可采用一般断路器的图形符号, 即表示为 , 其相应的文字符号应采用 QF (GB7159—1987 规定)</p>

### 三、常用的电气文字符号

(1) 电气技术中的项目代号。如表 1-42 所示。

表 1-42 电气技术中的项目代号  
(据 GB5094—1985)

序号	项目	说明
1	项目种类的字母代号	A 组件、部件
		B 变换器(从非电量到电量或相反)
		C 电容器
		D 二进制单元, 延迟器件, 存储器件
		E 杂项(其他地方未提及的元器件)
		F 保护器件
		G 发电机, 电源
		H 信号器件
		K 继电器, 接触器
		L 电感器, 电抗器
		M 电动机
		N 模拟集成电路

续表

序号	项目	说明
1	项目种类的字母代号	P 测量设备, 试验设备
		Q 电力电路的开关
		R 电阻
		S 控制电路的开关
		T 变压器
		U 调制器, 变换器(含变流器、逆变器)
		V 电真空器件, 半导体器件
		W 传输通道, 波导, 天线
		X 端子, 插头, 插座
		Y 电气操作的机械装置
Z 终端设备, 混合变压器, 滤波器, 均衡器, 限幅器		
2	代号段的型式含义	第一段 高层代号 系统或设备中较高层次的项目代号
		第二段 位置代号 项目在组件、设备、系统中的实际位置代号
		第三段 种类代号 用以识别项目种类的代号
		第四段 端子代号 用以与外电路进行电气连接的电导体件(端子)的代号
3	代号段的前缀符号	= 高层前缀 例: =T2 表示 2 号变压器
		+ 位置前缀 例: +D6 表示 6 室开关柜
		- 种类前缀 例: -K5 表示 5 号继电器
		: 端子前缀 例: :3 表示 3 号端子
4	代号段的组合示例	第一段与第三段组合 例: =T2-K5
		第二段与第三段组合 例: +D6-K5
		第一段与第三、四段组合 例: =T2-K5:3
		第一段~第四段完整组合 例: =T2+D6-K5:3

(2) 常用的电气设备文字符号。如表 1-43 所示。

表 1-43 常用的电气设备文字符号  
(新旧对照)

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号	序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
1	A <sup>~</sup>	组件、部件			1	A <sup>~</sup>	组件、部件		
1.1	A <sup>~</sup>	放大器	Amplifier	FD	1.5	AC <sup>△</sup> △	控制屏(台, 箱)	Control Panel (Desk, Box)	KP
1.2	A <sup>△</sup>	动力配电箱	Power Distribution Board	DPX	1.6	AC <sup>△</sup>	电容器屏	Capacitor Panel	CP
1.3	AA <sup>△</sup>	低压配电屏	Low-Voltage Switch Panel	DP	1.7	ACP <sup>△</sup>	电容器屏	Capacitor Panel	CP
1.4	AB	电桥	Bridge	DQ	1.8	AD <sup>△</sup>	晶体管放大器	Transistor Amplifier	JF

续表

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号	序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
1	A <sup>=</sup>	组 件、部 件			2	B <sup>=</sup>	非电量到电量变换器或 电量到非电量变换器		
1.9	AE <sup>*</sup>	应急配电箱	Emergency Distribution Box	—	2.9	BT <sup>=</sup>	温度变换器	Temperature Transducer	
1.10	AF <sup>*</sup>	电弧炉	Arc Furnace	DFL	2.10	BV <sup>=</sup>	速度变换器	Velocity Transducer	
1.11	AH <sup>*△</sup>	高压开关柜	High-Voltage Switch Gear	GG	3	C <sup>=</sup>	电 容 器		
1.12	AJ <sup>=</sup>	集成电路放 大器	Integrated Circu- it Amplifier	FD <sub>IC</sub>	3.1	C <sup>=</sup>	电容器	Capacitor	C
1.13	AK <sup>*△</sup>	刀开关箱	Knife Switch Box	DKX	3.2	CP <sup>*</sup>	电力电容器	Power Capaci- tor	C
1.14	AL <sup>*△</sup>	照明配电箱	Illumination Distribution Board	ZPX	4	D <sup>=</sup>	二进制元件、延迟器件、存储器件		
1.15	AM <sup>=</sup>	磁放大器	Magnetic Am- plifier	CFD	4.1	D <sup>=</sup>	数字集成电 路和器件	Digital Inte- grated Circuits and Devices	
1.16	AM <sup>△</sup>	多种电源配 电箱	Multi-source Distribution Board	—	4.2	D <sup>*</sup>	双稳态元件	Bistable Ele- ment	
1.17	AP <sup>△</sup>	动力配电箱	Power Distri- bution Board	DPX	4.3	D <sup>=</sup>	单稳态元件	Monostable El- ement	
1.18	APD <sup>*</sup>	备用电源自 动投入装置	Auto-put-into Device of Standby Supply	BZT (BZTZ)	4.4	D <sup>=</sup>	磁芯存储器	Core Storage	
1.19	AR <sup>△</sup>	继电器屏	Relay Panel	JP	4.5	D <sup>=</sup>	寄存器	Register	
1.20	ARD <sup>*</sup>	自动重合闸 装置	Auto-reclosing Device	ZCH (ZCZ)	4.6	D <sup>=</sup>	磁带记录机	Magnetic Tape Recorder	
1.21	AS <sup>*△</sup>	信号箱	Signal Box	XX	4.7	D <sup>=</sup>	盘式记录机	Disk Recorder	
1.22	AT <sup>=</sup>	抽屉柜	Drawer	CG	5	E <sup>=</sup>	其他地方未规定的元器件		
1.23	AV <sup>*</sup>	电子管放大 器	Valve Amplifi- er	GFD	5.1	EH <sup>=</sup>	发热器件	Heating Device	
1.24	AW <sup>*</sup>	接线箱	Connecting Box	JX	5.2	EL <sup>=</sup>	照明灯	Lamp for Lighting	D, ZM
1.25	AW <sup>△</sup>	电度表箱	Electric Energy Meter Box		5.3	EV <sup>=</sup>	通风机, 换 气扇, 空气调 节器	Ventilator	TF
1.26	AX <sup>*△</sup>	插座箱	Socket Box	CX	5.4	EW <sup>*</sup>	电焊机	Electric Weld- ing Machine	DH
2	B <sup>=</sup>	非电量到电量变换器或 电量到非电量变换器			6	F <sup>=</sup>	保 护 器 件		
2.1	B <sup>=</sup>	扬声器; 送 话器	Loudspeaker, Microphone	Y	6.1	F <sup>=</sup>	避雷器	Arrestor	BL
2.2	B <sup>=</sup>	光电池	Photoelectric Cell	GDC	6.2	FD <sup>*</sup>	跌落式熔断 器	Dropping Fuse	DR
2.3	B <sup>=</sup>	热电传感器	Thermoelectric Sensor		6.3	FDL <sup>*</sup>	负荷型跌落 式熔断器	Dropping Fuse (Load-type)	DR
2.4	BL <sup>△</sup>	液位测量传 感器	Liquid-level Measure Sensor		6.4	FE <sup>*</sup>	排气式避雷 器	Expulsion-type Surge Arrestor	GB
2.5	BM <sup>△</sup>	湿度测量传 感器	Humidity Mea- sure Sensor		6.5	FG <sup>*</sup>	保护间隙	Protective Gap	JX
2.6	BP <sup>=</sup>	压力变换器	Pressure Transducer		6.6	FMO <sup>*</sup>	金属氧化物 避雷器	Metal-Oxide Surge Arrestor	JB
2.7	BQ <sup>=</sup>	位置变换器	Position Trans- ducer		6.7	FR <sup>*</sup>	避雷针	Lightning Rod	
2.8	BR <sup>=</sup>	旋转变换 器; 测速发电 机	Rotation Transducer; Tacho-generator	CF	6.8	FU <sup>=</sup>	熔断器	Fuse	RD
					6.9	FV <sup>*</sup>	阀式避雷器	Valve-type Ar- rester	FB

续表

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号	序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
7	G <sup>-</sup>	发生器、发电机、电源			9	K <sup>-</sup>	继电器、接触器		
7.1	G <sup>-</sup>	旋转发电机	Rotating Generator	F	9.14	KO <sup>*</sup>	合闸接触器	Closing Contactor (ON)	HC
7.2	G <sup>=</sup>	振荡器	Oscillator	ZD	9.15	KP <sup>-</sup>	极化继电器	Polarized Relay	JHJ
7.3	GA	异步发电机	Asynchronous Generator	YF	9.16	KP <sup>*</sup> , KPD <sup>*</sup>	功率(方向)继电器	Power (Directional) Relay	GJ, GHJ
7.4	GB <sup>-</sup>	蓄电池	Battery	XDC	9.17	KR <sup>-</sup>	干簧继电器	Reed Relay	HJ
7.5	GD <sup>△</sup>	柴油发电机	Diesel Generator	CF	9.18	KR <sup>*</sup>	跳闸位置继电器	Release-state Relay	
7.6	GF <sup>*</sup>	变频器(旋转式或固定式)	Frequency Converter (Rotating or Static)	BP	9.19	KS <sup>△</sup> *	信号继电器	Signal Relay	XJ
7.7	GN <sup>-</sup>	绿色指示灯	Green Indicator Lamp	LD	9.20	KT <sup>-</sup>	时间继电器	Time-delay Relay	SJ
7.8	GS <sup>=</sup>	同步发电机	Synchronous Generator	TF	9.21	KV <sup>△</sup> *	电压继电器	Voltage Relay	YJ
7.9	GT <sup>*</sup>	测速发电机	Tachogenerator	CF	9.22	KZ <sup>*</sup>	阻抗继电器	Impedance Relay	ZHJ
7.10	GV <sup>△</sup>	稳压装置	Constant Voltage Equipment	WY	10	L <sup>=</sup>	电感器、电抗器		
8	H <sup>=</sup>	信号器件			10.1	L <sup>=</sup>	感应线圈	Induction Coil	L, GQ
8.1	HA <sup>=</sup>	声响指示器	Acoustical Indicator	—	10.2	L <sup>=</sup>	电抗器	Reactors	L, DK
8.2	HA <sup>-</sup> , HB <sup>*</sup>	电铃	Electric Bell	DL	10.3	LP <sup>△</sup>	消弧线圈	Petersen Coil	L, XQ
8.3	HA <sup>-</sup> , HH <sup>*</sup>	电喇叭	Electric Horn	LB	11	M <sup>-</sup>	电动机		
8.4	HA <sup>-</sup> , HZ <sup>*</sup>	蜂鸣器	Buzzer	FM	11.1	M <sup>-</sup>	电动机	Motor	D
8.5	HL <sup>-</sup>	指示灯, 光指示器	Indicator Lamp, Optical Indicator	XD	11.2	M <sup>-</sup>	中间线	Mid-Wire	Z
9	K <sup>=</sup>	继电器、接触器			11.3	MD <sup>△</sup> *	直流电动机	D. C. Motor	ZD
9.1	K <sup>=</sup>	继电器	Relay	J	11.4	MS	同步电动机	Synchronous Motor	TD
9.2	K <sup>=</sup> , KM <sup>-</sup>	接触器	Contactactor	C, JC	12	N <sup>=</sup>	模拟元件、模拟集成电路		
9.3	KA <sup>*</sup>	电流继电器	Current Relay	LJ	12.1	N <sup>=</sup>	运算放大器	Operational Amplifier	
9.4	KAC <sup>*</sup>	加速继电器	Accelerate Relay	JSJ	12.2	N <sup>=</sup>	中性线	Neutral Wire	N
9.5	KAR <sup>*</sup>	重合闸继电器	Auto-reclosing Relay	CHJ	13	P <sup>=</sup>	测量设备、试验设备		
9.6	KD <sup>△</sup> *	差动继电器	Differential Relay	CJ	13.1	P <sup>=</sup>	指示器件	Indicating Device	
9.7	KE <sup>-</sup> △	接地继电器	Earthing Relay	JDJ	13.2	P <sup>=</sup>	记录器件	Recording Device	
9.8	KF <sup>*</sup>	闪光继电器	Flash-light Relay	SGJ	13.3	P <sup>-</sup>	积算测量器	Integrating Measuring Device	
9.9	KG <sup>*</sup>	瓦斯(气体)继电器	Gas Relay	WSJ	13.4	PA <sup>-</sup>	电流表	Ammeter	A
9.10	KH <sup>△</sup> *	热继电器	Heat Relay	RJ	13.5	PE <sup>-</sup>	保护接地	Protective Earthing	
9.11	KI <sup>*</sup>	冲击继电器	Impulse Relay	CJJ	13.6	PEN <sup>-</sup>	保护接地与中性线共用	Protective Earthing Neutral	
9.12	KL <sup>-</sup>	闭锁继电器	Latching Relay	BJ	13.7	PF <sup>*</sup>	功率因数表	Power Factor Meter	cosφ
9.13	KM <sup>*</sup>	中间继电器	Medium Relay	ZJ	13.8	PH <sup>*</sup>	频率表	Frequency Meter (Hz)	Hz
					13.9	PJ <sup>=</sup>	电能表(电度表)	Electric Energy Meter (Watt-hour Meter)	Wh, varh
					13.10	PS <sup>=</sup>	记录仪器	Recording Instrument	
					13.11	PT <sup>=</sup>	时钟	Clock	SZ
					13.12	PV <sup>-</sup>	电压表	Voltmeter	V
					13.13	PW <sup>*</sup> △	功率表	Watt Meter	W

续表

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号	序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
14	Q <sup>=</sup>	电力电路的开关器件			16	S <sup>-</sup>	控制、记忆、信号电路的开关器件, 选择器		
14.1	Q <sup>=</sup>	开关	Switch	K	16.12	SR <sup>☆</sup>	旋转(旋钮)开关	Rotary Switch	HK
14.2	QF <sup>=</sup>	断路器(含自动开关)	Circuit Breaker	DL	16.13	ST <sup>☆</sup>	停止按钮	Stop Button	TA
14.3	QK <sup>☆</sup>	刀开关	Knife Switch	DK	16.14	SV <sup>☆△</sup>	电压表切换开关	Volt-meter Change-over Switch	QK
14.4	QKF <sup>*</sup>	熔断器式刀开关	Fuse Switch	RDK	17	T <sup>=</sup>	变 压 器		
14.5	QL <sup>☆△</sup>	负荷开关	Load Switch	FK	17.1	T <sup>-</sup>	变压器	Transformer	B
14.6	QM <sup>=</sup>	电动机保护开关	Motor Protection Switch		17.2	TA <sup>=</sup>	电流互感器	Current Transformer (CT)	LH
14.7	QS <sup>-</sup>	隔离开关, 隔离器	Disconnector, Isolator	GK	17.3	TAN <sup>*</sup>	零序电流互感器	Neutral-current Transformer	LLH
14.8	QT <sup>*</sup>	转换开关	Transfer Switch	HK	17.4	TC <sup>-</sup>	控制电路电源变压器	Transformer for Control Circuit Supply	KB
14.9	QT <sup>☆</sup>	起动器	Starter	Q	17.5	TL <sup>☆</sup>	局部照明变压器	Transformer for Local Lighting	JZB
14.10	QV <sup>*</sup>	晶体管(可控硅)开关	Thyristor Switch	KG	17.6	TM <sup>=</sup>	电力(主)变压器	Power (Main) Transformer	LB
15	R <sup>=</sup>	电 阻 器			17.7	TR <sup>*</sup>	整流变压器	Rectifier Transformer	ZB
15.1	R <sup>=</sup>	电阻器, 变阻器	Resistor, Rheostat	R	17.8	TS <sup>=</sup>	磁稳压器	Magnetic Stabilizer	CW
15.2	RD <sup>=</sup>	红色指示灯	Red Indicator	HD	17.9	TV <sup>=</sup>	电压互感器	Voltage Transformer (PT)	YH
15.3	RF <sup>☆△</sup>	频敏变阻器	Frequency Sensitive Rheostat	PM	17.10	TW <sup>*</sup>	电焊变压器	Electric Welding Transformer	DHB
15.4	RF <sup>*</sup>	电阻炉	Resistance Furnace	DZL	18	U <sup>*</sup>	调 制 器、变 换 器		
15.5	RI <sup>☆△</sup>	光敏变阻器	Photoresistor	GM	18.1	U <sup>*</sup> , UM <sup>☆</sup>	调制器	Modulator	TZ
15.6	RP <sup>=</sup>	电位器	Potentiometer	W	18.2	U <sup>=</sup> , UD <sup>☆</sup>	解调器	Demodulator	JT
15.7	RS <sup>=</sup>	测量分路器(分流器)	Measuring Shunt	FL	18.3	U <sup>=</sup>	整流器	Rectifier	ZL
15.8	RT <sup>=</sup>	热敏电阻器	Resistor with Inherent Variability Dependent on the Temperature	RM	18.4	U <sup>=</sup> , UV <sup>☆</sup>	逆变器	Inverter	NB
15.9	RV <sup>=</sup>	压敏电阻器	Resistor with Inherent Variability Dependent on the Voltage	YM	18.5	U <sup>-</sup>	变流器	Converter	BL
16	S <sup>=</sup>	控制、记忆、信号电路的开关器件, 选择器			18.6	U <sup>-</sup> , UF <sup>☆</sup>	变频器	Frequency Changer	BP
16.1	S <sup>=</sup>	二次电路开关	Secondary Circuit Switch	K	18.7	UPS <sup>*</sup>	不间断电源设备	Uninterrupted Power Source	UPS
16.2	S <sup>*</sup>	起(启)辉器	Glow Starter	S	19	V <sup>=</sup>	电真空器件、半导体器件		
16.3	SA <sup>=</sup>	控制开关	Control Switch	KK	19.1	V <sup>=</sup> , VC <sup>=</sup>	控制电路用电源的整流器	Rectifier for Control Circuit Supply	KZL
16.4	SA <sup>=</sup>	选择开关	Selector Switch	XK	19.2	V <sup>=</sup> , VD <sup>*</sup>	二极管	Diode	D
16.5	SB <sup>=</sup>	按钮开关	Push-button	AN	19.3	V <sup>-</sup> , VE <sup>*</sup>	电子管	Electronic Tube	G
16.6	SE <sup>☆</sup>	紧急(急停)按钮	Emergency Button	JA	19.4	V <sup>-</sup> , VT <sup>*</sup>	晶体管, 三极管	Transistor, Triode	T
16.7	SF <sup>☆</sup>	起(正转)按钮	Start (Forward) Button	QA	19.5	V <sup>-</sup> , VR <sup>☆</sup>	晶闸管(可控硅)	Thyristor	SCR
16.8	SM <sup>☆</sup>	主令开关	Master Switch	LK	19.6	V <sup>=</sup> , VG <sup>*</sup>	气体放电管	Gas-discharge Tube	
16.9	SN <sup>☆</sup>	微动(瞬动)开关	Snap Switch	WK					
16.10	SQ <sup>☆△</sup>	限位(位置、行程)开关	Limit Switch	XK					
16.11	SR <sup>☆</sup>	反转按钮	(Reverse) Backward Button	FA					



续表

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号	序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
20	W <sup>-</sup>	传输通道、波导、天线			21	X <sup>-</sup>	端子、插头、插座		
20.1	W <sup>-</sup> , WB <sup>*</sup>	母线, 汇流排	Busbar	M	21.1	X <sup>-</sup>	连接插头和插座	Connecting Plug and Socket	
20.2	W <sup>=</sup> , WL <sup>*</sup>	导线, 线路	Conductor, Line	XL	21.2	X <sup>-</sup>	电缆封端和接头	Cable Sealing End and Joint	
20.3	WA <sup>*</sup>	辅助小母线	Auxiliary Small-busbar	FM	21.3	XB <sup>-</sup>	连接片	Link	LP
20.4	WAS <sup>*</sup>	事故音响信号小母线	Accident Sound Signal Small-busbar	SYM	21.4	XP <sup>=</sup>	插头	Plug	CT
20.5	WC <sup>*</sup> △	控制小母线	Control Small-busbar	KM	21.5	XS <sup>-</sup>	插座	Socket	CZ
20.6	WCO <sup>*</sup>	控制电路断线预告信号小母线	Forecast Signal Small-busbar for Control Circuit in Open	KDM	21.6	XT <sup>-</sup>	端子板(排)	Terminal Board	DP
20.7	WF <sup>*</sup> △	闪光信号小母线	Flash-light Signal Small-busbar	SM	22	Y <sup>-</sup>	电气操作的机械器件		
20.8	WFS <sup>*</sup>	预告信号小母线	Forecast Signal Small-busbar	YBM	22.1	YA <sup>-</sup>	电磁铁	Electromagnet	DC
20.9	WH <sup>=</sup>	白色指示灯	White Indicator Lamp	BD	22.2	YB <sup>=</sup>	电磁制动器	Electromagnetically Operated Brake	DZ
20.10	WL <sup>*</sup>	灯光信号小母线	Light Signal Small-busbar	DXM	22.3	YC <sup>-</sup>	电磁离合器	Electromagnetically Operated Clutch	DL
20.11	WO <sup>*</sup>	合闸电源小母线	Switch-on Source Small-busbar	HM	22.4	YE <sup>=</sup>	黄色指示灯	Yellow Indicator Lamp	UD
20.12	WS <sup>*</sup>	信号电源小母线	Signal Source Small-busbar	XM	22.5	YO <sup>*</sup>	合闸线圈	Closing Operation Coil (ON)	HQ
20.13	WSA <sup>*</sup>	信号辅助小母线	Signal Auxiliary Small-busbar	XFM	22.6	YR <sup>*</sup>	跳闸线圈, 脱扣器	Opening Operation Coil, Release	TQ
20.14	WT <sup>*</sup> △	滑触线	Trolley Wire	HCX	22.7	YM	电动阀	Motor Operated Valve	DF
20.15	WV <sup>*</sup> △	电压小母线	Voltage Small-busbar	YM	22.8	YV <sup>-</sup>	电磁阀	Electromagnetically Operated Valve	DCF
					23	Z <sup>=</sup>	终端设备、混合变压器、均衡器、限幅器		
					23.1	Z <sup>=</sup>	网络	Network	W
					23.2	ZF <sup>*</sup>	滤波器	Filter	LB

注 本表中“新符号”栏内符号右上角附加符号的说明:

- (1) 标“=”者, 表示该符号为 GB7159—1987 所规定、且与 IEC 标准相符;
- (2) 标“☆”者, 表示该符号为全国电气图形符号标准化技术委员会编《国家标准电气制图、电气图形符号应用示例图册(建筑电气分册)》<sup>[37]</sup>补充推荐的文字符号;
- (3) 标“△”者, 表示该符号为中国照明学会咨询工作委员会、北京照明学会设计专业委员会组织编写的《建筑电气设计实例图册》<sup>[38]</sup>补充推荐的文字符号;
- (4) 标“\*”者, 系本手册编者推荐采用的文字符号, 从 1991 年起已在编者著作中使用;
- (5) 个别符号右上角未标任何符号者, 为 GB7159—1987 所采用的非 IEC 符号。

(3) 常用的辅助文字符号。如表 1-44 所示。

表 1-44 常用的辅助文字符号  
(据 GB7159—1987)

序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC	序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC
1	A	电流	Current	=	10	B, BRK	制动	Braking	=
2	A	模拟	Analog		11	BK	黑	Black	
3	AC	交流	Alternating Current		12	BL	蓝	Blue	
4	A, AUT	自动	Automatic	13	BW	向后	Backward		
5	ACC	加速	Accelerating	14	C	控制	Control		
6	ADD	附加	Add	15	CW	顺时针	Clockwise		
7	ADJ	可调	Adjustability	16	CCW	逆时针	Counter Clockwise		
8	AUX	辅助	Auxiliary	17	D	延时(延迟)	Delay		
9	ASY	异步	Asynchronizing						

续表

序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC	序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC
18	D	差动	Differential	=	48	PEN	保护接地与中性线共用	Protective Earthing Neutral	=
19	D	数字	Digital		49	PU	不接地保护	Protective Un-earthing	=
20	D	降	Down		50	R	记录	Recording	
21	DC	直流	Direct Current	=	51	R	右	Right	
22	DEC	减	Decrease		52	R	反	Reverse	
23	E	接地	Earthing	=	53	RD	红	Red	=
24	EM	紧急	Emergency		54	R, RST	复位	Reset	
25	F	快速	Fast		55	RES	备用	Reservation	=
26	FB	反馈	Feedback		56	RUN	运转	Run	
27	FW	正, 向前	Forward		57	S	信号	Signal	
28	GN	绿	Green	=	58	ST	起动	Start	
29	H	高	High	=	59	S, SET	置位, 定位	Setting	
30	IN	输入	Input		60	SAT	饱和	Saturate	
31	INC	增	Increase		61	STE	步进	Stepping	
32	IND	感应	Induction		62	STP	停止	Stop	
33	L	左	Left		63	SYN	同步	Synchronizing	
34	L	限制	Limiting		64	T	温度	Temperature	
35	L	低	Low		65	T	时间	Time	
36	LA	闭锁	Latching		66	TE	无噪声(防干扰)接地	Noiseless Earthing	=
37	M	主	Main		67	V	真空	Vacuum	
38	M	中	Medium		68	V	速度	Velocity	
39	M	中间线	Mid-Wire	=	69	V	电压	Voltage	
40	M, MAN	手动	Manual		70	WH	白	White	=
41	N	中性线	Neutral	=	71	YE	黄	Yellow	=
42	OFF	断开	Open, Off						
43	ON	闭合	Close, On						
44	OUT	输出	Output						
45	P	压力	Pressure						
46	P	保护	Protection						
47	PE	保护接地	Protective Earthing	=					

注 辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征的;也可放在表示种类的单字母符号后边组成双字母符号。为简化文字符号起见,若辅助文字符号由两个以上字母组成时,允许只采用其第一位字母进行组合。辅助文字符号还可以单独使用。

(4) 常用的物理量下角标文字符号。如表 1-45 所示。

表 1-45 常用的物理量下角标文字符号 (新旧对照)

序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号	序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号
1	a <sup>-</sup>	年	annual, year	n	14	C <sup>-</sup>	电容, 电容器	electric capacity, Capacitor	C
2	a <sup>+</sup>	有功, 有效	active	yg, yx	15	c <sup>-</sup>	计算	calculate	js
3	a <sup>-</sup>	阳极	anode	a	16	c <sup>-</sup>	集电极	collector	c
4	a <sup>-</sup>	电枢	armature	s	17	c <sup>-</sup> , ch <sup>-</sup>	特征, 特性	characteristic	tz
5	a <sup>-</sup> , ad <sup>-</sup>	附加的	additional	fj	18	c, cl	顶棚, 天花板	ceiling	dp, tb
6	a <sup>-</sup> , ax <sup>-</sup>	轴的	axial	z	19	c <sup>-</sup> , cr <sup>-</sup>	临界	critical	lj
7	Al <sup>-</sup>	铝(元素)	Aluminium	Al, L	20	cab	电缆	cable	L
8	al <sup>-</sup>	允许的	allowable	yx	21	ch	充电	charge	cd
9	as <sup>-</sup>	异步	asynchronous	yb					ch
10	av <sup>-</sup>	平均	average	fj					Copper (拉丁文)
11	δ <sup>-</sup>	基极	base	b	22	Cu <sup>-</sup>	铜(元素)	Cuprum	Cu, To
12	bk, b	制动	brake	zd	23	d	需要	demand	x
13	br	击穿	breakdown	jc	24	d	基准	datum	j

续表

序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号	序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号
25	$d^-$	差, 差动	difference, differential	$c, cd$	74	$m^-, \max^-$	峰值, 最大值	peak value, maximum	$m, zd$
26	$d^-$	偏差	deviation	$pc$	75	$m^-, \text{mes}^-$	测量, 测得的	measure, measured	$c, cl$
27	$d^-$	直(轴)	direct (axis)	$z$	76	$man$	人工的	manual	$rg$
28	$d^-, DC^-$	直流	direct current	$d, ZL$	77	$med^-$	中值, 中间	median, medium	$zj$
29	$d^-, dir^-$	直接	direct	$zj$	78	$\min^-$	最小值	minimum	$zx$
30	$d^-, dist^-$	失真, 畸变	distortion	$sz, jb$	79	$N^-, n^-$	额定, 标称	nominal, rated	$e$
31	$db$	死区	dead band	$s$	80	$n^-$	n次谐波	n-th harmonic	$n$
32	$dsc$	放电	discharge	$fd$	81	$n$	数目	number	$n$
33	$dsq$	不平衡	disequilibrium	$bp$	82	$nat$	自然的	natural	$zr$
34	$E^-$	地, 接地	earth, earthing	$d, jd$	83	$np$	非周期性的	non-periodic, aperiodic	$f-zq$
35	$e^-$	发射极	emitter	$e$	84	$O^-, ex^-$	输出	out, output	$sc$
36	$e$	设备	equipment	$Sb$	85	$O^-, oc^-$	断路, 开路	open circuit	$dl$
37	$e$	涡流	eddy current	$w$	86	$oh$	架空线路	over-head line	$k$
38	$e^-, ef^-$	有效(不指均方根)	effective	$yx$	87	$oL$	过负荷, 过载	over-load	$gh$
39	$e^-, eq^-$	等效	equivalent	$dx$	88	$on$	合闸	switching-on	$hz$
40	$ec$	经济的	economic	$ji$	89	$op$	动作, 运转	operat	$dz$
41	$end$	端部, 最后	end	$-$	90	$opt$	最佳的	optimum	$zj$
42	$es$	电动稳定	electrokinetic stable	$dw$	91	$OR$	过电流脱扣器	Over-current Release	$TQ$
43	$ex$	外部的	external	$w$	92	$p^-$	有功功率	active power	$yg$
44	$f$	形状	form	$x$	93	$p$	周期性的	periodic	$zq$
45	$f, ft$	故障	fault	$g$	94	$p$	保护	protect	$bh$
46	$FE$	熔体, 熔件	Fuse Element	$RT$	95	$p^-, par^-$	并联	parallel	$bl$
47	$fl$	流体	fluid	$lt$	96	$p^-, pul^-$	脉冲	pulse	$mc$
48	$fl$	浮(充电)	float (charge)	$f$	97	$PE^-$	保护接地, 保护线	Protective Earthing (PE), Protective Wire	$-$
49	$FU^-$	熔断器	Fuse	$RD$	98	$PEN^-$	保护中性线	PEN Wire	$-$
50	$g^-$	栅极	grid	$g$	99	$pk$	尖峰	peak	$jf$
51	$h^-$	高	high	$h$	100	$q^-$	无功功率	reactive power	$wg$
52	$h$	磁滞	hysteresis	$c$	101	$q^-$	正交(轴)	quadrature (axis)	$q$
53	$HR$	热脱扣器	Heat Release	$RT$	102	$qb$	速断	quick break	$sd$
54	$i^-$	某一数	a number	$i$	103	$QF^-$	断路器	Circuit Breaker	$DL$
55	$i^-$	电流	current	$i$	104	$R^-$	电阻器	Resister	$R$
56	$i^-$	内在的	intrinsic	$n$	105	$r^-$	无功, 无效	reactive	$wg, wx$
57	$i^-, in^-$	输入	in, input	$sr$	106	$r^-$	转子	rotor	$r$
58	$i^-, ind^-$	感应的	induced	$ry$	107	$r^-, rad^-$	径向的	radial	$r$
59	$ima$	假想的	imaginary	$jx$	108	$r^-, rd^-$	辐射	radiation	$fs$
60	$ind^-$	间接的	indirect	$lj$	109	$r^-, re^-$	实际的	real, true	$s, sj$
61	$k_p$	维持, 保持	keep	$bc$	110	$r, rev$	反向	reverse	$f$
62	$k^-$	短路	short-circuit	$d$	111	$r^-, rsd^-$	剩余, 残余	residual	$sy, cy$
63	$k^-$	阴极	cathode	$k$	112	$RC$	室空间	Room Cabin	$RC$
64	$L^-$	电感, 电抗器	inductance, Reactance	$L, DK$	113	$re$	返回, 复归	return, reset	$f, fh$
65	$L^-$	负荷, 负载	load	$H, fz$	114	$ref^-$	参考的	reference	$-$
66	$L$	电灯	lamp	$D$					
67	$L$	光线	light	$-$					
68	$l^-$	线, 线路	line	$l, x$					
69	$l^-$	纵向的	longitudinal	$-$					
70	$l$	长延时	long-delay	$l$					
71	$l^-, \lim^-$	极限	limit	$jx$					
72	$M^-$	电动机	Motor	$D$					
73	$m^-, mag^-$	磁的	magnetic	$c, ci$					

续表

序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号	序号	新符号	中文含义	英文含义	旧符号
115	rel	可靠	reliability	k	153	YR	跳闸线圈, 脱扣器	Release	TQ
116	S	系统, 电源	System, Source	XT, DY	154	a	吸收	absorption	a
117	S <sup>=</sup>	定子	stator	S	155	ρ	反射	reflection	ρ
118	S <sup>=</sup>	信号	signal	x	156	τ	透射	transmission	τ
119	S	标准	Standard	b, B	157	φ	相	phase	φ, xg
120	s	短延时	short-delay	s	158	θ <sup>=</sup> , θ <sup>∞</sup>	热的	thermal	θ, θ <sup>∞</sup>
121	s	电涌流	surge	y	159	Σ <sup>=</sup>	总和	total, sum	Σ, z
122	s <sup>=</sup> , ser <sup>=</sup>	串联	series	cl	160	0 <sup>-</sup>	零, 无, 空, 真空	zero, nothing, empty, vacuum	0
123	s, shu	分流	shunt	fl	161	0 <sup>-</sup>	原始的	initial, original	0
124	s <sup>=</sup> , st <sup>=</sup>	稳态, 静态	steady state, static	w	162	0	停止	stop	0
125	s <sup>=</sup> , syn <sup>=</sup>	同步	synchronous	to	163	0	每(单位)	per (unit)	0
126	saf	安全	safety	aq	164	0	中性线, 零线	neutral wire	0, N
127	sh	冲击	shock, impulse	cj, ch	165	0	周围, 环境	ambient	0
128	sim <sup>=</sup>	同时	simultaneous	ts, to	166	0	瞬时	instantaneous	0
129	st	起动, 启动	start	q, qd	167	0 <sup>-</sup>	零序分量	zero component	0
130	step	步进, 跨步	step	bj, kb	168	1 <sup>=</sup>	正序分量	positive component	1, +
131	T <sup>=</sup>	变压器	Transformer	B	169	1 <sup>=</sup>	初级	primary	1
132	T <sup>=</sup> , t <sup>=</sup>	温度	Temperature	θ, t	170	1 <sup>=</sup>	输入	input	1
133	t <sup>-</sup>	时间	time	t	171	2 <sup>=</sup>	负序分量	negative component	2, -
134	t <sup>-</sup>	瞬时的, 暂时的	transient	t, s	172	2 <sup>=</sup>	次级	secondary	2
135	t <sup>-</sup> , tan <sup>-</sup>	切向的	tangential	t	173	2 <sup>=</sup>	输出	output	2
136	t <sup>-</sup> , tra <sup>-</sup>	横向的	transverse	—	174	3 <sup>=</sup>	第三级	tertiary	3
137	TA <sup>-</sup>	电流互感器	Current Transformer	LH	175	30	半小时[最大]	30min [maximum]	30
138	th <sup>=</sup>	热的	thermal	r	176	* <sup>-</sup>	相对值, 标幺值	relative value, per unit value	*
139	tou	[人体]接触	touch	jc	177	~ <sup>=</sup>	交变的, 交流的	alternating (current)	~, jt
140	TV <sup>-</sup>	电压互感器	Voltage Transformer	YH	178	— <sup>-</sup>	直流的	direct (current)	—, zd
141	U <sup>-</sup>	变流器	Convertor	BL	179	⊥ <sup>-</sup>	垂直的, 法线的	perpendicular, normal	⊥, cz
142	U <sup>-</sup>	整流器	Rectifier	ZL	180	// <sup>-</sup>	平行的, 并联的	parallel	//, bl
143	u <sup>=</sup>	电压	voltage	u	181	∞ <sup>=</sup>	无限的, 稳态	infinite, steady state	∞
144	UR	欠电压脱扣器	Undervoltage Release	QT	182	△ <sup>=</sup>	差	difference	△
145	V <sup>=</sup>	光的	Visual, Luminous	g	183	△	三角形联结	delta connection	△
146	W <sup>-</sup> , WB <sup>-</sup>	母线	Busbar	M	184	Y	星形联结	star connection	Y
147	w	工作	working	gz					
148	w	接线, 结线	wiring	jx					
149	w	墙壁	wall	qb					
150	WL	导线, 线路	Wire, Line	XL					
151	x	某未知数	a unknown number	x					
152	XC	[触头]接触	contact	jc					

注 1. 新符号右上角标“=”者, 为 IEC 推荐使用的符号。

2. 表 1-43 的电气设备文字符号和表 1-44 的辅助文字符号, 均可作为物理量的下角标文字符号, 不过电气设备文字符号一般采用大写字母, 而辅助文字符号一般改用小写字母。

(5) 线路敷设及灯具安装的文字符号。如表 1-46 所示。表中新符号是全国电气图形符号标准化技术委员会编《国家标准电气制图、电气图形符号应用示例图册(建筑电气分册)》<sup>[37]</sup>推荐的文字符号;表中旧符号主要是原 GB313--1964《电力及照明平面图图形符号》规定的文字符号。在符号右上角标“\*”者系编者曾补充推荐的文字符号。

表 1-46 线路敷设及灯具安装的文字符号 (新旧对照)

序号	新符号	中文名称	英文名称	旧符号
1 线路敷设方式文字符号				
1.1	AL	铝皮线卡	Aluminum Clip	QD
1.2	C	暗敷	Concealed	A
1.3	CT	电缆桥架	Cable Tray	—
1.4	E	明敷	Exposed	M
1.5	F	金属软管	Flexible Metallic Conduit	—
1.6	G	水煤气管 (焊接钢管)	Gas Tube	G
1.7	K	瓷绝缘子	Porcelain Insulator (Knob)	CP
1.8	M	钢索敷设	Supported by Messenger Wire	S
1.9	MR	金属线槽	Metallic Raceway	—
1.10	P	硬塑料管	Plastic Conduit	VG*
1.11	PL	塑料线卡	Plastic Clip	—
1.12	PR	塑料线槽	Plastic Raceway	—
1.13	S	钢管	Steel Conduit	G
1.14	T	电线管	Electrical Metallic Tubing	DG
2 线路敷设部位文字符号				
2.1	B	梁	Beam	L
2.2	C	柱	Column	Z
2.3	CE	顶棚、天花板(天棚)	Ceiling	P, TP
2.4	F	地板	Floor	D
2.5	R	机架	Rack	—
2.6	W	墙	Wall	Q
3 灯具安装方式文字符号				
3.1	C	链吊	Chain Pendant	L
3.2	P	管吊	Pipe (Conduit) Erected	G
3.3	R	嵌入	Recessed in	R*
3.4	W	壁装	Wall Mounted	B*
3.5	WP	线吊	Wire (cord) Pendant	X
3.6	—	吸顶	Coiling Mount (Adsorbed)	—

四、电气文字符号的编写与补充

如表 1-47 所示。

表 1-47 电气文字符号的编写与补充

序号	项 目	说 明
1	电气文字符号的组成 (据 GB7159—1987)	
1.1	组成格式	<p>辅助文字符号(可单独使用) 小类别代号字母 } 基本文字符号 大类别代号字母(可单独使用)</p>
1.2	基本文字符号	<p>(1) 单字母符号(大类别代号字母)是按拉丁字母将各种电气设备、装置和元器件划分为 23 大类,每大类用一个单字母表示。其规定与 GB5094--1985 (见表 1-42 序号 1) 相一致</p> <p>(2) 双字母符号由一个大类代号字母和一个小型代号字母或一个辅助文字符号的字母组成。各专业可以补充 GB7159 未列出的双字母符号</p>
1.3	辅助文字符号	<p>(1) 辅助文字符号用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征</p> <p>(2) 辅助文字符号可与基本文字符号的单字母符号或双字母符号组成文字符号</p> <p>(3) 辅助文字符号也可以单独使用,如“ON”表示“接通”,“M”表示“中间线”,“PE”表示“保护接地”,“RD”标在指示灯图形符号旁边即表示“红色指示灯”等</p> <p>(4) 辅助文字符号单独使用或与基本文字符号组合使用,总字母数一般不超过 3 个</p>
2	电气文字符号的补充 (据 GB7159—1987)	
2.1	补充国际的要求	在不违背 GB7159 规定的编制原则的条件下,可采用国际标准中规定的电气技术文字符号
2.2	优先采用的补充	在优先采用 GB7159 规定的单字母符号、双字母符号和辅助文字符号前提下,可补充 GB7159 未列出的双字母符号和辅助文字符号
2.3	采用英文缩写的要求	文字符号应按有关电气名词术语国家标准或专业标准中规定的英文术语缩写而成。同一设备若有几种名称时,应选用其中一个名称。当设备名称、功能、状态或特征为一个英文单词时,一般采用该单词的第一位字母构成文字符号,需要时也可用前两位字母,或前两个音节的首位字母,或采用常用缩略语或约定俗成的习惯用法构成;当设备名称、功能、状态或特征为两个或三个英文单词时,一般采用该两个或三个单词的第一位字母,或采用常用缩略语或约定俗成的习惯用法构成文字符号。对基本文字符号不得超过两位字母,对辅助文字符号一般不能超过三位字母

续表

序号	项 目	说 明
2	电气文字符号的补充 (据 GB7159—1987)	
2.4	不得单独采用“1”、“0”做文字符号	因拉丁字母“1”、“0”易同阿拉伯数字“1”和“0”混淆,因此不允许用“1”、“0”单独做为文字符号使用
3	电气设备文字符号编写宜遵循的原则 <sup>[2.44]</sup>	
3.1	“国标为准”原则	(1) 电气设备文字符号的组成格式应符合 GB7159 的规定,如本表序号 1.1 所示。采用双字母的基本文字符号时,表示大类代号的字母应置于第一位。例如继电器的文字符号,采用双字母时,应表示为“K□”,□可为小类代号字母或辅助文字符号 (2) 按 GB7159 规定,辅助文字符号可以单独使用。例如“红色指示灯”可表示为“RD”,“绿色指示灯”可表示为“GN”,“白色指示灯”可表示为“WH”...,这既符合 GB7159 规定,也符合 GB/T4728 和 IEC 规定 (参看表 1-37 序号 10.1)
3.2	“对应统一”原则	凡同一设备或同一物理量,应对应地采用同一文字符号。例如 GB7159 规定,电流表表示为“PA”,电流互感器表示为“TA”,其中“电流”作为辅助文字符号均采用“A”,因此“电流继电器”应对应地表示为“KA”。又如“中”、“中间线”作为辅助文字符号为“M”,因此“中间继电器”可对应地表示为“KM”
3.3	“不容混淆”原则	由于拉丁字母只有 26 个,而大类代号字母又规定不用易与阿拉伯数字混淆的 I、J、O 三个字母,而电气设备类别可以说数以千计,因此只用 1~3 个字母来组成电气设备文字符号,出现不同设备采用同一文字符号的情况是难免的,只要不致引起混淆应该是允许的。需强调的是,在同一场合,不能出现不同设备采用同一文字符号而引起混淆的情况。例如“中间继电器”的文字符号采用“KM”,而“接触器”的双字母符号也是“KM”,如不出现同一场合是无妨的。但是若出现在同一场合,则“接触器”宜采用其大类代号“K”,而“中间继电器”仍用“KM”,使两者不要发生混淆

续表

序号	项 目	说 明
4	物理量下角标文字符号编写宜遵循的原则 <sup>[2.45]</sup>	
4.1	“对应统一”原则	凡电路图上或文字说明中有既定的文字符号的,对应的下角标也应采用同一文字符号。例如电路图上“电动机”表示为“M”,则“电动机电流”应表示为 $I_M$ (不应写作 $I_m$ );又如 2 号变压器 T2 的额定一次电流应写作 $I_{1N-T2}$ 或 $I_{1N(T2)}$
4.2	“国际通用优先”原则	凡国际上比较通用的文字符号,包括数字符号 (如 0、∞、Σ、△、⊥、// 等)、物理量符号 (如 R、L、C、i、u 等)、化学元素符号 (如 Cu、Al、Fe 等) 以及 IEC 推荐使用的一些下角标符号 (参看表 1-45),应优先选用。例如“总电流”写作 $I_\Sigma$ ;“垂直照度”写作 $E_\perp$ ;“电容电流”写作 $I_C$ ;“铜导体电阻”写作 $R_{Cu}$ ;“允许电流”写作 $I_{al}$ 等
4.3	“英文缩写为主”原则	按 GB7159 规定,文字符号应按有关名词术语的英文术语缩写而成,下角标文字符号一般也应如此。例如“需要系数”(demand coefficient)应写作 $K_d$ ,而不写作 $K_x$ ( $x$ 为“需要”的汉语拼音第一个字母);“额定电流”(nominal current)应写作 $I_N$ ,而不写作 $I_e$ ( $e$ 为“额定”的汉语拼音第一个字母)
4.4	“避免混淆”原则	在同一场合,应尽量避免不同下角标采用同一符号,以免产生混淆。例如“计算电流”按上述“英文缩写为主”原则应写作 $I_c$ ,但易与“电容电流” $I_C$ 相混淆 (两者很可能出现在同一场合),因此“计算电流”通常采用其等效的“半小时最大电流” $I_{30}$ 来代替,即采用 $I_{30}$ 来表示“计算电流”。又如用 $I_N$ 表示“额定电流”,因此为避免混淆,“中性线电流”或“零线电流”改用 $I_0$ 表示。但在不对称三相电路分析中,为避免与“零序电流” $I_0$ 相混淆,“中性线电流”仍表示为 $I_N$

## 第二章 常用的基础知识

续表

### 第一节 常用的数学知识

#### 一、初等代数知识

(1) 常用的代数公式。如表 2-1 所示。

表 2-1 常用的代数公式

序号	项 目	公 式
1	恒等式	$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$
		$a^3 \pm b^3 = (a + b)(a^2 \mp ab + b^2)$
		$(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$
		$(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$
		$(a + b + c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca$
2	分 式	基本性质 $\frac{a}{b} = \frac{am}{bm} \quad (m \neq 0)$
		分式加减 $\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{a \pm c}{b}$ $\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$
		分式相乘 $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$
		分式相除 $\frac{a}{b} \div \frac{c}{d} = \frac{ad}{bc}$
		分式乘方 $\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$
		分式开方 $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$
3	比 例	比例式 $a : b = c : d$ 或 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ ( $a, b, c, d$ 均不为零)
		内外项定理 $ad = bc$
		反比定理 $b : a = d : c$ 或 $\frac{b}{a} = \frac{d}{c}$
		更比定理 $a : c = b : d$ 或 $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$
		合比定理 $\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$
		分比定理 $\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$
3	例	分合比定理 $\frac{a+b}{a-b} = \frac{c+d}{c-d}$ 或 $\frac{a-b}{a+b} = \frac{c-d}{c+d}$
		等比定理 设 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f}$ , 则 $\frac{a+c+e}{b+d+f} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f}$

序号	项 目	公 式
4	根 式	基本性质 $(\sqrt[n]{a})^n = \sqrt[n]{a^n} = a \quad (a \geq 0)$
		变形规则 $(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m} \quad (a \geq 0)$ $\sqrt[n]{a^m} = \sqrt[n]{a^m} \quad (a \geq 0)$ $\sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b} \quad (a \geq 0, b \geq 0)$ $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \quad (a \geq 0, b \geq 0)$
5	等 差 数 列	通 项 $a_n = a_1 + (n-1)d$ ( $d$ 为公差)
		前 $n$ 项和 $S_n = \frac{a_1 + a_n}{2} n = na_1 + \frac{n(n-1)}{2} d$
		等差中项 设 $a, b, c$ 为等差数列, 则 $b = \frac{a+c}{2}$
6	等 比 数 列	通 项 $a_n = a_1 q^{n-1}$ ( $q$ 为公比)
		前 $n$ 项和 $S_n = \frac{a_1 - a_n q}{1 - q} = \frac{a_1 (1 - q^n)}{1 - q} \quad (q < 1 \text{ 时})$ $S_n = \frac{a_n q - a_1}{q - 1} = \frac{a_1 (q^n - 1)}{q - 1} \quad (q > 1 \text{ 时})$
		等比中项 设 $a, b, c$ 为等比数列 则 $b = \pm \sqrt{ac}$
7	级 数	等差级数之和 $S = a + (a+d) + (a+2d) + \dots + [a + (n-1)d]$ $= \frac{n[2a + (n-1)d]}{2}$ ( $d$ 为公差)
		等比级数之和 $S = a + aq + aq^2 + \dots + aq^{n-1}$ $= a \frac{1 - q^n}{1 - q} = a \frac{q^n - 1}{q - 1}$ ( $q$ 为公比)
8	一 元 二 次 方 程 求 解	方程式 $ax^2 + bx + c = 0 \quad (a \neq 0)$
		方程式的解 $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
		根的判别式 $b^2 - 4ac \begin{cases} > 0 & \text{不等的两实根} \\ = 0 & \text{相等的两实根} \\ < 0 & \text{共轭的复数根} \end{cases}$

续表

续表

序号	项目	公 式
9	二元一次方程组	$\begin{cases} a_1x - b_1y = c_1 \\ a_2x + b_2y = c_2 \end{cases}$
	方程组的根	$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$ $y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$
10	三元一次方程组	$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{cases}$
	方程组的根	$x = \frac{\begin{vmatrix} d_1 & b_1 & c_1 \\ d_2 & b_2 & c_2 \\ d_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\Delta}$ $y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & d_1 & c_1 \\ a_2 & d_2 & c_2 \\ a_3 & d_3 & c_3 \end{vmatrix}}{\Delta}$ $z = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & d_3 \end{vmatrix}}{\Delta}$ <p>式中 <math>\Delta = \begin{vmatrix} a_1 &amp; b_1 &amp; c_1 \\ a_2 &amp; b_2 &amp; c_2 \\ a_3 &amp; b_3 &amp; c_3 \end{vmatrix} \neq 0</math></p>

(2) 行列式的概念、性质和运算法则。如表 2-2 所示。

表 2-2 行列式的概念、性质和运算法则

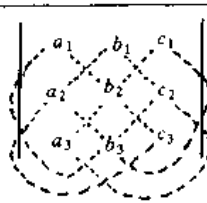
序号	项目	说明与公式
1	行列式的概念	
1.1	转置行列式	设 $\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$ , 则 $\Delta' = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$ 为 $\Delta$ 的“转置行列式”

序号	项目	说明与公式
1.2	对角形行列式	行列式对角线两侧元素均为零的行列式, 称为“对角形行列式” 例: $\begin{vmatrix} a_1 & & & & \\ & b_2 & & & \\ & & c_3 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & m_n \end{vmatrix}$ 和 $\begin{vmatrix} & & & & m_1 \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ a_n & & & & \end{vmatrix}$
1.3	三角形行列式	行列式对角线一侧元素为零的行列式, 称为“三角形行列式” 例: $\begin{vmatrix} a_1 & & & & \\ a_2 & b_2 & & & \\ a_3 & b_3 & c_3 & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \\ a_n & b_n & c_n & \dots & m_n \end{vmatrix}$ 和 $\begin{vmatrix} & & & & m_1 \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ a_n & b_n & c_n & \dots & m_n \end{vmatrix}$
2	行列式的性质	
2.1	行列式的行列互换	行列式的行列互换 (转置), 其值不变 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$
2.2	行与行或列与列互换	行与行或列与列互换, 行列式值反号 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}$
2.3	行 (或列) 乘以某数加到另一行 (或列) 上	将一行 (或一列) 元素乘以某数 $k$ 后加到另一行 (或另一列) 的相应元素上, 其值不变 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$ $= \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 + ka_1 & b_2 + kb_1 & c_2 + kc_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
2.4	行 (或列) 乘以某数	用数 $k$ 乘行列式的一行 (或一列), 其值等于数 $k$ 乘此行列式 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ ka_2 & kb_2 & kc_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = k \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$



续表

续表

序号	项目	说明与公式
2.5	如果两行(或两列)相同	如果行列式的两行(或两列)元素相同,则此行列式值为零 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0, \begin{vmatrix} a_1 & c_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0$
2.6	如果两行(或两列)互成比例	如果行列式的两行(或两列)元素互成比例,则此行列式值为零 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ ka_1 & kb_1 & kc_1 \end{vmatrix} = 0, \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & kb_1 \\ a_2 & b_2 & kb_2 \\ a_3 & b_3 & kb_3 \end{vmatrix} = 0$
2.7	一行列式可表示为两同阶行列式之和	一个行列式可表示为两个同阶行列式之和 例: $\begin{vmatrix} a_1+a'_1 & b_1 & c_1 \\ a_2+a'_2 & b_2 & c_2 \\ a_3+a'_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a'_1 & b_1 & c_1 \\ a'_2 & b_2 & c_2 \\ a'_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
3	行列式的运算法则	
	二阶行列式	例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1b_2 - a_2b_1$
3.1	对角线运算法则 三阶行列式	例:  $= a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - a_1b_3c_2 - a_2b_1c_3 - a_3b_2c_1$
3.2	三角形行列式(或对角形行列式)的对角线各元素乘积的代数之和即行列式之值	例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & \dots & m_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-2} & b_{n-2} & c_{n-2} & \dots & \dots \\ a_{n-1} & b_{n-1} & \dots & \dots & \dots \\ a_n & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$ $= (-1)^{\frac{n(n-1)}{2}} m_1 \dots c_{n-2} b_{n-1} a_n$ (对角线元素乘积)
3.3	行列式值等于该行列式任一行(或任一列)的各元素与其对应的代数余子式的乘积之和(降阶算法)	例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 \times (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} + b_1 \times (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \times (-1)^{1+3} \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix}$ $= a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - b_1 \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix}$

序号	项目	说明与公式
3.4	克莱姆(Cramer)法则——线性方程组求解法则	例: 线性方程组 $\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases}$ 其唯一的解为: $x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \dots; x_n = \frac{\Delta_n}{\Delta}$ 式中 $\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0$ $\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ b_2 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_n & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$ $\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & b_2 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & b_n & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$ $\dots \Delta_n = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & b_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & b_n \end{vmatrix}$

## 二、初等几何知识

初等几何常用的基本定理和公式,如表 2-3 所示。

表 2-3 初等几何的基本定理和公式

序号	项目	说明与公式
1	平行线	
1.1	平行线概念	平面内永不相交的两条直线,称为“平行线”。平行线的同位角、内错角和外错角分别相等,而同旁内角及同旁外角则均互为补角
1.2	平行线判定定理	两条直线被第三条直线所截,如果①同位角相等,或②内错角相等,或③外错角相等,或④同旁内角互补,或⑤同旁外角互补,则这两条直线平行 注:关于“角”的说明(参看下图)同位角: $\angle 1$ 与 $\angle 5, \angle 2$ 与 $\angle 6, \angle 3$ 与 $\angle 7, \angle 4$ 与 $\angle 8$ 内错角: $\angle 3$ 与 $\angle 6, \angle 4$ 与 $\angle 5$ 外错角: $\angle 1$ 与 $\angle 8, \angle 2$ 与 $\angle 7$ 同旁内角: $\angle 3$ 与 $\angle 5, \angle 4$ 与 $\angle 6$ 同旁外角: $\angle 1$ 与 $\angle 7, \angle 2$ 与 $\angle 8$

续表

续表

序号	项目	说明与公式
1.2	平行线判定定理	
1.3	平行线等分线段定理	一组平行线在一条直线上截得相等的线段, 则在其他直线上也截得相等的线段
2 三角形		
2.1	三角形内角和定理	三角形三个内角之和等于 $180^\circ$ ( $\pi$ ), 即 $\triangle ABC$ 的 $\angle A + \angle B + \angle C = 180^\circ$
2.2	三角形外角定理	三角形的一个外角等于与它不相邻的两个内角之和, 即 $\triangle ABC$ 的外角 $\angle C' = 180^\circ - \angle C = \angle A + \angle B$
2.3	三角形重心定理	三角形的三条中线相交于一点, 该点称为“重心”。重心至各边中点的距离, 等于各边中线长度的 $1/3$
2.4	三角形垂心定理	三角形的三条垂线(高)或其延长线相交于一点, 该点称为“垂心”。锐角三角形的垂心在三角形内; 钝角三角形的垂心在三角形外; 直角三角形的垂心即其直角顶点
2.5	三角形内心定理	三角形的三条角平分线相交于一点, 该点称为“内心”。内心至三角形三边的距离相等
2.6	三角形外心定理	三角形的三个边的垂直平分线相交于一点, 该点称为“外心”。外心至三角形三个顶点的距离相等
2.7	三角形全等判定定理	两个三角形, 如果①两边及其夹角对应相等, 或②两角及其夹边对应相等, 或③三边对应相等, 则这两个三角形全等 对直角三角形, 则除满足上列条件能全等外, 一斜边和一直角边对应相等, 则两直角三角形也全等
2.8	勾股定理	直角三角形 $ABC$ 中, $\angle C$ 为直角, $a, b, c$ 分别为顶点 $A, B, C$ 的对边, 其中 $c$ 为直角三角形的斜边(称为“弦”), 三边之间具有以下关系: $c^2 = a^2 + b^2$ 此式亦称“毕达哥拉斯定理”
2.9	三角形面积的计算公式	(1) $A = \frac{1}{2}bh$ 式中 $h$ 为三角形 $b$ 边上的高 (2) $A = \frac{1}{2}absinC$ 式中 $C$ 为三角形的 $a, b$ 两边所夹的角 (3) $A = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$ 式中 $a, b, c$ 为三角形的三个边长; $p = (a+b+c)/2$

序号	项目	说明与公式
3	四 边 形	
3.1	矩形对角线定理	矩形的两对角线相等, 并互相平分, 对角相等
3.2	矩形面积的计算公式	$A = ab$ 式中 $a, b$ 为矩形两邻边的长
3.3	平行四边形的对边和对角线	平行四边形的对边相等, 两对角线互相平分, 对角相等
3.4	平行四边形面积的计算公式	$A = bh$ 式中 $h$ 为平行四边形 $b$ 边上的高
3.5	菱形的对边和对角线	菱形的四边相等, 两对角线互相垂直和平分, 且每条对角线平分一组对角
3.6	菱形面积的计算公式	(1) $A = bh$ 式中 $h$ 为菱形 $b$ 边上的高 (2) $A = \frac{1}{2}d_1d_2$ 式中 $d_1, d_2$ 为菱形两对角线的长
3.7	梯形面积的计算公式	$A = \frac{1}{2}(a+b)h$ 式中 $a, b$ 为梯形的上底和下底; $h$ 为梯形的高
4	圆	
4.1	圆周长的计算公式	$c = \pi d = 2\pi r$ 式中 $d$ 为圆的直径; $r$ 为圆的半径
4.2	圆弧长的计算公式	$l = r\theta = n\pi r / 180^\circ$ 式中 $\theta$ 为圆弧的弧度; $n$ 为圆弧的角度
4.3	圆面积的计算公式	$A = \pi r^2 = \pi d^2 / 4$ 式中 $r$ 为圆的半径; $d$ 为圆的直径
4.4	扇形面积的计算公式	$A = rl/2 = r^2\theta/2$ 式中 $r$ 为扇形所属圆的半径; $l$ 为弧长; $\theta$ 为扇形角的弧度
4.5	弓形面积的计算公式	$A = \frac{1}{2}r^2\theta - \frac{1}{2}b\sqrt{r^2 - (\frac{b}{2})^2}$ 式中 $r$ 为弓形所属圆的半径; $\theta$ 为弓形所对圆心角的弧度; $b$ 为弓的弦长
4.6	圆的切线定理	圆的切线垂直于经过切点的圆的半径或直径
4.7	切线长定理	从圆外一点引至圆的两条切线, 其长度相等
4.8	割线定理	从圆外一点引至圆的两条割线, 在一条割线上从该点到圆上两交点的两线段之积, 等于另一条割线上两对应线段之积

续表

序号	项目	说明与公式
4.9	切、割线定理	从圆外一点引至圆的一条割线和一条切线, 割线上从该点到圆上两交点的两线段之积, 等于切线长的平方
4.10	圆周角与圆心角	(1) 同一圆弧上的圆周角相等 (2) 圆周角等于圆心角的一半 (3) 半圆周上的圆周角为直角
5	多 面 体	
5.1	欧拉 (Euler) 定理	简单多面体的顶点数 $V$ 、棱数 $E$ 、面数 $F$ 三者之间存在下列关系: $V+F-E=2$
5.2	直棱柱侧面积的计算公式	$A=ch$ 式中 $c$ 为棱柱端面的周长; $h$ 为棱柱的高
5.3	直棱柱体积的计算公式	$V=A'h$ 式中 $A'$ 为棱柱端面的面积; $h$ 为棱柱的高
5.4	正棱锥侧面积的计算公式	$A=\frac{1}{2}ch'$ 式中 $c$ 为棱锥底面的周长; $h'$ 为棱锥侧面等腰三角形底边上的高, 称为“斜高”
5.5	正棱锥体积的计算公式	$V=\frac{1}{3}A'h$ 式中 $A'$ 为棱锥底面的面积; $h$ 为棱锥的内心高
5.6	长方体体积的计算公式	$V=lbh$ 式中 $l$ 为长方体的长; $b$ 为长方体的宽; $h$ 为长方体的高
5.7	正方体体积的计算公式	$V=l^3$ 式中 $l$ 为正方体的棱长 (一边的长)
6	旋 转 体	
6.1	圆柱侧面积的计算公式	$A=2\pi rh$ 式中 $r$ 为圆柱的半径; $h$ 为圆柱的高
6.2	圆柱体积的计算公式	$V=A'h$ 式中 $A'$ 为圆柱底面的面积; $h$ 为圆柱的高
6.3	圆锥侧面积的计算公式	$A=\pi rl$ 式中 $r$ 为圆锥底面 (圆) 的半径; $l$ 为圆锥侧面 (母线) 的长
6.4	圆锥体积的计算公式	$V=\frac{1}{3}A'h$ 式中 $A'$ 为圆锥底面积; $h$ 为圆锥的高
6.5	圆球表面积的计算公式	$A=4\pi r^2=\pi d^2$ 式中 $r$ 为圆球的半径; $d$ 为圆球的直径
6.6	圆球体积的计算公式	$V=\frac{4}{3}\pi r^3=\pi d^3/6$ 式中 $r$ 为圆球的半径; $d$ 为圆球的直径

## 三、初等函数知识

(1) 指数函数的基本性质和运算法则。如表 2-4 所示。

(2) 对数函数的基本性质和运算法则。如表 2-5 所示。

表 2-4 指数函数的基本性质和运算法则

序号	项 目	公 式		
1	指数函数 $y=a^x$ ( $a>0$ , $a\neq 1$ ) 的性质	$y$ 的定义域	$(-\infty, +\infty)$	
		$y$ 的值域	$(0, +\infty)$	
		$x=0$ 时	$a^0=1$	
		$a>1$ 时	$y=a^x$ 为增函数	
		$0<a<1$ 时	$y=a^x$ 为减函数	
		$a>1$	$x>0$ 时	$a^x>1$
			$x<0$ 时	$a^x<1$
		$0<a<1$	$x>0$ 时	$a^x<1$
$x<0$ 时	$a^x>1$			
2	指数函数的运算法则	同底数的指数相乘	$a^x a^y = a^{x+y}$	
		同底数的指数相除	$a^x / a^y = a^{x-y}$	
		指数的乘方	$(a^x)^n = a^{nx}$	
		指数乘积的乘方	$(a^x b^y)^n = a^{nx} b^{ny}$	

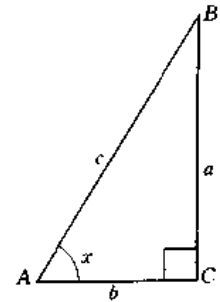
表 2-5 对数函数的基本性质和运算法则

序号	项 目	公 式		
1	对数函数 $y=\log_a x$ ( $a>0$ , $a\neq 1$ ) 的性质	$y$ 的定义域	$(0, +\infty)$	
		$y$ 的值域	$(-\infty, +\infty)$	
		$x=1$ 时	$\log_a 1=0$	
		$x=a$ 时	$\log_a a=1$	
		$a>1$ 时	$\log_a x$ 为增函数	
		$0<a<1$ 时	$\log_a x$ 为减函数	
		$a>1$	$x>1$ 时	$\log_a x>0$
			$0<x<1$ 时	$\log_a x<0$
		$0<a<1$	$x>1$ 时	$\log_a x<0$
			$0<x<1$ 时	$\log_a x>0$
2	对数函数的运算法则	对数中的真数相乘	$\log_a (xy) = \log_a x + \log_a y$	
		对数中的真数相除	$\log_a \left(\frac{x}{y}\right) = \log_a x - \log_a y$	
		对数中的真数乘方	$\log_a x^n = n \log_a x$	
		对数中的真数开方	$\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log_a x$ ( $n$ 为大于 1 的整数)	
		对数的换底	$\log_a x = \log_b x / \log_b a$ $\ln x = 2.3 \lg x$ $(\log_e x = 2.3 \log_{10} x)$	

(3) 三角函数的定义、图像和基本公式。如表 2-6 所示。

表 2-6 三角函数的定义、图像和基本公式

序号	项 目	公 式 或 图 像		
1	三角函数的定义			
1.1	正弦	定义域	$\sin x = \frac{a}{c}$	$(-\infty, +\infty)$
		值 域		$[-1, 1]$
1.2	余弦	定义域	$\cos x = \frac{b}{c}$	$(-\infty, +\infty)$
		值 域		$[-1, 1]$
1.3	正切	定义域	$\tan x = \frac{a}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 为整数})$
		值 域		$(-\infty, +\infty)$
1.4	余切	定义域	$\cot x = \frac{b}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 为整数})$
		值 域		$(-\infty, +\infty)$
1.5	正割	定义域	$\sec x = \frac{c}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 为整数})$
		值 域		$ y  \geq 1$
1.6	余割	定义域	$\csc x = \frac{c}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 为整数})$
		值 域		$ y  \geq 1$



序号	项 目	公式或图像	序号	项 目	公式或图像
2	三角函数的图像		2.6	余割 $y = \csc x$	
2.1	正弦 $y = \sin x$		三角函数的奇偶性		
2.2	余弦 $y = \cos x$		3.1	正弦	奇函数 $\sin(-x) = -\sin x$
2.3	正切 $y = \tan x$		3.2	余弦	偶函数 $\cos(-x) = \cos x$
2.4	余切 $y = \cot x$		3.3	正切	奇函数 $\tan(-x) = -\tan x$
2.5	正割 $y = \sec x$		3.4	余切	奇函数 $\cot(-x) = -\cot x$
			3.5	正割	偶函数 $\sec(-x) = \sec x$
			3.6	余割	奇函数 $\csc(-x) = -\csc x$
			4	三角函数的基本定理	
			4.1	正弦定理	$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$ 式中 $a, b, c$ 为 $\triangle ABC$ 中 $A, B, C$ 所对的边长; $R$ 为 $\triangle ABC$ 的外接圆半径
			4.2	余弦定理	$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$ $b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B$ $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$
			4.3	正切定理	$\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{A+B}{2}}{\tan \frac{A-B}{2}} (a \neq b)$ $\frac{b+c}{b-c} = \frac{\tan \frac{B+C}{2}}{\tan \frac{B-C}{2}} (b \neq c)$ $\frac{c+a}{c-a} = \frac{\tan \frac{C+A}{2}}{\tan \frac{C-A}{2}} (c \neq a)$

续表

序号	项目	公式或图像	序号	项目	公式或图像
4.4	余切定理	$\cot A = \frac{c - a \cos B}{a \sin B}$ $\cot B = \frac{a - b \cos C}{b \sin C}$ $\cot C = \frac{b - c \cos A}{c \sin A}$	7.2	三角函数积化和差公式	$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$
5	三角函数间的基本关系				$\cos \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta)]$
5.1	倒数关系	$\sin \alpha \csc \alpha = 1$ $\cos \alpha \sec \alpha = 1$ $\tan \alpha \cot \alpha = 1$			$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$
5.2	商数关系	$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad \cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	8	三角函数角简化公式	
5.3	二次方关系	$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ $1 + \tan^2 \alpha = \sec^2 \alpha$ $1 + \cot^2 \alpha = \csc^2 \alpha$	8.1	90°±α	$\sin(90^\circ \pm \alpha) = \pm \cos \alpha$
6	三角函数角变换公式				$\cos(90^\circ \pm \alpha) = \mp \sin \alpha$
6.1	两角和差的三角函数公式	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$ $\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$	$\tan(90^\circ \pm \alpha) = \mp \cot \alpha$		
6.2	三角函数倍角公式	$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$ $\tan 2\alpha = \frac{2 \tan \alpha}{1 - \tan^2 \alpha}$ $\cot 2\alpha = \frac{\cot^2 \alpha - 1}{2 \cot \alpha}$	8.2	180°±α	$\sec(90^\circ \pm \alpha) = \mp \csc \alpha$
6.3	三角函数半角公式	$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$ $\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$ $\tan \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ $\cot \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}} = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha}$			$\csc(90^\circ \pm \alpha) = \sec \alpha$
7	三角函数变换公式		8.3	270°±α	$\sin(180^\circ \pm \alpha) = \mp \sin \alpha$
7.1	三角函数和差化积公式	$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$			$\cos(180^\circ \pm \alpha) = -\cos \alpha$
		$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$	$\tan(180^\circ \pm \alpha) = \pm \tan \alpha$		
		$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$	8.4	360°±α	$\cot(180^\circ \pm \alpha) = \pm \cot \alpha$
		$\cos \alpha - \cos \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\beta - \alpha}{2}$			$\sec(180^\circ \pm \alpha) = -\sec \alpha$
		$\tan \alpha + \tan \beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$			$\csc(180^\circ \pm \alpha) = \mp \csc \alpha$
		$\tan \alpha - \tan \beta = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \alpha \cos \beta}$	9 欧拉(Euler)公式		
		$\cot \alpha + \cot \beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \sin \beta}$	9.1	指数函数变换为三角函数	$e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$
		$\cot \alpha - \cot \beta = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin \alpha \sin \beta}$	9.2	三角函数变换为指数函数	$e^{-j\alpha} = \cos \alpha - j \sin \alpha$
					$\sin \alpha = \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2j}$
					$\cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}$

(4) 反三角函数的定义和基本公式。如表 2-7 所示。

表 2-7 反三角函数的定义和基本公式

序号	项目	公 式
1	反三角函数的定义	
1.1	反正弦	定义域 $[-1, 1]$ 值域 $y = \arcsin x$ $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$
	反余弦	定义域 $[-1, 1]$ 值域 $y = \arccos x$ $[0, \pi]$
1.3	反正切	定义域 $(-\infty, +\infty)$ 值域 $y = \arctan x$ $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$
	反余切	定义域 $(-\infty, +\infty)$ 值域 $y = \text{arccot} x$ $(0, \pi)$
1.5	反正割	定义域 $ x  \geq 1$ 值域 $y = \text{arcsec} x$ $(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$
	反余割	定义域 $ x  \geq 1$ 值域 $y = \text{arccsc} x$ $(0, \pi)$
2	反三角函数的三角运算公式	
2.1	反三角函数的正弦	$\sin(\arcsin x) = x \quad ( x  \leq 1)$
		$\sin(\arccos x) = \sqrt{1-x^2} \quad ( x  \leq 1)$
		$\sin(\arctan x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$
		$\sin(\text{arccot} x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$
2.2	反三角函数的余弦	$\cos(\arcsin x) = \sqrt{1-x^2} \quad ( x  \leq 1)$
		$\cos(\arccos x) = x \quad ( x  \leq 1)$
		$\cos(\arctan x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$
		$\cos(\text{arccot} x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$
2.3	反三角函数的正切	$\tan(\arcsin x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \quad ( x  \leq 1)$
		$\tan(\arccos x) = \frac{\sqrt{1-x^2}}{x} \quad ( x  \leq 1)$
		$\tan(\arctan x) = x$ $\tan(\text{arccot} x) = \frac{1}{x}$
2.4	反三角函数的余切	$\cot(\arcsin x) = \frac{\sqrt{1-x^2}}{x} \quad ( x  \leq 1)$
		$\cot(\arccos x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \quad ( x  \leq 1)$
		$\cot(\arctan x) = \frac{1}{x}$
		$\cot(\text{arccot} x) = x$

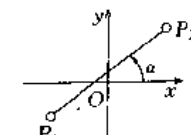
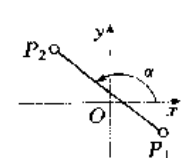
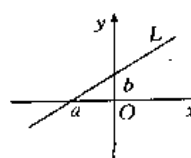
续表

序号	项目	公 式
3	反三角函数间的关系	
3.1	反角或互为补角	$\arcsin(-x) = -\arcsin x$ $\arccos(-x) = \pi - \arccos x$ $\arctan(-x) = -\arctan x$ $\text{arccot}(-x) = \pi - \text{arccot} x$
3.2	互为余角	$\arcsin x + \arccos x = \frac{\pi}{2}$ $\arctan x + \text{arccot} x = \frac{\pi}{2}$

### 四、解析几何知识

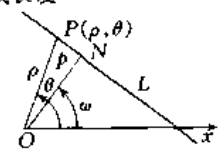
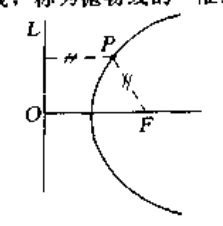
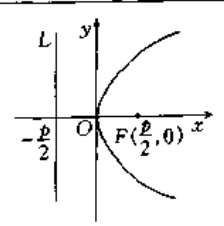
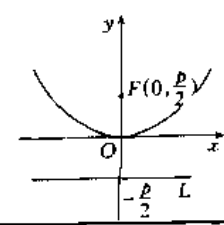
常用的解析几何知识，如表 2-8 所示。

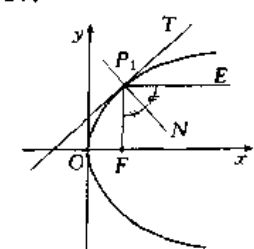
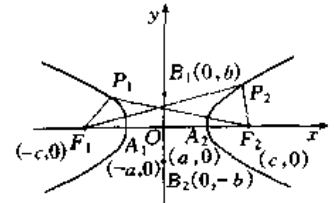
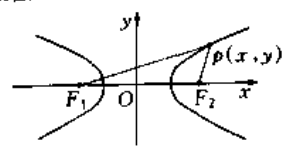
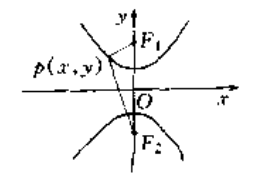
表 2-8 常用的解析几何知识

序号	项 目	公式或图像
1	直线的概念和方程	
1.1	直线的概念	一点在平面上或空间中沿一定方向及其相反方向运动的轨迹，称为“直线” 两点之间以直线距离为最短 两点 $P_1(x_1, y_1)$ 与 $P_2(x_2, y_2)$ 间的距离： $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$
1.2	平面上直线的斜率公式	(1) 斜率 $k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ (2) 斜率 $k = \tan \alpha$ 式中 $\alpha$ 为直线向上方向与 $x$ 轴正方向所成的最小正角，亦即直线对 $x$ 轴的倾斜角  
1.3	平面上直线的一般方程	$Ax + By + C = 0$ 式中 $A, B, C$ 为任意实数，且 $A, B$ 不同时为零
1.4	平面上直线的截斜式方程	$y = kx + b$ 式中 $k$ 为直线的斜率； $b$ 为直线在 $y$ 轴上的截距 

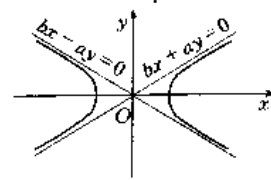
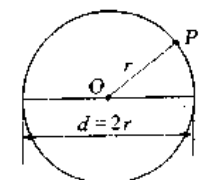
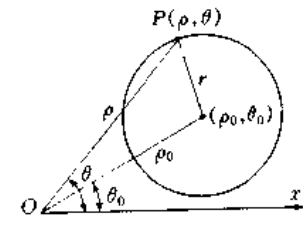
续表

续表

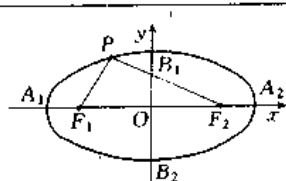
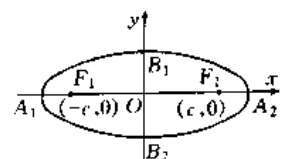
序号	项目	公式或图像
1.5	平面上直线的截距式方程	$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 \quad (a \neq 0, b \neq 0)$ 式中 $a, b$ 分别为直线在 $x$ 轴和 $y$ 轴上的截距
1.6	平面上直线的点斜式方程	$y - y_0 = k(x - x_0)$ 式中 $(x_0, y_0)$ 为直线经过的定点的直角坐标; $k$ 为直线的斜率
1.7	平面上直线的两点式方程	$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ 式中 $(x_1, y_1)$ 和 $(x_2, y_2)$ 为直线经过的不重合的两已知点的直角坐标
1.8	平面上直线的极坐标方程	$\rho \cos(\theta - \omega) = p$ 式中 $(\rho, \theta)$ 为直线经过的定点的极坐标; $\omega$ 为垂直于直线的法线倾斜角; $p$ 为法线长度 
1.9	空间中直线的一般方程	如果通过直线 $L$ 的两不重合的平面方程为: $\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases}$ 则上列方程组也就是该直线 $L$ 的一般方程, 其中 $A_1 : B_1 : C_1 \neq A_2 : B_2 : C_2$
2	抛物线的概念和方程	
2.1	抛物线的概念	如果平面上的动点 ( $P$ 点) 到定点 ( $F$ 点) 与该动点到定直线 ( $L$ ) 的距离相等, 则此动点的轨迹就称为“抛物线”。此定点, 称为抛物线的“焦点”; 此定直线, 称为抛物线的“准线” 
2.2	焦点在 $x$ 轴, 顶点在原点, 向右开口	$y^2 = 2px \quad (p > 0)$ 
	焦点在 $y$ 轴, 顶点在原点, 向上开口	$x^2 = 2py \quad (p > 0)$ 

序号	项目	公式或图像
2.3	抛物线的切线、法线及抛物面性质	过抛物线上任一点 $P_1$ , 作抛物线的切线 $T$ 和法线 $N$ 。再过 $P_1$ 点作平行于抛物线对称轴 $ox$ 轴的 $P_1E$ 线, 联 $P_1F$ 线, $F$ 点为抛物线焦点, 则有: $\angle EP_1N = \angle FP_1N$ 这说明, 如焦点 $F$ 置一点光源, 则抛物形镜面将反射出一束平行于 $x$ 轴的均匀光线 
3	双曲线的概念和方程	
3.1	双曲线的概念	如果平面内的动点到两定点的距离之差等于定长 (小于两定点距离), 则动点的轨迹就称为“双曲线”。这两定点称为双曲线的“焦点”。两焦点间距离称为“焦距”。双曲线的对称中心, 称为“双曲线中心”。双曲线两顶点间的线段, 称为双曲线“实轴” ( $2a$ )。与实轴垂直的轴上两虚顶间的线段称为“虚轴” ( $2b$ ) 
3.2	双曲线的标准方程	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ 式中 $a > 0, b > 0$ , 焦点至中心距离 (半焦距) $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ 
		$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 式中 $a > 0, b > 0$ , 焦点至中心距离 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ 

续表

序号	项 目	公式或图像
3.3	双曲线的渐近线方程	<p>双曲线 <math>\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1</math> 的两条交叉的渐近线方程为:</p> $\begin{cases} bx - ay = 0 \\ bx + ay = 0 \end{cases}$ 
4	圆的概念和方程	
1.1	圆的概念	<p>在平面上与定点保持定距离的动点的轨迹,称为“圆周”,简称“圆”。这定点称为“圆心”;这定距离称为“半径”</p> 
4.2	圆的标准方程	<p>圆心在原点</p> $x^2 + y^2 = r^2$ <p>式中 <math>r</math> 为圆的半径</p> <p>圆心坐标为 <math>(x_0, y_0)</math></p> $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$ <p>式中 <math>r</math> 为圆的半径</p>
	圆的一般方程	$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0$ <p>圆心坐标为 <math>(-\frac{D}{2}, -\frac{E}{2})</math>; 半径为:</p> $r = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 + E^2 - 4F}$
1.4	圆的极坐标方程	<p>圆的极坐标方程</p> $\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0\cos(\theta - \theta_0) = r^2$ <p>式中 <math>r</math> 为圆的半径</p> <p>如圆心在原点,则圆的极坐标方程为: <math>\rho = r</math></p> 
5	椭圆的概念和方程	
5.1	椭圆的概念	<p>如果平面内的动点到两定点的距离之和等于定长,则此动点的轨迹就称为“椭圆”。这两定点称为椭圆的“焦点”,两焦点间距离称为“焦距”。椭圆的对称中心,称为“椭圆中心”。通过中心和两焦点的轴与椭圆的两交点(顶点)间的线段,称为椭圆的“长轴”(2a)。通过中心垂直于长轴的轴与椭圆的两交点(顶点)间的线段,称为“短轴”(2b)</p>

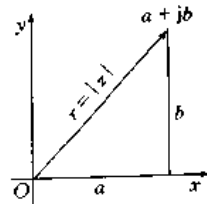
续表

序号	项 目	公式或图像
5.1	椭圆的概念	
5.2	椭圆的标准方程	<p>椭圆的标准方程 (中心在原点,焦点在 <math>x</math> 轴上)</p> $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ <p>式中 <math>a</math> 为半长轴; <math>b</math> 为半短轴; 焦点至中心距离(半焦距) <math>c = \sqrt{a^2 - b^2}</math></p> 
5.3	椭圆的参数方程	<p>对应于椭圆标准方程 <math>\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1</math> 的参数方程组为</p> $\begin{cases} x = a\cos\theta \\ y = b\sin\theta \end{cases} \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$
6	直角坐标与极坐标的互换	
6.1	直角坐标 $\rightarrow$ 极坐标	$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \theta = \arctan \frac{y}{x}$
6.2	极坐标 $\rightarrow$ 直角坐标	$x = \rho\cos\theta; \quad y = \rho\sin\theta$

### 五、复数知识

(1) 复数的形式和运算法则,如表 2-9 所示。

表 2-9 复数的形式和运算法则

序号	项 目	公 式
1	复数的表达式及换算公式	
1.1	代数表达式	$z = a + jb$
1.2	三角表达式	$z = r(\cos\theta + jsin\theta)$
1.3	指数表达式	$z = re^{j\theta} =  z e^{j\theta}$
1.4	矢量图及换算公式	$a = r\cos\theta$ $b = r\sin\theta$ $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ $=  z $ $\theta = \arctan \frac{b}{a}$ <p>式中 <math>a</math> 为实部; <math>b</math> 为虚部; <math> z </math> 为模; <math>\theta</math> 为辐角</p> 

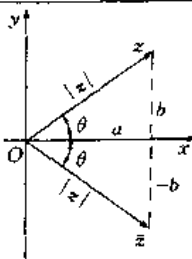


续表

序号	项目	公 式
2		复数的运算法则
2.1	复数加减	将复数统一化为代数表达式后, 再进行加减运算 设 $z_1 = a_1 + jb_1$ , $z_2 = a_2 + jb_2$ 则 $z = z_1 + z_2 = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$ $= a + jb$
2.2	复数相乘	将复数统一化为指数表达式后, 再进行相乘运算 设 $z_1 = r_1 e^{j\theta_1}$ , $z_2 = r_2 e^{j\theta_2}$ 则 $z = z_1 z_2 = r_1 r_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$ $= r e^{j\theta}$
2.3	复数相除	将复数统一化为指数表达式后, 再进行相除运算 设 $z_1 = r_1 e^{j\theta_1}$ , $z_2 = r_2 e^{j\theta_2}$ 则 $z = \frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$ $= r e^{j\theta}$

(2) 共轭复数的性质和运算法则。如表 2-10 所示。

表 2-10 共轭复数的性质和运算法则

序号	项目	公 式
1	共轭复数的对偶性	$z = a + jb =  z  e^{j\theta}$ $\bar{z} = a - jb =  z  e^{-j\theta}$ 
2	共轭复数相加	$z + \bar{z} = 2\text{Re}z = 2a$
3	共轭复数相减	$z - \bar{z} = 2j\text{Im}z = 2jb$
4	共轭复数相乘	$z \bar{z} = [\text{Re}z]^2 + [\text{Im}z]^2 = a^2 + b^2$
5	共轭复数相除	$\frac{z}{z} = \frac{z^2}{z z} = \frac{(a^2 - b^2) + j2ab}{a^2 + b^2}$ $\frac{\bar{z}}{z} = \frac{\bar{z}^2}{z \bar{z}} = \frac{(a^2 - b^2) - j2ab}{a^2 + b^2}$
6	复数加减乘除的共轭复数	$\overline{z_1 \pm z_2} = \bar{z}_1 \pm \bar{z}_2$ $\overline{z_1 z_2} = \bar{z}_1 \bar{z}_2$ $\overline{\left(\frac{z_1}{z_2}\right)} = \frac{\bar{z}_1}{\bar{z}_2}$

续表

序号	项目	公 式
7	共轭复数的共轭复数	$\bar{\bar{z}} = z$

## 六、微积分知识

(1) 导线的基本公式和运算法则。如表 2-11 所示。

表 2-11 导线的基本公式和运算法则

序号	项目	公 式
1		基本求导公式
1.1	常 数	$(C)' = 0$ , 即 $\frac{d}{dx} C = 0$
1.2	乘 方	$(x^n)' = nx^{n-1}$
1.3	三角函数	正弦 $(\sin x)' = \cos x$
		余弦 $(\cos x)' = -\sin x$
		正切 $(\tan x)' = \frac{1}{\cos^2 x} = \sec^2 x$
		余切 $(\cot x)' = -\frac{1}{\sin^2 x} = -\csc^2 x$
1.4	指 数	(1) $(a^x)' = a^x \ln a$ (2) $(e^x)' = e^x$
1.5	对 数	(1) $(\log_a x)' = \frac{1}{x \ln a}$ (2) $(\ln x)' = \frac{1}{x}$
1.6	反三角函数	反正弦 $(\arcsin x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad (-1 < x < 1)$
		反余弦 $(\arccos x)' = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad (-1 < x < 1)$
		反正切 $(\arctan x)' = \frac{1}{1+x^2} \quad (-\infty < x < +\infty)$
		反余切 $(\text{arccot } x)' = -\frac{1}{1+x^2} \quad (-\infty < x < +\infty)$
2		常用求导法则
2.1	和差求导	$(u \pm v)' = u' \pm v'$
2.2	相乘求导	(1) $(uv)' = uv' + u'v$
		(2) $(Cu)' = Cu' \quad (C \text{ 为常数})$
2.3	相除求导	$\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2} \quad (v \neq 0)$

续表

序号	项目	公 式
2.4	反函数求导	$x' y = \frac{1}{y' x}$ <p>即</p> $\frac{dx}{dy} = \frac{1}{\frac{dy}{dx}}$ <p>式中 <math>y</math> 为 <math>x</math> 的函数, <math>x</math> 为 <math>y</math> 的反函数</p>
2.5	复合函数求导	$y' x = y' u u' x'$ <p>即</p> $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \frac{du}{dx}$ <p>式中 <math>y=f(u)</math>, <math>u=g(x)</math></p>
2.6	参数式求导	$y' x = \frac{y'_t}{x'_t}$ <p>即</p> $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} / \frac{dx}{dt}$ <p>式中 <math>x=f(t)</math>, <math>y=g(t)</math></p>

(2) 微分的基本公式和运算法则。如表2-12所示。

表2-12 微分的基本公式和运算法则

序号	项 目	公 式
1	基本微分公式	
1.1	常 数	$d(C)=0$
1.2	乘 方	$d(x^n)=nx^{n-1}dx$
1.3	三角函数	正弦 $d(\sin x)=\cos x dx$
		余弦 $d(\cos x)=-\sin x dx$
		正切 $d(\tan x)=\frac{dx}{\cos^2 x}=\sec^2 x dx$
		余切 $d(\cot x)=-\frac{dx}{\sin^2 x}=-\csc^2 x dx$
1.4	指 数	(1) $d(a^x)=a^x \ln a dx$ (2) $d(e^x)=e^x dx$
1.5	对 数	(1) $d(\log_a x)=\frac{dx}{x \ln a}$ (2) $d(\ln x)=\frac{dx}{x}$
1.6	反三角函数	反正弦 $d(\arcsin x)=\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$
		反余弦 $d(\arccos x)=-\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$
		反正切 $d(\arctan x)=\frac{dx}{1+x^2}$
		反余切 $d(\operatorname{arccot} x)=-\frac{dx}{1+x^2}$
2	常用微分法则	
2.1	和差微分	$d(u \pm v)=du \pm dv$

续表

序号	项 目	公 式
2.2	相乘微分	$d(uv)=udv+vd u$ $d(Cu)=Cdu \quad (C \text{ 为常数})$
2.3	相除微分	$d\left(\frac{u}{v}\right)=\frac{vdu-udv}{v^2} \quad (v \neq 0)$

(3) 不定积分的基本性质,如表2-13所示。

表2-13 不定积分的基本性质

序号	性 质	公 式
1	不定积分的导数等于被积函数	$\left(\int f(x) dx\right)' = \frac{d}{dx} \left[\int f(x) dx\right]$ $= f(x)$
2	不定积分的微分等于被积表达式	$d\int f(x) dx = f(x) dx$
3	函数 $f(x)$ 的微分的不定积分等于 $f(x)$ 加任意常数	$(1) \int df(x) = f(x) + C$ $(2) \int f'(x) dx = f(x) + C$
4	函数和差的微分的不定积分等于各个函数不定积分的和差	$\int [f(x) \pm g(x)] dx$ $= \int f(x) dx \pm \int g(x) dx$
5	被积函数的常数因子可以提到积分号前	$\int k f(x) dx = k \int f(x) dx$ <p>(<math>k</math> 为常数)</p>

(4) 不定积分的基本公式和运算法则,如表2-14所示。

表2-14 不定积分的基本公式和运算法则

序号	项 目	公 式
1	基 本 积 分 公 式	
1.1	常 数	(1) $\int dx = x + C$
		(2) $\int k dx = kx + C \quad (k \text{ 为常数})$
1.2	乘 方	$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1)$

续表

续表

序号	项目	公 式
1.3	倒 数	(1) $\int \frac{1}{x} dx = \ln x  + C$
		(2) $\int \frac{1}{1+x^2} dx = \arctan x + C$
		(3) $\int \frac{1}{a^2+x^2} dx = \frac{1}{a} \arctan \frac{x}{a} + C$
		(4) $\int \frac{1}{x^2-a^2} dx$ $= \frac{1}{2a} \ln \left  \frac{x-a}{x+a} \right  + C$
		(5) $\int \frac{1}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} dx$ $= \ln \left  x + \sqrt{x^2 \pm a^2} \right  + C$
		(6) $\int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}} dx$ $= \arcsin \frac{x}{a} + C$
		(7) $\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx = \arcsin x + C$
1.4	基本三角函数	正 弦 $\int \sin x dx = -\cos x + C$
		余 弦 $\int \cos x dx = \sin x + C$
		正 切 $\int \tan x dx = -\ln \cos x  + C$
		余 切 $\int \cot x dx = \ln \sin x  + C$
		正 割 $\int \sec x dx = \int \frac{1}{\cos x} dx$ $= \ln \sec x + \tan x  + C$ $= \ln \tan \left( \frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + C$
		余 割 $\int \csc x dx = \int \frac{1}{\sin x} dx$ $= \ln \csc x - \cot x  + C$ $= \ln \tan \frac{x}{2} + C$
1.5	其余三角函数	(1) $\int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x + C$
		(2) $\int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{1}{4} \sin 2x + C$
		(3) $\int \sec^2 x dx = \tan x + C$
		(4) $\int \csc^2 x dx = -\cot x + C$
		(5) $\int \sec x \tan x dx = \sec x + C$
		(6) $\int \csc x \cot x dx = -\csc x + C$

序号	项目	公 式
1.6	指 数	(1) $\int a^x dx = \frac{1}{\ln a} a^x + C$
		(2) $\int e^x dx = e^x + C$
		(3) $\int e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a} + C$
2	不定积分的运算法则	
2.1	换元积分法	<p>设 <math>f(u)</math> 具有原函数 <math>F(u)</math>, <math>u = \varphi(x)</math> 可导, 则 <math>F[\varphi(x)]</math> 是 <math>f[\varphi(x)] \cdot \varphi'(x)</math> 的原函数, 即有下列换元公式 <math>\int f[\varphi(x)] \cdot \varphi'(x) dx = F[\varphi(x)] + C = \int f(u) du</math>, <math>u = \varphi(x)</math> 例: 求 <math>\int 2\cos 2x dx</math></p> <p>解: 设 <math>u = 2x</math>, 则 <math>\cos 2x = \cos u</math>, <math>du = 2dx</math>, 因此</p> $\int 2\cos 2x dx = \int \cos u du = \sin u + C = \sin 2x + C$
2.2	分部积分法	<p>设函数 <math>u = u(x)</math> 及 <math>v = v(x)</math> 均具有连续导数, 则有下列分部积分公式</p> $\int u dv = uv - \int v du$ <p>例: 求 <math>\int x \ln x dx</math></p> <p>解: 设 <math>u = \ln x</math>, <math>du = \frac{1}{x} dx</math>, <math>v = \frac{x^2}{2}</math>, <math>dv = x dx</math>, 因此利用分部积分公式得</p> $\int x \ln x dx = \frac{x^2}{2} \ln x - \frac{1}{2} \int x dx = \frac{x^2}{2} \ln x - \frac{x^2}{4} + C$

(5) 定积分的基本性质, 如表2-15所示。

表2-15 定积分的基本性质

序号	性 质	公 式
1	定积分的上下限互换时, 其积分值反号	$\int_a^b f(x) dx = -\int_b^a f(x) dx$
2	被积函数的常数因子可以提到积分号前 ( $k$ 为常数)	$\int_a^b k f(x) dx = k \int_a^b f(x) dx$
3	如果在区间 $[a, b]$ 上函数 $f(x) = k$ (常数), 则它在此区间的定积分为 $k(b-a)$	$\int_a^b k dx = k(b-a)$ ( $k$ 为常数)
4	如果将积分区间分成两部分, 则定积分等于这两部分区间上定积分之和	$\int_a^b f(x) dx = \int_a^c f(x) dx + \int_c^b f(x) dx$ ( $a < c < b$ )
5	函数的和、差的定积分, 等于所有各函数定积分的和、差	$\int_a^b [f(x) \pm g(x)] dx = \int_a^b f(x) dx \pm \int_a^b g(x) dx$

(6) 定积分的基本公式和运算法则,如表2-16所示。

表2-16 定积分的基本公式和运算法则

序号	项目	公 式
1	定积分的基本公式(牛顿-莱布尼兹公式)	<p>设 <math>f(x)</math> 是区间 <math>[a, b]</math> 上的连续函数, <math>F(x)</math> 是 <math>f(x)</math> 在区间 <math>[a, b]</math> 上的一个原函数, 则</p> $\int_a^b f(x)dx = F(x) \Big _a^b = F(b) - F(a)$
2	定积分的运算法则	
2.1	换元积分法	<p>设函数 <math>\varphi(x)</math> 在区间 <math>[a, b]</math> 上有连续导数 <math>\varphi'(x)</math>, 同时函数 <math>f(u)</math> 在区间 <math>[\varphi(a), \varphi(b)]</math> 上连续, 并且 <math>u</math> 从 <math>\varphi(a)</math> 单调地变到 <math>\varphi(b)</math>, 则定积分换元公式为</p> $\int_a^b f[\varphi(x)]\varphi'(x)dx = \int_{\varphi(a)}^{\varphi(b)} f(u)du$ <p>例: 计算 <math>\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^5 x \sin x dx</math></p> <p>解: 设 <math>u = \cos x</math>, 则 <math>du = -\sin x dx</math>; 且当 <math>x=0</math> 时, <math>u=1</math>, 当 <math>x = \frac{\pi}{2}</math> 时, <math>u=0</math>, 因此</p> $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^5 x \sin x dx = -\int_1^0 u^5 du = \int_0^1 u^5 du = \frac{u^6}{6} \Big _0^1 = \frac{1}{6}$
2.2	分部积分法	<p>设函数 <math>u(x), v(x)</math> 在区间 <math>[a, b]</math> 上有连续导数 <math>u'(x), v'(x)</math>, 则有分部积分公式</p> $\int_a^b u dv = uv \Big _a^b - \int_a^b v du$ <p>例: 计算 <math>\int_0^{\frac{\pi}{2}} x \sin x dx</math></p> <p>解: 设 <math>u=x, dv=\sin x dx</math>, 则 <math>v = -\cos x</math>, 因此</p> $\int_0^{\frac{\pi}{2}} x \sin x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} u dv = uv \Big _0^{\frac{\pi}{2}} - \int_0^{\frac{\pi}{2}} v du = -x \cos x \Big _0^{\frac{\pi}{2}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos x dx = 0 + \sin x \Big _0^{\frac{\pi}{2}} = 1$

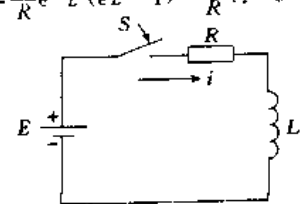
(7) 微分方程的基本概念及其求解方法,如表2-17所示。

表2-17 微分方程的基本概念及其求解方法

序号	项目	说明与公式
1	微分方程的基本概念	
1.1	微分方程的一般式	$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$ <p>式中 <math>x</math> 为自变量, <math>y=f(x), y', \dots, y^{(n)}</math> 分别是 <math>y=f(x)</math> 的一阶、<math>\dots</math>、<math>n</math> 阶导数</p>

续表

序号	项目	说明与公式						
1.2	微分方程的阶数	<p>微分方程中出现的最高阶导数的阶数, 就是微分方程的阶数, 例如</p> $A \frac{d^2 y}{dx^2} + Bxy + C = 0$ <p>为二阶微分方程</p>						
1.3	微分方程的解(经典法)	<table border="1"> <tr> <td>通解</td> <td> <p>实质是积分各求与通法阶导数, 求出函数之关系(解式):</p> <math display="block">y=f(x)</math> <p>称为微分方程的“通解”</p> </td> <td> <p>含有与微分方程阶数相同个数的积分常数的解式, 如 <math>y=f(x, C)</math>, 称为微分方程的“通解”, 式中 <math>C</math> 为积分常数</p> </td> </tr> <tr> <td>特解</td> <td> <p>相对于通解而言, 微分方程的每一个具体解, 称为“特解”</p> </td> <td></td> </tr> </table>	通解	<p>实质是积分各求与通法阶导数, 求出函数之关系(解式):</p> $y=f(x)$ <p>称为微分方程的“通解”</p>	<p>含有与微分方程阶数相同个数的积分常数的解式, 如 <math>y=f(x, C)</math>, 称为微分方程的“通解”, 式中 <math>C</math> 为积分常数</p>	特解	<p>相对于通解而言, 微分方程的每一个具体解, 称为“特解”</p>	
通解	<p>实质是积分各求与通法阶导数, 求出函数之关系(解式):</p> $y=f(x)$ <p>称为微分方程的“通解”</p>	<p>含有与微分方程阶数相同个数的积分常数的解式, 如 <math>y=f(x, C)</math>, 称为微分方程的“通解”, 式中 <math>C</math> 为积分常数</p>						
特解	<p>相对于通解而言, 微分方程的每一个具体解, 称为“特解”</p>							
2	一阶齐次线性微分方程的求解							
2.1	方程形式	$\frac{dy}{dx} + Py = 0$						
2.2	方程通解	<p>将变量分离后得</p> $\frac{dy}{y} + P dx = 0$ <p>积分得 <math>\ln y = -\int P dx + \ln C</math></p> <p>由此得方程通解</p> $y = Ce^{-\int P dx}$						
3	一阶非齐次线性微分方程的求解							
3.1	方程形式	$\frac{dy}{dx} + Py = Q$						
3.2	方程通解	$y = e^{-\int P dx} (\int Q e^{\int P dx} dx + C)$						
3.3	示例(求 R-L 串联电路的充电电流方程)	<p>根据电路理论, 可列出下列微分方程</p> $L \frac{di}{dt} + Ri = E$ <p>即 <math>\frac{di}{dt} + \frac{R}{L} i = \frac{E}{L}</math></p> <p>将上式与标准方程 <math>\frac{dy}{dx} + Py = Q</math> 比较可得 <math>P = \frac{R}{L}, Q = \frac{E}{L}</math>, 故</p> $\int_0^t P dt = \int_0^t \frac{R}{L} dt = \frac{R}{L} t$ $\int_0^t Q e^{\int P dt} dt = \int_0^t \frac{E}{L} e^{\frac{R}{L} t} dt = \frac{E}{L} (e^{\frac{R}{L} t} - 1)$ <p>因此其通解为: <math>i = e^{-\frac{R}{L} t} [\frac{E}{R} (e^{\frac{R}{L} t} - 1) + C]</math></p> <p>初始条件 <math>t=0</math> 时, <math>i=0</math>, 代入上式, 得 <math>C=0</math>, 由此可得电流方程为:</p> $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L} t} (e^{\frac{R}{L} t} - 1) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L} t})$						



续表

序号	项目	说明与公式
4		二阶线性微分方程的求解
4.1	方程形式	$\frac{d^2y}{dx^2} + p \frac{dy}{dx} + qy = 0$
4.2	方程通解	$y = \begin{cases} C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x} & (r_1, r_2 \text{ 为不相等的实根}) \\ e^{\alpha x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) & (r_1, r_2 = \alpha \pm j\beta) \\ (C_1 + C_2 x) e^{rx} & (r_1 = r_2 = r) \end{cases}$ 式中 $r_1, r_2$ 为与标准方程 (序号 4.1) 相应的特征方程 $r^2 + pr + q = 0$ 的根
4.3	示例	试求 $\frac{d^2y}{dx^2} - 2 \frac{dy}{dx} - 3y = 0$ 的通解 解: 其特征方程 $r^2 - 2r - 3 = 0$ 即 $(r+1)(r-3) = 0$ 故其两个不等的实根为 $\begin{cases} r_1 = -1 \\ r_2 = 3 \end{cases}$ 因此题给方程的通解为 $y = C_1 e^{-x} + C_2 e^{3x}$

## 七、傅里叶级数和拉普拉斯变换知识

(1) 傅里叶 (Fourier) 级数的基本概念。如表 2-18 所示。

表 2-18 傅里叶级数的基本概念

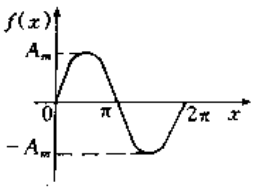
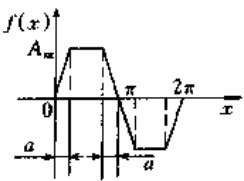
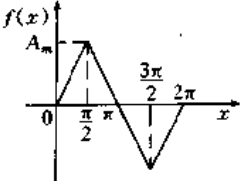
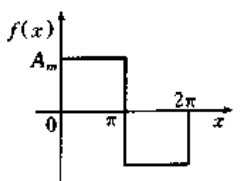
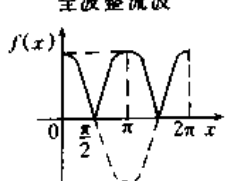
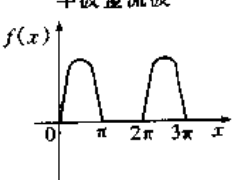
序号	项目	说明与公式
1		周期为 $2\pi$ 的周期函数 $f(x)$ 展开为傅里叶级数
1.1	傅里叶级数的一般形式	傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx)$ 式中傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos kx dx \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$ $b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin kx dx \quad (k = 1, 2, \dots)$
1.2	$f(x)$ 为奇函数时	其傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = 0$ $b_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \sin kx dx \quad (k = 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin kx$ 其图像对称于直角坐标的原点
1.3	$f(x)$ 为偶函数时	其傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \cos kx dx \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$ $b_k = 0$ 傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos kx$ 其图像对称于直角坐标的纵坐标

续表

序号	项目	说明与公式
2		周期为 $2l$ 的周期函数 $f(x)$ 展开为傅里叶级数
2.1	傅里叶级数的一般形式	傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left( a_k \cos \frac{k\pi x}{l} + b_k \sin \frac{k\pi x}{l} \right)$ 式中傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{k\pi x}{l} dx$ $(k = 0, 1, 2, \dots)$ $b_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{k\pi x}{l} dx$ $(k = 1, 2, \dots)$
2.2	$f(x)$ 为奇函数时	其傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = 0$ $b_k = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin \frac{k\pi x}{l} dx \quad (k = 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin \frac{k\pi x}{l}$ 其图像对称于直角坐标的原点
2.3	$f(x)$ 为偶函数时	其傅里叶系数 (含 $a_0$ ) 为: $a_k = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \cos \frac{k\pi x}{l} dx \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$ $b_k = 0$ 傅里叶级数的展开式为: $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{k\pi x}{l}$ 其图像对称于直角坐标的纵坐标
3		其他形式的傅里叶级数
3.1	基波频率为 $\omega_1$ 、周期为 $T$ 的傅里叶级数一般形式	傅里叶级数的展开式为: $f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_1 t + b_k \sin k\omega_1 t)$ 式中傅里叶系数为: $a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$ $a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega_1 t dt$ $(k = 1, 2, \dots)$ $b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega_1 t dt$ $(k = 1, 2, \dots)$
3.2	傅里叶级数的复数形式	$f(t) = c_0 + \sum_{k=1}^{\infty} c_k e^{jk\omega_1 t} + \sum_{k=1}^{\infty} c'_k e^{-jk\omega_1 t}$ $= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} c_k e^{jk\omega_1 t}$ 式中傅里叶系数 $c_k = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jk\omega_1 t} dt \quad (k = 1, 2, \dots)$

(2) 部分典型周期函数的傅里叶级数展开式。如表2-19所示。

表2-19 部分典型周期函数的傅里叶级数展开式

序号	$f(x)$ 波形	$f(x)$ 的傅里叶级数展开式	有效值 $A$	平均值 $A_{av}$
1	<p>正弦波</p> 	$f(x) = A_m \sin x$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$
2	<p>梯形波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\pi} \left( \sin a \sin x + \frac{1}{9} \sin 3a \sin 3x \right. \\ \left. + \frac{1}{25} \sin 5a \sin 5x + \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{k^2} \sin k a \sin kx + \dots \right) \\ (k = 1, 3, 5, \dots \text{奇数})$	$A_m \sqrt{1 - \frac{4a}{3\pi}}$	$A_m \left( 1 - \frac{a}{\pi} \right)$
3	<p>三角波</p> 	$f(x) = \frac{8A_m}{\pi^2} \left( \sin x - \frac{1}{9} \sin 3x \right. \\ \left. + \frac{1}{25} \sin 5x - \dots \right. \\ \left. + \frac{(-1)^{\frac{k-1}{2}}}{k^2} \sin kx + \dots \right) \\ (k = 1, 3, 5, \dots \text{奇数})$	$\frac{A_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$
4	<p>矩形波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\pi} \left( \sin x + \frac{1}{3} \sin 3x \right. \\ \left. + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{k} \sin kx + \dots \right) \\ (k = 1, 3, 5, \dots \text{奇数})$	$A_m$	$A_m$
5	<p>全波整流波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{1 \times 3} \cos 2x \right. \\ \left. - \frac{1}{3 \times 5} \cos 4x + \frac{1}{5 \times 7} \cos 6x + \dots \right. \\ \left. + \frac{(-1)^{\frac{k-2}{2}}}{(k-1)(k+1)} \cos kx \dots \right) \\ \dots \\ (k = 2, 4, 6, \dots \text{偶数})$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$
6	<p>半波整流波</p> 	$f(x) = \frac{2A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} - \frac{\pi}{4} \sin x - \frac{1}{1 \times 3} \cos 2x \right. \\ \left. - \frac{1}{3 \times 5} \cos 4x - \dots \right. \\ \left. - \frac{1}{(k-1)(k+1)} \cos kx - \dots \right) \\ (k = 2, 4, 6, \dots \text{偶数})$	$\frac{A_m}{2}$	$\frac{A_m}{\pi}$

续表

序号	$f(x)$ 波形	$f(x)$ 的傅里叶级数展开式	有效值 $A$	平均值 $A_m$
7	<p>三相整流波</p>	$f(x) = \frac{3\sqrt{3}A_m}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2 \times 4} \cos 3x - \frac{1}{5 \times 7} \cos 6x + \dots + \frac{(-1)^{k-1}}{(k-1)(k+1)} \cos kx \dots \right)$ <p>(<math>k</math> 为 3 的整数倍数)</p>	$A_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$	$\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} A_m$
8	<p>锯齿波</p>	$f(x) = A_m \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( \sin x + \frac{1}{2} \sin 2x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots + \frac{1}{k} \sin kx + \dots \right) \right]$	$\frac{A_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{A_m}{2}$
9	<p>矩形脉冲波</p>	$f(x) = A_m \left[ a + \frac{2}{\pi} \left( \sin \pi \cos x + \frac{1}{2} \sin 2\pi \cos 2x + \frac{1}{3} \sin 3\pi \cos 3x + \dots \right) \right]$	$\sqrt{a} A_m$	$a A_m$

(3) 拉普拉斯 (Laplace) 变换的基本概念和应用。

如表2-20所示。

表2-20 拉普拉斯变换的基本概念和应用

续表

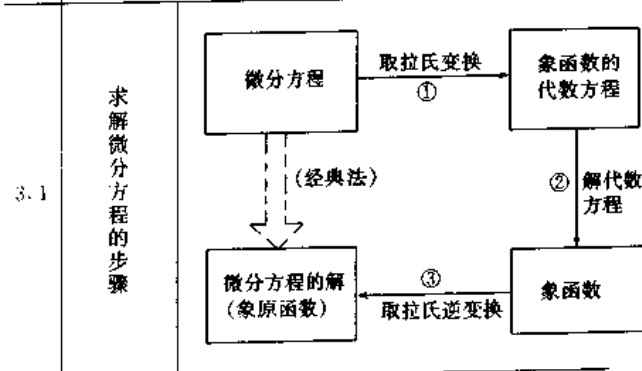
序号	项目	说明与公式
1	拉普拉斯变换与逆变换	<p>函数 <math>f(t)</math> 的拉普拉斯变换式为:</p> $\mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s)$ <p>式中“<math>\mathcal{L}</math>”是拉普拉斯变换符号,也可写作“<math>L</math>”; <math>s</math> 为正实数或实部为正的复数,称为“参变数”。函数 <math>f(t)</math> 称为“原函数”;拉普拉斯变换式 <math>F(s)</math> 称为“象函数”;反过来,函数 <math>f(t)</math> 称为函数 <math>F(s)</math> 的拉普拉斯“逆变换”,或称“象原函数”,即</p> $\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t)$
2		拉普拉斯变换的基本性质
2.1	线性性质	<p>如果 <math>\alpha, \beta</math> 是常数, <math>\mathcal{L}[f_1(t)] = F_1(s)</math>, <math>\mathcal{L}[f_2(t)] = F_2(s)</math>, 则有</p> $\mathcal{L}[\alpha f_1(t) + \beta f_2(t)] = \alpha \mathcal{L}[f_1(t)] + \beta \mathcal{L}[f_2(t)]$ $\mathcal{L}^{-1}[\alpha F_1(s) + \beta F_2(s)] = \alpha \mathcal{L}^{-1}[F_1(s)] + \beta \mathcal{L}^{-1}[F_2(s)]$ <p>该性质表明函数的线性组合的拉氏变换等于各函数拉氏变换的线性组合</p>

序号	项目	说明与公式
2.2	位移性质	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 则有</p> $\mathcal{L}[e^{at}f(t)] = F(s-a) \quad (a \text{ 为常数})$ <p>该性质表明一个象函数乘以指数 <math>e^{at}</math>, 等于象函数作位移 <math>a</math></p>
2.3	延迟性质	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 又 <math>t &lt; 0</math> 时 <math>f(t) = 0</math>, 则对于任一实数 <math>\tau</math>, 有</p> $\mathcal{L}[f(t-\tau)] = e^{-s\tau} F(s)$ <p>或 <math>\mathcal{L}^{-1}[e^{-s\tau} F(s)] = f(t-\tau)</math></p> <p>该性质表明时间函数延迟 <math>\tau</math>, 相当于其象函数乘以指数 <math>e^{-s\tau}</math></p>
2.4	微分性质	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 则有</p> $\mathcal{L}[f'(t)] = sF(s) - f(0)$ <p>该性质表明一个函数求导后取拉氏变换, 等于该函数的拉氏变换乘以参变数 <math>s</math>, 再减去函数的初值</p> <p>[推论]</p> $\mathcal{L}[f^{(n)}(t)] = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$ <p>当初值 <math>f(0) = f'(0) = f''(0) = \dots = f^{(n-1)}(0) = 0</math> 时, 则有</p> $\mathcal{L}[f^{(n)}(t)] = s^n F(s) \quad (n=1, 2, \dots)$ <p>利用这一性质, 可将 <math>f(t)</math> 的微分方程转化为 <math>F(s)</math> 的代数方程</p>

续表

序号	项目	说明与公式
2.5	积分性质	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 则有</p> $\mathcal{L}\left[\int_0^t f(t) dt\right] = \frac{1}{s}F(s)$ <p>该性质表明一个函数积分后取拉氏变换, 等于该函数的拉氏变换除以参数 <math>s</math></p> <p>【推论】</p> $\mathcal{L}\left\{\int_0^t dt \int_0^t \dots \int_0^t f(t) dt\right\} = \frac{1}{s^n}F(s)$ <p><math>n</math> 次</p> <p>利用这一性质, 可将 <math>f(t)</math> 的积分转化为代数式进行运算</p>
2.6	初值定理	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 且 <math>\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)</math> 存在, 则</p> $\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ <p>即</p> $f(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ <p>该性质表明 <math>f(t)</math> 在 <math>t=0</math> 时的函数值, 可以通过 <math>f(t)</math> 的拉氏变换 <math>F(s)</math> 乘以 <math>s</math> 取 <math>s \rightarrow \infty</math> 时的极限值而得到</p>
2.7	终值定理	<p>如果 <math>\mathcal{L}[f(t)] = F(s)</math>, 且 <math>\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)</math> 存在, 则</p> $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ <p>即</p> $f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ <p>该性质表明 <math>f(t)</math> 在 <math>t \rightarrow \infty</math> 时 (即稳态时) 的函数值, 可以通过 <math>f(t)</math> 的拉氏变换 <math>F(s)</math> 乘以 <math>s</math> 取 <math>s \rightarrow 0</math> 时的极限值而得到</p>

3 拉普拉斯变换的应用



3.2	示例	<p>试用拉氏变换法 (通称“运算法”) 求解表2-17序号3.3所示 <math>R-L</math> 串联电路的充电电流方程</p> <p>【解】电路的微分方程为:</p> $Ri + L \frac{di}{dt} = E$ <p>对上述微分方程取拉氏变换, 且设 <math>\mathcal{L}[i(t)] = I(s)</math>, 则有</p> $RI(s) + L[sI(s) - i(0)] = \mathcal{L}[E] = \frac{E}{s}$ <p>将 <math>t=0</math> 时 <math>i(0)=0</math> 代入得</p> $RI(s) + LsI(s) = \frac{E}{s}$
-----	----	---

续表

3.2	示例	<p>故 <math>I(s) = \frac{E}{sL\left(\frac{R}{L} + s\right)}</math></p> <p>对上式取拉氏逆变换, 得</p> $i(t) = \mathcal{L}^{-1}[I(s)] = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{E}{sL\left(\frac{R}{L} + s\right)}\right]$ <p>根据表2-21序号24的逆变换公式可得充电电流方程为:</p> $i = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$
-----	----	--

(4) 拉普拉斯变换简表。如表2-21所示。

表2-21 拉普拉斯变换简表

序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
1	1	$\frac{1}{s}$
2	$e^{at}$	$\frac{1}{s-a}$
3	$\sin at$	$\frac{a}{s^2+a^2}$
4	$\cos at$	$\frac{s}{s^2+a^2}$
5	$e^{-bt}\sin at$	$\frac{a}{(s+b)^2+a^2}$
6	$e^{-bt}\cos at$	$\frac{s+b}{(s+b)^2+a^2}$
7	$e^{-bt}\sin(at+c)$	$\frac{(s+b)\sin c + a\cos c}{(s+b)^2+a^2}$
8	$\sin^2 t$	$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{s} - \frac{s}{s^2+4}\right)$
9	$\cos^2 t$	$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{s} + \frac{s}{s^2+4}\right)$
10	$\sin at \sin bt$	$\frac{2abs}{[s^2+(a+b)^2][s^2+(a-b)^2]}$
11	$e^{at} - e^{bt}$	$\frac{a-b}{(s-a)(s-b)}$
12	$ae^{at} - be^{bt}$	$\frac{(a-b)s}{(s-a)(s-b)}$
13	$\frac{1}{a}\sin at - \frac{1}{b}\sin bt$	$\frac{b^2-a^2}{(s^2+a^2)(s^2+b^2)}$
14	$\cos at - \cos bt$	$\frac{(b^2-a^2)s}{(s^2+a^2)(s^2+b^2)}$
15	$\frac{1}{a^2}(1 - \cos at)$	$\frac{1}{s(s^2+a^2)}$
16	$\frac{1}{a^3}(at - \sin at)$	$\frac{1}{s^2(s^2+a^2)}$
17	$\frac{1}{a^4}(\cos at - 1) + \frac{1}{2a^2}t^2$	$\frac{1}{s^3(s^2+a^2)}$
18	$\frac{1}{2a^3}(\sin at - at \cos at)$	$\frac{1}{(s^2+a^2)^2}$
19	$\frac{t}{2a}\sin at$	$\frac{s}{(s^2+a^2)^2}$



续表

序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
20	$\frac{1}{2a}(\sin at + at \cos at)$	$\frac{s^2}{(s^2+a^2)^2}$
21	$\frac{1}{a^4}(1 - \cos at) - \frac{1}{2a^3} t \sin at$	$\frac{1}{s(s^2+a^2)^2}$
22	$(1-at)e^{-at}$	$\frac{s}{(s+a)^2}$
23	$t\left(1 - \frac{a}{2}t\right)e^{-at}$	$\frac{s}{(s+a)^3}$
24	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$
25	$\frac{1}{ab} + \frac{1}{b-a}\left(\frac{e^{-bt}}{b} - \frac{e^{-at}}{a}\right)$	$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$
26	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
27	$\frac{ae^{-at}}{(c-a)(a-b)} + \frac{be^{-bt}}{(a-b)(b-c)} + \frac{ce^{-ct}}{(b-c)(c-a)}$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
28	$\frac{a^2c^{-at}}{(c-a)(b-a)} + \frac{b^2e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \frac{c^2e^{-ct}}{(b-c)(a-c)}$	$\frac{s^2}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
29	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}[1 - (a-b)t]}{(a-b)^2}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)^2}$
30	$\frac{[a-b(a-b)t]e^{-bt} - ae^{-at}}{(a-b)^2}$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)^2}$
31	$e^{-at} - e^{\frac{at}{2}} \left( \cos \frac{\sqrt{3}at}{2} - \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}at}{2} \right)$	$\frac{3a^2}{s^2+a^3}$
32	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$	$\frac{1}{\sqrt{s}}$
33	$2\sqrt{\frac{t}{\pi}}$	$\frac{1}{s\sqrt{s}}$
34	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}e^{at}(1+2at)$	$\frac{s}{(s-a)\sqrt{s-a}}$
35	$\frac{1}{2\sqrt{\pi t^3}}(e^{bt} - e^{at})$	$\sqrt{s-a} - \sqrt{s-b}$
36	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \sin 2\sqrt{at}$	$\frac{1}{s\sqrt{s}}e^{-\frac{a}{s}}$
37	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \cos 2\sqrt{at}$	$\frac{1}{\sqrt{s}}e^{-\frac{a}{s}}$

续表

序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
38	$\frac{1}{t}(e^{bt} - e^{at})$	$\ln \frac{s-a}{s-b}$
39	$\frac{2}{t}(1 - \cos at)$	$\ln \frac{s^2+a^2}{s^2}$
40	$\frac{1}{t} \sin at$	$\arctan \frac{a}{s}$

## 第二节 常用的电工基础知识

### 一、电磁学部分名词概念和基本定律

(1) 电磁学部分名词概念, 如表2-22所示。

表2-22 电磁学部分名词概念

序号	名词术语	说 明
1	电	电是物质的一种属性, 一切物质均由原子组成, 而原子则由带正电的原子核和带负电的外层电子组成, 在正常情况下, 原子内部的正负电量是相等的, 因此物体呈中性, 当由于某种原因使物体中原子失去电子时, 则带正电, 若获得电子时, 则带负电
2	电荷	(1) 通常将带电体称为“电荷”, 带正电的称“正电荷”, 带负电的称“负电荷” (2) 衡量带电体电荷电量的一个物理量, 即“电荷量”的简称, 符号为“Q”或“q”, 单位为“库[仑]”(C)
3	电场	指电荷周围存在的物理场, 电场具有能量, 处在电场内的电荷会受到“电场力”的作用, 电场力大小与试验地点电荷的电荷量的比值, 就是该点的“电场强度”, 电场力的符号为“F”, 单位为“牛[顿]”(N), 电场强度的符号为“E”, 单位为“伏/米”(V/m)
4	电位 (电势)	电位是描述电场能量特性的一个物理量, 用单位正电荷在电场内某点所具有的位能来量度, 在电工技术领域, 通常以“大地”为零电位, 电位的符号为“V”或“φ”, 单位为“伏[特]”(V)
5	电 压	电压是指电场或电路中两点间的电位差, 在交流电路中, 电压有瞬时值、平均值和有效值之分, 交流电路的电压, 一般指的是其有效值, 电压及电压有效值的符号为“U”, 电压瞬时值符号为“u”, 电压平均值符号为“U <sub>av</sub> ”, 电压的单位也为“伏”(V)
6	电 流	(1) 指电荷的流动, 通常以正电荷移动的方向为电流方向, 与电子运动的方向相反 (2) 物理量“电流强度”的简称, 用单位时间内通过导体横截面的电荷量来量度, 在交流电路中, 电流也有瞬时值、平均值和有效值之分, 电流及电流有效值的符号为“I”, 电流瞬时值符号为“i”, 电流平均值符号为“I <sub>av</sub> ”, 电流的单位为“安[培]”(A)

续表

序号	名词术语	说 明
7	电动势	电动势是因外力(如化学力、电磁力等)而使其他形式能量转变为电能所形成的电位差,其值等于单位正电荷在外力作用下,由电源负极移至电源正极所作的功。电动势的符号为“ $\mathcal{E}$ ”,其瞬时值符号为“ $e$ ”,电动势的单位为“伏”(V)
8	磁	磁是某些能吸引铁、钴、镍等的物质属性。实际上,磁与电是不可分割的。磁性是来源于电流或物质内部电荷的运动
9	磁场	指运动电荷或电流周围的一种物理场,它对其他的运动电荷或电流将产生“电磁力”。为了形象地描述磁场的分布,人们采用了假想的“磁力线”。对永久磁铁磁场,在磁铁内部,磁力线由S极到N极;在磁铁外部,磁力线由N极到S极。整个磁力线是闭合的曲线。对电磁线圈或电磁铁的电流磁场,磁力线方向按“右手螺旋定则”(参看表2-23序号8)确定,磁力线穿出电磁线圈或电磁铁后在空间仍是闭合的。对载流导体周围的磁场,其磁力线方向也按“右手螺旋定则”确定。
10	电磁场	电磁场是相互依存电场和磁场的总称。电场随时间变化产生磁场,而磁场随时间变化又产生电场,两者互为因果,形成电磁场。随时间变化的电磁场,称为“时变电磁场”。电磁场是物质存在的一种形式,具有质量、动量和能量。电磁场在空间以光速向四周辐射“电磁波”
11	电阻	电阻是表征物质阻碍电流通过能力的一个物理量,形状和体积不同的不同材质的物体,其电阻也不同。金属的电阻最小,绝缘体的电阻最大,而半导体的电阻介于金属导体与绝缘体之间。电阻的符号为“ $R$ ”或“ $r$ ”,其单位为“欧[姆]”(Ω)
12	电导	电导是表征物质导电性能的一个物理量,是电阻的倒数。电导的符号为“ $G$ ”,其单位为“西[门子]”(S), $1\text{S}=1\Omega^{-1}$
13	自感	自感又称“自感系数”。对一个闭合回路来说,自感就是该回路所交链的全部磁通除以所通过的电流。自感的符号为“ $L$ ”,其单位为“亨[利]”(H),常用单位为“毫亨”(mH)
14	互感	在两个相互发生电磁感应的回路中,其一个回路中交链的磁通除以另一个回路中感生此磁通的电流,即为“互感”或“互感系数”,互感的符号为“ $M$ ”或“ $L_{12}$ ”,其单位与上述“自感”相同
15	电感	电感为自感和互感的统称,不过大多指自感。电感能储存磁场能量,属“储能元件”
16	电容	电容是表征隔有电介质的两导体之间储存电场能量能力或电荷量能力的一个物理量,用每一导体上所带电荷量除以其两端电压来量度。电容的符号为“ $C$ ”,其单位为“法[拉]”(F),常用单位为“微法”(μF)。电容能储存电场能量,也属“储能元件”

续表

序号	名词术语	说 明
17	频率和角频率	频率指周期量单位时间内变化的周波数,其符号为“ $f$ ”,其单位为“赫[兹]”(Hz) 角频率为正弦量的频率 $f$ 与 $2\pi$ (弧度)的乘积,其符号为“ $\omega$ ”,其单位为“弧度每秒”(rad/s)。频率与角频率的关系式为: $\omega=2\pi f$
18	感抗、容抗和电抗	感抗为电感 $L$ 与角频率 $\omega$ 的乘积,其符号为“ $X_L$ ”,其单位为“欧”(Ω), $X_L=\omega L$ 容抗为电容 $C$ 与角频率 $\omega$ 乘积的倒数,其符号为“ $X_C$ ”,其单位为“欧”(Ω), $X_C=\frac{1}{\omega C}$ 电抗为感抗和容抗的统称,其符号为“ $X$ ”,其单位也为“欧”(Ω), $X=X_L-X_C$
19	阻抗	(1)电阻与电抗的复数和,称为“复阻抗”或“阻抗”,符号为“ $Z$ ”,即 $Z=R+jX=R+j(X_L-X_C)$ ,或 $Z= Z e^{j\varphi}= Z e^{j(\varphi_u-\varphi_i)}$ ,式中 $X_L$ 为感抗, $X_C$ 为容抗; $ Z $ 为阻抗模; $\varphi$ 为阻抗角; $\varphi_u$ 为电压的相位角; $\varphi_i$ 为电流的相位角, $Z$ 的单位为“欧”(Ω) (2)指“阻抗模”,是电路的端电压(方均根值,即有效值)除以电路的电流(方均根值,即有效值)。其值为 $ Z =\sqrt{R^2+X^2}=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$ ,其单位也为“欧”(Ω)
20	导纳	(1)指“复导纳”,是电路的电流 $i$ 除以电路端电压 $\dot{U}$ 之值,符号为“ $Y$ ”,即 $Y=i/\dot{U}= Y e^{-j\varphi}= Y e^{-j(\varphi_u-\varphi_i)}=G+jB$ ,式中 $ Y $ 为导纳模; $\varphi_u$ 、 $\varphi_i$ 和 $\varphi$ 分别为阻抗角及电压和电流的相位角; $G$ 为电导; $B$ 为电纳。 $G$ 、 $B$ 、 $Y$ 的单位均为“西[门子]”(S) (2)指“导纳模”,是电路电流有效值除以电路端电压有效值。 $ Y =\sqrt{G^2+B^2}$ ,其单位为“西[门子]”(S)
21	磁场强度	磁场强度为表征磁场方向和强弱的一个物理量,它与产生磁场的电流强度成正比,而与磁介质无关。磁场强度的符号为“ $H$ ”,单位为“安[培]每米”(A/m)
22	磁感应强度(磁通密度)	磁感应强度也是表征磁场方向和强弱的一个物理量,但是它与磁介质有关。磁感应强度的符号为“ $B$ ”,与磁场强度 $H$ 有如下关系: $B=\mu H$ 式中 $\mu$ 为磁导率,是表征磁介质导磁性能的一个参数,单位为“亨[利]每米”(H/m),真空的磁导率 $\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H/m}$ 磁感应强度的单位为“特[斯拉]”(T),常用单位为“高斯”(Gs), $1\text{T}=10^4\text{Gs}$ 磁感应强度又称“磁通密度”
23	磁通量	磁通量是表征磁介质或真空中磁场分布情况的一个物理量。通过磁场中任一面积元的磁通量,等于磁感应强度矢量在该面积元法线方向的分量与面积的乘积。磁通量简称“磁通”,符号为“ $\Phi$ ”,单位为“韦[伯]”(Wb)

续表

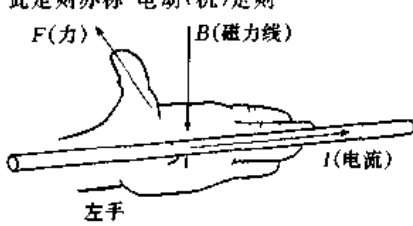
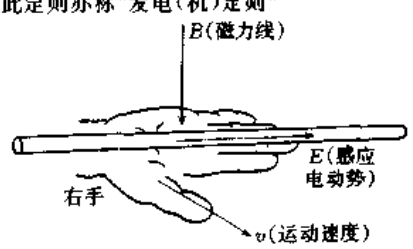
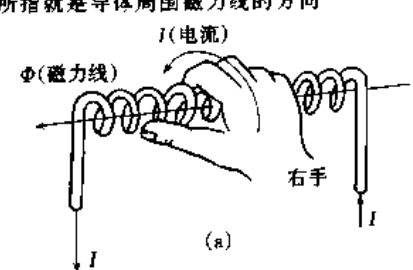
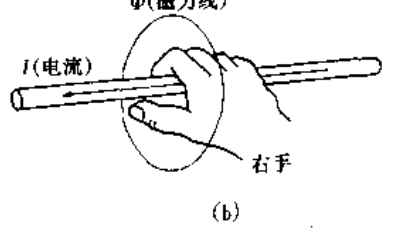
序号	名词术语	说明
24	磁动势	磁动势是磁场强度 $H$ 对一个闭合路径的线积分的一个标量, 亦称“磁通势”, 用符号“ $F$ ”或“ $F_m$ ”表示, 即 $F = \oint H dr$ , 这里 $r$ 为闭合路径长度。磁动势也等于该闭合路径交链的总电流。如果线圈匝数为 $N$ , 线圈电流为 $I$ , 则该线圈的磁动势为 $F = NI$ 。磁动势的单位为“安[培]”(A)
25	磁位差	磁位差是磁场强度 $H$ 对由点1到点2的线积分的一个标量, 亦称“磁势差”, 用符号“ $U_m$ ”表示, 即 $U_m = \int_1^2 H dr$ , 这里 $r$ 为点间距离。磁位差的单位亦为“安[培]”(A)
26	磁阻和磁导	磁阻是表征磁路(磁介质)阻碍磁通过能力的物理量。磁位差除以相关的磁通量, 就是磁路的磁阻。磁阻的符号为“ $R_m$ ”, 单位为“每亨[利]”(H <sup>-1</sup> ) 磁阻的倒数, 称为“磁导”, 其符号为“ $\Delta$ ”, 单位为“亨[利]”(H)

(2)电磁学的基本定律和定则。如表2-23所示。

表2-23 电磁学的基本定律和定则

序号	项目	说明
1	电荷守恒定律	在一个与外部隔绝的系统内, 无论进行怎样的物理过程, 其中正负电荷的代数和始终保持不变。例如两个物体相互摩擦, 如一个物体带负荷, 则另一个物体必带等量的正电荷
2	库仑(coulomb)定律	在真空中, 两个点电荷 $q_1, q_2$ 间相互作用力 $F$ 的大小, 与 $q_1, q_2$ 的乘积成正比, 与 $q_1, q_2$ 间距离 $d$ 的二次方成反比, 即 $F = K \frac{q_1 q_2}{d^2}$ 式中 $K$ 为比例常数 $F$ 的方向沿 $q_1, q_2$ 连线, 且同性电荷相斥, 异性电荷相吸
3	焦耳-楞次(Joule-Lenz)定律	电流在一段导体中产生的热量 $Q$ , 与电流 $I$ 的二次方, 该段导体的电阻 $R$ 及通电时间 $t$ 三者的乘积成正比, 即 $Q = I^2 R t$ 此定律亦称“焦耳定律”
4	楞次(Lenz)定律	闭合回路或线圈中感生电流的方向, 总是要使感生电流所产生的磁场阻碍引起感生电流的磁通量的变化 此定律表明电磁现象也符合普遍的“能量守恒定律”
5	法拉第(Faraday)电磁感应定律	闭合回路或线圈中感应电动势 $\epsilon$ 的大小, 与穿过闭合回路或线圈的磁通量的变化率 $d\Phi/dt$ 成正比。如果线圈的匝数为 $N$ (对闭合回路的 $N=1$ ), 则线圈的感应电动势为 $\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$ 式中负号反映感应电动势的方向 此式亦为上述(序号4)楞次定律的数学表达式

续表

序号	项目	说明
6	左手定则	载流导体在磁场中受电磁力的方向, 与磁场方向和电流方向之间符合下列关系: 伸开左手手掌, 使拇指与其他四指垂直, 使掌心迎着磁力线方向, 四指指向导体电流方向, 则拇指所指就是导体受力的方向 此定则亦称“电动(机)定则” 
7	右手定则	导体在磁场中切割磁力线时, 导体内会感生电动势, 此感应电动势的方向, 与导体运动的方向及磁力线的方向之间符合下列关系: 伸开右手手掌, 使拇指与其他四指垂直, 使掌心迎着磁力线方向, 拇指指向导体运动的方向, 则四指所指就是导体内感应电动势的方向 此定则亦称“发电(机)定则” 
8	右手螺旋定则	(1)载流线圈产生的磁场(磁力线)方向, 可用右手螺旋定则确定: 用右手握住线圈, 四指指向电流方向, 则与四指垂直的拇指所指就是线圈内磁场(磁力线)的方向 (2)载流直导体周围的磁力线方向, 也可用右手螺旋定则确定: 用右手握住导体, 与四指垂直的拇指指向导体电流方向, 则四指所指就是导体周围磁力线的方向  

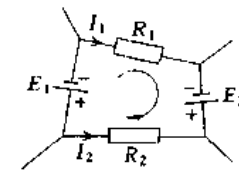
## 二、电路的基本定律和电路参数计算

(1)电路的基本定律。如表2-24所示。

表2-24 电路的基本定律

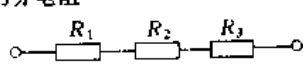
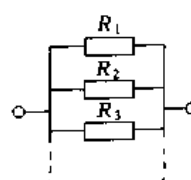
序号	项 目	说 明
1		欧 姆 (Ohm) 定 律
1.1	一段电路欧姆定律	通过一段电路的电流 $I$ ，等于该段电路端电压 $U$ 除以该段电路的电阻 $R$ 或阻抗 $Z$ (1)对直流电路 $I = \frac{U}{R}$ (2)对交流电路 $I = \frac{\dot{U}}{Z}$ 或 $I = \frac{\dot{U}}{ Z }$
1.2	全电路欧姆定律	通过有源闭合回路(全电路)的电流 $I$ ，等于该电路的电动势 $E$ 除以该回路的总电阻 $R_2$ (含电源内电阻和外电路电阻)或总阻抗 $Z_2$ (含电源内阻抗和外电路阻抗) (1)对直流电路 $I = \frac{E}{R_2}$ (2)对交流电路 $I = \frac{\dot{E}}{Z_2}$ 或 $I = \frac{E}{ Z_2 }$
2		基尔霍夫(Kirchhoff)定律
2.1	基尔霍夫第一定律(基尔霍夫电流定律 KCL)	对电路中的任一节点，在任一瞬间，流入或流出节点的电流代数和恒为零 (1)对直流电路 $\sum I = 0$ (2)对交流电路 $\sum \dot{i} = 0$ 或 $\sum \dot{i} = 0$ 如流出节点的电流取正，则流入节点的电流取负 例：如下图所示，对节点 $N$ 有下列关系式(直流)： $-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$
2.2	基尔霍夫第二定律(基尔霍夫电压定律 KVL)	对电路中的任一回路，在任一瞬间，沿此回路的各段电压的代数和恒为零 (1)对直流电路 $\sum U = 0$ (2)对交流电路 $\sum u = 0$ 或 $\sum \dot{U} = 0$ 如电压的参考方向与所取回路绕行方向一致时取正，则与绕行方向反向时取负 例：对下图所示回路有以下关系： $E_1 + I_1 R_1 - E_2 - I_2 R_2 = 0$

续表

序号	项 目	说 明
2.2	基尔霍夫第二定律(基尔霍夫电压定律 KVL)	

(2)电路参数的计算。如表2-25所示。

表2-25 电路参数的计算

序号	项 目	说 明 与 公 式
1		电 阻 的 计 算
1.1	导体电阻的计算	$R = \frac{l}{\gamma A} = \frac{\rho l}{A}$ 式中 $A$ 为导体的截面积； $l$ 为导体的长度； $\gamma$ 为导体的电导率； $\rho$ 为导体的电阻率， $\rho = 1/\gamma$ 铜的电导率为 $53\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ ；铝的电导率为 $32\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$
1.2	电阻温度变化的换算	$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)]$ 式中 $R_1, R_2$ 分别是导体温度在 $\theta_1, \theta_2$ (C) 时的电阻值； $\alpha$ 导体的电阻温度系数 (1/C)，铜为 $0.0041/\text{C}$ ，铝为 $0.00423/\text{C}$
1.3	电阻串联	$R_2 = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ 式中 $R_1, R_2, R_3, \dots$ 分别为串联的分电阻 
	等效总电阻的计算 电阻并联	$R_2 = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \dots$ $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ 式中 $R_1, R_2, R_3, \dots$ 分别为并联的分电阻 如并联电阻用电导表示，则 $G_2 = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$ 推论：(1)两个电阻 $R_1, R_2$ 并联时 $R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (2)三个电阻 $R_1, R_2, R_3$ 并联时 $R_2 = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$ (3) $n$ 个电阻 $R$ 并联时 $R_2 = \frac{R}{n}$ 

续表

续表

序号	项 目	说 明 与 公 式
1.4	电阻星形(△)与三角形(△)的等效变换	$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$ $R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$ $R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$ 如果 $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$ , 则 $R_{\Delta} = 3R_Y$
		$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ 如果 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta}$ , 则 $R_Y = R_{\Delta}/3$
2	电 感 与 感 抗 的 计 算	
2.1	电感的定义式	$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\Phi}{i}$ 式中 $i$ 为通过线圈的电流; $\Psi$ 为线圈中的磁链; $\Phi$ 为穿过线圈的磁通; $N$ 为线圈的匝数; $L$ 的 SI 单位为“亨”(H)
2.2	感抗的定义式	$X_L = \omega L = 2\pi f L$ 式中 $L$ 为线圈电感; $\omega$ 为线圈电流的角频率; $f$ 为电流频率; $X_L$ 的 SI 单位为“欧”(Ω)
2.3	环形线圈电感的计算	$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$ 式中 $l$ 为圆环的平均长度; $A$ 为圆环的横截面积; $N$ 为环形线圈匝数; $\mu$ 为线圈中磁介质的磁导率, $\mu = \mu_0 \mu_r$ , 式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ , 为真空的磁导率; $\mu_r$ 为线圈中磁介质的相对磁导率, 对于空气和非磁性材料, $\mu_r \approx 1$ 

序号	项 目	说 明 与 公 式
2.4	两平行导线单位长度的电感计算	单位长度外电感 $L_{0l} = \mu_0 \ln \frac{a}{r} = 4\pi \ln \frac{a}{r} \times 10^{-7} \text{H/m}$ 式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ , 为真空的磁导率(空气 $\mu \approx \mu_0$ ); $r$ 为导线半径; $a$ 为两导线间距离
		单位长度内电感 $L_l = \frac{\mu}{4\pi}$ 式中 $\mu$ 为导线材质的磁导率, $\mu = \mu_0 \mu_r$ , $\mu_0$ 为真空磁导率, $\mu_r$ 为导线材质的相对磁导率, 空气和非铁磁材料 $\mu_r \approx 1$
		单位长度总电感 $L = L_0 + L_l$
2.5	三相线路每相电感的计算	每相单位长度电感 $L_{\text{相}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left( \ln \frac{a}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right)$ 式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 为真空的磁导率; $\mu_r$ 为导线材质的相对磁导率, 空气和非铁磁材料 $\mu_r \approx 1$ ; $r$ 为导线半径; $a$ 为线间几何均距(或写作 $a_{\text{eq}}$ ), 如图所示三相线路, 其线间几何均距为: $a = \sqrt[3]{a_{12} a_{23} a_{31}}$ 
		每相单位长度感抗 $X_{L0} = \omega L_{\text{相}} = 2\pi f L_{\text{相}}$ $= \mu_0 f \left( \ln \frac{a}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right)$ 对一般三相交流线路, $f = 50 \text{Hz}$ , $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ , $\ln \frac{a}{r} = 2.3 \lg \frac{a}{r}$ , 而 $X_{L0}$ 的单位一般取 $\Omega/\text{km}$ , 因此 $X_{L0} = 0.1445 \lg \frac{a}{r} + 0.0157 \mu_r \quad (\Omega/\text{km})$
2.6	等效总感抗的计算	感抗串联 $X_{L\Sigma} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \dots$ 式中 $X_{L1}, X_{L2}, X_{L3}, \dots$ 为串联的分电感的感抗值
		感抗并联 $\frac{1}{X_{L\Sigma}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \dots$ 式中 $X_{L1}, X_{L2}, X_{L3}, \dots$ 为并联的分电感的感抗值两感抗并联时 $X_{L\Sigma} = \frac{X_{L1} X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$
3	电 容 与 容 抗 的 计 算	
3.1	电容的定义式	$C = \frac{Q}{U}$ 式中 $U$ 为电容器极板间的电压; $Q$ 为每一极板上的电荷量; $C$ 的 SI 单位为“法”(F)

续表

序号	项目	说明与公式
3.2	容抗的定义式	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ 式中 $C$ 为电容量; $\omega = 2\pi f$ 为电压的角频率; $f$ 为电压频率; $X_C$ 的 SI 单位为“欧”( $\Omega$ )
3.3	平板电容器电容的计算	$C = \frac{\epsilon A}{d}$ 式中 $A$ 为电容器极板面积; $d$ 为两极板间距离; $\epsilon$ 为极板间电介质的介电常数
3.4	两平行导线线路单位长度电容的计算	$C_0 = \frac{\pi \epsilon}{\ln \frac{a}{r}}$ 式中 $a$ 为线间距离; $r$ 为导线半径; $\epsilon$ 为线间电介质的介电常数, 真空和空气的 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ F/m
3.5	三相线路线间电容的计算	$C_{\phi 0} = \frac{2\pi \epsilon}{\ln \frac{a}{r}}$ 式中 $\epsilon$ 为线间电介质的介电常数, 真空和空气的 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ F/m; $r$ 为导线半径; $a$ 为线间几何均距 (参看本表序号 2.5)
3.6	等效总电容的计算	电容串联 $\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ 式中 $C_1, C_2, C_3, \dots$ 分别为串联的分电容  电容并联 $C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ 式中 $C_1, C_2, C_3, \dots$ 分别为并联的分电容
	等效总容抗的计算	容抗串联 $X_{C-\Sigma} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + \dots$ 式中 $X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots$ 分别为串联的分电容的容抗值  容抗并联 $\frac{1}{X_{C-\Sigma}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \dots$ 式中 $X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots$ 分别为并联的分电容的容抗值 两容抗并联时 $X_{C-\Sigma} = \frac{X_{C1} X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}}$
4	阻抗的计算	

续表

序号	项目	说明与公式
4.1	电阻与电感串联的阻抗计算	$Z = R + jX_L =  Z e^{j\varphi}$ 式中 $ Z  = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ , 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_L}{R}$ , 称为“阻抗角”
4.2	电阻与电容串联的阻抗计算	$Z = R - jX_C =  Z e^{-j\varphi}$ 式中 $ Z  = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ , 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_C}{R}$ , 称为“阻抗角”
4.3	电阻、电感、电容 ( $R-L-C$ ) 串联的阻抗计算	$Z = R + j(X_L - X_C) = R + jX =  Z e^{j\varphi}$ 式中 $ Z  = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ , 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$ , 称为“阻抗角” (1) 当 $X_L > X_C$ 时, $Z$ 呈感性, $\varphi > 0$ (2) 当 $X_L < X_C$ 时, $Z$ 呈容性, $\varphi < 0$ (3) 当 $X_L = X_C$ 时, $Z = R, \varphi = 0$
4.4	电阻与电感并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (jX_L) =  Z e^{j\varphi}$ 式中 $ Z  = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$ , 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{R}{X_L}$ , 称为“阻抗角”
4.5	电阻与电容并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (-jX_C) =  Z e^{-j\varphi}$ 式中 $ Z  = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ , 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{R}{X_C}$ , 称为“阻抗角”
4.6	电感与电容并联的阻抗计算	$X_{\Sigma} = X_L \parallel X_C = \frac{X_C X_L}{X_C - X_L}$ (1) 当 $X_L > X_C$ 时, $X_{\Sigma}$ 为容抗 (2) 当 $X_L < X_C$ 时, $X_{\Sigma}$ 为感抗 (3) 当 $X_L = X_C$ 时, $X_{\Sigma} = \infty$ , 此时在电感与电容间发生并联谐振现象

续表

续表

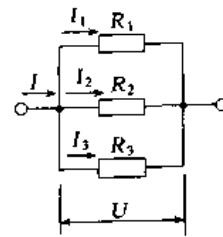
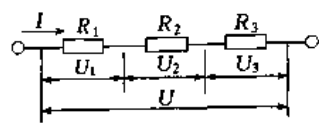
序号	项目	说明与公式	序号	项目	说明与公式
4.7	电阻、电感、电容并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (jX_L) \parallel (-jX_C) =  Z  e^{j\varphi}$ $\text{式中 }  Z  = \frac{R X_C X_L}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{X_C X_L}{X_C - X_L}\right)^2}}$ 称为“阻抗模”； $\varphi = \arctan \frac{R}{\left(\frac{X_C X_L}{X_C - X_L}\right)}$ ，称为“阻抗角” (1) 当 $X_L > X_C$ 时， $Z$ 呈容性， $\varphi$ 为负 (2) 当 $X_L < X_C$ 时， $Z$ 呈感性， $\varphi$ 为正 (3) 当 $X_L = X_C$ 时， $Z = R$ ，纯阻性， $\varphi = 0$	4.9	阻抗星形(Y)联结与三角形(Δ)联结的等效换算	$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$ $Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$ $Z_{31} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$ 如果 $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_Y$ 则 $Z_{\Delta} = 3Z_Y$  $Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_2 = \frac{Z_{23} Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_3 = \frac{Z_{31} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ 如果 $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = Z_{\Delta}$ 则 $Z_Y = Z_{\Delta} / 3$
4.8	阻抗并联的等效阻抗计算	$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots$ (复阻抗) 或 $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots$ (复导纳) 式中 $Y = \frac{1}{Z}, Y_1 = \frac{1}{Z_1},$ $Y_2 = \frac{1}{Z_2}, Y_3 = \frac{1}{Z_3}, \dots$ 如果 $Z =  Z  e^{j\varphi}$ 则 $Y = \left  \frac{1}{Z} \right  e^{-j\varphi}$			

### 三、直流电路的分析计算

(1) 简单直流电路的分析计算，如表2-26所示。

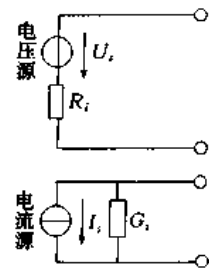
表2-26 简单直流电路的分析计算

序号	项目	说明
1	电阻串联电路	等效总电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$
		电流 各电阻上通过的电流相同
		电压 且 $U = U_1 + U_2 + U_3$ $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$
		电流与电压关系 $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = IR$
		功率 $P = P_1 + P_2 + P_3 = IU = I(U_1 + U_2 + U_3)$ 且 $P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$
2	电阻并联电路	等效总电阻 $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{G_1 + G_2 + G_3}$
		电流 且 $I = I_1 + I_2 + I_3$ $I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$
		电压 各电阻上的端电压相同
		电流与电压关系 $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = IR$
		功率 $P = P_1 + P_2 + P_3 = UI = U(I_1 + I_2 + I_3)$ 且 $P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$



续表

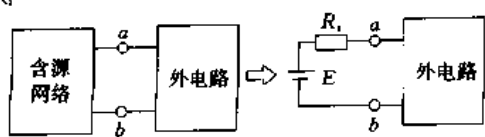
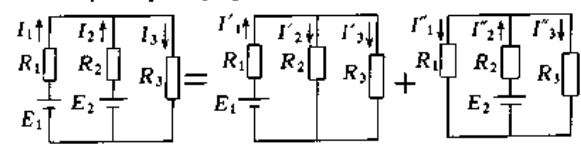
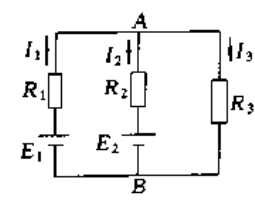
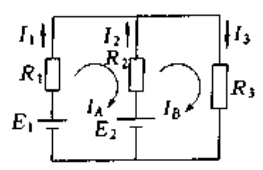
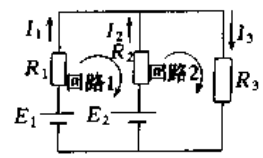
序号	项 目		说 明
3	电阻的 Y→△变换 或△→Y	Y→△ 或△→Y	参看表2-25序号4.9,外电路的电流、电压和功率不变
4	电源的 等效变换	电压源 ↓ 电流源	$I_s = U_s G_i = \frac{U_s}{R_i}$ $G_i = \frac{1}{R_i}$
5		电流源 ↓ 电压源	$U_s = \frac{I_s}{G_i}$ $R_i = \frac{1}{G_i}$



(2) 复杂直流电路的分析计算,如表2-27所示。

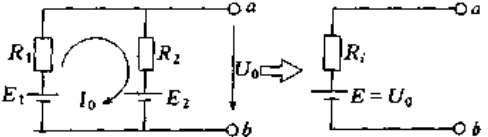
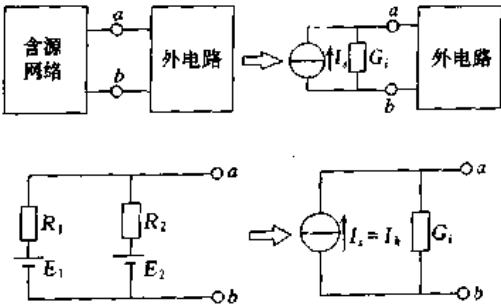
表2-27 复杂直流电路的分析计算

序号	项 目	说 明
1	支路电流法	<p>以支路电流作为未知量,应用基尔霍夫定律列出所需方程,方程数与未知量相同,然后联立解出各支路电流</p> <p>例: 回路1: <math>R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2</math> 回路2: <math>R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2</math> 节点A: <math>-I_1 - I_2 + I_3 = 0</math></p> <p>联立解上列三个方程,求出 <math>I_1, I_2, I_3</math></p>
2	回路电流法	<p>先以回路电流作为未知量,应用基尔霍夫电压定律列出所需方程,然后联立解出各回路电流,最终求出各支路电流</p> <p>例: 回路1: <math>R_1 I_A + R_2 (I_A - I_B) = E_1 - E_2</math> 回路2: <math>R_2 (I_B - I_A) + R_3 I_B = E_2</math></p> <p>联立解上列方程,求出 <math>I_A, I_B</math>, 最后得: <math>I_1 = I_A, I_2 = I_B - I_A, I_3 = I_B</math></p>
3	节点电压法	<p>先求出节点电压,然后应用欧姆定律求出各支路电流</p> <p>例: 节点电压 <math>U_{AB} = \frac{\sum (EG)}{\sum G}</math></p> <p>即 <math>U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}</math></p> <p>因此 <math>I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1}, I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2}, I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3}</math></p>
4	叠加原理	<p>多电源作用于线性电路时,任一支路的电流,等于各个电源分别作用于该电路时在该支路产生的电流代数和</p> <p>例:</p> $I_1 = I'_1 - I''_1, I_2 = -I'_2 + I''_2, I_3 = I'_3 + I''_3$
5	戴维南 (Thevenin) 定理	<p>又称“等效发电机定理”。一个含源的线性二端网络,可以用一条含电动势和电阻的有源支路来等效替代。这电动势 <math>E</math> 等于含源二端网络出口的开路电压 <math>U_0</math>, 其电阻等于含源网络化为无源网络后的入端电阻 <math>R_i</math></p>





续表

序号	项 目	说 明
5	戴维南 (Thevenin) 定理	<p>例:</p>  <p>(1) 求 <math>E</math>: <math>ab</math> 开路时, <math>I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}</math> 故 <math>E = U_0 = E_2 - R_2 I_0 = E_2 + R_2 \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}</math></p> <p>(2) 求 <math>R_i</math>: 将 <math>E_1</math>、<math>E_2</math> 短路, 得 <math>R_i = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}</math></p>
6	诺顿 (Norton) 定理	<p>这是与上述“戴维南定理”互为对偶的定理, 一个含源的线性二端网络, 可用一个电流源和一个并联电导来等效替代。这电流源 <math>I_i</math> 等于含源网络出口的短路电流 <math>I_k</math>, 其并联电导等于含源网络化为无源网络后的入端电导 <math>G_i</math> (即入端电阻 <math>R_i</math> 的倒数)</p>  <p>例:</p> <p>(1) 求 <math>I_i</math>: <math>ab</math> 短路时 <math>I_i = I_k = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2}</math></p> <p>(2) 求 <math>G_i</math>: 将 <math>E_1</math>、<math>E_2</math> 短路, 得 <math>R_i = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}</math></p> <p>故 <math>G_i = \frac{1}{R_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}</math></p>

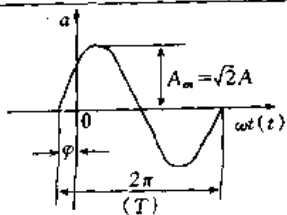
注意: 上述电路分析方法也适用于交流电路, 只是电阻改为阻抗, 而电流、电压等改为其相量。

#### 四、正弦交流电路的分析计算

(1) 单相正弦交流电路的分析计算。如表 2-28 所示。

(2) 三相正弦交流电路的分析计算 如表 2-29 所示。

表 2-28 单相正弦交流电路的分析计算

序号	项 目	说 明	序号	项 目	说 明
1	正弦交流电的基本概念		1.2	正弦交流电的解析式	$a = A_m \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} A \sin(\omega t + \varphi)$
1.1	正弦交流电的波形图		1.3	正弦交流电的“三要素”	<p>(1) 频率 <math>f</math> (或周期 <math>T</math>): <math>f = 1/T</math></p> <p>(2) 振幅值 <math>A_m</math> (或有效值 <math>A</math>): <math>A_m = \sqrt{2} A</math></p> <p>(3) 初相位角 <math>\varphi</math></p>

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明
2	正弦交流电的符号法		4	纯电感(L)电路的分析计算	
2.1	“符号法”的特点	正弦交流电的“符号法”又称“相量法”，即用复数形式的“相量”来代表正弦量，将描述正弦交流电路的微分或积分方程变换为复数代数方程，从而大大简化了正弦交流电路的分析计算	4.1	电压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$
2.2	正弦交流电的相量表达式	正弦交流量 $a = A_m \sin(\omega t + \varphi)$ 可表示为相量： $\dot{A} = A e^{j\varphi} = A \angle \varphi$ 式中 $A = A_m / \sqrt{2}$	4.2	电流	$i = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}), I_m = \sqrt{2} I$
2.3	相量图		4.3	瞬时值	$u = L \frac{di}{dt}, \text{或 } i = \frac{1}{L} \int u dt$
3	纯电阻(R)电路的分析计算		4.3	有效值	$I = U / X_L$ $X_L = \omega L$
3.1	电压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	4.3	相量	$\dot{I} = \dot{U} / j X_L$
3.2	电流	$i = I_m \sin \omega t, I_m = \sqrt{2} I$	4.3	相量图和相位	 电流滞后于电压 $\frac{\pi}{2}$
3.3	电流电压关系	 瞬时值： $u = iR$ 或 $i = u/R$ 有效值： $U = IR$ 或 $I = U/R$ 相量： $\dot{U} = iR$ 或 $\dot{I} = \dot{U}/R$ 相量图和相位： 电流与电压同相位 电流电压波形：	4.3	电流电压波形	
3.4	功率	瞬时： $p = ui$ 有功： $P = UI = I^2 R = U^2 / R$ 无功： $Q = 0$ 视在： $S = P$	4.4	功率	瞬时： $p = ui$ 有功： $P = 0$ 无功： $Q = UI = I^2 X_L = U^2 / X_L$ 视在： $S = Q$
3.5	功率因数	$\cos \varphi = 1$	4.4	功率因数	$\cos \varphi = 0$
		注：“有功功率”即“平均功率”	5	纯电容(C)电路的分析计算	
			5.1	电压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$
			5.2	电流	$i = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), I_m = \sqrt{2} I$
			5.3	瞬时值	$u = \frac{1}{C} \int i dt, \text{或 } i = C \frac{du}{dt}$
			5.3	有效值	$I = U / X_C$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$
			5.3	相量	$\dot{I} = \dot{U} / (-j X_C)$
			5.3	相量图和相位	 电流超前于电压 $\frac{\pi}{2}$
			5.3	电流电压波形	

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明	
5.4	瞬时	$p=ui$	7.3	电流电压关系		
	有功	$P=0$				
	无功	$Q=UI=I^2X_C=U^2/X_C$				
	视在	$S=Q$				
5.5	功率因数	$\cos\varphi=0$				
6	电阻与电感串联(R-L)电路的分析计算					
6.1	电压	$u=U_m\sin\omega t, U_m=\sqrt{2}U$	7.4	功率	瞬时 $p=ui$	
6.2	电流	$i=I_m\sin(\omega t-\varphi), I_m=\sqrt{2}I$ 式中 $\varphi=\arctan\frac{X_L}{R}$			有功 $P=UI\cos\varphi$	
6.3	有效值	$I=U/ Z ,  Z =\sqrt{R^2+X_L^2}$			无功 $Q=UI\sin\varphi$	
	相量	$\dot{I}=\dot{U}/Z, Z=R+jX_L= Z e^{j\varphi}$			视在 $S=\sqrt{P^2+Q^2}=P/\cos\varphi=UI$	
	相量图和相位	电流滞后于电压一个相位 $\varphi$ 	复[功率] $\bar{S}=\dot{U}\dot{I}^*=P-jQ$			
6.3	电流电压关系		7.5	功率因数	$\cos\varphi=P/S$	
			8	电阻、电感、电容串联(R-L-C)电路的分析计算		
			8.1	电压	$u=U_m\sin\omega t, U_m=\sqrt{2}U$	
			8.2	电流	$i=I_m\sin(\omega t-\varphi), I_m=\sqrt{2}I$ 式中 $\varphi=\arctan\frac{X_L-X_C}{R}$	
6.4	瞬时	$p=ui$	8.3	有效值	$I=U/ Z ,  Z $ $=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$	
	有功	$P=UI\cos\varphi$			相量	$\dot{I}=\dot{U}/Z, Z$ $=R+j(X_L-X_C)= Z e^{j\varphi}$
	无功	$Q=UI\sin\varphi$				$X_L > X_C$ $\varphi > 0$ , 电流滞后电压 $\varphi$ 角, 电路呈感性, 其电流电压曲线类似 R-L 曲线
	视在	$S=\sqrt{P^2+Q^2}=P/\cos\varphi=UI$				$X_L < X_C$ $\varphi < 0$ , 电流超前电压 $\varphi$ 角, 电路呈容性, 其电流电压曲线类似 R-C 曲线
复[功率]	$\bar{S}=\dot{U}\dot{I}^*=P+jQ$					
6.5	功率因数	$\cos\varphi=P/S$				
7	电阻与电容串联(R-C)电路的分析计算					
7.1	电压	$u=U_m\sin\omega t, U_m=\sqrt{2}U$	8.4	功率	瞬时 $p=ui$	
7.2	电流	$i=I_m\sin(\omega t+\varphi), I_m=\sqrt{2}I$ 式中 $\varphi=\arctan\frac{X_C}{R}$			有功 $P=UI\cos\varphi$	
7.3	有效值	$I=U/ Z ,  Z =\sqrt{R^2+X_C^2}$			无功 $Q=UI\sin\varphi$	
	相量	$\dot{I}=\dot{U}/Z, Z=R-jX_C= Z e^{-j\varphi}$			视在 $S=\sqrt{P^2+Q^2}=P/\cos\varphi=UI$	
	相量图和相位	电流超前于电压一个相位 $\varphi$ 	复[功率] $\bar{S}=P+jQ (X_L > X_C)$ $\bar{S}=P-jQ (X_L < X_C)$			
7.3	电流电压关系		8.5	功率因数	$\cos\varphi=P/S$	
			9	阻抗并联及混联电路的分析计算		

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明
9.1	阻抗并联的分路计算(示例)	(1)计算各支路的阻抗值 (2)计算各支路电流 $i_1, i_2, \dots$ 或 $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots$ $i = i_1 + i_2 + \dots$ (3)计算总电流 $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \dots$	9.2	阻抗串联的分路计算(示例)	(1)计算等效总阻抗 $Z_Z$ (2)计算总电流 $\dot{I}$ (3)计算 $\dot{U}_{ab} = \dot{U} - \dot{I}Z$ (4)计算分支电流 $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots$

表2-29 三相正弦交流电路的分析计算

序号	项目	说明	序号	项目	说明
1	三相正弦交流电动势		2.1	电压	(1)线电压与相电压关系(不论对称与否) $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$ (2)各线电压之间的关系(不论对称与否) $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$ (3)三相电压对称时各相电压之间的关系(参看右图) $U_A = U_B = U_C$ , 互差 $120^\circ$ (4)三相电压对称时线电压与相电压的关系 $U_l = \sqrt{3} U_\phi$
1.1	三相电动势瞬时值	$e_A = E_m \sin \omega t$ $e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$ $e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$	2.2	电流	(1)线电流就是相电流, 即 $I_l = I_\phi$ (2)有中性线(N线)时, 各相电流之间的关系(不论对称与否) $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N$ (3)无中性线(无N线)时, 各相电流之间的关系(不论对称与否) $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ (4)对称三相电路的电流计算 $I_A = I_B = I_C = \frac{U_\phi}{ Z_\phi } = \frac{U_l}{\sqrt{3}  Z_\phi }$ 式中 $ Z_\phi  = \sqrt{R_\phi^2 + X_\phi^2}$ $I_N = 0$
1.2	三相电动势相量和单位相量算子	$\dot{E}_A = E \angle 0^\circ$ $\dot{E}_B = E \angle -120^\circ = a^2 \dot{E}_A$ $\dot{E}_C = E \angle -240^\circ = E \angle 120^\circ = a \dot{E}_A$ 式中 $a = 1 \angle 120^\circ = e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$ , 称为“单位相量算子”	3	$\Delta$ - $\Delta$ 联结的对称三相电路的分析计算	
1.3	三相电动势正弦波形图		3.1	电路图	
2	Y-Y联结的对称三相电路的分析计算		3.2	电压	(1)线电压就是相电压, 即 $U_l = U_\phi$ (2)各线电压之间的关系(不论对称与否) $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$
2.1	电路图				

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明
3.3	电流	(1)线电流与相电流的关系(不论对称与否) $\dot{I}_A = \dot{I}_{BA} - \dot{I}_{AC} = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$ $\dot{I}_B = \dot{I}_{CB} - \dot{I}_{BA} = \dot{I}_{FC} - \dot{I}_{AB}$ $\dot{I}_C = \dot{I}_{AC} - \dot{I}_{CB} = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$ (2)各线电流之间的关系(不论对称与否) $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ (3)对称三相电路中中线电流与相电流的关系 $I_l = \sqrt{3} I_\phi$	5	对称分量法	
			5.1	适用范围	用于分析计算不对称三相电路,特别在电路中存在旋转电机这类负荷时,更需借助对称分量法
			5.2	基本内容	线性的三相电路,可利用适用于线性电路的叠加原理,将不对称的三相电压或电流,分解为正序、负序和零序三组对称分量,然后分别按对称电路的方法计算,最后叠加合成,如下图所示
4	不对称三相四线制电路的分析计算				
4.1	电路图				
4.2	中性线电压	利用节点电压法可得中性线电压: $\dot{U}_{N'N} = \frac{Y_A \dot{E}_A + Y_B \dot{E}_B + Y_C \dot{E}_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}$ 式中 $Y_A = \frac{1}{Z_{lA} + Z'_A}, Y_B = \frac{1}{Z_{lB} + Z'_B},$ $Y_C = \frac{1}{Z_{lC} + Z'_C}, Y_N = \frac{1}{Z_N}$ (如无N线, $Y_N = 0$ )	5.3	对称分量及其合成的相量图	
4.3	各相电流和中性线电流	$\dot{I}_A = Y_A(\dot{E}_A - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_B = Y_B(\dot{E}_B - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_C = Y_C(\dot{E}_C - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_N = Y_N \dot{U}_{N'N} \text{ (如无N线, } \dot{I}_N = 0)$			
4.4	负荷端电压	$\dot{U}_A = \dot{I}_A Z_A, \dot{U}_B = \dot{I}_B Z_B, \dot{U}_C = \dot{I}_C Z_C$	5.4	对称分量计算公式	正序 $\dot{A}_1 = \frac{1}{3}(\dot{A} + a\dot{B} + a^2\dot{C})$ 负序 $\dot{A}_2 = \frac{1}{3}(\dot{A} + a^2\dot{B} + a\dot{C})$ 零序 $\dot{A}_0 = \frac{1}{3}(\dot{A} + \dot{B} + \dot{C})$
4.5	不对称三相四线制电路若中性线断开时负荷端电压变化的计算示例	假设 $\dot{E}_A = 220\text{V}, \dot{E}_B = 220e^{-j120^\circ}\text{V}, \dot{E}_C = 220e^{j120^\circ}\text{V}$ $Z_A = R_A = 5\Omega, Z_B = R_B = 10\Omega, Z_C = R_C = 20\Omega,$ 即 $Y_A = 1/Z_A = 0.2\text{S}, Y_B = 1/Z_B = 0.1\text{S}, Y_C = 1/Z_C = 0.05\text{S}$ 如果中性线(N线)断开,即 $Y_N = 0$ 时,则中性点 $N'$ 间电压为: $\dot{U}_{N'N} = \frac{0.2 \times 220 + 0.1 \times 220e^{-j120^\circ} + 0.05 \times 220e^{j120^\circ}}{0.2 + 0.1 + 0.05}$ $V = (78.5 - j27.1)\text{V}$ 因此各相负荷的端电压为: $\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_{N'N} = 220\text{V} - (78.5 - j27.1)\text{V}$ $= (141.5 + j27.1)\text{V} = 144e^{j10.8^\circ}\text{V}$ $\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_{N'N} = 220e^{-j120^\circ}\text{V} - (78.5 - j27.1)\text{V}$ $= (-188.5 - j162.9)\text{V} = 249e^{-j139^\circ}\text{V}$ $\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_{N'N} = 220e^{j120^\circ}\text{V} - (78.5 - j27.1)\text{V}$ $= (-188.5 + j217.1)\text{V} = 287e^{j130^\circ}\text{V}$ 此三相四线制电路中的单相电器包括电灯的额定电压一般为220V;但中性线断开后, $U_B = 249\text{V}, U_C = 287\text{V},$ 均大大超过单相电器额定电压,必然烧毁电器。因此有关规程规定,中性线连接必须牢固可靠,且中性线上不得装设开关和熔断器	5.5	分量合成计算公式	A相 $\dot{A} = \dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_0$ B相 $\dot{B} = \dot{B}_1 + \dot{B}_2 + \dot{B}_0 = a^2\dot{A}_1 + a\dot{A}_2 + \dot{A}_0$ C相 $\dot{C} = \dot{C}_1 + \dot{C}_2 + \dot{C}_0 = a\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_2 + \dot{A}_0$
			6	不对称三相电路中电压电流的对称分量分析	
			6.1	线电压	线电压中不含零序分量
			6.2	线电流	(1)三相三线制电路的线电流不含零序分量 (2)三相四线制电路的中性线电流为零序电流,线电流中含有零序分量
			6.3	负载阻抗的对称分量	(1)没有互感的静止对称负荷 $Z_1 = Z_2 = Z_0$ (2)含有互感的静止对称负荷 $Z_1 = Z_2 \neq Z_0$ (3)含有旋转电机的对称负荷 $Z_1 \neq Z_2 \neq Z_0$

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明	
6.4	不对称电压作用于对称负载的电流计算	$i_A = i_1 + i_2 + i_0 = \frac{\dot{E}_1}{Z_1} + \frac{\dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $i_B = a^2 i_1 + a i_2 + i_0 = \frac{a^2 \dot{E}_1}{Z_1} + \frac{a \dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $i_C = a i_1 + a^2 i_2 + i_0 = \frac{a \dot{E}_1}{Z_1} + \frac{a^2 \dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $i_N = \frac{3 \dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$	7	三相电路功率的计算		
			7.1	对称三相电路	有功功率	$P = 3U_L I_L \cos\varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi$
				无功功率	$Q = 3U_L I_L \sin\varphi = \sqrt{3} U_L I_L \sin\varphi$	
				视在功率	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_L I_L = \sqrt{3} U_L I_L$	
7.2	不对称三相电路	有功功率	$P = P_A + P_B + P_C$			
	无功功率	$Q = Q_A + Q_B + Q_C$				
	视在功率	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$				

(3) 正弦交流电路的谐振。如表2-30所示。

表2-30 正弦交流电路的谐振

序号	项目	R、L、C串联谐振	R、L、C并联谐振	电感线圈与电容器并联谐振
1	电路图			
2	谐振条件	$X_L = X_C$ 即 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$B_L = B_C$ 或 $X_L = X_C$ 即 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$B_1 = B_2$ 或 $\frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_2^2 + X_C^2}$ 即 $\frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_2^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}$
3	谐振角频率	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC} \sqrt{\frac{L}{C} - R_1^2}} = \frac{1}{\sqrt{LC} \sqrt{\frac{L}{C} - R_2^2}}$
4	谐振频率	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC} \sqrt{\frac{L}{C} - R_1^2}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC} \sqrt{\frac{L}{C} - R_2^2}}$
5	谐振阻抗或导纳	$Z = R + jX = R$	$Y = G - jB = G = \frac{1}{R}$	$Y = G - jB = G = \frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_C^2}$
6	谐振时电流与电压关系	电路呈电阻性，即总电流与外施电压同相	电路呈电阻性，即总电流与外施电压同相	电路呈电阻性，即总电流与外施电压同相
7	谐振电路相量图			
8	谐振特征说明	(1) 谐振时 $\dot{U}_L = -\dot{U}_C$ $\dot{U} = \dot{U}_R$ 因此串联谐振又称“电压谐振” (2) 谐振时阻抗达最小值， $Z = R$ ，电流达最大值，总电压达最小值 (3) 谐振电路的品质因数 $Q = \frac{U_L}{U} =$	(1) 谐振时 $\dot{I}_L = -\dot{I}_C$ $\dot{i} = \dot{i}_R$ 因此并联谐振又称“电流谐振” (2) 谐振时导纳达最小值， $Y = G = \frac{1}{R}$ ，总电流达最小值，电压达最大值 (3) 谐振电路的品质因数	(1) 谐振时两支路电流的无功分量相等而反向，总电流 $i$ 为两支路电流有功分量之和，因此也称为“电流谐振” (2) 谐振时导纳达最小值，总电流也达最小值 (3) 当 $R_1 > \sqrt{\frac{L}{C}} > R_2$ 或 $R_1 < \sqrt{\frac{L}{C}} < R_2$ 时，均不会发生谐振 (4) 当 $R_1 = R_2 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，任何频率下都谐振 (5) 当 $R_1 = R_2 \neq \sqrt{\frac{L}{C}}$ 时，

续表

序号	项目	R、L、C串联谐振	R、L、C并联谐振	电感线圈与电容器并联谐振
8	谐振特征说明	$\frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R}$ 当 $Q \gg 1$ , 或 $\sqrt{\frac{L}{C}} \gg R$ 时, $U_L = U_C \gg U$ 这说明供电系统中发生串联谐振时, 可产生危险的过电压现象	$Q = \frac{I_C}{I} = \frac{\omega_0 C}{G} = \frac{\sqrt{\frac{C}{L}}}{G}$ 当 $Q \gg 1$ , 或 $\sqrt{\frac{C}{L}} \gg G$ 时, $I_L = I_C \gg I$ 这说明供电系统中发生并联谐振时, 可产生危险的过电流现象	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ (6) 当 $\sqrt{\frac{L}{C}} \gg R_1, R_2$ 时, $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , 这时品质因数 $Q = \frac{\omega_0 L}{R_1 + R_2}$

续表

### 五、非正弦交流电路的分析计算

(1) 非正弦交流电路的计算, 如表2-31所示。

表2-31 非正弦交流电路的计算

序号	项目	说明与公式
1	线性非正弦交流电路的阻抗计算	电阻 $R = \text{常数}$ 感抗 $X_{Lk} = k\omega L$ 容抗 $X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C}$ 式中 $\omega$ 为基波的角频率
2	线性非正弦交流电路的计算步骤	(1) 将电动势分解为直流分量与各次谐波分量之和; 高次谐波取到哪一次止, 视所需准确度而定 (2) 将电动势各次谐波分别作用于该线性电路, 应用“符号法”分别进行计算 (3) 应用“叠加原理”将各次谐波进行叠加; 叠加时应采用各次谐波的瞬时值
3	非正弦交流电路的电流瞬时值	$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \sin(k\omega t + \Psi_{ik})$ 式中 $I_0$ 为电流的直流分量; $I_{mk}$ 为电流的 $k$ 次谐波幅值; $\Psi_{ik}$ 为电流的 $k$ 次谐波初相角
	非正弦交流电路的电流有效值	$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots}$ 式中 $I_0$ 为电流的直流分量; $I_1, I_2, \dots, I_k$ 分别为基波、二次谐波、... $k$ 次谐波的电流有效值
4	非正弦交流电路的电压瞬时值	$u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \Psi_{uk})$ 式中 $U_0$ 为电压的直流分量; $U_{mk}$ 为电压的 $k$ 次谐波幅值; $\Psi_{uk}$ 为电压的 $k$ 次谐波初相角

序号	项目	说明与公式
4	非正弦交流电路的电压有效值	$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + \dots}$ 式中 $U_0$ 为电压的直流分量; $U_1, U_2, \dots, U_k$ 分别为基波、二次谐波、... $k$ 次谐波的电压有效值
5	非正弦交流电路的功率	瞬时功率 $p = ui$ 式中 $u$ 为瞬时电压; $i$ 为瞬时电流 有功功率 $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots$ 式中 $P_0$ 为直流分量的功率; $P_1, P_2, \dots, P_k$ 分别为基波、二次谐波、... $k$ 次谐波的有功功率 无功功率 $Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k + \dots$ 式中 $U_k$ 为 $k$ 次谐波电压有效值; $I_k$ 为 $k$ 次谐波电流有效值; $\varphi_k$ 为 $k$ 次谐波电压与电流相位差; $Q_1, Q_2, \dots, Q_k$ 分别为基波、二次谐波、... $k$ 次谐波的无功功率 视在功率 $S = UI = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \cdot \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$ 式中 $U, I$ 分别为非正弦交流电路的电压电流有效值
	功率因数	$\cos \phi = P/S = P/UI$ 此处的功率因数角 $\phi$ 不同于正弦电路功率因数角 $\varphi$ , 不是阻抗角

(2) 几种特定非正弦波形的谐波特点, 如表2-32所示。

表2-32 几种特定非正弦波形的谐波特点

序号	非正弦波形	傅里叶级数	特点
1		$f(t) = A_{m1} \sin(\omega t + \Psi_1) + A_{m3} \sin(3\omega t + \Psi_3) + \dots + A_{mk} \sin(k\omega t + \Psi_k) + \dots$ ( $k$ 为奇数)	(1) 前后半波波形相同, 符号相反, 即 $f(t) = -f(t + \frac{T}{2})$ (2) 无偶次谐波分量和直流分量, 只有奇次谐波 (3) 交流发电机由于其结构对称, 因此其电动势波形属此类

续表

序号	非正弦波形	傅里叶级数	特 点
2		$f(t) = A_0 + A_{m2}\sin(2\omega t + \Psi_2) + A_{m4}\sin(4\omega t + \Psi_4) + \dots + A_{mk}\sin(k\omega t + \Psi_k) + \dots$ (k 为偶数)	(1) 前后半波波形和符号完全相同, 即 $f(t) = f(t + \frac{T}{2})$ (2) 无奇次谐波 (3) 在单相整流电路中常出现此类波形
3		$f(t) = A_{m1}\sin\omega t + A_{m2}\sin 2\omega t + \dots + A_{mk}\sin k\omega t + \dots$ (k 为正整数)	(1) 波形对称于直角坐标原点, 即 $f(t) = -f(-t)$ (2) 仅含正弦项, 不含余弦项和直流分量 (3) 在倍频电路中常出现此类波形, 波形性质与时间起点有关
4		$f(t) = A_{m1}\cos\omega t + A_{m2}\cos 2\omega t + \dots + A_{mk}\cos k\omega t + \dots$ (k 为正整数)	(1) 波形对称于纵轴, 即 $f(t) = f(-t)$ (2) 仅含余弦项, 不含正弦项和直流分量。 (3) 在含有铁芯线圈的电路中常出现此类近似波形, 波形性质亦与时间起点有关

续表

### 六、线性电路过渡过程的分析计算

如表2-33所示。

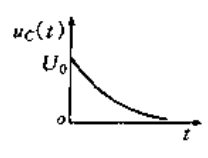
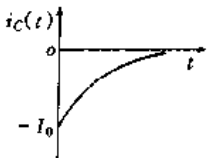
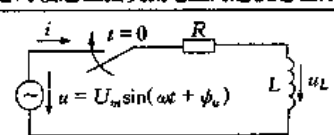
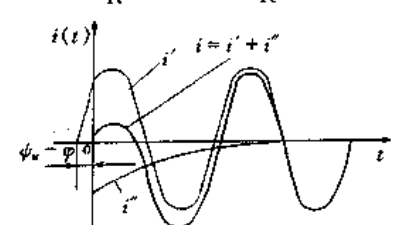
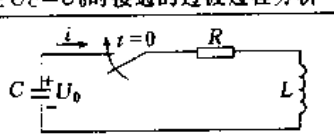
表2-33 线路电路过渡过程的分析计算

序号	项 目	说 明
1	电路产生过渡过程的原因及换路定律	
1.1	产生原因	如果电路内含有储能元件 L 或 C, 则在电路工作状态发生变化时, 由于能量不能突变, 因此在电路原稳态与新稳态之间必然存在一定的过渡过程, 或称“暂态过程”、“瞬变过程”
1.2	换路定律	(1) 对电容: 换路前后, 即从 $t=0^-$ 到 $0^+$ , 电容上的电压不能突变, 即 $u_C(0^-) = u_C(0^+)$ (2) 对电感: 换路前后, 即从 $t=0^-$ 到 $0^+$ , 电感中的电流不能突变, 即 $i_L(0^-) = i_L(0^+)$
2	电路过渡过程的电气方程及其“三要素”	
2.1	电气方程形式	$f(t) = \underbrace{f(\infty)}_{\text{稳态分量}} + \underbrace{[f(0^+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{暂态分量}}$
2.2	确定电路过渡过程的“三要素”	(1) $f(\infty)$ ——电流或电压的稳态值 (2) $f(0^+)$ ——电流或电压的初始值 (3) $\tau = L/R$ 或 $\tau = RC$ ——电路的时间常数
3	RC 电路在零状态时接入直流电压的过渡过程分析	

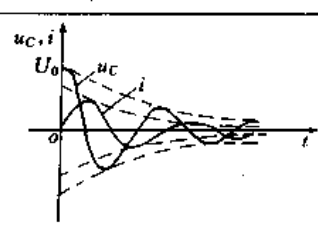
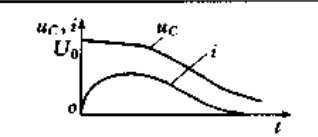
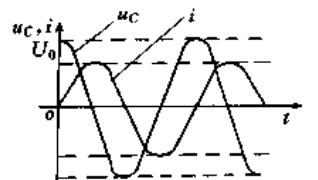
序号	项 目	说 明
3.1	电路图	电路工作条件: $t=0^-$ 时 $u_C(0^-) = 0$ 
3.2	电压方程及其波形图	$u_C(t) = \frac{U_S}{R} + (0 - \frac{U_S}{R})e^{-\frac{t}{\tau}}$ 式中 $\tau = RC$ 
3.3	电流方程及其波形图	$i(t) = \frac{U_S}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ 式中 $\tau = RC$ 
4	RC 电路短接的过渡过程分析	
4.1	电路图	 电路工作条件: $t=0^-$ 时 $u_C(0^-) = U_0$



续表

序号	项目	说明
4.2	电压方程及其波形图	$u_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ 式中 $\tau = RC$ 
4.3	电流方程及其波形图	$i_C(t) = -I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ 式中 $\tau = RC$ 
5	RL 电路在零状态时接通正弦交流电压的过渡过程分析	
5.1	电路图	
5.2	电流方程及其波形图	$i = i' \text{ (稳态分量)} + i'' \text{ (暂态分量)}$ $= I_m \sin(\omega t + \Psi_u - \varphi) - I_m \sin(\Psi_u - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}$ 式中 $\tau = \frac{L}{R}$ , $\varphi = \arctan \frac{\omega L}{R}$ 
6	RLC 电路在 $U_C = U_0$ 时接通的过渡过程分析	
6.1	电路图	
6.2	电路方程	$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = 0$ 或 $\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0$ (二阶齐次微分方程)
6.3	上列微分方程的特征方程	$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0$
6.4	上列微分方程的特征根	$p_1, p_2 = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$ 令 $\delta = \frac{R}{2L}$ , $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ 因此 $p_1 = -\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$ $p_2 = -\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$

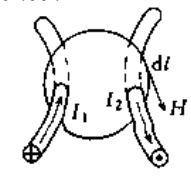
续表

序号	项目	说明
6.5	$\delta < \omega_0$ , 即 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时的 电路过渡过程	 <p>属“欠阻尼衰减振荡放电”</p>
6.6	$\delta \geq \omega_0$ , 即 $R \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时的 电路过渡过程	 <p>属“过阻尼非周期衰减放电”</p>
6.7	$R = 0$ 时的电路过渡过程	 <p>属“无阻尼等幅振荡”</p>

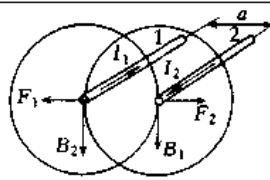
### 七、载流导体的电磁力计算

如表2-34所示。

表2-34 载流导体的电磁力计算

序号	项目	说明与公式
1	载流导体在磁场中受的电磁力	设长度为 $l$ 的载流直导体放在均匀磁场 $B$ 中, 如果电流 $I$ 与磁感应 $B$ 的方向成 $\alpha$ 角, 则导体 $l$ 所受的电磁力 $F$ 的大小为: $F = BIl \sin \alpha$ 如果电流 $I$ 与 $B$ 垂直, 即 $\alpha = 90^\circ$ , 则 $F = BIl$ 电磁力 $F$ 的方向按“左手定则”(参看表2-23序号6) 确定
2	全电流定律	磁场中沿任意闭合路径的磁压 ( $Hl$ ), 等于该闭合路径所包围的电流代数和 ( $\Sigma I$ ), 即 $\oint H dl = \Sigma I$ 电流的正负按“右手螺旋定则”(参看表2-23序号8) 确定, 如下图所示, $I_1$ 为正, $I_2$ 为负, 即 $\oint H dl = I_1 - I_2$ 上述关系称为“全电流定律” 

续表

序号	项目	说明与公式
3	两平行载流导体相互作用的电磁力	 <p>(1) 载流导体周围的磁场可按全电流定律得：  <math display="block">\oint H dl = H \oint dl = H \times 2\pi a = I</math>             即 <math display="block">H = \frac{I}{2\pi a}</math>             故 <math display="block">B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi a}</math>             (2) 导体2在导体1处产生的磁感应 <math>B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi a}</math>，因此导体1所受的电磁力为：  <math display="block">F_1 = B_2 l_1 I_1 = \mu \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l_1</math>             同理，导体2所受的电磁力为：  <math display="block">F_2 = B_1 l_2 I_2 = \mu \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l_2</math>             (3) 空间两平行载流导体相互作用的电磁力为（设线间距离为 <math>a</math>，导体档距为 <math>l</math>，<math>\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}</math>）：  <math display="block">F = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l = 2I_1 I_2 \frac{l}{a} \times 10^{-7}</math>             式中 <math>I_1</math>、<math>I_2</math> 的单位为 A；<math>a</math> 和 <math>l</math> 单位为 m 或 mm；<math>F</math> 的单位为 N</p>

### 第三节 常用的电工测量知识

#### 一、测量技术基础知识

(1) 测量方式和方法。如表2-35所示。

表2-35 测量方式和方法

序号	类别	说明
测量方式		
1	直接测量	直接测量是指将被测量与标准量直接比较，或用测量仪表直接测出被测量的数值的方法，例如用电流表测量电流、用电桥测量电阻、电感、电容等
1.2	间接测量	间接测量是指先分别直接测出与被测的量的某种函数关系的其他量的数值，然后根据函数关系求出被测的量的数值，例如要测定某电阻值，可分别测出通过电阻的电流值和电阻两端的电压值，然后利用 $R=U/I$ 的关系式求出电阻值，这就是间接测量
测量方法		
2.1	直读法	直读法是用指示仪表直接测读被测量的数值。一般工程测量，以此简便的直读法为主，但测量准确度有时不高
2.2	比较法	用比较仪器将被测量与标准量进行比较而求出被测量的数值，称为“比较法”。例如用电桥测量电阻、电感和电容，用电位差计测量电压等。比较法测量的仪器较复杂，操作较麻烦，但测量准确度高

(2) 测量误差和仪表准确度。如表2-36所示。

表2-36 测量误差和仪表准确度

序号	项目	说明
测量误差的类型及消除措施		
1	系统误差	<p><b>产生原因</b></p> 系统误差为测量过程中产生的有一定规律性的误差：①仪表因其准确度级所限而存在的基本误差；②测量方法不完善而引起的误差；③仪表安装不当及环境条件变化而引起的误差；④测量人员因经验不足、观测不准引起的误差 <p><b>消除措施</b></p> ①对仪表进行校正，精确测量时引入校正值（补值）；②正确选择测量方法和测量仪表；③正确安装和使用测量仪表；④采用能消除或减小系统误差的特殊测量方法，如采用“正负摩擦误差补偿法”，例如测量电流，先采取电流由小增大来测量，再采取电流由大减小来测量，最后取两次测量数值的平均值作为测量结果，这样可消除误差中所含的摩擦误差
1.2	随机误差	<p><b>产生原因</b></p> 由于外界的偶然因素例如环境温度、湿度、外界电场或磁场及电源电压、频率等的偶然变化而引起的误差，这种随机误差也称“偶然误差” <p><b>消除措施</b></p> 可采取多次重复测量，以减小或消除此类随机误差
1.3	疏失误差	<p><b>产生原因</b></p> 由于测量者在测量过程中疏失而造成的误差或差错 <p><b>消除措施</b></p> 疏失误差应予以舍弃
测量误差的表示方式		
2.1	绝对误差	绝对误差是测量仪表的指示值 $A$ 与被测量的实际值 $A_0$ 的代数差，即 $\Delta A = A - A_0$
2.2	相对误差	相对误差是测量的绝对误差 $\Delta A$ 与被测量的实际值 $A_0$ 的百分比值，即 $\gamma_A = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$ 在工程中，常以其绝对值 $\Delta A$ 与仪表指示值 $A$ 的百分比值来表示，即 $\gamma_A \approx \frac{\Delta A}{A} \times 100\%$
2.3	引用误差	引用误差是测量的绝对误差 $\Delta A$ 与测量仪表的量程（即仪表的满刻度值） $A_m$ 的百分比值，亦称“基准误差”，即 $\gamma_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%$
仪表的准确度级		
3.1	仪表的准确度	仪表的准确度级以其测量的“最大引用误差”即测量的最大绝对误差 $\Delta A_m$ 与仪表量程 $A_m$ 的百分比值来量度，即 $\gamma_{m \cdot \max} = \frac{\Delta A_{\max}}{A_m} \times 100\%$ 例如某仪表的最大引用误差为 $\pm 1.5\%$ 或略小时，则该仪表的准确度级为1.5级

续表

序号	项目	说明				
3.2	仪表准确度级	准确度级	0.1	0.2	0.5	
		基本误差	±0.1%	±0.2%	±0.5%	
	准确度级	准确度级	1.0	1.5	2.5	5.0
		基本误差	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±5.0%
	附注	表中“基本误差”，是指仪表在规定的条件下，只是由于结构设计和制造工艺等原因所引起的误差，仪表因偏离工作条件而产生的误差，称为“附加误差”，不属基本误差				

(3) 测量数值的修约规则。国家标准《数值修约规则》(GB8170—1987) 规定，“科学技术与生产活动中试验测定和计算得出的各种数值”均应按此规则进行修约，其要点如表2-37所示。

表3-37 测量数值的修约规则 (据 GB8170—1987)

序号	项目	说明
1	修约数字进舍规则	<p>(1) 拟舍弃数字的最左一位数字小于5时，则舍去，即保留的各位数字不变。例如将12.1498修约到一位小数，为12.1；如修约到两位有效位数，则为12</p> <p>(2) 拟舍弃数字的最左一位数字大于5，或者是5但其后跟有并非全部为零的数字时，则进一，即保留的末位数字加1。例如将1268修约到“百”数位，为13×10<sup>2</sup> (特定时可写为1300)；如修约到三位有效位数，则为127×10 (特定时可写为1270)</p> <p>(3) 拟舍弃数字的最左一位数字为5，而右边无数字或皆为零时，如所保留的末位数字为奇数则进一，为偶数则舍弃。例如将0.0325修约到两位有效位数，为0.032；将32500修约到两位有效位数，为32×10<sup>3</sup> (特定时可写为32000)</p> <p>(4) 负数修约时，先将其绝对值按上述规定修约，然后在修约值前加上负号</p>
2	不许连续修约的规定	<p>(1) 拟修约数字应在确定修约位数后一次修约获得结果，而不得多次按上述进舍规则连续修约。例如将15.4546修约到两位有效位数，应一次修约为15，而不能如下连续修约：15.4546→15.455→15.46→15.5→16</p> <p>(2) 在具体实施中，有的测试与计算部门先将获得数值按指定的修约位数多一位或多几位报出，而后由其他部门判定。为避免产生连续修约的错误，应按下列步骤进行：</p> <p>1) 报出数值最右的非零数字为5时，应在数值后边加注“(+)”或“(−)”或不加符号，以分别表明已进行过“舍”、“进”或“未舍未进”</p> <p>2) 如果判定报出值需要进行修约，当拟舍去数字的最左一位数字为5而右边无数字或皆为零时，数值后边有(+)号者进一，后边有(−)号者舍去，其他情况仍按序号1的进舍规则进行</p>

续表

序号	项目	说明		
2	不许连续修约的规定	实测值	报出值	修约值
		15.4546	15.5 (−)	15
		16.5203	16.5 (+)	17
		17.5000	17.5	18
		−15.4546	−15.5 (−)	−15

## 二、常用的电工测量仪表

(1) 电工指示仪表的标志符号。按 GB7678.1—1987《直接作用模拟指示电测量仪表及其附件·定义和通用要求》规定，如表2-38所示。

表2-38 电工指示仪表的标志符号

(据 GB7676·1—1987)

序号	项目	符号
1	被测量的性质	
1.1	直流线路或直流响应的测量机构	
1.2	交流线路或交流响应的测量机构	
1.3	直流或交流线路和(或)直流或交流响应的测量机构	
1.4	三相交流线路(通用符号)	
2	安 全	
2.1	试验电压500V	
2.2	试验电压高于500V (例如2kV)	
2.3	不经受电压试验的装置	
2.4	高压闪络	
2.5	在仪表或附件上有高压 (例如伏特表)	
3	使用位置	
3.1	标度盘垂直使用的仪表	
3.2	标度盘水平使用的仪表	
3.3	标度盘相对水平面倾斜(例60°)的仪表	
3.4	仪表按序号3.1使用的例子，标称使用范围从80°~100°	

续表

序号	项 目	符 号
3.5	仪表按序号3.2使用的例子,标称使用范围-1°~+1°	
3.6	仪表按序号3.3使用的例子,标称使用范围45°~75°	
4	准确度等级	
4.1	等级指数(例如1)除基准值为标度尺长指示值或量程者外	1
4.2	等级指数(例如1),基准值为标度尺长(新设计不用)	
4.3	等级指数(例如1),基准值为指示值	
4.4	等级指数(例如1),基准值为量程(新设计使用)	
5	通用符号	
5.1	磁电系仪表	
5.2	磁电系比率表(商值表)	
5.3**	动磁系仪表	
5.4**	动磁系比率表(商值表)	
5.5	电磁系仪表	
5.6	电磁系比率表(商值表)	
5.7	电动系仪表	
5.8	铁磁电动系(铁芯电动系)仪表	
5.9	电动系比率表(商值表)	
5.10	铁磁电动系比率表(商值表)	
5.11	感应系仪表	

续表

序号	项 目	符 号
5.12	双金属系仪表	
5.13	静电系仪表	
5.14	振簧系仪表	
5.15***	直热式热电偶(热电变换器)	
5.16***	间热式热电偶(热电变换器)	
5.17***	测量线路中的电子器件	
5.18***	整流器	
5.19	电屏蔽	
5.20	磁屏蔽	
5.21****	接地端	
5.22	零(量程)调节器	
5.23	支架或底板接线端	
5.24	保护接地端	
5.25	无噪声接地端	
5.26	正端	+
5.27	负端	-

\* 序号1.1符号原为“-”，现符号据 GB/T4728.2—1998改。

\*\* 动磁系仪表符号为新增的。过去一般将动磁系仪表归入磁电系仪表类，两者的工作原理相同。

\*\*\* 如序号5.15~5.18符号与序号5.1仪表组合时，则器件包括在仪表内

\*\*\*\* 序号5.21符号已不常用，应使用更清楚的符号如序号5.23~5.25所示。

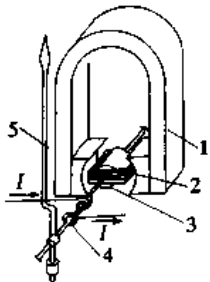
(2) 常用电工仪表的型号。如表2-39所示。

表2-39 常用电工仪表的型号

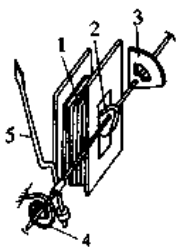
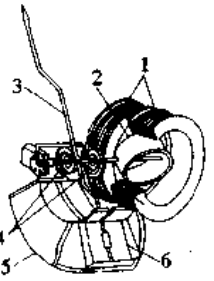
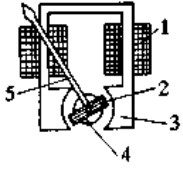
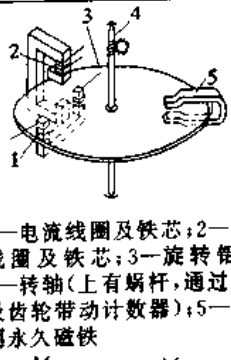
序号	项 目	说 明									
1	型号格式	便携式指示仪表	□		□	—	□				
		安装式指示仪表	□	□	□	□	—	□			
		电能表(电度表)	□	□	□	□	—	□			
2	系列代号(结构型式组别)	B	C	D	E	L	Q	T	Z		
3	用途代号(产品名称代号)	A	V	W	var	cosφ	Hz	S			
4	电能表类别代号	D	S	T	X	J	Z				
5	安装仪表形状代号	第一位	按仪表面板形状的最大尺寸编号,用数字1~9表示								
		第二位	按仪表外壳形状特征编号,用数字0~9表示,但数字0可省略								
6	型号示例	便携式指示仪表	T 19 - V		6	型号示例	DX 865 - 2				
		安装式指示仪表	1 T 1 - A				电能表(电度表)				
			电压表				产品规格代号				
			设计序号				设计系列、序号(86系列)				
			电磁系				无功				
			电流表				电能表(电度表)				
			设计序号				M F 30				
			电磁系				设计序号				
			形状代号				万用电表(复用表)				
							专用仪表				

(3) 常用电工仪表的测量机构。如表2-40所示。

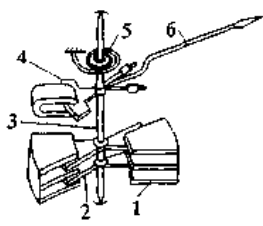
表2-40 常用电工仪表的测量机构

序号	名称	基本结构	工作原理	特点	应用范围
1	磁电系测量机构	 <p>1—永久磁铁；2—可动线圈； 3—铁芯；4—游丝(兼作导流片)；5—指针</p>	<p>利用可动线圈中电流产生的磁场与固定的永久磁铁磁场相互作用而使仪表指针偏转。偏转角与线圈电流有如下关系： <math>\alpha \propto I</math></p>	<p>(1) 灵敏度高 (2) 准确度高 (3) 功耗小 (4) 刻度均匀 (5) 过载能力小 (6) 只能测直流；如要测交流，需先整流</p>	<p>广泛用作直流电流表、电压表、兆欧表、检流计及用作万用表、整流系表、热电系表、电子系表等的表头</p>

续表

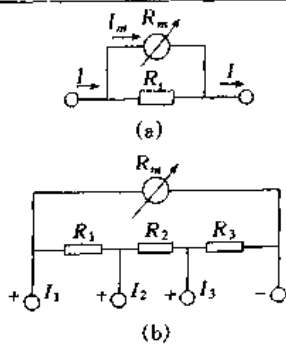
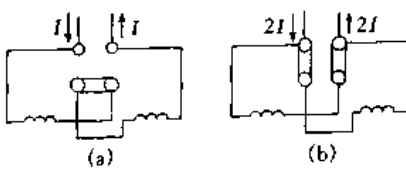
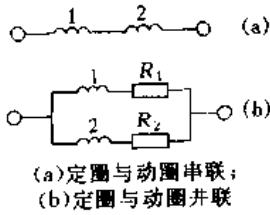
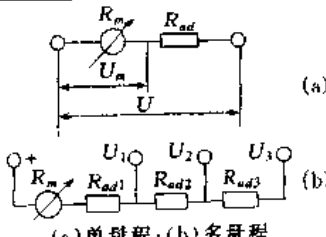
序号	名称	基本结构	工作原理	特点	应用范围
2	电磁系测量机构	 <p>1—固定线圈；2—可动铁片；3—阻尼铝片（阻尼永久磁铁未表示）；4—游丝；5—指针（上图为吸引型；排斥型略）</p>	<p>利用固定的载流线圈磁场使可动铁片磁化被吸引（吸引型）或被同时磁化的固定铁片所排斥（排斥型）而使仪表指针偏转。偏转角与线圈电流有如下关系：</p> $\alpha \propto I^2$	<p>(1)结构简单,低廉 (2)过载能力强 (3)受外磁场影响较大,必须采用磁屏蔽或无定向结构 (4)准确度较低 (5)功耗较小 (6)刻度不均匀 (7)可交直流两用,但主要用于交流</p>	<p>一般用作交流电流表、电压表,特别广泛用作安装式交流电流表和电压表</p>
3	电动系测量机构	 <p>1—固定线圈(两个,相对); 2—可动线圈; 3—指针; 4—游丝(兼作导流片); 5—阻尼盒; 6—阻尼叶片</p>	<p>利用固定的载流线圈与可动的载流线圈间的相互作用的电力而使仪表指针偏转。偏转角与两载流线圈电流间有如下关系：</p> <p>直流：<math>\alpha \propto I_1 I_2</math> 交流：<math>\alpha \propto I_1 I_2 \cos \psi</math></p> <p>式中 <math>\psi</math> 为 <math>I_1</math> 与 <math>I_2</math> 间的相位差</p>	<p>(1)准确度高 (2)交直流两用 (3)受外磁场影响较大,必须采用无定向结构或磁屏蔽 (4)功耗较大 (5)过载能力小 (6)作成电流表、电压表,刻度不均匀;而作成功率表,则刻度均匀</p>	<p>广泛用作准确度级较高的交直流两用的电流表、电压表,并广泛用作功率表、功率因数表和频率表</p>
4	铁磁电动系测量机构	 <p>1—固定线圈(两个); 2—可动线圈; 3—马蹄形电磁铁; 4—圆柱形铁芯; 5—指针</p>	<p>与上述电动系测量机构比较,其特点:①转矩增大;②准确度降低</p>	<p>主要用作安装式功率表、功率因数表、频率表及需耐震的仪表和要求大转矩的自动记录仪表</p>	
5	感应系测量机构	 <p>1—电流线圈及铁芯; 2—电压线圈及铁芯; 3—旋转铝盘; 4—转轴(上有蜗杆,通过蜗轮及齿轮带动计数器); 5—制动用永久磁铁</p> <p>转矩与制动力矩</p>	<p>利用两个不同相位的交变磁通 <math>\Phi_1</math>、<math>\Phi_2</math> 穿过铝盘,分别感生涡流,涡流与磁通作用产生转矩,使铝盘旋转。转矩与磁通有如下关系：</p> $M \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi$ <p>式中 <math>\psi</math> 为 <math>\Phi_1</math> 与 <math>\Phi_2</math> 之间的相位差, <math>M</math> 的方向为从领先磁通 <math>\Phi_1</math> 到滞后磁通 <math>\Phi_2</math> 的方向</p> <p>利用铝盘旋转时切割永久磁铁磁通而感生涡流,涡流与磁通作用产生制动力矩。制动力矩与铝盘转速有下列关系：</p> $M_b \propto n$ <p>式中 <math>n</math> 为铝盘转速, <math>M_b</math> 方向与 <math>M</math> 相反</p> <p>在铝盘转速达到一定时, <math>M = M_b</math>, 铝盘匀速旋转</p>	<p>(1)转矩较大 (2)过载能力较大 (3)功耗较小 (4)只能用于交流 (5)通过不同的接线,可使铝盘转速正比于测量电路的有功功率或无功功率,从而可用来计量有功电能或无功电能</p>	<p>广泛用作交流电能表,以计量交流电路的有功电能或无功电能</p>

续表

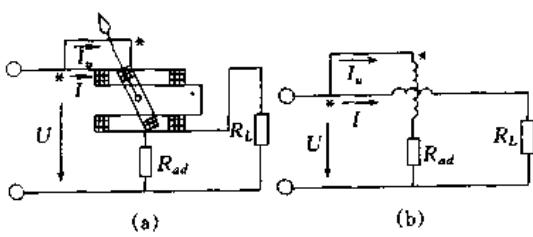
序号	名称	基本结构	工作原理	特点	应用范围
6	静电系测量机构	 <p>1—固定电极；2—可动电极； 3—转轴；4—阻尼铝片及磁铁；5—游丝；6—指针</p>	<p>利用电极板之间的静电吸引力使可动电极带动指针偏转。指针偏转角与加在电极间的电压存在下列关系：</p> $\alpha \propto U^2$	<p>(1)耐压高 (2)功耗几乎为零 (3)交直流两用 (4)转矩较小 (5)易受外电场影响，需静电屏蔽 (6)刻度不均匀</p>	<p>用于高电压的测量(电压可高达几十万伏)及高频电压的测量(频率可高达<math>10^8\text{Hz}</math>)</p>

(4)常用的电工指示仪表。如表2-41所示。

表2-41 常用的电工指示仪表

序号	名称	结构、接线与应用
1	磁电系电流表	<p>(1)磁电系测量机构可直接作成微安表和小量程毫安表 (2)一般磁电系电流表是将磁电系测量机构(俗称“表头”)与分流器并联,如图 a 所示。分流电阻按下式计算:</p> $R_s = \frac{R_m}{n-1}$ <p>式中 <math>R_m</math> 为测量机构内阻; <math>n</math> 为扩程倍数(<math>n=I/I_m, I_m</math> 为测量机构电流) (3)多量程电流表电路如图 b 所示 (4)磁电系电流表用于直流测量</p>  <p>(a)单量程;(b)多量程</p>
2	电磁系电流表	<p>(1)电磁系测量机构可直接通过较大电流(可达100A),因此一般不用分流器。对交流,可利用电流互感器来扩大量程 (2)安装式电流表一般作成单量程的,而便携式电流表则多作成双量程的,电流线圈分为两半,两个半圈串联(图 a)的量程为两个半圈并联(图 b)量程的1/2 (3)可交直流两用,但多用于交流测量</p>  <p>(a)线圈串联;(b)线圈并联</p>
3	电动系电流表	<p>(1)量程在0.5A及以下时,一般采用定圈1与动圈2串联的方式(图 a) (2)较大量程的电流表,采用定圈1与动圈2并联的方式(图 b) (3)对交流,可利用电流互感器进一步扩程 (4)可交直流两用</p>  <p>(a)定圈与动圈串联; (b)定圈与动圈并联</p>
4	磁电系电压表	<p>(1)串联附加电阻来作成单量程电压表,如图 a 所示。附加电阻按下式计算:</p> $R_{ad} = (m-1)R_m$ <p>式中 <math>R_m</math> 为测量机构内阻; <math>m</math> 为扩程倍数(<math>m=U/U_m, U_m</math> 为测量机构电压) (2)多量程电压表的电路如图 b 所示 (3)用于直流电压测量</p>  <p>(a)单量程;(b)多量程</p>

续表

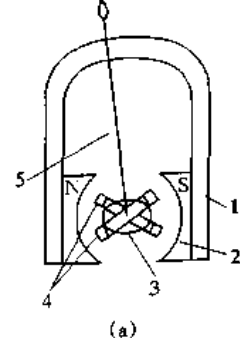
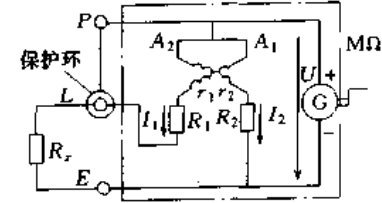
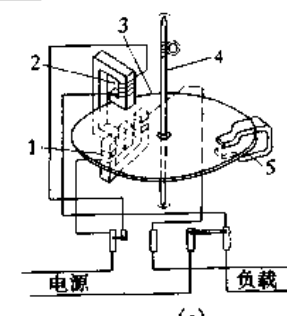
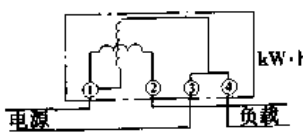
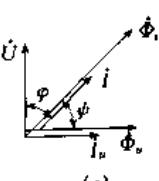
序号	名称	结构、接线与应用
5	电磁系电压表	(1)单量程电压表电路如序号4图 a 所示 (2)多量程电压表电路如序号4图 b 所示 (3)可交直流两用,但多用于交流测量 (4)对交流,可利用电压互感器来进一步扩程
6	电动系电压表	(1)将定圈与动圈串联后,再串联附加电阻;串一电阻为单量程,串多电阻可多量程 (2)可交直流两用 (3)对交流,可利用电压互感器来进一步扩程
7	电动系功率表 (瓦特表)	(1)定圈作为电流线圈,通以电流;动圈作为电压线圈,串联附加电阻 $R_{ad}$ 后,接上电压。线圈的连接方式如图 a 所示;功率表测量电路如图 b 所示。图上标“*”的端子为“电源端”,或称“同极性端”,定圈和动圈中的电流应从此端同时流进或流出 (2)指针的偏转角与被测量的关系为: 直流 $\alpha \propto IU = P$ 交流 $\alpha \propto IU \cos \varphi = P$ 式中 $\varphi$ 为 $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$ 间的相位差 (3)功率表量程的扩大,包括其电流量程扩大和电压量程扩大两方面。电流量程的改变,可通过其两个定圈的串、并联来实现。电压量程的改变,可通过动圈串联不同的附加电阻来实现。交流功率表量程的扩大,还可通过电流互感器和电压互感器来实现 (4)电动系功率表可交直流两用 <div style="text-align: center;">  <p>(a)线圈连接;(b)测量电路</p> </div>
8	铁磁电动系功率表	(1)其定圈和动圈分别含有铁芯,其接线电路与上述电动系功率表相同 (2)铁磁电动系功率表的转矩较大,主要用作记录用功率表
9	电动系相位表 (功率因数表)	(1)电动系相位表采用比率表(又称“商值表”)机构,如图 a 所示。在两个固定线圈 $A_1$ 、 $A_2$ 间,有两个交叉的可动线圈 $B_1$ 、 $B_2$ ,分别串联附加电阻 $R_1$ 、 $R_2$ ,然后并联接入电路。两定圈串联,通以电流 $I$ ;两动圈分别通以电流 $I_1$ 、 $I_2$ 。两动圈产生的转矩分别为: $M_1 = k_1 I I_1 \cos \phi_1 \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I I_2 \cos \phi_2 \cos (\gamma - \alpha)$ 式中 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 分别为 $\dot{I}$ 与 $\dot{I}_1$ 及 $\dot{I}$ 与 $\dot{I}_2$ 的相位差; $\gamma$ 为两动圈的交叉角; $\alpha$ 为指针偏转角。 $M_1$ 与 $M_2$ 的方向相反。若两定圈和两动圈的结构分别完全相同,则 $k_1 = k_2$ 。因此当指针偏转到某一角 $\alpha$ 时, $M_1 = M_2$ , 则 $\frac{\cos (\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{I_1 \cos \phi_1}{I_2 \cos \phi_2}$ 上式说明,电动系比率表的指示(偏转角 $\alpha$ )与两动圈电流的比值有关 (2)单相电动系相位表的接线和相量图如图 b 所示 $M_1 = k_1 I I_1 \cos (\beta - \varphi) \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I I_2 \cos \varphi \cos (\gamma - \alpha)$ 在 $M_1 = M_2$ , 且 $k_1 = k_2, I_1 = I_2$ 时, 则 $\frac{\cos \alpha}{\cos (\gamma - \alpha)} = \frac{\cos \varphi}{\cos (\beta - \varphi)}$ 因此 如设计时使 $\gamma = \beta$ , 则 $\alpha = \varphi$ (3)三相电动系相位表的接线如图 c 所示。其指针偏转角 $\alpha$ 也指示相位 $\varphi$ 或功率因数 $\cos \varphi$



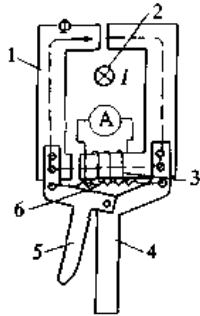
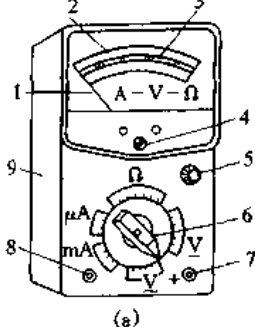
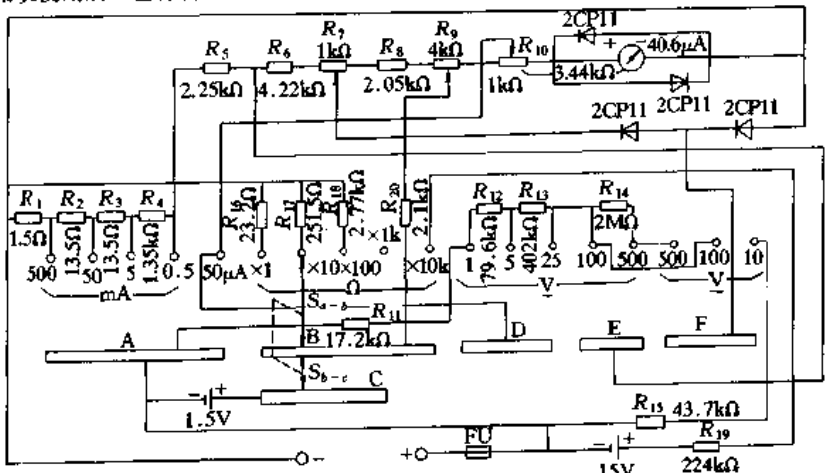
续表

序号	名称	结构、接线与应用
9	电动系相位表 (功率因数表)	<p>(a) 比率表结构; (b) 单相相位表电路及相量图; (c) 三相相位表电路</p>

10	<p>电动系频率表 (赫兹表)</p>	<p>(1) 电动系频率表亦采用比率表(流比计)结构,如图 a 所示。设计时使 <math>\gamma = 90^\circ</math>, 因此</p> $M_1 = k_1 I_1 \cos(90^\circ + \varphi) \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I_2 \cos 0^\circ \cos(90^\circ - \alpha)$ <p>在 <math>M_1 = M_2</math>, 且 <math>k_1 = k_2</math> 时</p> $\frac{\cos(90^\circ - \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{I_1 \cos(90^\circ + \varphi)}{I_2}$ <p>即 <math>\tan \alpha = -\frac{I_1}{I_2} \sin \varphi</math></p> <p>由于 <math>I_1, I_2</math> 分别决定于电压 <math>U</math> 及各自支路的阻抗, 而阻抗值与电源频率有关, 因此指针偏转角 <math>\alpha</math> 是频率 <math>f</math> 的函数, 所以此表可用于测量电源频率</p> <p>[编者注] 为提高仪表灵敏度, 现在生产的频率表在动圈 <math>B_2</math> 两端并联了一个分流电阻 <math>R_0</math>, 如图 b 上的虚线所示。这样可使定圈 <math>A_1, A_2</math> 通过较大的电流</p> <p>(a) 结构; (b) 接线; (c) 相量图</p>
----	-------------------------	---

序号	名称	结构、接线与应用
11	磁电系兆欧表 (高阻表)	<p>(1)兆欧表,俗称“摇表”,主要由磁电系比率表(流比计)的测量机构和手摇发电机所组成</p> <p>(2)兆欧表的测量机构比率表的结构如图 a 所示            动圈 <math>A_1</math> 的转矩(顺时针)为:  <math display="block">M_1 = I_1 f_1(\alpha)</math>           动圈 <math>A_2</math> 的转矩(反时针)为:  <math display="block">M_2 = I_2 f_2(\alpha)</math>           当 <math>M_1 = M_2</math> 时, <math>I_1 f_1(\alpha) = I_2 f_2(\alpha)</math>, 故  <math display="block">\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)</math>           即其指针偏转角与两动圈的电流比值(商值)有关</p> <p>(3)兆欧表的接线如图 b 所示。其中, <math>L</math> 端—“线路”端; <math>E</math> 端—“接地”端; <math>P</math> 端—“保护”端(又称“屏蔽”端)。被测电阻 <math>R_x</math> 接在 <math>L</math> 端与 <math>E</math> 端之间。<math>L</math> 端的保护环要与 <math>P</math> 端相连,以消除被测体的表面漏电流对测量结果的影响            由图 b 可知  <math display="block">I_1 = \frac{U}{r_1 + R_1 + R_x}</math> <math display="block">I_2 = \frac{U}{r_2 + R_2}</math>           因此  <math display="block">\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{r_2 + R_2}{r_1 + R_1 + R_x}\right) = F(R_x)</math>           (4)兆欧表用来测量 <math>0.1M\Omega</math> 以上的大电阻(通常是绝缘电阻)。在选用时,要注意其额定直流电压要与被测电路或设备的额定电压相适应,符合有关规程的规定</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(a)结构;(b)接线            1—永久磁铁;2—极掌;3—椭圆柱铁芯;4—可动线圈;5—指针</p>
12	感应系电能表 (电度表)	<p>(1)感应系电能表采用感应系测量机构(参看表2-40序号5)</p> <p>(2)单相有功电能表的结构和接线如图 a 所示,图 b 为其测量电路图</p> <p>(3)单相有功电能表通常采用“<math>90^\circ</math>相位差接线”,即其电压线圈的电流 <math>I_u</math> 滞后于其电压 <math>90^\circ</math>(电压线圈可视为纯电感线圈)</p> <p>设电路负荷为感性,电流 <math>i</math> 滞后电压 <math>U'</math> 一个相位 <math>\varphi</math>; 而电流磁通 <math>\Phi_i</math> 可认为与 <math>i</math> 同相,电压磁通 <math>\Phi_u</math> 可认为与 <math>I_u</math> 同相,如图 c 所示,因此 <math>\Psi = 90^\circ - \varphi</math>, 故  <math display="block">M \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \varphi \propto UI \cos \varphi = P</math>           由此可知铝盘转矩与负荷功率成正比,利用铝盘的转数即可计度负荷消耗的电能</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p style="text-align: center;">(a)结构和接线;(b)测量电路;(c)相量图            1—电流线圈及铁芯;2—电压线圈及铁芯;            3—铝盘;4—转轴;5—制动永久磁铁</p>

续表

序号	名称	结构、接线与应用
13	钳形电流表	<p>(1) 钳形电流表由铁芯可以开合的电流互感器与电流表组合而成, 如右图所示</p> <p>(2) 测量时, 握紧操作手柄, 打开铁芯, 卡入被测电路的导线, 该导线即相当于电流互感器的一次线圈(1匝)。当松开手柄时, 铁芯闭合, 被测导线的电流就感应到互感器的二次线圈, 从而可由接在二次线圈的电流表测出电流值</p>  <p>1—可开合的铁芯; 2—被测电路的导线; 3—互感器二次线圈, 接电流表; 4—钳形表手柄; 5—开合铁芯的手柄; 6—拉紧弹簧</p>
14	万用表	<p>(1) 万用表是一种用来测量交直流电压、电流和电阻等的并且每一种测量具有多种量程的便携式仪表, 又称“复用表”或“三用表”。它常与钳形电流表和兆欧表并称为电工常用“三表”</p> <p>(2) 万用表由磁电系表头、测量电路和转换开关等三部分组成。图 a 为 MF30 型万用表的外形结构</p> <p>(3) 万用表的测量电路由电流测量电路、电压测量电路、电阻测量电路、整流电路等组成。MF30 型万用表的总电路如图 b 所示</p> <p>(4) 万用表使用注意事项:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 接线时要注意接线插孔极性 (+、-)</li> <li>2) 应按被测量的种类和大小正确选择转换开关档位</li> <li>3) 在测量之前应先调零</li> <li>4) 测量电流、电压时, 不能带电切换转换开关</li> <li>5) 严禁带电测量电阻</li> <li>6) 万用表使用后, 应将转换开关扳向交流电压最高档</li> </ol>   <p>(a) 万用表结构外形; (b) MF30 万用表内部电路</p> <p>1—指针; 2—标度尺; 3—反射镜; 4—调零螺钉; 5—电阻调零旋钮; 6—转换开关手柄; 7—正极接线插孔; 8—负极接线插孔; 9—表壳</p>

### 三、常用的电工测量方法

(1) 电流和电压的测量。如表 2-42 所示。

(2) 电功率的测量。如表 2-43 所示。

(3) 电能的测量。如表 2-44 所示。

表2-42 电流和电压的测量

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明
1	直流的测量	(1) 采用直流电流表测量 (2) 电流表应串联在被测电流的电路中。接线时,要注意表的极性与电路的极性一致 (3) 可采用并联分流器来扩大电流表的量程(参看表2-41序号1)	3	直流电压的测量	(1) 采用直流电压表测量 (2) 电压表应与被测电压的电路并联。接线时,要注意表的极性与电路的极性一致 (3) 可采用串联附加电阻来扩大电压表的量程(参看表2-41序号4)
2	交流电流的测量	(1) 采用交流电流表测量 (2) 电流表应串联在被测电流的电路中 (3) 可采用电流互感器来扩大电流表的量程(参看下图,详见表4-20)	4	交流电压的测量	(1) 采用交流电压表测量 (2) 电压表应与被测电压的电路并联 (3) 可采用电压互感器来扩大电压表的量程(参看下图,详见表4-23)

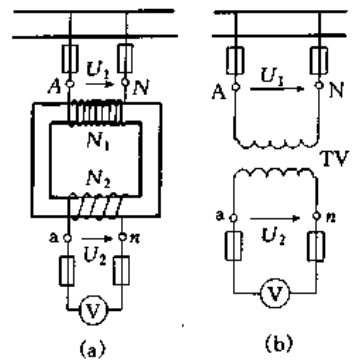
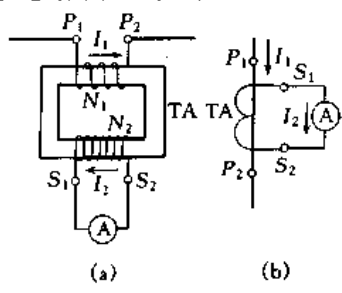
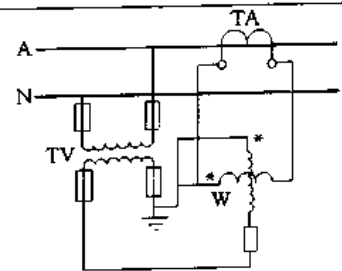
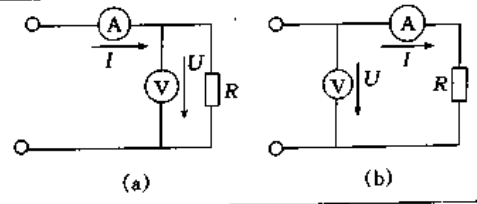
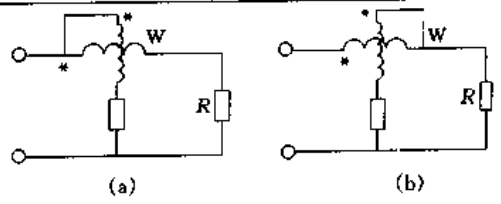


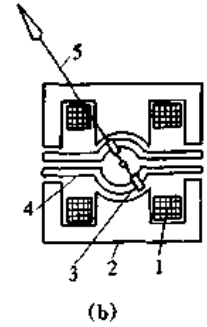
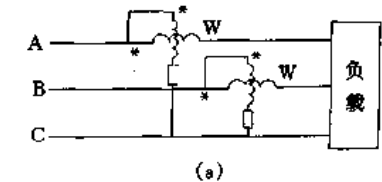
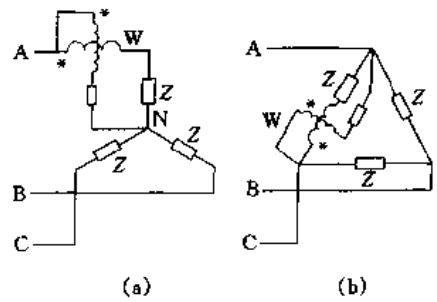
表2-43 电功率的测量

序号	项目	说明
1	直流功率的测量	
1.1	直流功率的直接测量	通常采用电动系功率表直接测量,测量电路如图a或图b所示。接线时,需注意表的电压、电流极性端
1.2	直流功率的间接测量	间接测量的电路有图a和图b两种: 图a适用于负载电阻 $R \ll R_v$ (电压表内阻) 的情况 图b适用于负载电阻 $R \gg R_A$ (电流表内阻) 的情况 被测功率为: $P=UI$
2	单相有功功率的测量	
2.1	低压单相功率的测量	(1) 采用电动系功率表直接测量,测量电路与直流功率直接测量相同(参看序号1.1) (2) 当电路功率因数很低时,则宜采用特殊的低功率因数功率表来测量,以提高测量的准确度
2.2	高压单相功率的测量	应通过电压互感器和电流互感器进行测量,测量电路如右图所示 设电压互感器变压比为 $k_u$ , 电流互感器变流比为 $k_i$ , 功率表读数为 $P_w$ , 则实际功率为 $P = k_u k_i P_w$
3	三相有功功率的测量	

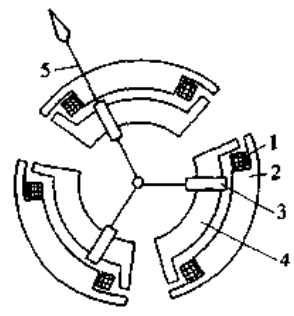
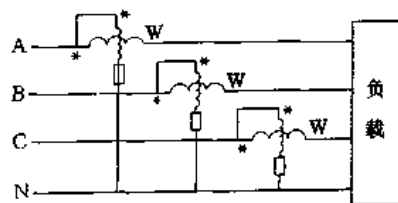


续表

序号	项 目	说 明
3.1	一表法测量	<p>(1) 采用一只功率表测量其中一相负载功率, 测量电路如图 a 或图 b 所示。三相功率为功率表读数的3倍</p> <p>(2) 一表法只适于对称三相系统。可利用互感器扩大量程和用于高压电路测量</p>
3.2	两表法测量	<p>(1) 采用两只功率表测量三相功率, 测量电路如图 a 所示, 三相总功率为:</p> $P = P_1 + P_2$ <p>(2) 当负载功率因数 <math>\cos\varphi &lt; 0.5</math> 时, 则其中一只功率表的指针将反偏。这时应将此表的电流端钮换接, 使表针正偏。换接后, 三相总功率为:</p> $P = P_1 - P_2$ <p>(3) 亦可采用一只与两表法相同结线的三相两元件功率表来测量, 铁磁电动系三相两元件功率表的结构如图 b 所示。</p> <p>(4) 两表法适用于不论负载平衡与否的三相三线制电路的三相有功功率测量。亦可利用互感器来扩大量程和用于高压电路的功率测量</p>
3.3	三表法测量	<p>(1) 采用三只功率表测量三相功率, 测量电路如图 a 所示。三相总功率为:</p> $P = P_1 + P_2 + P_3$ <p>(2) 亦可采用一只与三表法相同结线的三相三元件功率表来测量, 铁磁电动系三相三元件功率表的结构如图 b 所示</p> <p>(3) 三表法适用于一般三相四线制电路的三相有功功率测量, 亦可用互感器来扩大量程, 一般是利用电流互感器来扩大电流量程</p>

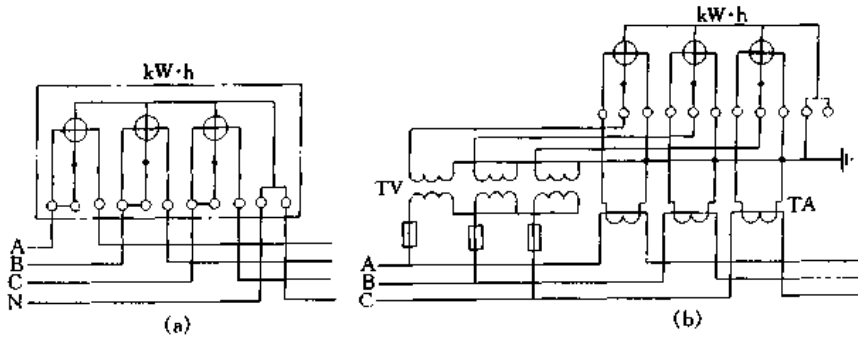
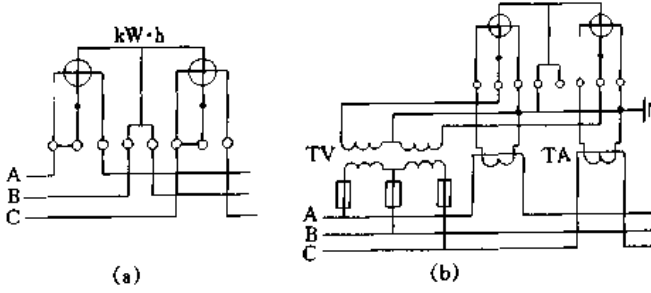
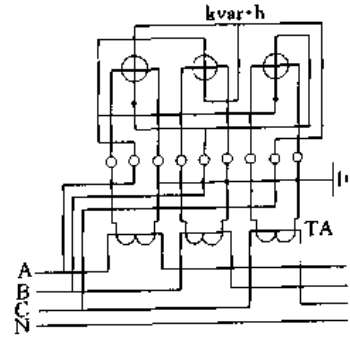
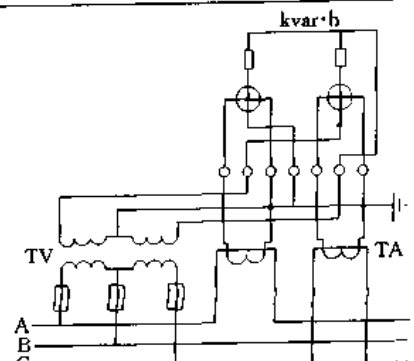


(a)测量电路;(b)三相两元件功率表  
1—定圈; 2—定圈铁芯; 3—动圈;  
4—动圈铁芯; 5—指针



(a) (b)  
1—定圈; 2—定圈铁芯; 3—动圈; 4—动圈铁芯; 5—指针

表2-44 电能的测量

序号	项 目	说 明
1		有功电能的测量
1.1	单相有功电能测量	单相有功电能的测量采用单相有功电能表, 其结构和测量电路见表2-41序号12
1.2	三相四线电路有功电能测量	<p>(1) 采用三相三元件有功电能表, 其结构实质上是三只单相有功电能表的组合, 其直接接入式电路如图 a 所示</p> <p>(2) 经电压互感器和电流互感器接入的测量电路如图 b 所示</p>  <p>(a) 直接接入式测量电路; (b) 经电压电流互感器接入的测量电路</p>
1.3	三相三线电路有功电能测量	<p>(1) 采用三相两元件有功电能表, 其结构实质上是两只单相有功电能表的结合, 其直接接入式电路如图 a 所示</p> <p>(2) 经电压互感器和电流互感器接入的测量电路如图 b 所示</p>  <p>(a) 直接接入式测量电路; (b) 经电压、电流互感器接入的测量电路</p>
2		无功电能的测量
2.1	三相四线电路无功电能测量	<p>采用三相三元件无功电能表, 其经电流互感器接入的测量电路如下图所示。其每一元件的电压线圈连接的相序与电流线圈连接的相序正好错开, 例如电流线圈接 A 相, 电压线圈则接 BC 相</p> 
2.2	三相三线电路无功电能测量	<p>采用具有60°相位差接线线的两元件三相无功电能表, 其经电流、电压互感器接入的测量电路如下图所示。所谓“60°相位差接线”, 是指电压回路因串联了一个电阻使其电压回路电流滞后于电压60°</p> 

续表

序号	项 目	说 明
3		多费率电能表和预付费电能表

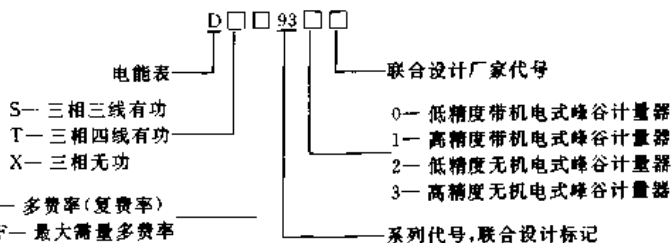
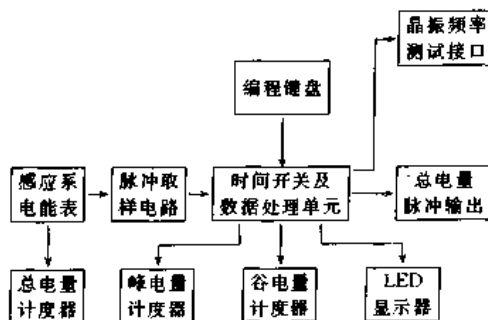
3.1 多费率电能表

(1) 多费率电能表是一种机电一体化仪表, 适于实行分时计费的电网用户作计量不同电价时段的电能之用, 比较典型的产品有93系列多费率电能表。该系列由三相感应系电能表作为电能测量单元与以单片微机为核心的时间开关及数据单元所组成, 除能计量不同时段的电能外, 还能测量用户的最大需量, 具有使用方便、编程简单、计量准确、抗干扰能力强和电磁兼容性好等优点

(2) 93系列多费率电能表的原理方框图<sup>[32]</sup>如下:

(3) 时间开关及数据处理单元可分别计量总的和峰、谷、平各时段的电量, 又输出一定宽度的脉冲以驱动步进机电计数器。六位LED (发光二极管) 显示器可显示日历、时钟、总电量、峰电量、谷电量、平电量、当月及上月总最大需量

(4) 93系列多费率电能表型号含义:



(5) 93系列多费率电能表的技术数据<sup>[33]</sup>:

型号	名称	准确度级	额定电压 (V)	标定电流 (最大电流) (A)	型号	名称	准确度级	额定电压 (V)	标定电流 (最大电流) (A)
DSF931 DSF933	三相三线有功多费率电能表	1	100	1.5 (6), 3 (6)	DTF931 DTF933	三相四线有功多费率电能表	1	57.7/100, 220/380	1.5 (6), 3 (6)
DSF930 DSF932		2	100, 380	1.5 (6), 3 (6)	DTF930 DTF932		2	220, 380	1.5 (6), 3 (6)
DSZF931 DSZF933	三相三线有功最大需量多费率电能表	1	100	1.5 (6), 3 (6)	DXF931 DXF933	三相无功多费率电能表	2	100, 380	1.5 (6), 3 (6)
DSZF930 DSZF932		2	100, 380	1.5 (6), 3 (6)	DXF930 DXF932		3	100, 380	1.5 (6), 3 (6)

3.2 预付费电能表

(1) 预付费电能表也称为“购电式电能表”。它由电能计量单元和数据处理单元组成, 是一种使用户必须先付费才能用电的特殊电能表。预付费电能表的发展经历了投币式、磁卡式、电卡式和IC卡式等几个阶段。现在较普遍采用的是IC卡, 它具有通用性强、保密性好和携带方便等优点

(2) 预付费电能表由电能测量单元、数据处理及功能单元、显示器、断电机构、功能介质、电源电路等六部分组成。以感应系电能表作为电能测量单元的, 称为“机电式预付费电能表”; 以电子式电能表作为电能测量单元的, 称为“电子式预付费电能表”。数据处理及功能单元用以实现电能分时计量、预付费、负荷控制和防窃电等功能。显示器要求长寿命、低功耗和显示清晰, 通常优先选用液晶(LCD)显示器。断电机构通常采用带分励脱扣的小型断路器(自动开关)。功能介质是指为实现预付费电能表各种功能的购电卡、抄表卡等。从型式来看, IC卡有取代磁卡的趋势。电源电路是指预付费电能表中向电子部件供电的直流稳压电源电路。电子式预付费电能表的电源电路, 一部分供给电能测量单元, 一部分供给断路机构, 另一部分供给数据处理单元

(3) 预付费电能表的电气结构示意图(框图)如下图所示<sup>[32]</sup>

序号	项 目	说 明																			
3.2	预付费电能表	<p>(4) 电子式多功能(含预付费功能)电能表技术数据<sup>[22]</sup>:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>型 号</th> <th>名 称</th> <th>准 确 度 级</th> <th>额 定 电 压 (V)</th> <th>标 定 电 流 (最大电流) (A)</th> <th>备 注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DSSD-331</td> <td>全电子式三相三线多功能电能表</td> <td>有功 0.5 1.0</td> <td>100, 380</td> <td>5(6), 0.6(1.2), 3(6), 0.3(1.2), 1.5(6), 5(20), 10(40)</td> <td rowspan="2">1) 计量正向、反向有功、无功电能; 2) 分时计量有功、无功电能; 3) 分时计量最大需量; 4) 断相监测; 5) 超限报警; 6) 预付费功能</td> </tr> <tr> <td>DTSD-341</td> <td>全电子式三相四线多功能电能表</td> <td>无功 2.0</td> <td>57.7/100, 220/380</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	型 号	名 称	准 确 度 级	额 定 电 压 (V)	标 定 电 流 (最大电流) (A)	备 注	DSSD-331	全电子式三相三线多功能电能表	有功 0.5 1.0	100, 380	5(6), 0.6(1.2), 3(6), 0.3(1.2), 1.5(6), 5(20), 10(40)	1) 计量正向、反向有功、无功电能; 2) 分时计量有功、无功电能; 3) 分时计量最大需量; 4) 断相监测; 5) 超限报警; 6) 预付费功能	DTSD-341	全电子式三相四线多功能电能表	无功 2.0	57.7/100, 220/380			
型 号	名 称	准 确 度 级	额 定 电 压 (V)	标 定 电 流 (最大电流) (A)	备 注																
DSSD-331	全电子式三相三线多功能电能表	有功 0.5 1.0	100, 380	5(6), 0.6(1.2), 3(6), 0.3(1.2), 1.5(6), 5(20), 10(40)	1) 计量正向、反向有功、无功电能; 2) 分时计量有功、无功电能; 3) 分时计量最大需量; 4) 断相监测; 5) 超限报警; 6) 预付费功能																
DTSD-341	全电子式三相四线多功能电能表	无功 2.0	57.7/100, 220/380																		
4	电 能 表 的 校 验 或 轮 换																				
4.1	《供电营业规则》规定	供电企业必须按规定的周期校验、轮换计费电能表,并对计费电能表进行不定期检查,发现计量失常时,应查明原因。用户认为供电企业装设的计费电能表不准时,有权向供电企业提出校验申请,在用户交付验表费后,供电企业应在7天内检验,并将检验结果通知用户,如计费电能表的误差在允许范围内,验表费不退;如计费电能表的误差超出允许范围时,除退还验表费外,并应按规定退补电费(参看附录六)																			
4.2	《交流电能表(电度表)检定规程》(JJG307-1988)规定	<p style="text-align: center;"><b>附表 使用中电能表的检定或轮换周期</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">安装场所或使用条件</th> <th>检定或轮换周期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">发电厂或变电所中月平均积算电量为50000kW·h以上的电能表</td> <td>一般配合设备大修进行检定,但最长不得超过3年</td> </tr> <tr> <td colspan="2">月平均积算电量少于50000kW·h的电能表</td> <td>不得超过4年</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">测量生活用电的单相电能表</td> <td>单宝石轴承</td> <td>不得超过5年</td> </tr> <tr> <td>双宝石轴承</td> <td>不得超过10年</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">携带式电能表</td> <td>一般使用时<sup>①</sup></td> <td>不得超过1年</td> </tr> <tr> <td>经常使用时</td> <td>不得超过0.5年</td> </tr> </tbody> </table>	安装场所或使用条件		检定或轮换周期	发电厂或变电所中月平均积算电量为50000kW·h以上的电能表		一般配合设备大修进行检定,但最长不得超过3年	月平均积算电量少于50000kW·h的电能表		不得超过4年	测量生活用电的单相电能表	单宝石轴承	不得超过5年	双宝石轴承	不得超过10年	携带式电能表	一般使用时 <sup>①</sup>	不得超过1年	经常使用时	不得超过0.5年
安装场所或使用条件		检定或轮换周期																			
发电厂或变电所中月平均积算电量为50000kW·h以上的电能表		一般配合设备大修进行检定,但最长不得超过3年																			
月平均积算电量少于50000kW·h的电能表		不得超过4年																			
测量生活用电的单相电能表	单宝石轴承	不得超过5年																			
	双宝石轴承	不得超过10年																			
携带式电能表	一般使用时 <sup>①</sup>	不得超过1年																			
	经常使用时	不得超过0.5年																			

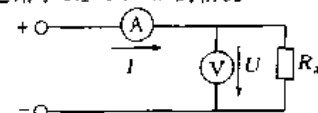
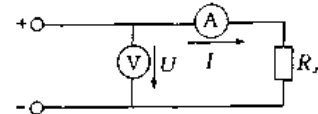
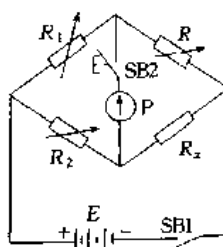
① 主要用来检定企业内部不计算电费和不断线损的电能表及每年累积使用时间不足300h者,可认为是一般使用的携带式电能表

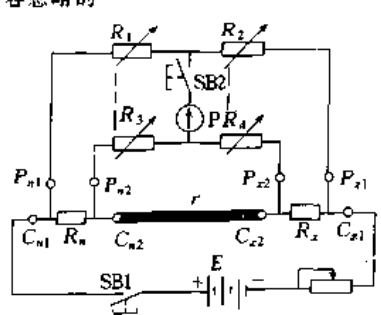
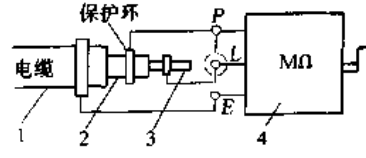
(4) 电阻的测量。如表2-45所示。



表2-45 电阻的测量

续表

序号	项目	说明
1		电阻分类
1.1	小电阻	指1Ω以下电阻。一般采用双臂电桥测量
1.2	中值电阻	指1Ω~0.1MΩ的电阻。一般要用万用表粗略测量,也可用“伏安法”间接测量,精确测量应采用单臂电桥
1.3	大电阻	指0.1MΩ以上电阻。一般采用兆欧表测量
2		中值电阻的测量
2.1	采用万用表测量	将万用表的转换开关扳至适当的欧姆档进行测量(参看表2-41序号14),这种测量准确度不高
2.2	采用“伏安法”间接测量	<p>适用于 <math>R_x \ll R_v</math> 的情况</p>  $R_x \approx \frac{U}{I}$ <p>适用于 <math>R_x \gg R_A</math> 的情况</p>  $R_x \approx \frac{U}{I}$
	采用单臂电桥测量	<p>(1) 直流单臂电桥又称“惠斯登电桥”,其测量电路如下图所示</p> <p>(2) 按下按键开关 SB1、SB2,调节 <math>R_1</math>、<math>R_2</math> 和 <math>R_3</math>,使通过检流计 P 的电流为零,即检流计 P 指零时,电桥达到平衡,这时 <math>R_1/R_2 = R/R_x</math>,因此被测电阻为:</p> $R_x = R \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$ <p>式中 <math>R_1</math>、<math>R_2</math> 称为“比臂电阻”;R 称为“较臂电阻”</p> 
3	小电阻的测量——采用双臂电桥测量	<p>(1) 双臂电桥又称“汤姆生电桥”或“开尔文电桥”,其测量电路如下图所示</p> <p>(2) 按下按键开关 SB1、SB2,调节 <math>R_1</math>、<math>R_2</math> (<math>R_3</math>、<math>R_4</math> 与 <math>R_1</math>、<math>R_2</math> 是连动的)和 R,使检流计指零,这时 <math>R_1/R_2 = R_3/R_4 = R/R_x</math>,因此</p> $R_x = R \left( \frac{R_2}{R_1} \right) = R \left( \frac{R_4}{R_3} \right)$

序号	项目	说明
3	小电阻的测量——采用双臂电桥测量	<p>(3) 双臂电桥特点:它消除了单臂电桥中被测电阻 <math>R_x</math> 接入电桥时其接线电阻和接触电阻对被测电阻值的影响,这种影响在小电阻测量中是不容忽略的</p> 
4	大电阻的测量——采用兆欧表测量	<p>(1) 大电阻的测量一般采用兆欧表。磁电系兆欧表的结构原理参看表2-41序号11</p> <p>(2) 大电阻一般为绝缘电阻。测量绝缘电阻时,要注意消除绝缘体表面电流对测量结果的影响。这就须借助兆欧表上的“保护”(P)端钮,测量电路如下图所示</p> <p>(3) 用兆欧表来摇测设备或线路的绝缘电阻时,应先断开设备或线路的电源及负载;并在检查设备或线路上无人工作和无外物搭接时才能进行摇测。摇测完毕后,应对设备和线路进行短接放电,以免人员触及电击伤人。</p>  <p>1—电缆外皮; 2—绝缘层; 3—电缆线芯; 4—兆欧表</p>

## 第四节 常用的电子技术知识

### 一、电子技术部分名词概念

电子技术部分名词概念,如表2-46所示。

表2-46 电子技术部分名词概念

序号	名词术语	说明
1	电子电路	指由电子元件和电子器件组成的电路。电子电路种类很多,包括整流、放大、振荡、调制、检波、频率变换、波形变换等电路以及各种电子控制电路
2	电力电子电路	指利用电力电子器件对电力电能进行变换和控制的大功率电子电路。按其电能变换功能分有:①整流电路(AC/DC变换);②逆变电路(DC/AC变换);③交流变换电路(AC/AC变换,调压式变频);④直流变换电路(DC/DC变换,改变电压大小和方向)

续表

序号	名词术语	说 明
3	集成电路 (IC)	指一种将有源、无源元件及它们之间连线所组成的整体电路集中在一块半导体基片上,并封装在一个管壳内所构成的完整且具有一定功能的半导体器件。它具有体积小、重量轻、可靠性高、成本较低和应用方便等优点
4	无源元件	指所吸收的能量只能是正值或零的电路元件,如电阻器、电容器、电感器等
5	有源元件	指其等效电路中含有电源的电路元件,它对电压或电流能起控制或交换作用,如晶体三极管等
6	电子管	指在密封管壳内的真空中或气体介质中的电子或离子在电极之间实现电传导的电子器件,但只作照明用的电光源除外。电子管分真空管和离子管两类。前者管内抽成真空;后者管内充惰性气体或汞蒸气,亦称“充气管”
7	光电管	指在光的照射下,阴极能发射电子,电子被阳极吸收形成电流,且电流大小随光的强弱而变化的一种电子管。按管内充气与否分真空光电管和充气光电管两类
8	半导体	由浓度在一定温度范围内随温度升高而增加的电子和空穴来导电的物质,其电阻率通常处于金属与绝缘体之间,且可通过外部方法改变其载流子密度(IEC <sup>[40]</sup> )
9	半导体器件	指由于半导体内载流子的流动而形成其基本特性的一类部件,包括二极管、半导体整流器件、半导体三极管、光敏电阻、热敏电阻、半导体光电池、半导体温差发电机、半导体致冷器、半导体激光器、半导体集成电路等。半导体器件大都具有体积小、耗电少、耐振动、寿命长和可靠性高等优点,为电子设备的微小型化、生产自动化及其他高新技术的开发创造了条件
10	晶体管	指能起放大作用、且至少具有三个电极的半导体器件(IEC <sup>[40]</sup> ),但习惯上用来泛指半导体二极管和半导体三极管
11	场效应晶体管	指流过导电沟道的电流受垂直于该电流方向的电场控制的一种单极晶体管 <sup>[40]</sup> 。又称“场效应半导体管”,简称“场效应管”,它分为结型和绝缘栅型两类,均可作放大、振荡、开关等应用,其特点是输入电阻高、噪声小、耗电少、热稳定性好、抗辐射能力强。绝缘栅型场效应管又称“金属氧化物半导体场效应管”,简称“MOS场效应管”
12	载流子	①指半导体中自由传导的电子、空穴或离子;②指可以自由运动的带电粒子及空穴
13	空穴	指由于电子被从绝缘体或半导体的原子结构中排出而形成的瞬态空位,空穴属于一种载流子,其电荷与电子相同而符号相反
14	本征半导体	指纯净的、内部原子排列有序的半导体
15	杂质半导体	指本征半导体中掺入微量特定杂质的半导体。这里所谓“杂质”,指半导体中的异类原子(元素)

续表

序号	名词术语	说 明
16	P型半导体	指在纯净的硅或锗中掺入微量的三价杂质元素所形成的杂质半导体,其中空穴浓度比电子浓度大得多,即空穴是多数载流子,电子为少数载流子,主要靠空穴导电,故又称“空穴型半导体”
17	N型半导体	指在纯净的硅或锗中掺入微量的五价杂质元素所形成的杂质半导体,其中电子浓度比空穴浓度大得多,即电子是多数载流子,空穴为少数载流子,主要靠电子导电,故又称“电子型半导体”
18	PN结	将一块半导体的一侧掺杂成为P型半导体,另一侧掺杂成为N型半导体,从而在两者的交界处形成一层特殊的界面,该界面两侧的带正、负离子的空间电荷区即“PN结”,亦称“耗尽层”
19	晶闸管	指具有三个或更多个PN结,能从断态转入通态或从通态转为断态的双稳态半导体器件 <sup>[40]</sup> 。全称“晶体闸流管”或“闸流晶体管”,俗称“可控硅”
20	导通	指电子管、晶体管或晶闸管处于低电阻的状态,开始有电流通过
21	截止	指电子管、晶体管或晶闸管处于高电阻的状态,阻挡电流的通过
22	触发	指为使晶闸管导通而进行的控制操作
23	信息	信息是向外界表达的思想、意图、语言、文字、图象、数据、状态、情景等等的统称
24	信号	信号是代表信息的时变物理量。例如用一种变换设备将信息转换为一种随时间变化的电压或电流进行传送,这种携带着信息的电压或电流,就称为“信号”
25	模拟信号	指幅度随时间连续变化的信号,其信息参数可表示一个给定量程内所有数值的信号
26	数字信号	指在时间和取值上都是离散的信号,其信息参数可表示数字的一种量化信号
27	功率放大器	指用以获得足够大的信号功率输出的放大器,其主要技术要求和:输出功率大,效率高,输出波形的失真在允许范围内
28	运算放大器	指一种具有高放大倍数、高输入阻抗和低输出阻抗、带有深度电压负反馈的直接耦合放大器,它加上一些外部元件,可构成加、减法电路和微积分电路等多种运算电路
29	反馈	指将电路输出端信号(电压或电流)的一部分或全部,回送到输入端的过程。通过反馈,使输入信号强度增强的,称为“正反馈”;而使输入信号强度减弱的,称为“负反馈”
30	静态工作点	当输入交流信号为零时,放大器各级的电压、电流都是不变的直流,这种状态称为“静态”。静态时,晶体管各级的电压、电流值对应于三极管特性曲线上确定的一点,该点称为“静态工作点”

二、半导体器件

器件型号命名方法》规定，晶体管（含二极管和三极管）的型号编制如表2-47所示。

(1) 晶体管的型号编制。据 GB249--1989《半导体

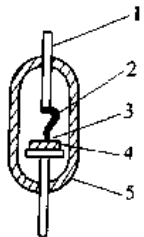
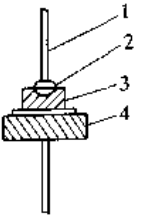
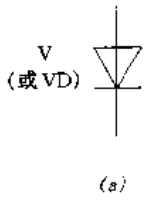
表2-47 晶体管的型号编制 (据 GB249-1989)

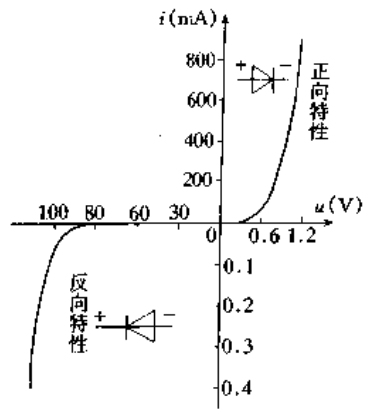
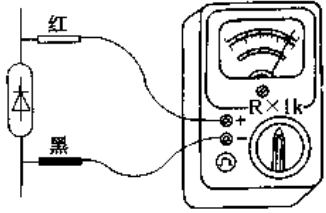
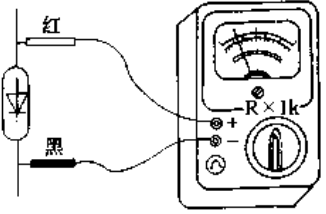
序号	项 目		说 明											
1	型号组成格式		第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分			
			器件的电极数		器件材料和极性		器件类别		设计序号		规格代号			
2	第二部分 符号含义	二极管	A N型, 锗材料		B P型, 锗材料		C N型, 硅材料		D P型, 硅材料					
		三极管	A PNP型, 锗材料		B NPN型, 锗材料		C PNP型, 硅材料		D NPN型, 硅材料		E 化合物材料			
3	第三部分符号含义 (注: 加括号名称为 GB249-1974 所规定)		P	V	W		C	Z	L	S	K			
			小信号管 (普通管)	混频检波管 (微波管)	电压调整管和电压基准管 (稳压管)		变容管 (参量管)	整流管 (整流器)	整流堆 (同上)	隧道管 (同上)	开关管 (同上)			
			X		G		D		A					
			低频小功率管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )		高频小功率管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c < 1\text{W}$ )		低频大功率管 ( $f_a < 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )		高频大功率管 ( $f_a \geq 3\text{MHz}$ , $P_c \geq 1\text{W}$ )					
			T	Y	B	J	CS	BT	FH	QL				
			河流管	体效应管	雪崩管	阶跃恢复管	场效应器件	特殊晶体管 (半导体特殊器件)	复合管	硅桥式整流器				
			SX	DH	SY	GS	GD	GT	GH	GK				
			双向三极管	电流调整管	瞬态抑制二极管	光电子显示器	光敏二极管	光敏晶体管	光耦合器	光开关管				
			GL	GJ	GF	GR	ZL	PIN	GM					
			摄像线阵器件	激光二极管	发光二极管	红外发射二极管	整流管阵列	PIN型管	摄像面阵器件					
4	第五部分 符号含义	最高反向工作电压 (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	
5	示 例		(1) PNP型锗低频小功率三极管						(2) NPN型硅高频小功率三极管					
			3AX31B						3DG6C					
			规格代号						规格代号					
			序号						序号					
			低频小功率管						高频小功率管					
			PNP型, 锗材料						NPN型, 硅材料					
			三极管						三极管					

(2) 晶体二极管的结构、性能及其测试。如表2-48所示。

续表

表2-48 晶体二极管的结构、性能及其测试

序号	项目	说明
1	晶体二极管的结构	
1.1	点接触晶体二极管	<p>它由一根金属触丝和半导体晶片点接触而构成PN结, 如图所示。由于触丝很细, 它与半导体接触面很小, 因此允许电流不大, 其极间电容也很小, 工作频率可以很高。它适用于检波和小电流整流。常用的有2AP系列</p>  <p>1—引线(管脚); 2—金属触丝; 3—P型区; 4—N型硅片; 5—外壳(玻璃或塑料)</p>
1.2	面接触晶体二极管	<p>它由两种不同类型半导体以较大面积接触而构成PN结, 如图所示。由于接触面较大, 因此允许电流较大, 极间电容也较大, 工作频率较低。它只适用于整流。常用的有2CP系列, 用于较小功率的整流; 2CZ系列, 用于中等或大功率整流。大容量元件一般都装有散热片</p>  <p>1—引线(管脚); 2—P型区; 3—N型硅片; 4—支架</p>
2	晶体二极管的性能	
2.1	单向导电性	<p>晶体二极管具有“单向导电性”。P型区的引出线为阳极(正极), N型区的引出线为阴极(负极), 其图形符号和文字符号如图a所示。其伏安特性曲线(2CP33A型)如图b所示</p> 

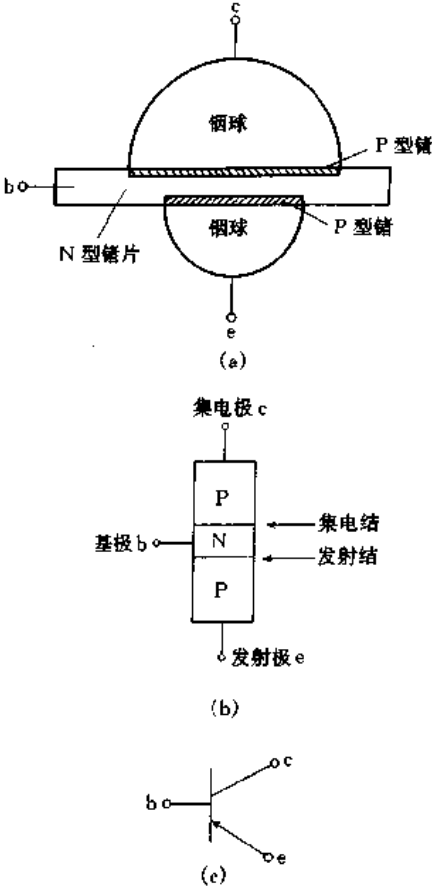
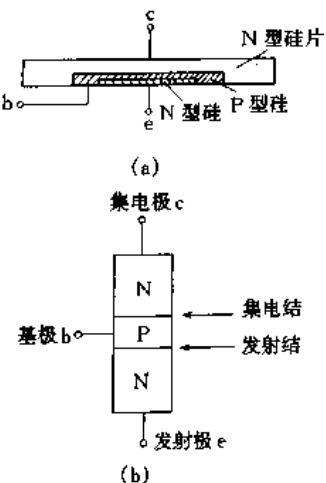
序号	项目	说明
2.1	单向导电性	 <p>(a) 二极管符号; (b) 2CP33A型硅二极管的伏安特性</p>
2.2	性能参数	<p>(1) 最大正向直流电流 <math>I_{FM}</math>: 指该管正向允许通过的最大直流电流值 (2) 最高反向工作电压 <math>U_{RM}</math>: 指该管反向允许施加的最高工作电压值 (3) 最高工作频率 <math>f_m</math>: 指保证二极管正常工作的最高频率值 (4) 反向电流 <math>I_{R0}</math>: 指在规定的反向偏压条件下, 通过二极管的反向饱和电流。反向电流的大小反映了二极管单向导电性的好坏, 其值越小越好</p>
3	晶体二极管的简易测试	
3.1	正向电阻测试	<p>测试方法如下图所示, 万用表扳到欧姆档 <math>R \times 100</math> 或 <math>R \times 1000</math> 位置。若电表指示在 <math>300 \sim 500 \Omega</math> 间, 则为锗二极管; 若电表指示在 <math>1000 \Omega</math> 及以上时, 则为硅二极管。电表黑表笔<sup>①</sup>所接管脚为正极, 红表笔所接管脚为负极</p> 
3.2	反向电阻测试	<p>测试方法如下图所示, 万用表亦扳到欧姆档 <math>R \times 100</math> 或 <math>R \times 1000</math> 位置。电表指示一般应在 <math>0.1 M\Omega</math> 以上。如果电表指示的电阻值很小时, 说明此管已经损坏(击穿)</p> 

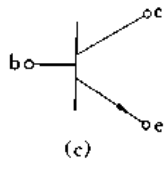
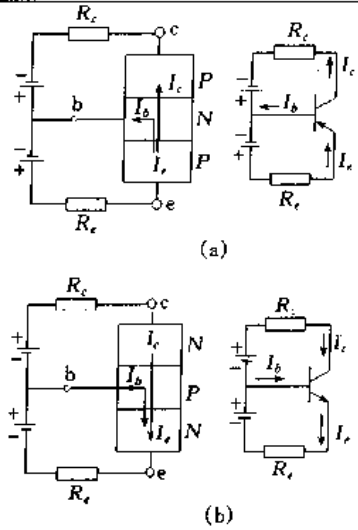
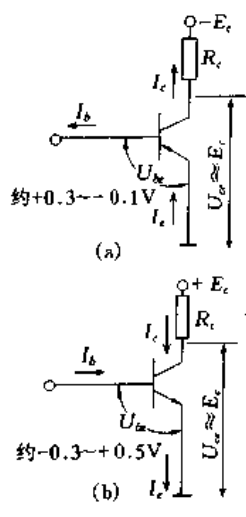
① 表中所谓“表笔”, 系万用表测试棒的俗称。

(3) 晶体三极管的结构、性能及其测试。如表2-49所示。

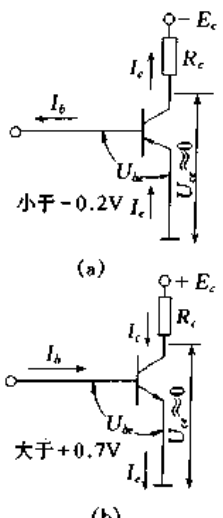
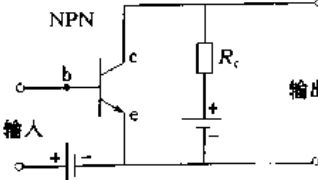
表2-49 晶体三极管的结构、性能及其测试

续表

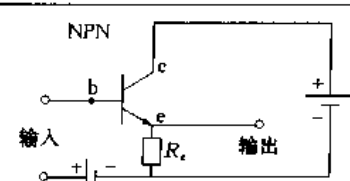
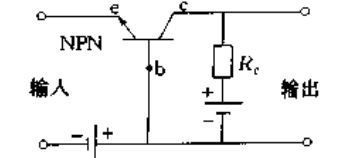
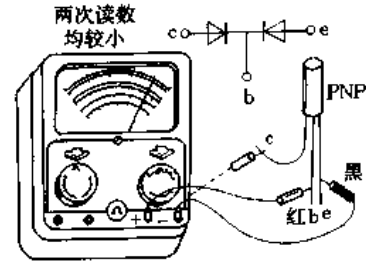
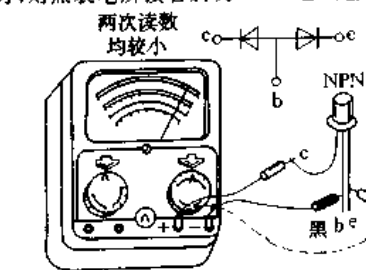
序号	项目	说 明
1	晶体三极管的结构	
1.1	PNP型	 <p>(a) 某锗管结构示意图；                  (b) 结构原理图；(c) 符号                  e (或E) — 发射极；                  c (或C) — 集电极；b (或B) — 基极</p>
1.2	NPN型	 <p>(a) 某硅管结构示意图；                  (b) 结构原理图；(c) 符号                  e (或E) — 发射极；                  c (或C) — 集电极；b (或B) — 基极</p>

序号	项目	说 明
1.2	NPN型	 <p>(a) 某硅管结构示意图；(b) 结构原理图；(c) 符号                  e (或E) — 发射极；c (或C) — 集电极；b (或B) — 基极</p>
2	晶体三极管的性能	
2.1	放大作用	 <p>(a) PNP型；(b) NPN型                  集电极电流 <math>I_c</math> 受基极电流 <math>I_b</math> 控制。<math>I_b</math> 的微小变化，可引起 <math>I_c</math> 的较大变化，即它具有放大作用                  当 <math>U_{be} &gt; 0.5V</math>，<math>I_b &gt; 0</math> 时  <math display="block">\Delta I_c = \beta \Delta I_b</math>                  式中 <math>\beta</math> 为放大系数</p>
2.2	截止状态 (相当断开) 开关作用	 <p>(a) PNP型；(b) NPN型；                  当 <math>I_b \leq 0</math> 时：<math>I_c = I_{c0} \approx 0</math>，<math>U_{ce} \approx E_c</math></p>

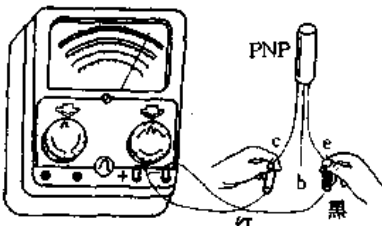
续表

序号	项目	说明
2.2	饱和状态 (相当接通) 开关作用	 <p>(a) PNP 型; (b) NPN 型;</p> <p>当 <math>I_b &gt; \frac{E_c}{\beta R_c}</math> 时  <math>I_c \approx E_c / R_c</math>  <math>U_{ce} \approx 0</math></p>
3	晶体三极管的三种基本接线	
3.1	共发射极电路 (共射电路)	<p>(1) 发射极 e 为输入信号和输出信号的公共点                  (2) 输出与输入电压的相位: 反相                  (3) 输入阻抗: 较小                  (4) 输出阻抗: 较大                  (5) 电流放大倍数: 大                  (6) 电压放大倍数: 大                  (7) 功率放大倍数: 大                  (8) 频率响应: 稍差                  (9) 稳定性: 差                  (10) 失真度: 较大                  (11) 对电源要求: 采用偏置电路, 只需一个电源                  (12) 应用范围: 放大电路、开关电路等</p> 
3.2	共集电极电路 (共集电路)	<p>(1) 集电极 c 为输入信号和输出信号的公共点                  (2) 输出与输入电压的相位: 同相                  (3) 输入阻抗: 大                  (4) 输出阻抗: 小                  (5) 电流放大倍数: 大                  (6) 电压放大倍数: 小                  (7) 功率放大倍数: 小                  (8) 频率响应: 好                  (9) 稳定性: 较好                  (10) 失真度: 较小                  (11) 对电源要求: 采用偏置电路, 只需一个电源                  (12) 应用范围: 阻抗变换电路等</p>

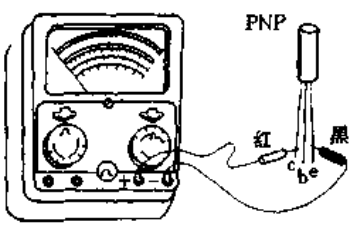
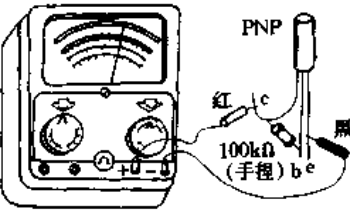
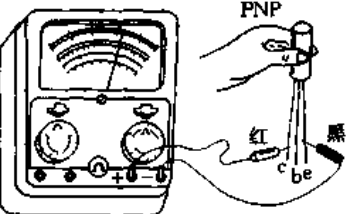
续表

序号	项目	说明
3.2	共集电极电路 (共集电路)	
3.3	共基极电路 (共基电路)	<p>(1) 基极 b 为输入信号和输出信号的公共点                  (2) 输出与输入电压的相位: 同相                  (3) 输入阻抗: 小                  (4) 输出阻抗: 大                  (5) 电流放大倍数: 小                  (6) 电压放大倍数: 较大                  (7) 功率放大倍数: 较大                  (8) 频率响应: 好                  (9) 稳定性: 较好                  (10) 失真度: 较小                  (11) 对电源要求: 需两个独立的电源                  (12) 应用范围: 高频放大、振荡等</p> 
4	晶体三极管管脚和管型的判别	
4.1	基极判别 (PNP 型)	<p>晶体三极管可看作两个二极管的组合 (三极管又称“双极型晶体管”), 如图所示。用万用表电阻档 (<math>R \times 100</math> 或 <math>R \times 1000</math>), 将红表笔接某一管脚, 而用黑表笔分别接另外的两管脚, 分别测量两个阻值。当两个阻值均较小时, 则红表笔所接管脚为 PNP 管的基极 b。如果前边所测两个阻值为一大一小时, 可将红表笔另接一管脚再试, 直到两个阻值均较小时为止</p>  <p>注: 表针偏转大, 表示阻值小</p>
4.2	基极判别 (NPN 型)	<p>方法同上, 但以黑表笔接某一管脚, 红表笔接另外的两管脚。当测得的两个阻值均较小时, 则黑表笔所接管脚为 NPN 管的基极 b</p> 

续表

序号	项目	说明
4.3	集电极和发射极判别 (PNP型)	<p>在确定基极后,用万用表的红黑两支表笔接到管子的另外两个管脚,测读两脚(发射极和集电极)间的阻值;再将两支表笔对调同样进行测试,比较两次读数。阻值较小的一次测试中,红表笔所接的管脚即为集电极c,黑表笔所接的管脚则为发射极e</p> 
4.4	集电极和发射极判别 (NPN型)	<p>方法同上(序号4.3),但用手指捏住假定的集电极和基极(注意两极不要短路),比较两次读数。阻值较小的一次测试中,红表笔所接的管脚为发射极e,黑表笔所接的管脚则为集电极c</p>
5	晶体三极管的主要性能参数	
5.1	共发射极电流放大系数	<p>指在共发射极电路中,集电极电流(即输出电流)与基极电流(即输入电流)的变化量之比,符号<math>\beta</math>,即</p> $\beta = \Delta I_c / \Delta I_b$
5.2	集电极-基极反向截止电流	<p>指在发射极断开时(即<math>I_e=0</math>),基极和集电极之间加上规定的反向电压时的集电极电流,简称“集电极反向截止电流”,符号<math>I_{cbo}</math></p>
5.3	集电极-发射极反向截止电流	<p>指在基极断开时(即<math>I_b=0</math>),集电极和发射极之间加上规定的反向电压时的集电极电流,亦称“穿透电流”,符号<math>I_{ceo}</math></p>
5.4	集电极-基极反向击穿电压	<p>指在发射极断开时(即<math>I_e=0</math>),集电结的最大允许反向电压,符号<math>BV_{cbo}</math>或<math>U_{br-cbo}</math></p>
5.5	集电极-发射极反向击穿电压	<p>指在基极断开时(即<math>I_b=0</math>),集电极和发射极之间的最大反向电压,符号<math>VB_{ceo}</math>或<math>U_{br-ceo}</math></p>

续表

序号	项目	说明
5.6	发射极-基极反向击穿电压	<p>指在集电极断开时(即<math>I_c=0</math>),发射结的最大允许反向电压,符号<math>BV_{cbo}</math>或<math>U_{br-cbo}</math></p>
5.7	集电极最大允许电流	<p>指晶体管参数变化不超过规定允许值时的集电极最大电流,符号<math>I_{cm}</math></p>
5.8	特征频率	<p>指<math>\beta \leq 1</math>时的频率,符号<math>f_r</math>或<math>f_{\beta}</math>。同样<math>\beta</math>的高频管,<math>f_r</math>越大,故大性能越好</p>
6	晶体三极管性能的简易测试	
6.1	穿透电流 $I_{ceo}$	<p>用万用表电阻档(<math>R \times 100</math>或<math>R \times 1000</math>)测集电极-发射极反向电阻,阻值越大,说明<math>I_{ceo}</math>越小,晶体管性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大,高频管比低频管阻值大,小功率管比大功率管阻值大,低频小功率管阻值约在几千欧以上</p>  <p>注:对NPN型管,则对调表笔测试</p>
6.2	共发射极电流放大系数 $\beta$	<p>如果在基极-集电极间接入<math>100k\Omega</math>电阻后(通常用手指捏住基极和集电极,但不得短接,利用皮肤表面电阻来代替<math>100k\Omega</math>),集电极-发射极反向电阻值减小,万用表指针偏转,则偏转角越大,说明<math>\beta</math>值越大</p>  <p>注:对NPN型管,则对调表笔测试</p>
6.3	晶体管稳定性	<p>在判断<math>I_{ceo}</math>的同时,用手指捏住管子,使之受手指体温的影响,管子集电极-发射极反向电阻将有所减小。如果万用表指针摇摆较大,或阻值减小得较快,则说明管子的稳定性较差</p>  <p>注:对NPN型管,则对调表笔测试</p>

(4)场效应晶体管、单结晶体管和晶闸管结构、性

能与测试,如表2-50所示。

续表

表2-50 场效应晶体管、单结晶体管和晶闸管

序号	项目	说明
1		场效应晶体管
1.1	分类	场效应晶体管简称“场效应管”,有结型和绝缘栅型两种结构,每种结构又有N沟道和P沟道两种导电沟道
1.2	结型场效应晶体管 (JFET)	<p>结型场效应管分N沟道和P沟道两种结构。N沟道结型场效应管的结构如图a所示。在N型硅棒两端引出漏极D和源极S两个电极。又在硅棒的两侧各做一个P区,形成两个PN结。在P区引出电极并连接起来,此电极就是栅极G。这就构成了N沟道结型场效应管。改变栅极电压<math>E_G</math>,耗尽层厚度要发生变化,使沟道宽度改变,因而能控制漏极电流<math>I_D</math>的变化</p> <p>图b为结型N沟道场效应管的符号 图c为结型P沟道场效应管的符号</p> <p>(a)N沟道结型场效应管的结构; (b)结型N沟道场效应管符号; (c)结型P沟道场效应管符号</p>
1.3	绝缘栅型场效应晶体管 (MOS场效应管, MOS-FET)	<p>绝缘栅型场效应管是以<math>SiO_2</math>为绝缘层的金属-氧化物-半导体的结构,因此又简称为“MOS场效应管”。它也分为N沟道和P沟道两大类,并分别有增强型和耗尽型两种结构。图a为N沟道MOS管的结构</p> <p>栅压为零时,源区、衬底和漏区形成两个背向的PN结。不管漏源间所加电场的极性如何,总有一个PN结反向偏置,场效应管处于开断状态</p>

序号	项目	说明
1.3	绝缘栅型场效应晶体管 (MOS场效应管, MOS-FET)	<p>如果栅压为正时,则产生垂直于衬底表面的电场。由于绝缘层很薄,即使栅压只有几伏,也能产生<math>10^5 \sim 10^6 V/cm</math>的强电场,这时P型半导体中空穴受斥离开表面层,而电子则被吸引汇集到表面层来。电场足够时,P型表面层可转化成以电子为多数载流子的N型,称为“N反型层”。一旦出现了N反型层,原来被P型隔开的两个N+区就连成一体。N反型层成了导电沟道,原来的开断状态转化成为导通状态。改变栅压就可改变沟道内载流子浓度和沟道宽度,从而有效地控制沟道电流。这种要加一定的正栅压后才有电流通导的MOS场效应管称为“增强型”</p> <p>在某些MOS场效应管中,栅极绝缘层掺有大量正离子。即使栅压为零,正离子也能在P型表面层中感生N型导电沟道。只有栅压负到某一值后,导电沟道才转化为耗尽层,管子截止。这种场效应管称为“耗尽型”</p> <p>图b~e分别为增强型和耗尽型的N沟道和P沟道MOS管符号</p> <p>(a)N沟道MOS场效应管的结构; (b)增强型N沟道MOS管符号; (c)增强型P沟道MOS管符号; (d)耗尽型N沟道MOS管符号; (e)耗尽型P沟道MOS管符号</p>



续表

续表

序号	项目	说明
2	单结晶体管	<p>单结晶体管是一种负阻器件,由发射极和两个基极组成,如图 a 所示。它又称:“双基极二极管”,P区简称“单结管”</p> <p>单结管的符号如图 b 所示;其等效电路如图 c 所示</p> <p>(a) 结构; (b) 符号; (c) 等效电路</p>
2.1	单结管的结构和等效电路	<p>(a) 结构; (b) 符号; (c) 等效电路</p>
2.2	单结管的性能与应用	<p>单结管常工作在负阻区,即通过的电流增加时,而电压却降低,其动态电阻为负值。可利用单结管组成弛张振荡器</p> <p>单结管的热稳定性好,峰值电流大,应用广</p>
3	晶闸管	<p>晶闸管是一种由PNPN四层半导体构成的三端部件,其内部形成三个PN结,用J<sub>1</sub>、J<sub>2</sub>和J<sub>3</sub>表示,如图 a 所示。其符号如图 b 所示</p> <p>(a) 结构; (b) 符号</p>
3.1	晶闸管的结构	<p>(a) 结构; (b) 符号</p>

序号	项目	说明		
3.2	晶闸管的作用原理	<p>晶闸管阳极加正向电压, J<sub>1</sub>、J<sub>3</sub> 为正向偏置,而 J<sub>2</sub> 为反向偏置,这时并不导通,处于正向阻断状态。当控制极加正向电压 U<sub>G</sub> 时,降低了 J<sub>3</sub> 的势垒,使 N<sub>2</sub> 区中部分电子进入 P<sub>2</sub> 区,大部分扩散到 J<sub>2</sub> 附近。由于 J<sub>2</sub> 的反向抽取作用;又使电子漂移到 N<sub>1</sub> 区,经积累后致使 J<sub>1</sub> 的势垒降低。这样, P<sub>1</sub> 区的部分空穴进入 N<sub>1</sub> 区,并漂移到 P<sub>2</sub> 区积累而降低了 J<sub>3</sub> 的势垒,于是有更多的电子从 N<sub>2</sub> 区进入 P<sub>2</sub> 区,如此一个正反馈过程,形成电子流,从而使晶闸管导通。此后,如去掉控制极电压 U<sub>G</sub>,晶闸管依靠自身的正反馈作用,仍然可维持导通状态,因此 U<sub>G</sub> 只起触发导通的作用</p> <p>如果外电路的电流小于 I<sub>h</sub> 值时,这时积累的电子和空穴就少到不足以维持正反馈过程,晶闸管就不再导通,此 I<sub>h</sub> 称为“最小维持电流”</p> <p>如果晶闸管阳极加反向电压,则无论控制极是否加触发电压,均不能使之导通,而呈反向阻断状态</p>		
3.3	晶闸管的分类、特征及用途	名称	普通晶闸管 (SCR)	双向晶闸管 (TRIAC)
		特征	反向阻断,给正向门极信号时开通	双向均可由门极信号触发开通
		型号	KP	KS
		符号		
主要用途	整流器、逆变器、变频器、斩波器	电子开关、调光器、调压器、直流调速		
名称	逆导晶闸管 (RCT)	门极关断 (GTO) 晶闸管		
特征	给正向门极信号开通,反向导电	电流控制,给门极正信号开通,负信号关断		
型号	KN	KG		
符号				
主要用途	逆变器、斩波器	逆变器、斩波器、直流开关、汽车点火系统、彩电扫描电路		

### 三、晶体管放大电路

(1) 晶体管放大电路的基本偏置方式。如表 2-51 所示。

表 2-51 晶体管放大电路的基本偏置方式

序号	偏置方式	原理电路	原理说明	特点
1	固定偏流式		温度上升时, 将引起 $I_c$ 增加, 使电路静态工作点产生漂移, 因此电路工作不稳定	(1) 电路简单 (2) 偏置电路损耗小 (3) 稳定性差
2	电压负反馈式		温度上升时, 引起 $I_c$ 增加, 使 $R_c$ 上压降增大, 反过来又使 $I_b$ 减小, 形成电压负反馈, 从而削弱温度的影响, 因此电路工作比较稳定	(1) 电路简单 (2) 稳定性较好, $R_c$ 越大, $R_b$ 越小, 越稳定 (3) 失真较小, 但放大倍数也降低
3	电流负反馈式		温度上升时, 引起 $I_c$ 增加, 使 $R_c$ 上压降增大, 由于 $U_{be} = U_{R_{b2}} - U_{R_e}$ , 故 $U_{be}$ 减小, 使 $I_b$ 相应减少, 形成电流负反馈, 从而削弱温度对工作点的影响, 因此电路工作稳定	(1) 电路较复杂 (2) 稳定性好, $R_c$ 越大, $R_{b2}, R_{e2}$ 越小, 越稳定 (3) 偏置要损耗一定功率 (4) 旁路电容 $C_e$ 可防止交流信号负反馈使放大倍数减小

(2) 晶体管放大电路的基本耦合方式。如表 2-52 所示。

表 2-52 晶体管放大电路的基本耦合方式

序号	耦合方式	优点	缺点	应用范围
1	阻容耦合	(1) 各级静态工作点独立, 互不影响, 计算和调试方便 (2) 电路结构简单 (3) 电路性能比较稳定	(1) 不能反映直流信号的变化, 因此不适于放大直流信号及变化缓慢的信号 (2) 由于它需用大电容来实现信号耦合, 故不便于实现集成化	一般用于分立元件的交流放大
2	直接耦合	(1) 能放大缓慢变化的信号和直流信号 (2) 电路所需元件少 (3) 频率特性好 (4) 便于实现集成化	(1) 由于级间直流通路是相通的, 因此各级静态工作点相互影响 (2) 各级静态工作点不能单独计算, 从而使电路设计和调试比较麻烦 (3) 存在零点漂移现象, 使放大器性能不稳定	用于集成化的、高增益的直接耦合放大
3	变压器耦合	(1) 利用阻抗变换可获得最大的功率输出 (2) 各级静态工作点互不影响	(1) 变压器体积较大, 既增加有色金属消耗量, 而且频率特性也较差 (2) 变压器不能反映直流成分的变化, 因此不能放大直流和缓慢变化的信号 (3) 不能实现集成化	多用于低功率放大、中频和调谐放大
4	光电耦合	光电耦合是利用光电耦合器件实施的一种耦合方式。光电耦合器件由发光元件(如发光二极管)和受光元件(如光敏三极管或光敏电阻)两部分构成, 是一种电—光—电转换器件。光电耦合具有抗干扰能力强, 隔离性能好, 频带宽, 响应快, 功耗低, 体积小等优点; 但转换的功率不能很大		广泛用于小功率的放大

(3) 晶体管低频功率放大器的典型电路。如表 2-53 所示。

表 2-53 晶体管低频功率放大器的典型电路

序号	电路名称	电路图	三极管工作状态	特点
1	单管功率放大器		甲类(整个信号周期内都有信号电流通过放大管)	(1) 静态工作点通常设置在特性曲线直线部分的中点, 使整个信号周期内集电极都有电流通过, 以保证输出波形与输入波形相同 (2) 甲类工作, 效率较低(最大输出时理论上效率为 50%, 可实际上只 30%~40%) (3) 不失真, 但输出功率小 (4) 耗电大; 无信号输入时, 直流电源功率全部消耗在晶体管上

续表

序号	电路名称	电路图	三极管工作状态	特点
2	推挽功率放大器		乙类 (有两个放大管, 每管只有半个周期有信号电流通过)	(1) 两个管子都是半导电, 时间错开, 静态工作点通常置于特性曲线底部, 能充分发挥其放大作用 (2) 静态时, 管子基本上不取电流, 因此耗电少, 效率高 (理论上效率可达 78%, 实际上为 60%~70%) (3) 由于其静态电流近于零, 没有直流偏压, 两管交替工作区域因晶体管存在死区电压而有造成信号正负半波衔接不好的“交越失真”现象 (4) 要求两管的型号和性能参数相同 (5) 放大器输出功率较大
3	OTL 互补对称电路		甲乙类 (每管在大于半个周期, 但小于一个周期内有信号电流通过)	(1) OTL 是无输出变压器功率放大器的简称, 因无输出变压器, 电路简单, 体积小, 重量轻, 效率高, 失真小, 但输出功率也较小 (2) 要求两管的型号和性能参数相同, 对电源要求也较高
4	OCL 互补对称电路		甲乙类 (同上)	(1) OCL 是无输出电容功率放大器的简称。由于省去了耦合电容, 有助于改善低频响应; 同 OTL 电路一样, 电路简单, 体积小, 重量轻, 效率高, 失真小, 输出功率较大 (2) 要求两管型号和性能参数相同, 而且要求双电源

续表

#### 四、集成运算放大器

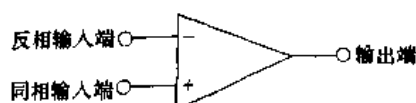
(1) 同相输入和反相输入集成运算放大器的比较, 如表 2-54 所示。

表 2-54 同相输入和反相输入集成运算放大器比较

序号	项 目	同相输入运算放大器	反相输入运算放大器
1	电路图		
2	$U_i$ 与 $U_o$ 相位关系	同 相	反 相
3	输入信号接法	接到同相输入端 $\Sigma$	接到反相输入端 $\Sigma$
4	反馈信号接法	接到反相输入端 $\Sigma$	接到反相输入端 $\Sigma$

序号	项 目	同相输入运算放大器	反相输入运算放大器
5	反馈类型	电压串联负反馈	电压并联负反馈
6	运放工作状态	线性区	线性区
7	输入端电位特点	反相输入端非“虚地”	反相输入端为“虚地”
8	输入电阻	高	不 高
9	输出电阻	低	低
10	电压放大倍数	恒大于或等于 1	可大于、等于或小于 1
11	共模输入电压	高 ( $\approx U_i$ )	低 ( $\approx 0$ )

注意: 运算放大器的符号过去一般用横置的等腰三角形表示:



(2) 几种基本运算电路。如表 2-55 所示。

表 2-55 几种基本运算电路

序号	类别	基本电路	输出电压	说明
1	同相加法运算电路		$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_b}\right) (K_1 u_{i1} + K_2 u_{i2} + K_3 u_{i3})$ 式中 $K_1 = \frac{R_2 // R_3}{R_1 // R_2 // R_3}$ $K_2 = \frac{R_3 // R_1}{R_1 // R_2 // R_3}$ $K_3 = \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 // R_3}$	对多个输入量可依此类推
2	反相加法运算电路		$u_o = -(K_1 u_{i1} + K_2 u_{i2} + K_3 u_{i3})$ 式中 $K_1 = \frac{R_f}{R_1}$ $K_2 = \frac{R_f}{R_2}$ $K_3 = \frac{R_f}{R_3}$	对多个输入量可依此类推
3	微分运算电路		$u_o = -RC \frac{du_i}{dt}$	图中所示微分电路的抗干扰能力较差,且易产生振荡。实际应用中常用一个小电阻与电容C串联予以解决

续表

序号	类别	基本电路	输出电压	说明
4	积分运算电路		$u_o = \frac{1}{RC} \int u_i dt$ 当 $u_i$ 为阶跃电压 $E$ 时 $u_o = -\frac{E}{RC} t$	为减少误差,积分器应选用高精度、低漂移运算放大器和偏电阻大的电容C
5	对数运算电路		$u_o = -U_T \ln \frac{u_i}{I_s R}$ 式中 $I_s$ 为 VT 发射结(或 VD)的反向饱和电流; $U_T = kT/Q$ 。在 $T = 300K$ 时, $U_T \approx 26mV$ , $k$ 为玻耳兹曼常数, $Q$ 为电子电荷量, $T$ 为热力学温度	可用二极管 VD 来取代图中的三极管 VT
6	反对数运算电路		$u_o = -I_s R e^{u_i / U_T}$ 式中 $I_s$ 和 $U_T$ 的含义如以上序号 5	亦可用二极管 VD 来取代左图中的三极管 VT

五、常用的整流电路和滤波电路

(1) 常用的单相整流电路。如表 2-56 所示。

表 2-56 常用的单相整流电路

序号	项目	单相半波整流	单相全波整流	单相桥式整流
1	电路图			

续表

序号	项目	单相半波整流	单相全波整流	单相桥式整流
2	波形图			
3	输出直流电压	$U_0 = 0.45U_2$	$U_0 = 0.9U_2$	$U_0 = 0.9U_2$
4	二极管所受反向电压峰值	$U_{r.m} = \sqrt{2}U_2$	$U_{r.m} = 2\sqrt{2}U_2$	$U_{r.m} = \sqrt{2}U_2$
5	二极管平均电流	$I_{av} = I_0$	$I_{av} = 0.5I_0$	$I_{av} = 0.5I_0$
6	脉动系数	1.57	0.667	0.667
7	纹波系数	1.21	0.48	0.48
8	输出电压脉动的最低频率	等于电源频率	2倍电源频率	2倍电源频率

(2) 常用的多相整流电路。如表 2-57 所示。

表 2-57 常用的多相整流电路

续表

序号	项目	说明
1		三相半波整流电路
1.1	电路	
1.2	整流器变压器二次侧电压 $u_{2p}$ /整流输出电压 $u_0$ /元件导流次序/流过元件 V1 (纯电阻负载) 电流 $i_{v1}$ /V1 两端电压 $u_{v1}$	

序号	项目	说明
1.3	简要说明	三个元件按 V1—V2、V3 的顺序轮流导通，每个元件导通 $120^\circ$ ，其承受的最大反向电压为线电压
2		三相桥式整流电路
2.1	电路	
2.2	整流器变压器二次侧电压 $u_{2p}$ /整流输出电压 $u_0$ /元件导流次序/流过元件 V1 (纯电阻负载) 电流 $i_{v1}$ /V1 两端电压 $u_{v1}$	

续表

序号	项目	说明
2.3	简要说明	六个元件轮流导通，同一时间有两个元件串联导通，每个元件导通 $120^\circ$ ，其承受的最大反向电压为线电压
3		六相半波整流电路
3.1	电路	
3.2	整流器侧电压 变压器二次电压 $u_{2\phi}$ /整流输出 电压 $u_0$ /元件导 电次序/流过元 件 V1 (纯电阻 负载) 电 流 $i_{V1}$ /V1 两 端电压 $u_{V1}$	
3.3	简要说明	六个元件轮流导通，每个元件导通 $60^\circ$ ，其承受的最大反向电压为相电压的2倍

(3) 常用的滤波电路。如表 2-58 所示。

表 2-58 常用的滤波电路

序号	类别	电路图	整流管冲击电流	外特性	优缺点	适用范围
1	电容滤波		大	软	输出电压高，在小电流时滤波效果好；但负载能力差	小电流

续表

序号	类别	电路图	整流管冲击电流	外特性	优缺点	适用范围
2	电感滤波		小	硬	负载能力较好，对变动的负载滤波效果较好；但输出电压较低，且电感器笨重，成本也较高	大电流
3	LC 滤波		小	硬	对大、小电流负载都能适应，滤波效果较好，但电感器笨重，成本也较高	适用性强
4	LC- $\pi$ 型滤波		大	软	输出电压高，滤波效果好，且 L 上直流压降小，但负载能力差，且有电感器笨重和成本高的缺点	小电流
5	RC- $\pi$ 型滤波		大	软	结构简单，经济，滤波效果好，且能兼有降压限流作用，但负载能力差	小电流
6	有源滤波		大	硬	性能与 RC- $\pi$ 型滤波相同，但可用大电阻和小电容，既无过压降损失，又避免电容体积大的缺点	小电流

## 第五节 常用的计算机知识

### 一、计算机部分名词概念

如表 2-59 所示。

表 2-59 计算机部分名词概念

序号	名词术语	说明
1	计算机	为“电子计算机”简称，它是能用电子学方法存储信息，并由电子电路按照预定程序对信息进行处理和输出的成套设备。计算机通常由输入设备、存储器、运算和逻辑部件、控制器、输出设备等五部分组成

续表

续表

序号	名词术语	说 明	序号	名词术语	说 明
2	计算机系统	计算机系统是指由计算机“硬件”和“软件”构成的整体。硬件指计算机系统中用于数据处理的物理装置的总称,一般由中央处理器(CPU)、存储器(包括只读存储器ROM、随机存储器RAM等)和输入/输出(I/O)设备构成。软件是指计算机的操作系统、文本编辑系统、调试系统、汇编系统、编辑系统、数据库管理系统、文字处理系统、图形处理系统、网络软件及各种应用程序等	21	数据库	指在计算机存储设备中存放的相互关联的数据的集合。这些数据集合有以下特点:①尽可能不重复;②尽可能使数据服务于多个应用程序,实现数据资源共享;③数据的存放尽可能独立于使用它的应用程序;④用一个软件统一管理这些数据,例如维护、增加、变更和检索这些数据
3	微处理器(MPU)	它是执行算术、逻辑和控制操作的一种复杂的逻辑部件,集成了运算器、控制器和存储器三个基本部分的功能。微处理器本身不是计算机,但它是构成微型计算机的核心部分。有的微处理器本身就是微型计算机的中央处理单元(CPU),也有时微处理器要外加时钟发生器和系统控制电路才构成微型计算机的CPU,因而有时为了将大型中央处理机与微处理器区别开来,前者叫CPU,后者称为MPU	12	菜单	指由若干可供选择的项目组成的表,例如在显示器上显示出若干程序名或图形、字符等,用户可用鼠标或数字键来选择
4	微型计算机及单片机、单板机	微型计算机是以微处理器为核心,并加上由大规模集成电路实现的存储器、输入/输出接口适配器以及系统时钟等组成的计算机,简称“微机”或“电脑”。通常将CPU、存储器和输入输出接口电路集成在一块硅片上的微型计算机,称为“单片机”;而将这三者制作在一块印刷电路板上的微型计算机,称为“单板机”。当今盛行的台式个人电脑(PC机)、便携式笔记本电脑、个人数字助理机(一种小到可放在衣袋内的手持式个人电脑,具有简单的文字处理、个人资料管理、访问互联网等功能)等,均属微型计算机范畴	13	密码技术	密码技术又称“加密技术”,是保证数据安全特别是数据安全通信的唯一实用方法,通常由密码装置来实现。密码装置主要包括密码算法和密钥管理。密码算法是指数据的加密和解密的运算过程。密码主要分为两类:①分组密码,是将固定长度的输入比特(bit,信息单位,指二进制中一个数位所包含的信息量)串,变换为固定长度的输出比特串,它使得每一位输出都是输入块与密钥块每一位的相当复杂的函数;②序列密码,是使用一个比特流发生器来产生二进制数字流,然后与明文结合产生密文,反之与密文结合又还原为明文。在这种情况下,密码比特流直接作为密钥使用,而且其长度与明文长度相等
5	指令	指计算机的操作及操作数或操作地址的一组编码字符,是可被中央处理器(CPU)理解的基本命令,其功能是存取数据、完成算术及逻辑运算、控制输入输出设备。指令由操作码和地址码组成。操作码规定计算机操作的性质,地址码指明操作数所在地址(源地址)及操作结果应送往的地址(目的地址)	14	计算机病毒	计算机病毒是一种人为编制的具有破坏性的程序。当它进入计算机系统后,能在计算机内部反复地自我繁殖并扩散到其他程序,其活动危及计算机的安全,甚至使之完全瘫痪。计算机病毒有下列特点: (1)传染性:病毒程序能够主动地将自身的复制品或变种传染给系统中的其他程序或信息媒介,通过网络又可感染给与网络连接各个系统。 (2)破坏性:病毒程序可能破坏系统,占用系统资源,干扰机器运行,直至使系统工作瘫痪或造成用户数据大量丢失,也可使用户对计算机系统产生不信任。 (3)隐蔽性:计算机病毒侵入系统后,一般不立即产生破坏作用,而且悄悄地进行繁殖,经过一段时间或满足一定条件后才发生作用。计算机病毒包括三大模块: (1)引导模块:用来将病毒由外存引入内存,使后两个模块处于活动状态;该模块对内存中的病毒代码设定某种激活方式,使之在适当时候能取得执行权。 (2)传播模块:用来将病毒传染到其他对象上去,对网络系统其对象是一个计算机系统,对非连网的微机用户来说,其对象是健康的磁盘。 (3)破坏/表现模块:用来实施病毒的破坏作用。预防病毒的方法,从理论上讲有以下几种: (1)基本隔离法:即不允许信息共享,而是将系统“隔离”起来,病毒就不可能随着外部信息传播进来,也不致将系统内部的病毒传播出去。 (2)分割法:即将用户分割成不能互相传递信息的封闭式系统。 (3)限制解释法:即对系统采用固定的解释模式,如对系统采取固定的解释模式,如对系统实行加密等。 (4)规范管理法:即建立必要的制度,加强计算机的使用管理。我国公安部于2000年4月26日发布了《计算机病毒防治管理办法》,对预防和治理计算机病毒,保护计算机信息系统安全提供了有力的依据。
6	光标	指在显示器上用来指示屏幕上当前处理位置的一种标志,是由若干光点组成的一种符号,常见的有下划线、十字形、箭头等。其位置由计算机控制,也可通过功能键、鼠标或光笔等进行移动。它指出的位置即为当前操作的位置			
7	终端	指用户直接使用或接触的所有装置的总称,包括数据终端装置、通信装置及必需的维护设备。它也可由数据终端、信号转换器和中间设备组成。该设备能连到数据处理器上或作为处理器的一部分			
8	接口	指两个系统的连接部分。例如两种硬设备的接口装置,两个程序块的接口程序,两个或多个程序共同访问的存储区			
9	程序	指为解决某一问题而设计的一系列指令。例如“诊断程序”,就是一种专门用于检测和定位计算机硬设备故障或者软件错误的程序。在计算机发生故障时,可运行相应的诊断程序,使计算机单步操作,由此跟踪各逻辑部件的逻辑状态,并打印出这些资料,以用来分析判断故障			
10	软件包	指为用户使用计算机提供方便的程序系统,通常指由应用程序组成的程序库			

续表

二、计算机的类型、特点及其应用

如表 2-60 所示。

表 2-60 计算机的类型、特点及其应用

序号	项目	说明
1	计算机按工作原理分类	
1.1	模拟计算机	它是一种直接对模拟形式的连续量进行数学运算并以模拟信号形式给出结果的电子计算机。其主要部件是运算放大器,用它来执行加、减、乘、除和积分等数学运算。由于数字技术的高速发展,现模拟计算机除使用在某些专用领域外,一般很少使用
1.2	数字计算机	它是一种直接对数字形式的断续量进行算术和逻辑的运算以实现数据处理的电子计算机。典型的数字计算机能存储指令,加以执行并可根据计算结果对指令进行修改。它的特点是计算速度快,精度高,便于信息存储。现在通常指的“计算机”就是这一种数字计算机
2	数字计算机按规模和功能分类	
2.1	巨型计算机	通常指运算速度极快(每秒上亿次)、主存储器容量极大的计算机,具有速度快、效率高、功能强、软件配套齐全等特点。但其造价极其昂贵,因此它只应用于航天、军事及尖端科学研究领域
2.2	大型和中型计算机	其运算速度、存储容量和结构规模上均小于巨型计算机,造价较巨型计算机低但仍较昂贵。它可作为大规模事务处理、商务管理、信息管理、大型数据库和数据通信的主要支柱,需求量仍不是很大
2.3	小型计算机	其运算速度和规模低于大、中型计算机,但造价也相对较低,能支持多处理器并行运算,适合于较大规模的文件处理和联机事物处理。在微机出现以前,小型机即是最低档次的计算机,然而其价格仍然不低,也只有少数单位使用
2.4	微型计算机	简称“微机”或“电脑”。如表 2-59 序号 4 所述。随着微机的诞生和飞速发展,特别是近年来,过去使用小型机的许多场合均可用微机来替代。就市场需求量、机器性能价格比和普及率来说,计算机的选择趋势必然先是微机,然后是小型机、中大型机和巨型机
3	计算机的特点	
3.1	能在程序控制下自动连续工作	由于计算机是采用程序存储工作方式,所以计算机输入所编制好的程序,并给定运行程序的条件(如起始地址),启动计算后就能自动连续地执行程序,直到完成预定的任务为止。除非工作本身采取人机对话方式,一般在运算过程中不需要人的直接干预。这是数字计算机的基本特点,也是它与其他计算工具最本质的区别所在

序号	项目	说明
3.2	运算速度快	计算机能以极高的速度工作,这极大地提高了工作效率,并使许多复杂的运算问题得以顺利解决。现在普通的微型计算机每秒可进行数百万次加减运算,巨型计算机的运算速度可达每秒数亿次甚至更高次数,因此很适于运载火箭运行参数计算等
3.3	运算精度高	数字计算机采用二进制数作为信息表示的基础。只要增加位数就能提高运算精度,这在理论上基本上没有限制。目前普通微机也能并行处理 32 位数;在软件上稍加变化便能处理多字长运算,从而获得更高的精度
3.4	信息存储(记忆)能力强	计算机内的存储器具有很强的存储信息的能力。计算机的许多功能与特点也是由此产生的。由于能存储程序,所以能自动连续地工作;由于可存储的程序多,因此计算机的功能就强,并可继续扩充功能,使更多信息处理得以实现
3.5	通用性强,应用范围广	计算机不仅能进行数学运算,而且能实现逻辑运算;不仅能做数值运算,也能对各种信息进行非数值计算性质的运算处理,如信息检索、图形处理、逻辑判断等。计算机的通用性强、应用范围广
4	计算机的应用	
4.1	科学计算(数值计算)	计算机运算的高速度和高精度是人工计算所望尘莫及的。现代科学技术的迅猛发展,使得计算机在各种领域中广泛应用。人们通过编程上机,自动计算,解决科学研究和生产生活中的各种计算问题
4.2	数据处理(信息处理)	数据处理是指对大量信息进行加工处理,例如分析、综合、分类、统计等。在企业管理、会计、图书、情报等方面的应用,例如企业内部的成本核算管理,库房物资管理、人事管理、工资管理、财务管理、合同管理、银行系统业务管理、图书情报系统的图书资料管理等,均属于数据管理范畴
4.3	工业应用(自动控制)	计算机在工业生产中的应用,主要是它与其他检测仪器、控制部件等构成自动检测或控制系统,以实施生产过程的实时自动检测和控制。计算机还能在工业生产过程的自动检测和控制中进行智能判断,自动去掉干扰因素,从而提高检测和控制的精度
4.4	人工智能(智能模拟)	人工智能主要是用计算机模拟人类的某些智力活动,例如图像识别、语音识别、专家咨询、定理证明、获取和运用知识、智能机器人等,都属于人工智能范畴。计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)等,也都属于计算机人工智能范围



续表

续表

序号	项目	说明
4.5	文字处理(计算机打字)	<p>利用计算机进行文字处理,具有比以往中文打字机字型变化多、字体大小变化容易、编辑排版功能强等特点,目前已得到广泛应用</p> <p>计算机文字处理系统目前有三种档次:</p> <p>(1)普通微计算机系统:普通微机(电脑)加上打印机和相应的软件,就能打印出各种字体字型的文件及各种彩色图案</p> <p>(2)计算机桌面印刷系统:这是在上述普通微计算机系统中加进了专用的文字和图像处理系统,使其功能有明显的提高。在保留原有功能的同时,在字体和图形线条清晰度方面有较大的提高</p> <p>(3)电子出版系统:它又分普及型轻印刷系统、高档型轻印刷系统和激光照排系统三个档次。激光照排系统由计算机、排版编辑器、激光照排控制器、激光照排机和相应的激光照排软件组成。它除了具备前两种轻印刷系统的全部优点外,还增加了报版的交互式排版功能。它主要用于编印报纸、书刊的专业印刷</p>

序号	项目	说明
1.3	系统软件 计算机软件	<p>这是一组为保证计算机系统良好运行而设置的基础软件,通常作为系统资源即软设备提供给用户使用。它负责系统的调度管理,向用户提供服务。系统软件主要包括:</p> <p>(1)操作系统:它是软件系统的核心,是负责管理和控制计算机系统软、硬资源与运行程序的系统软件,是用户与计算机之间的接口,提供了软件的开发环境和运行环境。用户通过操作系统提供的各种功能来操作计算机</p> <p>(2)语言处理程序:计算机硬件只能直接识别代码化的机器语言,而用户往往使用程序设计语言编写程序,因此需要通过语言处理程序来进行转换。这有两种基本方式:①解释方式,即针对某种程序设计语言事先编制解释程序,使用时执行解释程序,针对用程序设计语言编写的源程序边解释边执行;②编译方式,即针对某种程序语言事先编制编译程序,将源程序翻译为机器语言的目标程序,然后执行目标程序,这种语言处理程序更为常用</p> <p>(3)数据库管理系统:数据库是在计算机存储设备上存放的相互关联的数据集合,能提供供给所有可能的不同用户共享使用,独立维护。在计算机中配置数据库管理系统软件,用来装配数据、更新内容、查询检索、通信控制,对用数据库语言编写的程序进行翻译,控制有关的运行操作等</p> <p>(4)各种服务性支撑软件:服务性程序是为帮助用户使用和维护计算机、提供服务性手段而编制的一种程序。这种程序包括内容很广,一般指程序的输入和装配程序、编辑工具、调试工具、诊断程序、提示系统、窗口软件,以及一些可供调用的通用性应用软件,如文字处理软件、表格处理软件、图形处理软件等。由于操作系统的发展趋势是将内核做得精炼紧凑,因此服务程序往往作为操作系统可调用的文件存在,视需要而选取或扩充,也可将服务程序视为操作系统可扩充的外壳</p> <p>(5)各种标准程序库:系统可事先配置一些通用的、优化的标准子程序供用户调用。许多编译程序中就含有库文件,用户在用高级程序设计语言编写源程序时,只要给出调用名即可,编译时可将有关的库文件调出装配</p>
1.4	应用软件	<p>是指用户在各自应用领域内,为解决各类问题而编写的程序,也就是直接面向用户应用需要的一类软件。由于计算机应用领域极其广泛,因此应用软件不胜枚举。当然,对系统程序与应用程序的划分并不是一成不变的,一些具有通用价值的应用程序也可以纳入系统程序之中,作为一种资源共享</p>

### 三、计算机系统及其硬件和软件

(一)计算机系统的组成及其主要指标  
如表 2-61 所示。

表 2-61 计算机系统的组成及其主要指标

序号	项目	说明
1	计算机系统的组成	
1.1	计算机主机	<p>(1)中央处理器(CPU):由运算器和控制器组成。它是计算机的核心部分,其功能为解释和执行指令,进行规定的运算和控制</p> <p>(2)主存储器:又称“内存储器”,是计算机的主要存储设备。CPU工作时,它所执行的指令和操作数都从主存储器中取出。主存储器并可与各种外存储器交换数据</p>
1.2	计算机外围设备	<p>(1)输入设备:为向计算机输入信息的设备,如键盘、鼠标、扫描仪等</p> <p>(2)输出设备:为用来记录或显示计算机处理结果的设备,如显示器、打印机、绘图机等</p> <p>(3)辅助存储器:又称“外存储器”,是在主机外面,为弥补主存储器容量之不足而补充的大容量存储器。它与主存储器交换数据。其特点是:存储容量大;存取速度比主存储器慢;信息能长期保存,通常是备用信息存在辅助存储器中,而常用信息和即将处理信息则存在主存储器中。磁盘机、磁带机等均为辅助存储器</p>

续表

续表

序号	项目	说明
2	计算机系统的主要技术指标	
2.1	字长	指计算机一次可处理的二进制位的数目,由运算器中寄存器的位数决定。字长越长,数的表示范围越大,计算精度越高
2.2	存储量	指计算机存储设备中能存储信息的总量,通常用数位、字节或字的单位来表示
2.3	运算速度	指计算机每秒的运算次数,这运算包括加法、乘法、定点、浮点等多项指标。现在多采用指令平均运算时间来描述运算速度,即根据各种指令在科学运算中的统计频度,计算出的每条指令执行的平均时间
2.4	吞吐量	指一个计算机系统在单位时间内能处理的信息总量,是一个衡量计算机工作效率的指标

序号	项目	说明
2.5	主频	指计算机主要的时序信号源的频率,在一定程度上决定计算机的运算速度。一般由CPU内的时钟晶振频率决定
2.6	可靠性	指机器或器件在规定的使用寿命和工作条件下正常工作而不发生故障或失效的概率。计算机的可靠性通常用平均故障间隔时间来度量
2.7	性能价格比	这是衡量计算机产品性能的一种概括指标。这里所指性能包括运算速度、存储容量、存取周期、可靠性等。价格指计算机的售价。性能价格比中的性能指数由专门的公式计算。性能价格比越高,表示该计算机的技术性能和经济性的综合指标越好

(二) 计算机硬件

(1) 计算机的分类、组成和原理。如表 2-62 所示。

表 2-62 计算机的分类、组成和原理

序号	项目	说明
1	计算机按工作原理分类	
1.1	模拟计算机	指直接对模拟形式的变量进行数学运算并以模拟信号的形式给出结果的一类计算机。对于有些数学求解问题,利用模拟计算机编程比较容易,解题速度快。但随着数字技术的高速发展,使得模拟计算机除在个别专用领域应用外,一般很少应用
1.2	数字计算机	指对数字式的变量进行算术和逻辑运算以进行数据处理的一类计算机。典型的数字计算机是能存储程序的电子计算机。数字计算机具有计算速度快、精度高和便于信息储存等特点,是当今应用最广的一种计算机。后面所讲的计算机均指数字计算机
2	数字计算机的组成和原理	
2.1	计算机的组成框图	
2.2	计算机工作原理	<p>指令和数据通过输入设备送入计算机,并存储在主存储器中;控制器从主存储器中取出指令逐条分析,以产生相应的控制信号,控制计算机各部件按一定的顺序对数据进行处理,并将处理结果返回给存储器,最后送往输出设备予以打印或显示</p> <p>将程序和数据存放于计算机中,称为“程序存储”。控制器按程序指令来控制计算机自动完成计算任务,称为“程序控制”</p> <p>运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备等五大部分即构成计算机的“硬件”。其中运算器和控制器构成“中央处理器”(CPU),而CPU和主存储器构成主机部分</p>

(2) 计算机存储器的分类及其主要性能指标。如表 2-63 所示。

表 2-63 存储器的分类及其主要性能指标

序号	项 目	说 明
1		存储器的分类
1.1	按存储介质分类	<p>(1) 电介质存储器：以随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、可编程只读存储器 (PROM)、可擦可编程只读存储器 (EPROM) 等半导体存储器为代表。其特点是可读写，速度快，但容量较小，成本较高</p> <p>(2) 磁介质存储器：如磁带、磁盘、磁鼓等。其特点是可读写，容量大，成本低，但速度慢</p> <p>(3) 光介质存储器：如光盘。其特点是多数只能读，容量大，数据保存时间长，速度慢，成本低</p> <p>(4) 纸介质存储器：如纸带、穿孔卡等。其特点是容量小而体积大，且速度慢，现已被淘汰</p>
1.2	按与中央处理器的关系分类	<p>(1) 主存储器：位于主机之内，又称“内存储器”，可由 CPU 直接读写。其特点是速度快，容量较大，价格适中</p> <p>(2) 辅助存储器：位于主机之外，又称：“外存储器”，必须先通过程序调入主存储器才能被 CPU 调用。其特点是速度慢，但容量大，价格低</p> <p>(3) 高速缓存存储器：这是一种高速双极型半导体存储器，存放部分主存储器内容的副本，供 CPU 高速操作。其特点是速度最快，但容量小，价格高</p>
1.3	按存取的工作方式分类	<p>(1) 随机存储器：可实时地进行读写操作，不同存储单元的访问时间相同，速度快，价格较高</p> <p>(2) 顺序存储器：不同存储单元共享线性读写线路，速度较慢，价格低</p>
2		存储器的主要性能指标
2.1	存储容量	<p>指一个功能完备的存储器所能容纳的二进制信息总量，即它可存储的二进制信息代码的位数</p> <p>存储容量 = 存储字数 × 字长</p>
2.2	存取时间	<p>指从存储器的一个存储单元中读出信息所需的平均时间</p> <p>对随机存储器，一般是指从 CPU 的地址寄存器输出端发出读写请求起，到所要求的信息出现在存储器输出端为止所需的时间</p>
2.3	存取周期	<p>指存储器进行一次完整的读写操作所需的全部时间，即两次独立的存储器操作之间的最小时间间隔，如下图所示：</p>

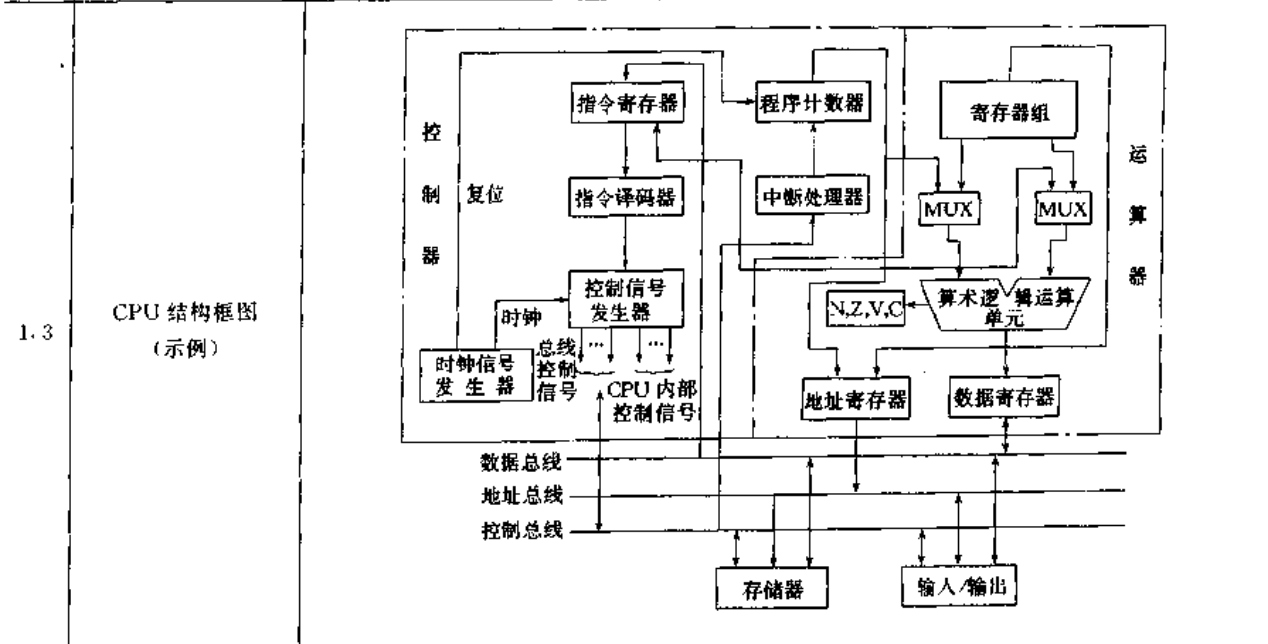
(3) 中央处理器的组成及其主要功能，如表 2-64 所示。

表 2-64 中央处理器的组成及其主要功能

序号	项 目	说 明	
1		中央处理器 (CPU) 的组成	
1.1	控 制 器	程序计数器 (PC)	它用来保存当前执行指令的地址，每当取指周期结束后，能自动增量，指向下一条指令。执行转移指令时，下条指令的地址直接置入
		指令寄存器 (IR)	用来寄存当前正在执行的指令
		指令译码器和控制信号发生器	用来对指令进行译码，并发出完成本条指令功能所需的控制信号
		中断处理器	在机器运行时，当发生出错等异常情况或 I/O (输入/输出) 设备请求处理时，向中央处理器发出中断请求信号，要求 CPU 暂时中止当前正在执行的程序，转而进行异常处理或 I/O 处理
	时钟发生器	用来产生时钟信号，以对计算机的各种操作程序进行时间上的控制	

续表

序号	项目	说明	
1.2	运算	算术逻辑单元 (ALU)	
	寄存器	寄存器组	用来完成规定的算术逻辑运算
		地址寄存器和数据寄存器	用来保存参加运算的操作数和运算结果等。运算时，寄存器的内容通过多路转换器 (MUX)，送往算术逻辑单元 (ALU)
		状态寄存器	用来暂存访问存储器的地址及读写数据
		用来记录运算结果的状态标志，如 N、Z、V、C 等	



2 中央处理器 (CPU) 的主要功能		
2.1	指令控制	组成程序时指令序列，以便严格按照规定的顺序执行。保证机器按指令序列执行程序是 CPU 的首要任务
2.2	操作控制	对指令进行译码，并产生相应的控制信号，送到各部件以产生所要求的动作
2.3	时间控制	计算机中各种操作信号均有严格的时间控制，每条指令的执行过程也受到严格的时间控制，因此 CPU 必须具有时间控制功能
2.4	数据处理	CPU 对数据进行算术运算和逻辑运算处理

(4) 中央处理器与外围设备间的数据传送方式。如表 2-65 所示。

表 2-65 中央处理器与外围设备间的数据传送方式

序号	项目	传送过程	特点	应用
1	程序查询	主机与外设间的信息传送完全通过 CPU 执行程序访问外设来实现。其工作过程为：主机启动外设后，开始查询等待；当外设准备就绪后，才开始传送	(1) 主机与外设串行工作 (2) 外设就绪前 CPU 处于空等状态，效率较低	主要用于中、低速外围设备
2	程序中断	主机启动外设后，不等待查询外设状态，而直接转入执行其他程序；外设工作一旦完成，会主动向主机发出中断请求信号；主机在适当条件下暂停正在执行的程序，开始转入中断服务程序	(1) 主机与外设并行工作 (2) CPU 不用查询等待，效率较高 (3) 中断现场保护与恢复需占用一定时间	主要用于中、低速外围设备，特别适于随机的服务请求

续表

序号	项目	传送过程	特点	应用
3	直接存储器存取 (DMA) 方式	这是一种直接依靠硬件在主存与外设之间传送数据的一种工作方式。在现在的计算机中, 普遍的实现方法, 是在 CPU 之外设置一个 DMA 控制器, 一旦 CPU 响应 DMA 请求后, 即时暂停使用系统总线, 并由 DMA 控制器掌管总线, 并发布命令完成主存与外设之间的 DMA 传送。因此这种方式又称“周期挪用”	(1) DMA 传送时, CPU 仅是暂停而不是切换程序, 无需保存断点及现场, 响应速度大大提高 (2) 执行 DMA 传送期间, 原则上 CPU 可继续工作 (只要不访问主存和使用总线时) (3) 硬件需增设 DMA 控制器, 价格相对较高	主要适用于高速外围设备, 如高速外存储器或高速的通信设备
4	通道工作方式	与上述 DMA 方式类似, 而且通道控制器可与 CPU 分别使用主存储器, 进一步提高 CPU 效率	(1) 可用软件编程, 比 DMA 更灵活 (2) 可控制多台不同类型的设备 (3) 可提高 CPU 效率	主要用于高速外围设备

(5) 常见的寻址方式。如表 2-66 所示。

表 2-66 常见的寻址方式

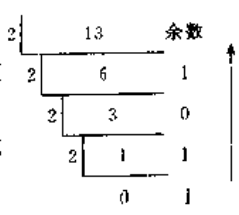
序号	项目	说明	优缺点
1	立即寻址	为操作数直接在指令中出现的寻址方式。指令中的地址码部分表示的不是地址而是操作数本身	(1) 操作数就在指令中, 不需另外寻址, 速度快 (2) 操作数受地址码长度影响, 精度较低
2	直接寻址	为指令地址码直接指出操作数地址的寻址方式	(1) 取数速度较快 (2) 访问地址范围受地址码长度限制, 且操作数地址变化必须修改指令本身
3	间接寻址	为指令地址码所指定的存储单元中存放的不是操作数而是指向实际操作数地址的寻址方式	(1) 寻址范围大, 寻址方式灵活 (2) 需两次访问存储器, 取数速度较慢
4	变址寻址	为通过变址寄存器的内容与地址码相加而获得操作数实际地址的寻址方式	(1) 寻址范围大, 寻址方式灵活 (2) 因执行加法操作, 取数速度比直接寻址慢
5	相对寻址	用修改地址的方式得到绝对地址的过程, 即将地址码部分 (相对地址) 与一给定地址 (基地址) 相加	(1) 形成的地址可相对当前指令前后浮动 (2) 也是执行加法操作, 故取数速度比直接寻址慢
6	寄存器直接寻址	为指令中一个字段给出用于存放操作数的某寄存器号的寻址方式	(1) 执行速度最快, 指令长度最短 (2) 但 CPU 中寄存器数量限制了本指令的应用范围
7	隐式寻址	为部分指令针对特定地址进行操作, 因此操作数可由指令本身隐含指出的寻址方式	(1) 由于通常是单字节指令, 故执行速度快 (2) 应用范围有限

(三) 计算机软件

(1) 计算机中数的表示及数制的换算。如表 2-67 所示。

表 2-67 计算机中数的表示及数制的换算

序号	项目	说明
1	计算机中数的表示	
1.1	二进制	计算机中广泛使用“二进制”。二进制中只有 0 和 1 两个数码, 它易于用电路的两种状态 (通、断) 来表示。二进制中相邻位数的进位关系是“逢二进一”, 数字全部由 0 和 1 所组成。二进制是计算机数制的基础
1.2	字节	字节是作为一个单位来处理的一串二进制数位。通常一个字节指 8 位二进制数位。一个字节可以表示 $2^8=256$ 种状态。字节是计算机最小存储单位。每个字节可存放一个英文字母编码, 每两个字节可存放一个汉字编码 描述计算机存储容量时常说容量为多少字节。 $2^{10}=1024$ 个字节, 通常称为 1k (千) 字节, 记作 1kb。 $2^{20}\approx 10^6$ 个字节, 称为 1M (兆) 字节, 记作 1Mb。 $2^{30}\approx 10^9$ 个字节, 称为 1G (吉) 字节, 记作 1Gb
1.3	字长	字长是指计算机一次可处理的二进制位数。它标志计算精度, 位数越多, 精度越高。例如国际商用机器公司 (IBM) 的 PC 机 (个人电脑) 的字长按 CPU 芯片而定, 8086 和 80286 型的字长为 16 位, 即一个字长为两个字节; 而 80386 型的字长为 32 位, 即一个字长为四个字节
2	数制的换算	
2.1	十进制数换算为二进制数	十进制数换算为二进制数的方法是: 2 将十进制数连续除以 2 取余数 (适于整数) 例: $(13)_{10} = (1101)_2$ , 其演算式如右图所示, 即十进制的 13 换算为二进制的 1101



续表

序号	项目	说明
2.2	二进制数换算为十进制数	$(x)_2 = \sum k_i \times 2^i$ 式中, $i$ 为二进制数 $x$ 中个位数左边的位数; $k_i$ 为 $x$ 中第 $i$ 位的数字 (1 或 0) 例: $(1101)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2 + 1 \times 2^0 = 13$ 即二进制的 1101 换算为十进制是 13
2.3	换算为十进制数的一般公式	$(A)_{10} \triangleq (x)_R = \sum k_i R^i$ 式中 $R$ 为数 $x$ 的进制基数 (二进制为 2, 八进制为 8, 十六进制为 16 等); $i$ 为 $R$ 进制数 $x$ 中个位数左、右的位数, 左边取 "+", 右边 (小数点后) 取 "-", 个位 $i=0$ ; $k_i$ 为 $x$ 中 $i$ 位的数; $(A)_{10}$ 为换算为十进制的数; "△" 为 "相当于" 的数学符号 (据 GB3102.11-1993) 例: 八进制数 51.64 换算为十进制数 $(A)_{10} \triangleq (51.64)_8 = 5 \times 8^1 + 1 \times 8^0 + 6 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} = 41.8125$ 即八进制的 51.64 换算为十进制是 41.8125

(2) 计算机的程序设计语言。如表 2-68 所示。

表 2-68 计算机的程序设计语言

序号	项目	说明
1	计算机的初级语言	
1.1	机器语言	由机器指令 "0" 和 "1" 两个代码组成, 能直接被计算机识别和执行。这种由机器指令组成的语言是计算机发展初期使用的语言, 但它对人不直观, 不便记忆, 不易编写, 容易出错
1.2	汇编语言	使用英文缩写和数字来代表机器指令。它较机器语言直观, 易于理解和记忆, 便于查错, 但它必须由专门的汇编程序转变为机器语言 (指令) 才能被执行, 如下图所示: <div style="text-align: center;"> <pre>                     graph LR                         A[汇编语言程序] -- 汇编 --&gt; B[机器语言程序]                         C[汇编程序] --&gt; B                         B -- 运行 --&gt; D[计算结果]                     </pre> </div>
2	计算机的高级语言	
2.1	高级语言概述	以上初级语言 (含机器语言和汇编语言) 是面向计算机物理结构的一种语言, 对人不直观, 因此使用不方便。而下面介绍的高级语言, 面向人们习惯使用的自然语言和数学语言, 独立于计算机的物理结构之外, 因此便于记忆和编写, 且易于移植到不同硬件结构的机器上。但高级语言必须经过计算机厂家提供的编译程序处理后才能被执行, 如下图所示: <div style="text-align: center;"> <pre>                     graph LR                         E[高级语言程序] -- 编译 --&gt; F[机器语言程序]                         G[编译程序] --&gt; F                         F -- 运行 --&gt; H[计算结果]                     </pre> </div> 目前国际上使用的高级语言有好几百种, 比较通用的也有十多种。下面分别介绍几种最常用的高级语言: BASIC、FORTRAN、COBOL、PASCAL、C、C++ 和 JAVA

续表

序号	项目	说明
2.2	BASIC 语言	BASIC 为英文 Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code (初学者通用符号指令代码) 一词的缩写。BASIC 语言具有简单方便、具有会话功能特点的语言, 可用于科学计算、数据处理、辅助设计、自动控制等方面, 适于小型和微型计算机。BASIC 语言有基本 BASIC、扩充 BASIC、实时 BASIC 等。扩充 BASIC, 增加了处理文件的输入输出功能、字符串处理和自选打印格式功能等, 用于小型的数据处理和事务管理十分方便灵活
2.3	FORTRAN 语言	FORTRAN 为英文 FORMULA TRANSLATION (公式翻译) 一词的缩写。FORTRAN 语言是一种以近似于数学公式的形式书写的程序语言。用 FORTRAN 语言编写的程序, 称为 "源程序", 它是由一个或几个相对独立的程序所组成, 它必须含有一个主程序, 并可含有若干辅助程序。该语言具有标准化程度高、便于程序互换、较易优化和计算速度快等优点, 主要用于科学计算, 但也有用来编制商业和企业的管理程序
2.4	COBOL 语言	COBOL 为英文 Common Business Oriented Language (通用商业语言) 一词的缩写。COBOL 语言接近于英语, 极易为一般应用英语的人读懂, 适用于数据处理, 广泛用于商业、企业、经济及行政机构等部门
2.5	PASCAL 语言	PASCAL 为 Philips Automatic Sequence Calculator (飞利浦自动顺序计算机语言) 一词的缩写。它具有结构性好、表达能力强、实现效能好、移植容易等优点, 提供了丰富的数据类型和构造数据结构的方法。它的应用范围较广, 既可作一般的数值计算, 又适合于描述系统软件。它是系统体现结构程序设计概念的第一种语言; 但它缺少与硬件发生密切联系的功能, 从而使系统程序设计人员感到不便
2.6	C 语言	C 语言既具有高级语言的直观、易学等优点, 又具有初级语言的高效率的特征。C 语言的强有力来源于精心选用的控制结构、数据类型和一套丰富的运算符, 从而使程序员能很好地控制机器。C 语言中的一条语句或一个表达式, 可实现其他语言需用多条语句才能实现的功能。C 语言的编译程序比较简单, 效率也较高, 而且易于移植
2.7	C++ 语言	C++ 语言由 C 语言发展而来, 是一种混合型的面向对象程序设计语言。所谓面向对象程序设计, 是指 C++ 既具有独特的面向对象特征, 可为面向对象技术提供全面支持, 又具有对传统 C 语言的向后兼容性, 很多已有的程序稍加改造即可重用, 因此它是实现面向对象理论与技术的比较通行和适用的方法 C++ 具有以下特点: ① C++ 语言扩充了 C 语言中结构和联合的功能, 引入了新的数据类型类 (Class), 可将数据和函数集成在一起, 且可对数据和函数提供不同的存取权限, 形成一个完整的模块; ② C++ 中的友元是以 friend (朋友) 这一关键字来定义的对象。友元使得类以外的对象或函数能够访问类中的私有成员; ③ C++ 中的重载是指编译器根据

续表

续表

序号	项目	说明
2.7	C++ 语言	<p>参数类型的不同调用同一系列的同名函数。重载体现了面向对象程序设计的多态性，而且将更大的灵活性和扩展性添加到该语言中；④C++中的引用就是使用指针或引用来建立变量的别名，用于在给函数传递大型的对象以及从函数中返回左值；⑤C++具有从现有类派生出一个新类的功能，即能从先前定义的基类中继承函数和数据，而且能重新定义或加入新的数据；⑥C++具有多态性，即当不同对象收到相同信息时产生不同的动作。其多态性包括编译时的多态性和运行时的多态性；⑦C++中的虚函数是一种动态的重载方式，它允许函数调用与函数体之间的联系在运行时才决定如何动作；⑧C++的输入/输出系统是对流的操作，即可将数据流向流对象，或从流对象流出数据</p> <p>C++语言具有效率高、可移植性好、简洁小巧及结构性好等优点，因此获得迅速发展，应用广泛</p>
2.8	JAVA 语言	<p>随着 Internet (因特网) 的迅速发展，由 Sun 公司推出的 JAVA 使用的虚拟机 JVM 屏蔽了人们编程所依赖的操作系统，从而解决了 Internet 中各操作平台的兼容问题。JAVA 吸收了现有各种语言的优点，其特点主要有：①JAVA 是一种多线程的语言，从而能提高单进程的执行效率；②JAVA 是一种分布式的语言，它有一个复杂的类库来利用 Internet 的 TCP/IP (协议) 进行通信；③JAVA 程序分为 JAVA Application 和 Applet 两种，Application 是可以独立运行的应用程序，而 Applet 必须由 Html 语言调用而不能独立运行。由此可见，JAVA 从设计初始就与 Internet 紧密结合，因此它广泛用于 Internet</p>

序号	项目	说明
2.5	单任务操作系统	在同一时间内仅能处理一个任务的操作系统，称为“单任务操作系统”
2.6	多任务操作系统	在同一时间内能处理多个任务的操作系统，称为“多任务操作系统”
2.7	网络操作系统	它是通过数据通信网络，将分散的计算机群和终端设备连接起来，以达到数据通信和资源共享要求的一种操作系统
3	常见的几种操作系统	
3.1	DOS 操作系统	<p>DOS 为英文 Disk Operating System (磁盘操作系统) 的缩写。DOS 操作系统有文件管理、存储管理及输入输出管理的功能，但没有进程管理的模块。它通常属于单用户/单任务操作系统，即在单用户条件下工作</p> <p>最常用的 DOS 有 IBM 公司开发的 PC-DOS 和 Microsoft (微软) 公司开发的 MS-DOS。我国开发的汉字操作系统 CC-DOS 能进行汉字文件管理和汉字设备管理</p>
3.2	UNIX 操作系统	<p>UNIX 是广泛应用于 Internet 的多任务、多用户操作系统。按功能分，UNIX 包括核心程序、外围程序和实用性程序。核心程序是负责调度任务和管理数据程序的程序。外围程序是连接和解释用户输入命令的程序。实用性程序是用户可直接使用的用以完成各种常用的及专门的系统功能的程序</p> <p>UNIX 除了不具有专门的作业管理功能外，其他功能都很齐全，而其外围程序起到了作业管理的作用，并向用户提供重定向及管理控制功能，以使用户将小程序以积木形式的构件来构筑较大的、较复杂的程序</p> <p>UNIX 允许用户方便地向系统添加新的功能和手段，从而使系统越来越完善，提供的服务越来越多</p>
3.3	Windows 操作系统	<p>Windows (“视窗”) 操作系统是微软公司开发支持 PC (个人电脑) 的图形界面的操作系统。它以其多窗口、多任务性能和基于图形的用户界面为用户提供了全新、高效和简便的操作手段。自它被推出以来，已取得了极大的成功，使得计算机的操作方式发生了深刻变化</p> <p>(1) Windows 3.1: 1992 年微软公司推出，它作为一种集成化软件成为当时最受欢迎的软件开发工具和开发环境之一。它使用 DOS 作为基础环境，即可以 DOS 提示符启动，且可执行所有的 DOS 命令。它允许多个应用程序同时运行，即它属于多任务操作系统；它又能为用户提供功能极强的应用程序</p> <p>(2) Windows 95: 1995 年微软公司推出，它是一种全新的多任务、多线程 32 位操作系统。支持 16 位和 32 位应用程序和设备驱动程序。它不再使用 DOS 作为基础环境。它的用户界面更加友好，内嵌网络系统和因特网的访问工具。具有强大的多媒体支持功能</p> <p>(3) Windows NT: 这是微软公司继 Windows 95 之后，于 1996 年推出的一种新的操作系统。与 Windows 95 比较，功能更多，更稳定，不仅可在 PC 机上使用，还可移植到其他硬件结构的计算机上，常用作服务器的操作系统</p> <p>(4) Windows 2000: 这是 2000 年微软公司在 Windows NT 的基础上开发出的新一代操作系统。它结合了 Windows 98 的易用性和 Windows NT 的安全性，并大大提高了操作系统的稳定性、易管理性和运行速度，而且引入了许多新的特性和功能，特别是面向因特网的应用方面。针对不同的用户和环境，Windows 2000 目前推出了 4 个版本：① Windows 2000 Professional，针对商业和个人用户；② Windows 2000 Server，针对工作组级的服务器；③ Windows 2000 Advanced Server，针对企业级的高级服务器；④ Windows 2000 Datacenter Server，针对大型数据库的数据中心服务器。微软公司于 2001 年推出了功能更强的 Windows XP 操作系统</p>

(3) 计算机的操作系统。如表 2-69 表示。

表 2-69 计算机的操作系统

序号	项目	说明
1	操作系统 (OS) 功能	<p>(1) 控制和管理计算机的硬件和软件资源，使之得到有效的使用</p> <p>(2) 合理地组织计算机系统的工作流程，以增强系统的处理能力</p> <p>(3) 提供用户与操作系统之间的软件接口，使用户通过操作系统方便地使用计算机</p>
2	操作系统的分类	
2.1	批处理操作系统	它是按照用户要求对批量作业自动进行处理的操作系统。在作业提交系统直至作业处理完成期间，用户不能对其他作业进行交替处理，但系统的作业吞吐量较大
2.2	实时操作系统	它是能对实时采样数据进行及时处理的操作系统。它按用途又分为：①实时控制系统，主要用于工业企业生产、导弹发射、医疗诊断等过程的控制；②实时信息处理系统，主要用于银行、交通等系统的实时数据处理，如银行的通存通取、交通企业的自动订票等
2.3	分时操作系统	亦称“多用户操作系统”。它可同时为几个甚至上百个终端用户服务。在此系统中，CPU 时间分成若干时间片，每一用户按程序只运行在一个时间片，使 CPU 轮流为各个用户服务。分时操作系统提高了效率，节省了开支
2.4	单用户操作系统	在同一时间内仅能与一个用户进行交互作业的系统，称为“单用户操作系统”

(4) 应用程序设计的流程图。如表 2-70 所示。

续表

表 2-70 应用程序设计的流程图

序号	项目	图形符号	说明
1	应用程序设计的流程图符号		
1.1	起止框		表示运算的开始和结束 (注:有的用矩形框符号或省略)
1.2	输入输出框		表示进行输入输出操作
1.3	处理框		表示运算、赋值等操作
1.4	判断框		根据“是”(Y)“否”(N)符合特定条件来选择需要执行的程序路径
1.5	流程线		用箭头方向表示程序的流向
1.6	连接点		两个具有相同标记的“连接点”连接成一个点
2	结构化程序设计的基本结构		
2.1	顺序结构		顺序结构中的各块按先后顺序依次执行。其中,每个块可能是一条语句,也可能是三种结构(序号 2.1~2.3)中的一种
2.2	选择结构		选择结构中,根据给定条件是否满足而决定执行两路径之一,但不能两者都执行;且无论执行 a 块或 b 块,在执行后程序都将汇合到同一个程序出口点
2.3	循环结构		当给定的条件满足时,程序将执行 a 块,并在 a 块执行完成后重新返回到 a 块的入口点判断条件是否满足。如此反复执行,直到给定条件不满足为止。这种循环又称为“当循环”
	循环结构		先执行 a 块,再判断条件。如果条件不满足,则重新返回执行 a 块,直到给定条件满足则退出循环。这种循环称为“直到循环”,也可认为是上述“当循环”的变型

序号	项目	图形符号	说明
3	应用程序设计的流程图示例		
3.1	低压电网短路计算程序流程图(框图)		该流程图描述了低压电网短路计算的步骤：输入原始数据，计算各支路正负序电阻、电抗及零序电阻、电抗，输入短路节点号码，进行网络识别并求取转移电阻和电抗，计算短路节点的三相、两相及单相短路电流，输出计算结果，并判断是否继续计算，若不计算则返回主控程序。
3.2	IC卡式预付费电能表软件设计流程图		该流程图描述了IC卡预付费电能表的软件逻辑：开始，判断IC卡是否插入，若插入则读卡有效信息，判断卡是否有效，若有效则读IC卡代码，判断代码是否正确，若正确则读卡中电量并更新单元，置卡为无效并提示，判断断路器是否合上，若未合上则合上断路器。另一分支判断电能余额是否小于1kW·h，若小于则驱动蜂鸣器或报警灯，并判断余额是否小于额定值，若小于则切断断路器，最后进行电能计量。

四、计算机网络基本知识

如表 2-71 所示。



表 2-71 计算机网络基本知识

序号	项 目	说 明
1		计 算 机 网 络 含 义 及 其 协 议
1.1	计算机网络的含义	<p>计算机网络是利用通信设备和线路,将地理上分散的具有自主功能的多个计算机系统互相连接起来,在网络协议软件的支持下,实现不同用户对网络硬件、软件和数据资源的共享、可互操作和协作处理的系统</p> <p>计算机网络是计算机及其应用技术与通信技术逐步发展、日益密切结合的产物</p>
1.2	计算机网络的协议	<p>网络协议是为保证计算机网络中不同设备之间彼此通信而制订的必须共同遵循的一系列约定和规则,一般应符合国际标准 ISO 的规定,其中最基本的协议为 TCP/IP 协议</p> <p>TCP/IP 为英文 Transmission Control Protocol/Internet Protocol (传输控制协议/互联网协议)的缩写,是一组符合 ISO 标准的协议,保证互联网络各个功能层次之间的顺利交互联系</p>
2		计 算 机 网 络 的 类 型
2.1	计算机网络按传输距离(地域范围)分类	<p>(1)局域网(Local Area Network,简称 LAN):地域范围较小,如在一座建筑物或一个单位内部,传输距离至多几公里</p> <p>(2)城域网(Metropolitan Area Network,简称 MAN):地域范围为一座城市,传输距离约几十公里</p> <p>(3)广域网(Wide Area Network,简称 WAN):地域范围为若干城市或若干国家,又称“远程网”,传输距离达几千公里以上</p>
2.2	因特网 <sup>①</sup> (Internet)	<p>因特网(Internet)是“全球性计算机网络”的简称,又称“国际互联网”,是世界上最大的广域网,它包括许多小规模局域网、城域网和广域网。因特网遵守 TCP/IP 协议</p> <p>因特网具有以下特点:①广大性:其通信网络覆盖全球;②公众性:世界各地的人们均可利用它来进行通信和资源共享;③平等性:任何人,不论种族、宗教信仰、肤色、服饰及社会地位如何,也不论来自世界上什么地方,不论什么时间,均可参加和使用因特网;④自主性:因特网是一个由各自独立管理的网络互联而成的巨大网络,不存在负责掌管整个因特网的机构或个人,这也是因特网发展迅速的一个重要原因。但是一些政府部门对因特网的使用还是制订了一些法规,以规范其使用行为,促使其健康运行和发展</p>
2.3	WWW	<p>WWW(World Wide Web)即“全球信息网络”,又称“万维网”,是建立在 Internet(因特网)上的全球性的、交互的、动态、多平台、分布式图形信息系统。它的开发最初是为了在科学家之间共享科研成果。现在 WWW 的应用范围已远远超出了原来的设想,成为 Internet 上最受欢迎的应用网络,其出现大大促进了 Internet 的发展</p>

① 我国于 2000 年 12 月颁布了《中华人民共和国电信条例》、《互联网信息服务管理办法》、《互联网站从事登载新闻业务管理暂行规定》和《互联网电子公告服务管理规定》等一系列互联网法规,为互联网的健康运行和发展提供了依据和条件。

# 第三章 供配电系统的电源与负荷

类。公共电源指并入电力系统运行的各类发电厂

## 第一节 供配电系统的电源

### 一、水电站、火电厂和核电站

供配电系统的电源分公共电源和自备电源两大

(1) 水电站一般知识。如表 3-1 所示。

表 3-1 水电站一般知识

序号	项 目	说 明
1		水 电 站 的 类 型 和 特 点
1.1	水电站的类型	<p>(1) 按集中落差的方式分:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 坝坝式水电站,又分坝后式和河床式;</li> <li>2) 引水式水电站,又分有压式和无压式;</li> <li>3) 混合式水电站,兼有上述两种电站特点</li> </ol> <p>(2) 按水流调节程度分:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 径流式水电站,无水流调节;</li> <li>2) 日调节水电站;</li> <li>3) 年(或季)调节水电站;</li> <li>4) 多年调节水电站</li> </ol> <p>(3) 按主机布置位置分:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 地面式水电站,安装发电机组的主厂房建在地面上;</li> <li>2) 地下式水电站,安装发电机组的主厂房建在地面下</li> </ol>
1.2	水电生产的特点及我国水能资源的利用	<p>(1) 初投资较大,但发电成本低。建设水电站需要建设大坝、水库、引水渠等水工建筑物,所以水电建设的初期投资较大。但水力资源属可再生能源,不需昂贵的燃料费用,发电成本低,仅为火电成本的 1/3~1/4</p> <p>(2) 水电机组开停迅速,运行灵活,适于在电力系统中承担调峰、调频和调相的任务,提高电力系统运行的可靠性和经济性</p> <p>(3) 水电属清洁能源,有利于环境保护,改善人民的生活环境</p> <p>(4) 水电建设不只发电,通常还兼有防洪、灌溉、航运、水产养殖和旅游等多种功能,因此其综合效益好</p> <p>我国水能资源十分丰富,居世界首位。据估计,可开发的大中型水电站的总装机容量可达 4 亿 kW,其中西南地区约占 70%,而现在装机容量不到 1 亿 kW。因此,我国水电资源开发的潜力十分巨大,将随着“西部大开发”和“西电东送工程”的实施以及目前世界第一大水电工程三峡电站的分期建设而会出现一个水能开发利用的新局面,大大地促进我国电力事业和国民经济的发展</p>
2		水 电 站 的 组 成 、 出 力 及 能 量 转 换 关 系
2.1	水电站的组成框图	

续表

序号	项 目	说 明
2.2	水电站(堤坝式)结构示意图	<p>1—上游水库；2—进水闸门；3—拦河大坝；4—溢流坝段；5—下游；6—尾水管； 7—蜗壳室；8—水轮机；9—发电机；10—升压变压器；11—进水管；12—拦污栅； 13—起重机；14—水电站厂房；15—高压输电线路</p>
2.3	水工建筑物	主要功能是拦截水流,提高水位,形成有调节能力的水库,泄放调蓄后多余的水量及非正常的洪水,提供运行厂房和水道系统。它包括以下几部分:①壅水建筑物,其核心建筑为大坝;②引水建筑物,包括进水和输水两部分;③泄水建筑物,包括溢洪坝、溢流坝、泄洪隧道及电站的尾水渠道等
2.4	电站厂房	厂房的形式与规模决定于电站的主要参数(如水头、流量、装机容量、机组数及机组类型等)和自然条件(如水文、气象、地形、地质等)以及其他特殊要求。主厂房中安置水轮发电机组等发电动力装置的主要设备。其常见形式有地面户内式、河床式、露天式、地下式、坝内式、溢流式等
2.5	电站出力	水电站出力的计算公式为: $P = 9.81QH\eta = KQH$ 式中 $P$ 为电站出力 (kW); $Q$ 为通过电站的流量 ( $m^3/s$ ); $H$ 为作用于电站的水头 (m); $\eta$ 为电站效率; $K$ 为电站出力系数,一般为 8.0~8.5
2.6	能量转换关系	水电站的能量转换过程如下图所示: 

(2) 火电厂一般知识。如表 3-2 所示。

表 3-2 火电厂一般知识

序号	项 目	说 明
1		火 电 厂 的 分 类
1.1	按燃料类别分类	(1) 燃煤式火电厂,其燃料为煤 (2) 燃油式火电厂,其燃料为石化油 (3) 燃气式火电厂,其燃料为天然气等 (4) 废热式火电厂,指利用工业废料如甘蔗渣、木屑等及工业余热或城市垃圾等来发电的发电厂
1.2	按功能分类	(1) 一般火电厂,只生产和供应电能 (2) 热电厂,除生产和供应电能外,还供应热能
1.3	按规模和服务范围分类	(1) 区域性火电厂,其装机容量大,输电距离远,一般建在燃料基地附近。建在煤矿区的电厂,又称“坑口电厂” (2) 地方性火电厂,一般建在负荷中心或其附近,对用户的送电距离短,但燃料需外地供应 (3) 自备电厂,指企业自备电源
1.4	按蒸汽压力分类	(1) 低压电厂,蒸汽初压为 1.5MPa 及以下 (2) 中压电厂,蒸汽初压为 2~4MPa (3) 高压电厂,蒸汽初压为 6~10MPa (4) 超高压电厂,蒸汽初压为 12~14MPa (5) 亚临界电厂,蒸汽初压为 16~18MPa (6) 超临界电厂,蒸汽初压为 22.6MPa 及以上

续表

序号	项 目	说 明
1.5	按原动机分类	(1) 汽轮机火电厂, 一般火电厂和热电厂多为此种类型 (2) 内燃机火电厂, 其中采用柴油机的, 多用作企业自备电源及缺煤、缺水地区的孤立电站; 采用汽油机的, 一般用于小型移动电站; 采用煤气机的, 利用煤气发电, 一般容量较小 (3) 燃气轮机火电厂, 其燃气轮机一般作事故备用、调峰或临时电源, 亦可作为基本负荷电源, 适用于缺水地区。燃气轮机通常与蒸汽轮机组成燃气—蒸汽联合循环发电厂, 是高效、低污染火电厂的发展方向之一
2	火 电 厂 的 组 成 及 能 量 转 换 关 系	
2.1	燃煤式火电厂的组成及生产流程示意图	
2.2	火电厂的组成部分	(1) 燃料系统: 指完成燃料的输送、储存、制备的系统。燃煤电厂具有煤场、送煤带、煤斗、磨煤机等设备。燃油电厂备有油罐、油泵及输油管道等设备 (2) 燃烧系统: 指完成燃料燃烧过程、使燃料化学能转化为蒸汽热能的系统, 主要包括锅炉炉膛、送风机、排风机、除尘器、除灰设施及烟囱等 (3) 汽水系统: 指完成蒸汽热能转化为机械能的系统, 主要有锅炉的汽水部分、汽轮机及凝汽器和循环水系统等 (4) 电气系统: 指完成机械能转化为电能的系统, 主要有发电机、主变压器、开关设备和母线、送电线路等 (5) 监控系统: 指完成整个电厂生产过程中各种参数测量及自动监控操作的系统, 包括各种测量仪表、继电保护和自动装置
2.3	火电厂的能量转换关系	火电厂的能量转换过程如下图所示:
3	火 电 生 产 的 特 点 及 其 规 划 要 求	
3.1	火电生产的特点	(1) 与相同容量的水电站相比, 火电厂的建设工期短, 工程造价低, 投资回收快, 厂址选择也比较灵活 (2) 火电厂要消耗大量燃料, 所以发电成本高, 而且对环境要造成一定程度的污染, 因此火电厂的建设要受环保的制约

续表

序号	项 目	说 明
3.2	我国的燃料资源状况及火电建设规划要求	<p>火力发电所用的燃料主要为煤炭、石油和天然气等。而我国的煤炭资源相当丰富，其储量仅次于前苏联和美国，居世界第三位；原煤年产量，已居世界首位。石油和天然气的储量也比较丰富，特别是在我国西部地区。随着“西部大开发”和“西气东送工程”的实施，我国火电建设的潜力可以得到更好的发挥</p> <p>按照我国的规划，21世纪初我国能源发展的重点目标，仍以电力为中心，以煤炭为基础，大力开发石油和天然气，积极发展核电及其他新能源和可再生能源</p> <p>火电建设的重点是煤炭基地坑口电厂的建设。当然坑口电厂所在的煤炭基地，应有足够的可采储量和可靠的开采量，应能连续供应坑口电厂规划容量所需燃煤30年及以上。坑口电厂可以燃烧低热值煤和低质原煤、褐煤，从而降低发电成本</p> <p>对于远离煤区的火电厂，宜采用高热值的动力煤</p> <p>对位于酸雨控制区或二氧化硫污染控制区特别是大城市附近的火电厂，应采用低硫煤或对原煤先进行脱硫处理</p> <p>火电建设必须遵守《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国海洋环境保护法》等的规定，切实采取措施，减小火电厂排出的废气、废水、废渣、噪声和排水对环境的影响。各项有害物的排放必须符合环保及劳动安全和工业卫生的有关规定</p> <p>对污染环境严重的低效小火电厂已陆续关停</p>

(3) 核电站一般知识。如表 3-3 所示。

表 3-3 核电站一般知识

序号	项 目	说 明
1		核 电 站 的 基 本 组 成 和 反 应 堆 的 主 要 类 型
1.1	核电站的基本组成	<p>(1) 核岛：它是核电站的主体，其作用是利用核能来产生蒸汽。核岛一般由反应堆厂房（安全壳）、反应堆辅助厂房以及设置在厂房内的系统和设备所组成</p> <p>(2) 常规岛：它是核电站中利用核岛所产生的蒸汽进行电力生产的系统和设备。常规岛主要由核汽轮发电机组及其厂房以及设置在厂房内的蒸汽—电力转换系统等所组成</p> <p>(3) 电站配套设施：指除核岛和常规岛以外的核电站建、构筑物和设备、系统等</p>
1.2	核反应堆概述	<p>核反应堆是以可控方式实现自持的链式裂变反应或核聚变反应的装置，可分裂变堆和聚变堆两大类型，但目前世界上已建成和运行的反应堆均为裂变堆。聚变堆尚在研究阶段。裂变堆通常由堆芯、反射层和屏蔽层三部分组成。堆芯是反应堆的核心，可控和自持的链式裂变反应就在此区域内进行，它具有很强的放射性，因此又称“活性区”。反射层是围绕堆芯周围用来反射从堆芯中泄漏出来的部分中子的材料。屏蔽层在反射层外面，用来屏蔽或减弱来自堆芯的中子和<math>\gamma</math>射线</p>
1.3	反应堆的主要类型	<p>(1) 石墨慢化反应堆：它是采用石墨作慢化剂的反应堆。它又分气冷堆和水冷堆两种类型：①石墨气冷堆型，是英、法于二十世纪 60~70 年代首先采用的，以天然铀为燃料，石墨为慢化剂，<math>\text{CO}_2</math> 气体为冷却剂。这种堆型体积大，造价高，现已被淘汰，代之而起的是高温气冷堆，用 2.5%~3% 时低浓缩铀作燃料，仍以石墨作慢化剂，氦气作冷却剂，这是一种具有发展前途的新型先进反应堆。我国已建有一座高温气冷堆投入试运行；②石墨水冷堆型，这是前苏联开发的以轻水作冷却剂的石墨慢化反应堆。1986 年 4 月发生严重核事故的切尔诺贝利核电站采用的就是该类型反应堆。事故发生后已停止发展这种类型核电站，该核电站也已于 2000 年底全面关闭</p> <p>(2) 轻水堆：用高压轻水（即普通水）作慢化剂和冷却剂，以 2%~3% 低浓缩铀作燃料。它又分沸水堆和压水堆两种类型：①沸水堆型，水在反应堆内要直接沸腾变为蒸汽，直接用来推动汽轮机，带动发电机发电；②压水堆型，水在反应堆内不沸腾。它有两个回路，其一回路的水流经反应堆，将堆内的热量带往蒸汽发生器，与通过蒸汽发生器的二回路中的水交换，使二回路的水加热变为高压蒸汽，推动汽轮机，带动发电机发电。目前世界上的核电站，85% 以上为轻水堆型，其中绝大多数又为压水堆型，我国现已建成的大亚湾核电站和秦山核电站均为压水堆型</p> <p>(3) 重水堆：用重水（<math>\text{D}_2\text{O}</math>，含氘的水）作慢化剂和冷却剂，用天然铀作燃料。这种反应堆的燃料成本较低，但重水价昂，且对重水系统要求严密，设备较复杂，所以造价较高。加拿大发展此种堆型；我国秦山核电站第三期扩建的两座 <math>2 \times 70</math> kW 反应堆也是这种重水堆</p> <p>(4) 快中子增殖堆：简称“快堆”，是利用快中子来实现可控链式裂变反应和核燃料增殖的反应堆。这种反应堆不用慢化剂。反应堆内绝大部分都是快中子，容易为反应堆周围的铀 238 所吸收，使铀 238 转变为可裂变的钚 239。这种反应堆可在 10 年左右使核燃料钚 239 比初装量增殖 20% 以上，但初投资费高。快堆发展已有 50 多年历史，国外已有一些快堆在试运行，被认为是核电的一个发展方向。我国现正在建造一座热功率 65MW、发电功率 20MW 的实验性快堆</p>

续表

序号	项目	说明
2		压水堆型核电站的组成及其中主要设备
2.1	压水堆型核电站的组成示意图	
2.2	压水堆核电站的组成部分及其中主要设备	<p>(1) 核岛：主要部件为核反应堆、压力容器（压力壳）、蒸汽发生器、主循环泵、稳压器及相应的管道、阀门等组成的一回路系统</p> <p>(2) 常规岛：包括由蒸汽发生器的二次侧、汽轮发电机组、凝汽器、给水泵及相应的管道、阀门等组成的二回路系统</p> <p>(3) 电站配套设施。主要包括：①反应堆控制系统和紧急停堆系统；②堆芯应急冷却系统；③安全壳顶部设置的冷水喷淋系统；④容积控制系统，主要用于调节主冷却剂的含硼量及容积变化；⑤化学控制系统，主要用于控制一回路冷却剂的含氧量和pH值，抑制有关设备和材料的腐蚀；⑥其他系统，例如余热导出系统、冷却剂净化系统、三废（废气、废液、废渣）处理系统等</p>
3		核电站的安全运行及能量转换关系
3.1	核电站的安全运行	<p>为确保核电站的安全运行，必须阻止核燃料中的大量放射性物质释放到周围环境中去。通常核电站对核燃料及有关部分设置了三道严密可靠的屏障（参看右图）：</p> <p>(1) 第一道屏障：为核燃料包壳，用锆合金管或不锈钢管制成。核燃料芯密封于包壳内</p> <p>(2) 第二道屏障：为压力壳，是一回路系统的承压边界，其功能是在第一道屏障万一损坏，放射性物质泄漏到水中时也仍然密封在一回路中，受到压力壳的屏障。压力壳由一层相当厚的合金钢板制成，例如30万kW的压水堆型电站，压力壳壁厚在160mm以上，90万kW的则超过200mm</p> <p>(3) 第三道屏障：为安全壳，即反应堆厂房。它是一座顶部呈球面的预应力钢筋混凝土建筑物，其壁厚约1m，内衬6~7mm厚的钢板。一回路的设备均装设在安全壳内，具有良好的密封性能，即使在严重事故情况下例如一回路管道损坏在遭遇地震等，也能确保放射性物质不致外泄，不会使核电站周围环境受到核放射污染</p> <p>为保证核电站的安全运行，核电站还制订有一些安全制度和应急措施。因此核电站是有足够安全保障的，核能发电是一种安全、清洁和经济的能源。所以我国从20世纪80年代起就确定了“适当发展核电”的方针。我国在沿海地区兴建的秦山核电站和大亚湾核电站已安全运行多年</p>
3.2	核电站的能量转换关系	<p>核电站的能量转换过程如下图所示：</p> <pre>             核能 → 核反应堆 → 热能 → 汽轮机 → 机械能 → 发电机 → 电能         </pre>

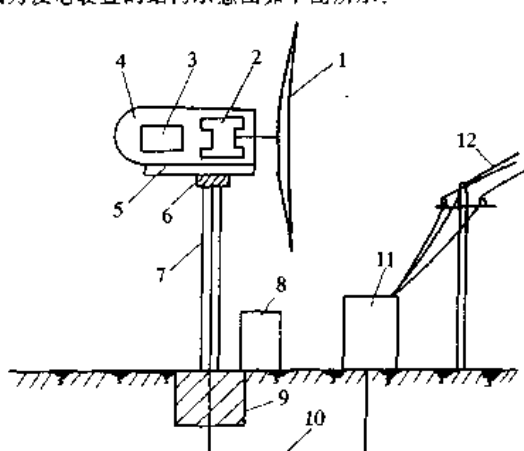
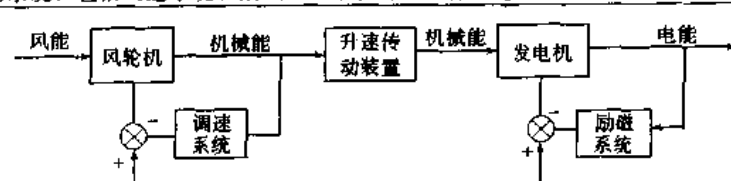
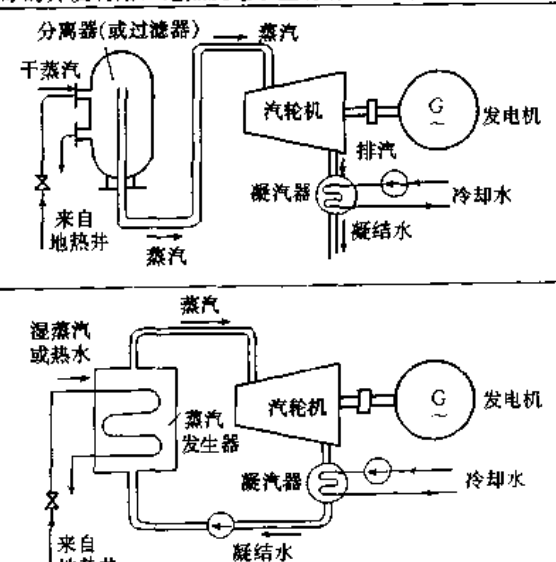
## 二、风力发电、地热发电及太阳能发电简介

如表 3-4 所示。

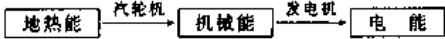
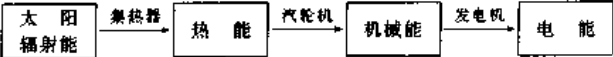
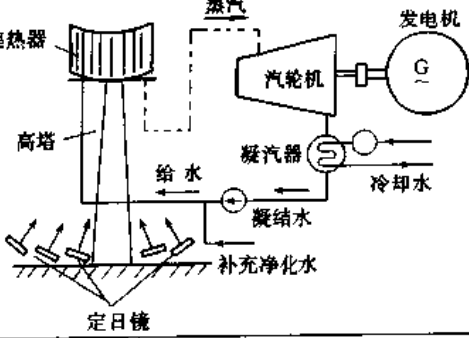
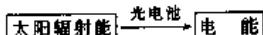
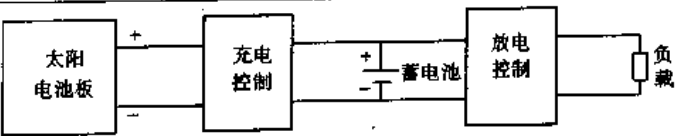
表 3-4 风力发电、地热发电及太阳能发电简介

序号	项目	说明
1		风 力 发 电
1.1	风力发电的特点及我国风力资源的利用	<p>(1) 风能（即风力的动能）是一种取之不尽的清洁、价廉和可再生的能源，但其能量密度较小，因此风轮机的体积较大，造价较高，而单机容量也不能做得很大</p> <p>(2) 风能又是一种随机性和不稳定性的能源，因此利用风力发电时必须与一定的蓄能方式相结合，才能实现连续供电</p> <p>我国的内蒙古、甘肃和青藏高原，风力资源比较丰富，已安装了一些小型风力发电装置。随着风力发电装置的进一步改善，在西部大开发的战略决策推动下，风力发电事业将在 21 世纪获得快速的发展</p>

续表

序号	项目	说明
1.2	风力发电装置结构示意图	<p>风力发电装置的结构示意图如下图所示：</p>  <p>1—风轮(转子); 2—升速装置; 3—发电机; 4—感受元件、控制装置、离合器、制动装置、防雷保护等; 5—底板和外罩; 6—改变方向的驱动装置; 7—支持铁塔; 8—监测仪器、继电保护等; 9—基础; 10—电缆; 11—电力变压器和开关设备; 12—送电线路</p>
1.3	风力电站的组成部分	<p>(1) 能量转换装置：包括风轮机和发电机等，有的在风轮机与发电机之间还装有升速传动装置                  (2) 蓄能装置：为保证连续供电而设，有抽水蓄能、压缩空气蓄能、飞轮蓄能、风力致热蓄能、蓄电池蓄能等多种蓄能方式                  (3) 控制系统：包括调速系统、励磁调节系统等，以保证电能的频率和电压稳定</p>
1.4	能量转换关系	
2	<b>地 热 发 电</b>	
2.1	地热发电的特点及我国地热资源的利用	<p>(1) 地热发电的热效率不高，但不消耗燃料，运行费用低                  (2) 地热发电不象火力发电那样要排放大量灰尘和烟雾，因此地热还是属于比较清洁的能源；但地下热水和蒸汽中大多含有硫化氢、氨、砷等有害物质，因此对其排出的热水要妥善处理，以免污染环境                  地热是地表下面 10km 以内储存的天然热源，主要来源于地壳内的放射性元素蜕变过程所产生的热量。我国的地热资源比较丰富，特别在我国的西藏地区。我国最大的地热电站就建在西藏羊八井地区，已有 9 台机组并网发电，最大的单机容量达 3180kW。随着西部大开发战略的实施，我国的地热资源将得到更好的开发利用，地热发电事业将有一个更大的发展</p>
2.2	地热电站的发电方式	 <p>蒸汽型(单回路)</p> <p>热水型(双回路)</p>

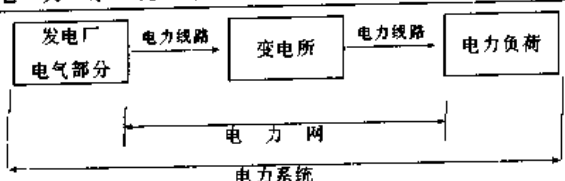
续表

序号	项 目	说 明
2.3	能量转换关系	
3	太 阳 能 发 电	
3.1	太阳能发电的特点及我国的太阳能资源	<p>太阳能发电包括利用太阳光能发电和利用太阳热能发电两种方式</p> <p>太阳能是一种十分安全、经济、清洁、没有污染而且是取之不尽的能源。我国的太阳能资源也比较丰富，特别是我国的西藏、新疆、内蒙古等地区，年日照天数达250~300天，属太阳能丰富区。我国的80%地区（除四川、贵州等阴雨天较多的地区外）均可利用太阳能发电</p>
3.2	能量转换关系	
	集中型高塔式太阳能热电站示意图	
	分散型太阳能热电站	<p>电站在许多集热单元，通过热交换器，给水加热，使之变为蒸汽，然后将蒸汽集中起来，用来推动汽轮机，带动发电机发电</p>
	盐池式太阳能热电站	<p>利用天然盐池收集太阳能，用以给水加热并发电</p>
3.3	能量转换关系	
	太阳能发电系统的组成	 <p>(1) 太阳能电池板：根据负载所需电压和电流，由多个太阳电池串并联而成。太阳电池有晶体硅太阳电池、薄膜非晶硅或砷化镓或硫化镉等太阳电池和多结层叠型太阳电池等类型</p> <p>(2) 蓄电池：主要供储存电能用。太阳能发电系统要求蓄电池具有下列特性：①深循环时具有高循环寿命；②低维护要求；③充电效率高；④自放电小；⑤在工作温度范围内特性变化小；⑥工作可靠。常用的蓄电池有铅酸蓄电池和镍镉蓄电池</p> <p>(3) 充电控制单元：其作用，一是利用二极管来防止无日照时蓄电池对太阳能电池板放电；二是防止太阳能电池板对蓄电池过充电。当蓄电池电压超过设定值时，限制流入蓄电池的电流</p> <p>(4) 放电控制单元：检测蓄电池的电压，当电压低于一定值时限制蓄电池进一步放电，以延长蓄电池的寿命</p>

### 三、电力系统及其中性点运行方式

如表 3-5 所示。

表 3-5 电力系统及其中性点运行方式

序号	项 目	说 明
1	电 力 系 统 与 电 力 网 概 念	
1.1	电力系统与电网(电网)的组成	



续表

序号	项 目	说 明
1.2	电力系统组成示意图	
1.3	建立大型电力系统(联合电网)的功用和优越性	<p>(1) 可更经济合理地利用动力资源, 首先是充分利用水力资源及其他清洁、价廉、可再生的能源</p> <p>(2) 可以减少电能损耗、降低发电成本</p> <p>(3) 可以更好地保证电能质量, 大大提高供电可靠性</p>
2	电 力 系 统 的 中 性 点 运 行 方 式	
2.1	电力系统中性点运行方式的分类	<p>(1) 中性点非直接接地系统(又称“小接地电流系统”或“中性点非有效接地系统”), 包括:</p> <p>1) 中性点不接地系统, 如下左图所示</p> <p>2) 中性点经阻抗(包括经消弧线圈)接地系统, 如下中图所示</p> <p>(2) 中性点直接接地系统(又称“大接地电流系统”或“中性点有效接地系统”), 如下右图所示</p>
2.2	中性点非直接接地系统(小接地电流系统)的运行特点	<p>(1) 当发生一相接地故障时, 其三相电压无论其相位和量值均维持不变。因此该系统中的三相用电设备仍可照常运行。但是这种故障系统, 不允许长期运行, 以免在另一相又发生接地故障时形成两相接地短路, 这时将产生很大的短路电流, 可能损坏线路和设备。因此这种系统中应装设专门的绝缘监视装置(参看表 8-10) 或单相接地保护(参看表 7-17), 以便在发生一相接地时, 发出报警信号, 通知运行值班员注意和处理。如一时检修不好, 应将重要负荷转移, 并切除故障线路</p> <p>(2) 当发生一相接地故障时, 另两个完好相的对地电压要升高为正常时对地电压(即相电压)的 <math>\sqrt{3}</math> 倍, 即升高到线电压</p>
2.3	中性点直接接地系统(大接地电流系统)的运行特点	<p>(1) 当发生一相接地故障时, 其三相电压的对称关系完全被破坏, 因此该系统中的三相用电设备不能继续运行。由于其单相短路电流很大, 将使线路的保护装置动作, 迅速切除故障线路</p> <p>(2) 当发生一相接地故障时, 另两个完好相的对地电压不会升高, 仍维持为相电压值。因此该系统对线路绝缘水平的要求相对较低。这一特点对 110kV 及以上的高压和超高压电力系统很有技术经济价值, 因为高压电路特别是超高压电器, 其电气绝缘问题是影响电器设计制造的关键问题。电器绝缘要求的降低, 直接降低了电器的造价, 并改善了电器的性能。因此 110kV 及以上的电力系统通常都采取中性点直接接地的运行方式</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.4	电力系统 中性点经消 弧线圈接地的 作用	<p>中性点经消弧线圈 <math>L</math> 接地后，接地点通过的电流为接地电容电流 <math>\dot{I}_C</math> 与经消弧线圈的电感电流 <math>\dot{I}_L</math> 的相量和。由于 <math>\dot{I}_C</math> 与 <math>\dot{I}_L</math> 相互抵消，使接地电流小于生弧电流，接地点不会产生电弧，从而不会出现危险的谐振过电压</p>
2.5	电力系统 中性点运行 方式的应用 范围	<p>综合考虑各种中性点运行方式的优缺点和设备制造的统一规范，我国的有关规范规定：110kV 及以上的系统一般采取中性点有效接地方式（中性点直接接地），而 66kV 及以下的高压系统一般采取中性点非有效接地方式（中性点不接地或经消弧线圈接地）。6~10kV 系统当其单相接地电流大于 30A、20~66kV 系统当其单相接地电流大于 10A 时，则应采取中性点经消弧线圈接地的运行方式。但随着现代化城市电网的发展，普遍以电缆线路取代架空线路，并普遍推行环网结构，而电缆线路在发生单相接地故障时，接地电流较大，且其故障一般不能自行消除，因此有的城市（例如北京市）提出 10kV 配电系统中性点采取低电阻（直接）接地方式</p>

#### 四、低压配电系统的接地型式

如表 3-6 所示。

表 3-6 低压配电系统的接地型式

序号	项 目	说 明
1		低 压 配 电 系 统 按 接 地 型 式 分 类
1.1	TN-C 系 统	
1.2	TN-S 系 统	

续表

序号	项 目	说 明
1.3	TN 系统(三相四线制) TN-C-S 系统	
1.4	TT 系统 (三相四线制)	
1.5	IT 系统 (三相三线制)	
2	低压配电系统各种接地型式的特点及应用范围	
2.1	TN-C 系统的特点和应用范围	<p>特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 中性点直接接地</li> <li>(2) PE 线与 N 线合为一根 PEN 线</li> <li>(3) 设备的外露可导电部分均接 PEN 线 (通常称为“接零”)</li> <li>(4) PEN 线中可有电流通过, 因而可对某些接 PEN 线的设备产生电磁干扰</li> <li>(5) 如 PEN 线断线, 可使接 PEN 线的设备外露可导电部分带电, 而造成人身触电危险</li> <li>(6) 由于 PE 线与 N 线合一, 因而可节约有色金属和节约投资</li> <li>(7) 在发生一相接地故障时, 线路的过电流保护装置动作, 将切除故障线路</li> </ol> <p>应用范围: 在我国低压配电系统中应用最为普遍, 但不适于对安全要求和抗电磁干扰要求高的场所</p>
2.2	TN-S 系统的特点和应用范围	<p>特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 中性点直接接地</li> <li>(2) PE 线与 N 线分开, 设备的外露可导电部分均接 PE 线</li> <li>(3) 由于 PE 线与 N 线分开, PE 线中无电流通过, 因此对接 PE 线的设备不会产生电磁干扰</li> <li>(4) PE 线断开时, 正常情况下不会使接 PE 线的设备外露可导电部分带电, 但在有设备发生一相接壳故障时, 将使其他所有接 PE 线的设备外露可导电部分带电, 而造成人身触电危险</li> <li>(5) 在发生一相对地短路时, 过流保护装置动作, 将切除故障线路</li> <li>(6) 由于 PE 线与 N 线分开, 从而使有色金属消耗量和初投资费增加</li> </ol> <p>应用范围: ①对安全要求较高的场所, 如潮湿易触电的浴池等地及居民生活住所; ②对抗电磁干扰要求高的数据处理、精密检测等实验场所</p>
2.3	TN-C-S 系统的特点和应用范围	<p>特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 中性点直接接地</li> <li>(2) 该系统的前部分全为 TN-C 系统, 而后边有一部分为 TN-C 系统, 有一部分为 TN-S 系统</li> <li>(3) 设备的外露可导电部分接 PEN 线或 PE 线</li> <li>(4) 该系统综合了 TN-C 系统和 TN-S 系统的特点</li> </ol> <p>应用范围: 此系统比较灵活, 对安全要求和抗电磁干扰要求较高的场所采用 TN-S 系统供电, 而其他情况则采用 TN-C 系统供电</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.4	TT 系统的特点和应用范围	<p>特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 中性点直接接地</li> <li>(2) 该系统中无公共 PE 线, 设备的外露可导电部分经各自的 PE 线直接接地</li> <li>(3) 由于各设备的 PE 线之间无电气联系, 因此相互之间无电磁干扰</li> <li>(4) 当系统发生一相接地故障时, 则形成单相短路, 过电流保护装置动作, 切除故障设备</li> <li>(5) 当系统出现绝缘不良引起漏电时, 因漏电流较小不足以使过电流保护装置动作, 从而使漏电设备的外露可导电部分长期带电, 增加了人体触电的危险。因此为保障人身安全, 该系统应装设灵敏的触电保护装置 (参看表 7-44 序号 7)</li> <li>(6) 省去了公共 PE 线, 较 TN 系统经济, 但各设备单独装设 PE 线, 又增加了工作量</li> </ol> <p>应用范围: 适于安全要求及对抗电磁干扰要求较高的场所。国外这种系统应用较普遍, 我国也开始推广应用。GB50096—1999《住宅设计规范》就规定: 住宅供电系统“应采用 TT、TN-C-S 或 TN-S 接地方式”</p>
2.5	IT 系统的特点和应用范围	<p>特点:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 系统中性点不接地, 或经高阻抗 (约 1000Ω) 接地</li> <li>(2) 没有 N 线, 因此不适于接额定电压为系统相电压的单相用电设备, 只能接额定电压为系统线电压的单相用电设备</li> <li>(3) 设备的外露可导电部分经各自 PE 线分别接地</li> <li>(4) 由于各设备的 PE 线之间无电气联系, 因此相互之间无电磁干扰</li> <li>(5) 当系统发生一相接地故障时, 三相用电设备及接线电压的单相设备仍能继续正常运行</li> <li>(6) 应装设单相接地保护装置, 以便在发生一相接地故障时给予报警信号</li> </ol> <p>应用范围: 对连续供电要求较高及有易燃易爆危险的场所宜采用 IT 系统, 特别是矿山、井下等场所</p>

## 五、用户的自备电源

如表 3-7 所示。

表 3-7 用户的自备电源

序号	项 目	说 明
1	备用电源概述	<p>用户的自备电源通常是作为用户一些重要负荷的备用电源, 或称“应急电源”。当用户的正常供电电源 (公共电源) 因故中断供电时, 由自备电源继续给重要负荷供电</p> <p>用户的自备电源主要有:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 应急柴油发电机组</li> <li>(2) 静态交流不停电电源装置 (UPS)</li> </ol> <p>作为小容量的直流备用电源还有蓄电池、干电池</p>
2	应急柴油发电机组的特点	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 起动快, 而且能自动起动, 甚至能自动退出运行。当公共电源中断供电时, 自起动型或全自动化型柴油发电机组均能在 10~15s 内自起动并向重要负荷供电。全自动化型柴油发电机组还能在公共电源恢复供电时自动退出运行</li> <li>(2) 柴油发电机组采用柴油作燃料, 其贮存和运输方便, 较之采用煤为燃料的汽轮发电机组要优越得多; 而且其效率高, 功率范围大, 体积小, 重量轻, 搬运方便, 操作简单, 运行可靠, 便于维修。但柴油发电机组运行时噪声较大, 过载能力较小。综合柴油发电机组的优缺点来说, 作为用户 (特别是高层建筑) 的应急电源, 在需用容量较大时采用柴油发电机组是比较理想的。关于其运行时的噪声问题, 可采取一些措施例如在其排烟口装设消声器、在机房四壁装上吸声板等予以降低</li> </ol>
3	应急柴油发电机组确保的供电范围	<p>应急柴油发电机组确保的供电范围一般为:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 消防设施用电, 如消防水泵、消防电梯、防烟排烟设施、火灾自动报警、自动灭火装置、应急照明、疏散指示标志和电动的防火门、窗、卷帘门等的用电</li> <li>(2) 保安设施、通信、航空障碍灯、电钟等设备用电</li> <li>(3) 高级宾馆、商业、金融大厦中的中央控制室及计算机管理系统用电</li> <li>(4) 大、中型电子计算机室等用电</li> <li>(5) 具有重要政治经济意义场所的部分电力和照明用电</li> </ol> <p>如果机组设置的容量比较富裕或者工程有特殊要求者, 宜将下列负荷也纳入考虑:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 一台生活水泵</li> <li>(2) 一台或部分客梯</li> <li>(3) 污水处理泵</li> <li>(4) 高级宾馆等楼梯及主要通道照明用电</li> <li>(5) 冷冻或冷藏室用电</li> </ol>

续表

序号	项 目	说 明
4	应急柴油发电机组类型及容量和台数的选择	<p>柴油发电机组按启动控制方式分,有普通型、自启动型和全自动化型等类型。作为应急电源,应选择自启动型或全自动化型。自启动型柴油发电机组在公共电源停电时,能自行启动;而全自动化型柴油发电机组,不仅在公共电源停电时能自行启动,而且在公共电源恢复供电时自动退出运行</p> <p>初步设计时,应急柴油发电机组的容量可按用户变压器容量的10%~20%来考虑,但应满足用户的一级负荷和主要二级负荷的要求。例如高层建筑中设置的自备应急发电机组,其容量除了应满足消防设施用电外,还应满足重要场所的动力和照明用电</p> <p>关于机组台数,按照经验,当容量不超过800kW时,宜选用一组;当容量超过800kW时,宜选用两组并联运行</p>
5	柴油发电机组机房的选择布置要求	<p>(1) 应保证柴油发电机组安全可靠地运行,布置紧凑,便于运行维护</p> <p>(2) 机房应有良好的采光和通风,便于废气的排出,而且要符合环保的要求</p> <p>(3) 机房宜靠近重要负荷或配变电所,但不宜设在大型建筑的主体内</p> <p>(4) 机房包括其控制室不应设在厕所、浴室附近及低洼积水场所或其正下方和贴邻</p> <p>(5) 机房设在地下室时,应解决好防潮、通风、排烟、消声、减振及设备吊装、搬运等问题</p>
6	静态交流不停电电源装置(UPS)的组成原理	<p>静态交流不停电电源装置亦称“交流不间断电源”(Uninterruptible Power Supply,简称UPS)。UPS主要由整流器(符号U)、逆变器(符号UV)和蓄电池组(符号GB)等三部分组成</p> <p>正常时,公共电源交流电源经晶闸管整流器转换为直流,对蓄电池组进行浮充电,同时经逆变器输出优质的交流对重要负荷供电。当公共电网突然停电时,它能自动地切换到蓄电池组,利用蓄电池储能环节放电,经逆变器对重要负荷供电</p> <p>由于UPS与公共电网经过直流储能环节隔离,排除了公共电网的瞬变干扰,且连续不断地供电给重要负荷,从而保证了重要负荷安全可靠地正常运行</p>
7	UPS的特点及其适用范围	<p>静态交流不停电电源装置(UPS)较之旋转型应急电源如柴油发电机组,具有体积小、效率高、占地少、安装方便、无噪声振动、维护费用低、可靠性高等诸多优点,适用于需长期连续运行和具有可靠性高、稳定性和质量优良的交流电源的场所,如电子计算机中心、工业自动化控制中心、电力调度中心、卫星通信、数据传输、空中交通管制中心、机场、隧道和医院等及其他重要场所</p>
8	UPS的常见主接线方案	<p>UPS的主接线方案有两大类型,一类是无旁路电源的UPS;另一类是有旁路电源的UPS</p> <p>无旁路电源的UPS接线简单,但在逆变器故障时即无法继续供电,可靠性差,因此现在已基本上淘汰不用</p> <p>有旁路电源的UPS在逆变器故障时,旁路电源自动投入,可保持对重要负荷的继续供电</p> <p>(1) 单台UPS的主接线方案</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="399 1164 877 1433"> <p style="text-align: center;">旁路电源</p> <p style="text-align: center;">公共电源</p> <p style="text-align: center;">GB</p> <p style="text-align: center;">交流静态开关</p> <p style="text-align: center;">重要负荷</p> <p style="text-align: center;">蓄电池浮充电式</p> </div> <div data-bbox="893 1164 1372 1433"> <p style="text-align: center;">旁路电源</p> <p style="text-align: center;">公共电源</p> <p style="text-align: center;">GB</p> <p style="text-align: center;">交流静态开关</p> <p style="text-align: center;">重要负荷</p> <p style="text-align: center;">蓄电池分离式</p> </div> </div> <p>(2) 并联UPS的主接线方案</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="399 1545 877 1814"> <p style="text-align: center;">旁路电源</p> <p style="text-align: center;">公共电源</p> <p style="text-align: center;">GB</p> <p style="text-align: center;">交流静态开关</p> <p style="text-align: center;">重要负荷</p> <p style="text-align: center;">蓄电池浮充电式</p> </div> <div data-bbox="893 1545 1372 1814"> <p style="text-align: center;">旁路电源</p> <p style="text-align: center;">公共电源</p> <p style="text-align: center;">GB</p> <p style="text-align: center;">交流静态开关</p> <p style="text-align: center;">重要负荷</p> <p style="text-align: center;">蓄电池分离式</p> </div> </div>

## 第二节 电力负荷的分级及其要求

### 一、电力负荷的分级及有关说明

如表 3-8 所示。

表 3-8 电力负荷的分级及有关说明  
(据 GB50052—1995)

序号	项目	说明
1	电力负荷的分级	
1.1	一级负荷	(1) 中断供电将造成人身伤亡者 (2) 中断供电将在政治、经济上造成重大损失者,例如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等 (3) 中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作者,例如重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷 (4) 在一级负荷中,当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应视为特别重要的负荷
1.2	二级负荷	(1) 中断供电将在政治、经济上造成较大损失者,例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等 (2) 中断供电将影响重要用电单位的正常工作者,例如交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷,以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要公共场所秩序混乱者
1.3	三级负荷	不属于一级和二级负荷者
2	负荷分级的意义及有关说明	
2.1	电力负荷分级的意义	电力负荷分级的意义,在于正确地反映电力负荷对供电可靠性要求的界限,以便恰当地选择符合我国实际水平的供电方式,满足我国四个现代化建设的需要,提高投资的效益
2.2	条文中某些词语的说明	(1)“重点企业”,指中央各部委指定的大型骨干企业 (2)“重要原料”,指比较稀缺的工农业原料 (3)“长时间(或较长时间)才能恢复”,是指停电时间即使很短,但影响工作或生产的时间则较实际停电时间长得多 (4)“中断供电”(停电)、分计划停电和事故停电两种。计划停电,事先通知用电部门,因此用电部门可采取措施避免损失或将损失减少到最低限度。条文中是按事故停电的损失来划分负荷等级的

### 二、机械工厂中常用重要电力负荷的级别

如表 3-9 所示。

表 3-9 机械工厂中常用重要电力负荷的级别  
(据 JBJ6--1996)

序号	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
1	炼钢车间	容量为 100t 及以上的平炉加料起重机、浇铸起重机、倾动装置及冷却水系统的用电设备	一级
		容量为 100t 以下的平炉加料起重机、浇铸起重机、倾动装置及冷却水系统的用电设备	二级
		平炉鼓风机、平炉用其他用电设备; 5t 及以上电弧炼钢炉的电极升降机构、倾炉机构及浇铸起重机	二级
		总安装容量为 30MVA 及以上、停电会造成重大经济损失的多台大型电热装置(包括电弧炉、矿热炉、感应炉等)	一级
2	铸铁车间	30t 及以上的浇铸起重机、部重点企业冲天炉鼓风机	二级
3	热处理车间	井式炉专用淬火起重机、井式炉油槽抽油泵	二级
4	锻压车间	锻造专用起重机、水压机、高压水泵、油压机	二级
5	金属加工车间	价格昂贵、作用重大、稀有的大型数控机床及停电会造成设备损坏的,如自动跟踪数控仿形铣床、强力磨床等设备	一级
		价格贵、作用大、数量多的数控机床工部	二级
6	电镀车间	大型电镀工部的整流设备、自动流水作业生产线	二级
7	试验站	单机容量为 200MW 以上的大型电机试验、主机及辅机系统、动平衡试验的润滑油系统	一级
		单机容量为 200MW 及以下的大型电机试验、主机及辅机系统、动平衡试验的润滑油系统	二级
		采用高位油箱的动平衡试验润滑油系统	二级
8	层压制品车间	压机及供热锅炉	二级
9	线缆车间	熔炼炉的冷却水泵、鼓风机、连铸机的冷却水泵、连轧机的水泵及润滑泵、压铅机、压铅机的熔化炉、高压水泵、水压机、交联聚乙烯加工设备的挤压交联冷却、收线用电设备、漆包机的传动机构、鼓风机、漆泵、干燥浸油缸的连续电加热、真空泵、液压泵	二级
10	磨具成型车间	隧道窑鼓风机、卷扬机构	二级
11	油漆树脂车间	2500L 及以上的反应釜及其供热锅炉	二级

续表

序号	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
12	焙烧车间	隧道窑鼓风机、排风机、窑车推进机、窑门关闭机构 油加热器、油泵及其供热锅炉	二级
13	热煤气站	煤气增压机 增压油泵及煤气发生炉鼓风机	一级
		有煤气街的煤气增压机、有高位油箱的增压油泵	二级
		煤气发生炉加煤机及传动机构	二级
14	冷煤气站	鼓风机、排送机、冷却通风机、发生炉传动机构、高压整流器等	二级
15	锅炉房	中压及以上锅炉的给水泵	一级
		有汽动水泵时，中压及以上锅炉的给水泵	二级
		单台容量为 20t/h 及以上锅炉的鼓风机、引风机、二次风机及炉排电机	二级
16	水泵房	供一级负荷用电设备的水泵	一级
		供二级负荷用电设备的水泵	二级
17	空压站	部重点企业单台容量为 60m <sup>3</sup> /min 及以上空压站的空气压缩机、独立励磁机	二级
		离心式压缩机润滑油泵	一级
		有高位油箱的离心式压缩机润滑油泵	二级
18	制氧站	重点企业中的氧压机、空压机冷却水泵、润滑油泵（带高位油箱）	二级
19	计算中心	大中型计算机系统电源（自带 UPS 电源）	二级
20	理化计量楼	主要实验室、要求高精度恒温的计量室的恒温装置电源	二级
21	刚玉、碳化硅冶炼车间	冶炼炉及其配套的低压用电设备	二级
22	涂装车间	电泳涂装的循环搅拌、超滤系统的用电设备	二级

注意：对负荷等级没有明确规定的重要设备及部位，应与工艺部门、建设单位和供电部门等协商确定。

### 三、民用建筑中常用重要电力负荷的级别

如表 3-10 所示。

表 3-10 民用建筑中常用重要电力负荷的级别  
(据 JGJ/T 16-1992)

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
1	高层普通住宅	客梯、生活水泵电力，楼梯照明	二级
2	高层宿舍	客梯、生活水泵电力，主要通道照明	二级
3	重要办公建筑	客梯电力，主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明	一级

续表

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
4	部、省级办公建筑	客梯电力，主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明	二级
5	高等学校教学楼	客梯电力，主要通道照明	二级 <sup>①</sup>
6	一、二级旅馆	经营管理用及设备管理用电子计算机系统电源	一级 <sup>②</sup>
		宴会厅电声、新闻摄影、录像电源、宴会厅、餐厅、娱乐厅、高级客房、康乐设施、厨房及主要通道照明，地下室污水泵、雨水泵电力，厨房部分电力，部分客梯电力	一级
7	科研院所重要实验室		一级 <sup>③</sup>
8	市（地区）级及以上气象台	主要业务用电子计算机系统电源	一级 <sup>④</sup>
		气象雷达、电报及传真收发设备、卫星云图接收机及语言广播电源，天气绘图及预报照明	一级
		客梯电力	二级
9	高等学校重要实验室		一级 <sup>⑤</sup>
10	计算中心	主要业务用电子计算机系统电源	一级
		客梯电力	二级
11	大型博物馆、展览馆	防盗信号电源，珍贵展品展室的照明	一级 <sup>⑥</sup>
		展览用电	二级
12	甲等剧场	调光用电子计算机系统电源	一级 <sup>⑦</sup>
		舞台、贵宾室、演员化妆室照明，舞台机械电力，电声、广播及电视转播、新闻摄影电源	一级
13	甲等电影院		二级
14	重要图书馆	检索用电子计算机系统电源	一级 <sup>⑧</sup>
		其他用电	二级
15	省、自治区、直辖市及以上体育馆、体育场	计时记分用电子计算机系统电源	一级 <sup>⑨</sup>
		比赛厅（场）、主席台、贵宾室、接待室及广场照明，电声、广播及电视转播、新闻摄影电源	一级
16	县（区）级及以上医院	急诊部用房、监护病房、手术部、分娩室、婴儿室、血液病房的净化室、血液透析室、病理切片分析、CT 扫描室、区域用中心血库、高压氧仓、加速器机房和治疗室及配血室的电力和照明，培养箱、冰箱、恒温箱的电源	一级
		电子显微镜电源，客梯电力	二级
17	银行	主要业务用电子计算机系统电源，防盗信号电源	一级 <sup>⑩</sup>
		客梯电力，营业厅、门厅照明	二级 <sup>⑪</sup>

续表

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
18	大型百货商店	经营管理用电子计算机系统电源	一级 <sup>①</sup>
		营业厅、门厅照明	一级
		自动扶梯、客梯电力	二级
19	中型百货商店	营业厅、门厅照明、客梯电力	二级
20	广播电台	电子计算机系统电源	一级 <sup>①</sup>
		直接播出的语言播音室、控制室、微波设备及发射机房的电力和照明	一级
		主要客梯电力、楼梯照明	二级
21	电视台	电子计算机系统电源	一级 <sup>①</sup>
		直接播出的电视演播厅、中心机房、录像室、微波机房及发射机房的电力和照明	一级
		洗印室、电视电影室、主要客梯电力、楼梯照明	二级
22	火车站	特大型站和国境站的旅客站房、站台、天桥、地道的用电设备	一级
23	民用机场	航行管制、导航、通信、气象、助航灯光系统的设施和台站；边检、海关、安全检查设备；航班预报设备；三级以上油库；为飞行及旅客服务的办公用房；旅客活动场所的应急照明	一级 <sup>①</sup>
		候机楼、外航驻机场办事处、机场宾馆及旅客过夜用房、站坪照明、站坪机务用电	一级
		其他用电	二级
24	水运客运站	通信枢纽，导航设施、收发讯台	一级
		港口重要作业区，一等客运站用电	二级
25	汽车客运站	一、二级站	二级
26	市话局、电信枢纽、卫星地面站	载波机、微波机、长途电话交换机、市内电话交换机、文件传真机、会议电话、移动通信及卫星通信等通信设备的电源；载波机室、微波机室、交换机室、测量室、转接台室、传输室、电力室、电池室、文件传真机室、会议电话室、移动通信室、调度机室及卫星地面站的应急照明，营业厅照明，用户电传机	一级 <sup>⑤</sup>
		主要客梯电力，楼梯照明	二级
27	冷库	大型冷库、有特殊要求的冷库的一台氨压缩机及其附属设备的电力，电梯电力，库内照明	二级
28	监狱	警卫照明	一级

- ①仅当建筑物为高层建筑时，其客梯电力、楼梯照明为二级负荷。
- ②此处系指高等学校、科研院所中一旦中断供电将造成人身伤亡或重大政治影响、经济损失的实验室，例如生物制品实验室等。
- ③在面积较大的银行营业厅中，供暂时工作用的应急照明为一级负荷。
- ④该一级负荷为特别重要负荷。
- ⑤重要通信枢纽的一级负荷为特别重要负荷。

### 四、各级电力负荷对供电电源的要求

如表 3-11 所示。

表 3-11 各级电力负荷对供电电源的要求 (据 GB 50052—1995)

序号	项目	说明
1	一级负荷对电源的要求	一级负荷应由两个电源供电；当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏。一级负荷中特别重要的负荷，除由两个电源供电外，尚应增设应急电源，并严禁将其他负荷接入应急供电系统。
2	一级负荷中特别重要负荷电源类别及其选择	可作为特别重要负荷应急的电源有： (1) 独立于正常电源的发电机组 (2) 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路 (3) 蓄电池 (4) 干电池 根据负荷允许中断供电的时间可分别选择下列应急电源： (1) 允许中断供电时间为 15s 以上的供电，可选用快速启动的发电机组 (2) 自投装置的动作时间能满足允许中断供电时间的，可选用带有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路 (3) 允许中断供电时间为毫秒级的供电，可选用蓄电池静止型不间断供电装置、蓄电池机械储能电机型不间断供电装置或柴油机不间断供电装置 应急电源的工作时间，应按生产技术上要求的停车时间考虑。当与自动启动的发电机组配合使用时，不宜少于 10min。
3	二级负荷对电源的要求	二级负荷的供电系统，宜由两回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时，二级负荷可由一回 6kV 及以上专用的架空线或电缆供电。当采用架空线时，可为一回架空线供电；当采用电缆线路时，应采用两根电缆组成的线路供电，其每根电缆应能承受 100% 的二级负荷。
4	三级负荷对电源的要求	三级负荷属非重要负荷，对供电电源无特殊要求。

### 第三节 用电设备组计算负荷的确定

#### 一、计算负荷的含义及其确定方法

如表 3-12 所示。

表 3-12 计算负荷的含义及其确定方法

序号	项目	说明
1		计算负荷与半小时最大负荷
1.1	计算负荷	计算负荷是指通过负荷的统计计算确定的、用来按发热条件选择供配电系统中各元件（包括设备和线路等）的一种负荷值。根据计算负荷选择的电气设备和导线电缆等，如以计算负荷持续运行时，其发热温度不会超过正常允许值。在供配电设计中，通常采用“半小时最大负荷”作为计算负荷。有功计算负荷记作 $P_{30}$ ，无功计算负荷记作 $Q_{30}$ ，视在计算负荷记作 $S_{30}$ ，计算电流记作 $I_{30}$ 。



续表

序号	项目	说明
1.2	半小时最大负荷	半小时最大负荷是指全年中负荷最大的工作班内(这一工作班的最大负荷不是偶然出现的,至少全年内出现过2~3次)消耗电能最大的半小时平均功率,亦称“年最大负荷”。由于导体通过电流达到稳定温升的时间大约为(3~4) $\tau$ , $\tau$ 为发热时间常数,而截面在16mm <sup>2</sup> 以上的导体,其 $\tau$ 均在10min以上,也就是载流导体大约经半小时(30min)后可达到稳定的温升值,因此通常取半小时最大负荷作为计算负荷
2	计算风荷确定的方法	
2.1	需要系数法	利用一个需要系数乘以设备容量即可求得设备的有功计算负荷的一种方法。该方法计算十分简便,它是最早提出的也是至今应用最为普遍的一种方法。但由于需要系数值是根据设备台数较多、容量差别不是很大的一般情况来确定的,未考虑设备容量相差悬殊时少数大容量设备对计算负荷的影响,因此此法较适用于设备台数较多的车间及全厂范围的计算负荷的确定。如果设备台数较少、设备容量又相差悬殊时,宜用下面的“二项式法”
2.2	二项式(系数)法	这是前苏联一位电气工程师1937年首先提出来的,其确定用电设备组有功计算负荷的公式为二项式(参看表3-15序号1.1)。它考虑了设备组中容量最大的几台设备对整个设备组计算负荷的影响,弥补了需要系数法的不足。此法计算也相当简便,至今仍为我国不少设计单位和设计人员所采用。我国现行行业标准JGJ/T16-1992也规定:“用电设备台数较少、各台设备容量相差悬殊时,宜采用二项式法,一般用于支干线和配电屏(箱)的负荷计算。”
2.3	利用系数法	这是前苏联在20世纪中叶提出来的,它先根据利用系数求出各用电设备组在最大负荷班的平均负荷,然后求总的平均利用系数和用电设备的有效台数,并由此查出对应的最大系数,最后由各平均负荷之和乘以最大系数,从而求得总的有功计算负荷。利用系数法对于用电设备组无论台数多少和容量差别大小,计算结果都比较准确。但此法计算繁杂,因此应用不甚普遍。本手册也不拟详细介绍

## 二、按需要系数法确定三相用电设备组的计算负荷

如表3-13所示。常用用电设备组的需要系数和功率因数如表3-14所示。

表3-13 按需要系数法确定三相用电设备组的计算负荷

序号	项目	说明
1	确定一组用电设备的计算负荷	
1.1	有功计算负荷	有功计算负荷(kW)按下式计算: $P_{30} = K_d P_e$ 式中 $K_d$ 为用电设备组的需要系数,查表3-14; $P_e$ 为用电设备组的设备容量(kW)

续表

序号	项目	说明
1.2	无功计算负荷	无功计算负荷(kvar)按下式计算: $Q_{30} = P_{30} \tan \varphi$ 式中 $\tan \varphi$ 为用电设备组平均功率因数角的正切值
1.3	视在计算负荷	视在计算负荷(kVA)按下式计算: $S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos \varphi}$ 式中 $\cos \varphi$ 为用电设备组的平均功率因数
1.4	计算电流	计算电流(A)按下式计算: $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中 $U_N$ 为用电设备组的额定电压值(kV)
2	确定多组用电设备的计算负荷	
2.1	有功计算负荷	有功计算负荷(kW)按下式计算: $P_{30} = K_{\Sigma P} \sum_{i=1}^n P_{30,i}$ 式中 $P_{30,i}$ 为各组用电设备的有功计算负荷(kW); $K_{\Sigma P}$ 为有功负荷同时系数,视具体情况取0.85~0.95
2.2	无功计算负荷	无功计算负荷(kvar)按下式计算: $Q_{30} = K_{\Sigma Q} \sum_{i=1}^n Q_{30,i}$ 式中 $Q_{30,i}$ 为各组用电设备的无功计算负荷(kvar); $K_{\Sigma Q}$ 为无功负荷同时系数,视具体情况取0.9~0.97
2.3	视在计算负荷	视在计算负荷(kVA)按下式计算: $S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$
2.4	计算电流	计算电流(A)按下式计算: $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中 $U_N$ 为用电设备组额定电压(kV)

①用电设备组的设备容量计算方法如表3-13附表所示。

表3-13附表 用电设备组设备容量的计算

序号	项目	说明
1	设备的容量计算公式	一般用电设备组的设备容量为所有运行的设备容量之和(不计备用设备的容量),即 $P_e = \sum_{i=1}^n P_{N,i}$ 式中 $P_{N,i}$ 为各运行设备的额定容量(铭牌容量);但对短时工作设备,必须换算为规定负荷持续率下的容量(参看以下序号2、序号3内容)
2	电焊机设备容量(换算到 $\epsilon = 100\%$ )	$P_e = P_N \sqrt{\epsilon_N} = S_N \cos \varphi \sqrt{\epsilon_N}$ 式中 $P_N, S_N$ 为电焊机在 $\epsilon_N$ 下的铭牌容量; $\epsilon_N$ 为铭牌负荷持续率(计算中用小数)
3	吊车设备容量(换算到 $\epsilon = 25\%$ )	$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{25}}} = 2P_N \sqrt{\epsilon_N}$ 式中 $P_N$ 为吊车电动机在 $\epsilon_N$ 下的铭牌容量; $\epsilon_{25}$ 为25%的负荷持续率(计算中 $\epsilon_{25}, \epsilon_N$ 均用小数值)

表 3-14 常用用电设备组的需要系数和功率因数

序号	用电设备组名称	需要系数 $K_d$	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
1	小批生产的金属冷加工机床	0.16~0.20	0.50	1.73
2	大批生产的金属冷加工机床	0.18~0.25	0.50	1.73
3	小批生产的金属热加工机床	0.25~0.30	0.60	1.33
4	大批生产的金属热加工机床	0.30~0.35	0.65	1.17
5	通风机、水泵、空气压缩机及电动发电机组	0.70~0.80	0.80	0.75
6	非连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.50~0.60	0.75	0.88
7	连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.65~0.70	0.75	0.88
8	锅炉房和机加工、机修、装配等车间的吊车 ( $\epsilon=25\%$ )	0.10~0.15	0.50	1.73
9	铸造车间的吊车 ( $\epsilon=25\%$ )	0.15~0.25	0.50	1.73
10	自动连续装料的电阻炉设备	0.75~0.80	0.95	0.33
11	实验室用小型电热设备(电阻炉、干燥箱等)	0.70	1.00	0
12	工频感应电炉(未带无功补偿装置)	0.80	0.35	2.68
13	高频感应电炉(未带无功补偿装置)	0.80	0.60	1.33
14	电弧熔炉	0.90	0.87	0.57
15	点焊机、缝焊机	0.35	0.60	1.33
16	对焊机、铆钉加热机	0.35	0.70	1.02
17	自动弧焊变压器	0.50	0.40	2.29
18	单头手动弧焊变压器	0.35	0.35	2.68
19	多头手动弧焊变压器	0.40	0.35	2.68
20	单头弧焊电动发电机组	0.35	0.60	1.33
21	多头弧焊电动发电机组	0.70	0.75	0.88
22	生产厂房照明(有天然采光)	0.80~0.90	1.00	0
23	生产厂房照明(无天然采光)	0.90~1.00	1.00	0
24	办公楼照明	0.70~0.80	1.00	0
25	设计室照明	0.90~0.95	1.00	0
26	科研楼照明	0.80~0.90	1.00	0
27	仓库照明	0.50~0.70	1.00	0
28	锅炉房照明	0.90	1.00	0
29	宿舍区照明	0.60~0.80	1.00	0
30	医院照明	0.50	1.00	0
31	食堂照明	0.90~0.95	1.00	0
32	商店照明	0.90	1.00	0
33	学校照明	0.60~0.70	1.00	0
34	展览馆照明	0.70~0.80	1.00	0
35	旅馆照明	0.60~0.70	1.00	0
36	旅馆客房照明	0.35~0.45	1.00	0
37	旅馆其他场所照明	0.50~0.70	1.00	0
38	室外照明, 应急照明	1.00	1.00	0

注意:

(1) 当设备组总台数  $n=1\sim 2$  时, 宜取  $k_d=1$ ;  $n=3\sim 4$  时, 宜取  $k_d=0.9$ 。而单台电动机为  $P_{30}=P_N/\eta$ , 式中  $P_N$  为电动机额定容量,  $\eta$  为电动机额定效率。

(2) 表中所有照明负荷的  $\cos\varphi$  和  $\tan\varphi$  值均按白炽灯照明考虑; 如为其他光源照明时, 则其  $\cos\varphi$  和  $\tan\varphi$  值应按表 3-14 附表确定。

表 3-14 附表 照明设备的  $\cos\varphi$  和  $\tan\varphi$

光源类别	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
白炽灯、卤钨灯	1.00	0
荧光灯(无补偿)	0.55	1.52
荧光灯(有补偿)	0.90	0.48
高压汞灯	0.45~0.65	1.98~1.16
高压钠灯	0.45	1.98
金属卤化物灯	0.40~0.61	2.29~1.29
碘灯	0.52	1.60
氙灯	0.90	0.48

### 三、按二项式法确定三相用电设备组的计算负荷

如表 3-15 所示。部分用电设备组的二项式系数值如表 3-16 所示。

表 3-15 按二项式法确定三相用电设备组的计算负荷

序号	项目	说明
1	确定一组用电设备的计算负荷	
1.1	有功计算负荷	有功计算负荷 (kW) 按下式计算: $P_{30} = bP_x + cP_N$ 式中 $P_x$ 为用电设备组的设备容量 (kW), $P_N$ 为用电设备组中容量最大的 $x$ 台设备容量 (kW), $x$ 值参看表 3-16 及其附注; $b$ 和 $c$ 为二项式系数, 参看表 3-16
1.2	无功计算负荷	无功计算负荷 (kvar) 按下式计算: $Q_{30} = P_{30}\tan\varphi$ 式中 $\tan\varphi$ 为用电设备组平均功率因数角的正切值
1.3	视在计算负荷	视在计算负荷 (kVA) 按下式计算: $S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos\varphi}$ 式中 $\cos\varphi$ 为用电设备组的平均功率因数
1.4	计算电流	计算电流 (A) 按下式计算: $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N}$ 式中 $U_N$ 为用电设备组的额定电压 (kV)
2	确定多组用电设备的计算负荷	
2.1	有功计算负荷	有功计算负荷 (kW) 按下式计算: $P_{30} = \sum_{i=1}^n (bP_x)_i + (cP_x)_{\max}$ 式中 $(cP_x)_{\max}$ 为各组 $cP_x$ 中最大的一组
2.2	无功计算负荷	无功计算负荷 (kvar) 按下式计算: $Q_{30} = \sum_{i=1}^n (bP_x)_i \tan\varphi_i + (cP_x)_{\max} \tan\varphi_{\max}$ 式中 $\tan\varphi_{\max}$ 为 $(cP_x)_{\max}$ 组的 $\tan\varphi$
2.3	视在计算负荷	视在计算负荷 (kVA) 按下式计算: $S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$
2.4	计算电流	计算电流 (A) 按下式计算: $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N}$ 式中 $U_N$ 为用电设备组的额定电压 (kV)

① 不同负荷持续率  $\epsilon$  的设备容量, 必须换算到规定的负荷持续率下的容量才能进行相加运算, 参看表 3-13 附表。

表 3-16 部分用电设备组的二项式系数和功率因数

序号	用电设备组名称	二项式系数		最大容量设备台数 <sup>x</sup>	cosφ	tanφ
		b	c			
1	小批生产的金属冷加工机床	0.14	0.40	5	0.50	1.73
2	大批生产的金属冷加工机床	0.14	0.50	5	0.50	1.73
3	小批生产的金属热加工机床	0.24	0.40	5	0.60	1.33
4	大批生产的金属热加工机床	0.26	0.50	5	0.65	1.17
5	通风机、水泵、空气压缩机及电动发电机组	0.65	0.25	5	0.80	0.75
6	非连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.40	0.40	5	0.75	0.88
7	连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.50	0.20	5	0.75	0.88
8	锅炉房和机加、机修、装配等车间的吊车 (ε=25%)	0.06	0.20	3	0.50	1.73
9	铸造车间的吊车 (ε=25%)	0.09	0.30	3	0.50	1.73
10	自动连续装料的电阻炉设备	0.70	0.30	2	0.95	0.33
11	实验室用小型电热设备	0.70	0	—	1.00	0

\* 当设备台数  $n < 2x$  时,可取  $x = n/2$  (按“四舍五入”修约规则取整数)。当  $n = 1 \sim 2$  时,  $P_{30} = P_N$ 。而单台电动机,则  $P_{30} = P_N/\eta$ ,式中  $\eta$  为电动机的额定效率,  $P_N$  为电动机的额定容量<sup>[11]</sup>。

四、单相负荷的计算

如表 3-17 所示。

表 3-17 单相负荷的计算

序号	项目	说明
1	单相负荷计算概述	(1) 如果三相线路中单相设备总容量不超过三相设备总容量的 15% 时,则单相设备可与三相设备综合按三相负荷平衡计算 (2) 如果三相线路中单相设备总容量超过三相设备总容量的 15% 时,则首先应将单相设备容量换算为等效三相设备容量,再与三相设备容量相加,应用需要系数法计算其计算负荷
2	单相设备接于相电压时的等效三相设备容量计算	其等效三相设备容量 $P_e$ 应按最大负荷相所接单相设备容量 $P_{c,mp}$ 的 3 倍计算,即: $P_e = 3P_{c,mp}$
3	单相设备接于同一线电压时的等效三相设备容量计算	按下式计算: $P_e = \sqrt{3} P_{c,p}$ 式中 $P_{c,p}$ 为单相设备总容量
4	单相设备接于不同线电压时的等效三相设备容量计算	接于不同线电压的单相设备容量 $P_1 > P_2 > P_3$ , 则等效三相设备容量为: $P_e = \sqrt{3} P_1 + (3 - \sqrt{3}) P_2$ $Q_e = \sqrt{3} P_1 \tan\phi_1 + (3 - \sqrt{3}) P_2 \tan\phi_2$
5	单相设备接于线电压的设备容量 $P_{AB}$ 、 $P_{BC}$ 、 $P_{CA}$ 换算为接于相电压上设备容量	将接于线电压的单相设备容量换算为接于相电压的设备容量的公式: $P_A = P_{AB} - AP_{AB} + P_{CA} - AP_{CA}$ $Q_A = Q_{AB} - AP_{AB} + Q_{CA} - AP_{CA}$ $P_B = P_{BC} - BP_{BC} + P_{AB} - BP_{AB}$ $Q_B = Q_{BC} - BP_{BC} + Q_{AB} - BP_{AB}$ $P_C = P_{CA} - CP_{CA} + P_{BC} - CP_{BC}$ $Q_C = Q_{CA} - CP_{CA} + Q_{BC} - CP_{BC}$
		负荷功率因数
		功率换算系数
		$P_{AB}-A$ $P_{BC}-B$ $P_{CA}-C$
		$P_{AB}-B$ $P_{BC}-C$ $P_{CA}-A$
		$Q_{AB}-A$ $Q_{BC}-B$ $Q_{CA}-C$

续表

序号	项目	说明
6	等效三相计算负荷的计算	<p>在接于线电压的单相设备容量换算为接于相电压的设备容量后,分别计算各相的设备容量,并按需要系数法计算其计算负荷,而总的等效三相有功计算负荷取其中最大有功负荷相的有功计算负荷 <math>P_{30,mp}</math> 的3倍,即</p> $P_{30} = 3P_{30,mp}$ <p>总的等效三相无功计算负荷取其中最大有功负荷相的无功计算负荷 <math>Q_{30,mp}</math> 的3倍,即</p> $P_{30} = 3Q_{30,mp}$ <p>关于总的等效三相视在计算负荷和计算电流的计算公式分别同表3-13序号2.3和序号2.4或表3-15序号2.3和序号2.4</p>

续表

### 第四节 企业计算负荷及其年耗电量的计算

#### 一、企业计算负荷的计算方法

如表3-18所示。

表3-18 企业计算负荷的计算方法

序号	项目	说明
1	企业计算负荷的计算方法	
1.1	逐级算法	<p>由用电设备组计算负荷或车间计算负荷的计算开始,逐级往企业的电源进线方向计算。每经过线路或电力变压器后,均应加上线路或电力变压器的功率损耗,但一般中小企业的配电线路不长,其功率损耗可略去不计。在计算并列线路的多个计算负荷时,应乘以小于1的同时系数:</p> <p>(1) 由设备组计算车间配电干线的计算负荷时,取 <math>K_{\Sigma p} = 0.85 \sim 0.95, K_{\Sigma q} = 0.9 \sim 0.97</math></p> <p>(2) 由设备组直接计算变电所低压母线总的计算负荷时,取 <math>K_{\Sigma p} = 0.8 \sim 0.9, K_{\Sigma q} = 0.85 \sim 0.95</math></p> <p>如果装设有无功补偿装置,则在确定补偿装置前面的计算负荷时,应减去补偿容量</p>
1.2	需要系数法	<p>有功计算负荷按下式计算:</p> $P_{30} = K_d P_e$ <p>式中 <math>P_e</math> 为企业总的设备容量(备用设备容量不计); <math>K_d</math> 为企业的需要系数,可查有关设计手册,表3-19列出部分工厂的需要系数值,可供参考</p> <p>其他计算负荷 <math>Q_{30}, S_{30}</math> 和 <math>I_{30}</math> 的计算公式与表3-13序号1.2~序号1.4内容相同</p>
1.3	单位产品耗电量法	<p>利用单位产品耗电量 <math>\alpha</math> 乘以企业的年产量 <math>A</math>,即可求出企业的年耗电量:</p> $W_a = \alpha A$ <p>年耗电量 <math>W_a</math> 除以企业的年最大负荷利用小时 <math>T_{max}</math>,即可求得企业的有功计算负荷:</p> $P_{30} = \frac{W_a}{T_{max}}$ <p>其他计算负荷 <math>Q_{30}, S_{30}</math> 和 <math>I_{30}</math> 的计算公式也与表3-13序号1.2~序号1.4相同</p> <p>表3-20列出部分工业产品的单位耗电量,供参考</p>

序号	项目	说明
1.4	负荷密度法	<p>利用负荷密度(单位面积安装功率) <math>\rho_0</math> 乘以计算区域面积 <math>A</math>,即可求得其计算负荷:</p> $P_{30} = \rho_0 A$ <p>此法亦称“单位面积耗电量法”,主要用于估算照明负荷和生活用电</p> <p>表3-21列出部分用电单位的负荷密度值,供参考</p>
1.5	单位用电指标法	<p>利用单位用电指标 <math>\rho_0</math> (如每人瓦数、每户瓦数或每床位瓦数)乘以单位(人、户或床位)总数 <math>N</math>,即可求得其计算负荷:</p> $P_{30} = \rho_0 N$ <p>此法主要用于估算生活用电、居民住宅和旅店等单位用电</p> <p>表3-22列出部分用电单位的单位用电指标值,供参考</p>
2	电力线路功率损耗的计算	
2.1	线路有功损耗的计算	<p>线路有功功率损耗(kW)按下式计算:</p> $\Delta P_{WL} = 3I_{30}^2 R_{WL} \times 10^{-3}$ <p>式中 <math>I_{30}</math> 为线路的计算电流(A); <math>R_{WL}</math> 为线路每相的电阻(<math>\Omega</math>)</p> <p>电阻 <math>R_{WL} = R_0 l</math>,这里 <math>R_0</math> 为线路单位长度每相电阻值(<math>\Omega/km</math>),可查有关手册(查看表6-59); <math>l</math> 为线路长度(km)</p>
2.2	线路无功损耗的计算	<p>线路无功功率损耗(kvar)按下式计算:</p> $\Delta Q_{WL} = 3I_{30}^2 X_{WL} \times 10^{-3}$ <p>式中 <math>I_{30}</math> 为线路的计算电流(A); <math>X_{WL}</math> 为线路每相的电抗(<math>\Omega</math>)</p> <p>电抗 <math>X_{WL} = X_0 l</math>,这里 <math>X_0</math> 为线路单位长度每相电抗值(<math>\Omega/km</math>),可查有关手册(查看表6-59); <math>l</math> 为线路长度(km)</p>
3	电力变压器功率损耗的计算	
3.1	变压器有功损耗的计算	<p>(1) 基本计算公式为:</p> $\Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \left( \frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ $\approx \Delta P_0 + \Delta P_k \left( \frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ <p>式中 <math>\Delta P_{Fe}</math> 为变压器铁芯损耗(铁损); <math>\Delta P_0</math> 为变压器空载损耗,近似地等于 <math>\Delta P_{Fe}</math>; <math>\Delta P_{Cu}</math> 为变压器绕组损耗(铜损); <math>\Delta P_k</math> 为变压器短路损耗,亦称“负载损耗”,近似地等于 <math>\Delta P_{Cu}</math>; <math>S_N</math> 为变压器额定容量; <math>S_{30}</math> 为变压器计算负荷。式中 <math>S_{30}/S_N = \beta</math>, <math>\beta</math> 称为“变压器负荷率”(下同)</p> <p><math>\Delta P_0</math> 和 <math>\Delta P_k</math> 可查有关产品样本(查看表4-12~表4-18)</p> <p>(2) 近似计算公式为:<sup>[1-41]</sup></p> $\Delta P_T \approx 0.015 S_{30}$ <p>式中 <math>S_{30}</math> 为变压器的视在计算负荷</p>

续表

序号	项目	说明
3.2	变压器无功损耗的计算	<p>(1) 基本计算公式为:</p> $\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_N \left( \frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ $\approx S_N \left[ \frac{I_0\%}{100} + \frac{U_k\%}{100} \left( \frac{S_{30}}{S_N} \right)^2 \right]$ <p>式中 <math>\Delta Q_0</math> 为产生铁芯中主磁通的无功功率损耗; <math>I_0\%</math> 为变压器空载电流对额定一次电流的百分值, 近似地等于产生铁芯中主磁通的励磁电流对额定一次电流的百分值, 故 <math>S_N I_0\% / 100 \approx \Delta Q_0</math>; <math>\Delta Q_N</math> 为额定负荷下变压器一、二次绕组电抗上的无功功率损耗; <math>U_k\%</math> 为变压器短路电压(阻抗电压)对额定一次电压的百分值, 近似地等于变压器一、二次绕组电抗电压降百分值, 故 <math>S_N U_k\% / 100 \approx \Delta Q_N</math>; <math>S_{30}</math> 和 <math>S_N</math> 分别为变压器的计算负荷和额定容量。 <math>I_0\%</math> 和 <math>U_k\%</math> 可查有关产品样本(参看表 4-12~表 4-18)</p> <p>(2) 近似计算公式为: [1-41] <math>\Delta Q_T \approx 0.06 S_{30}</math></p> <p>式中 <math>S_{30}</math> 为变压器的视在计算负荷</p>
4	无功补偿装置及补偿容量计算	
4.1	《供电营业规则》关于用户功率因数要求的规定	<p>电力工业部 1996 年发布的《供电营业规则》规定:</p> <p>用户在当地供电企业规定的电网高峰负荷时的功率因数, 应达到下列规定:</p> <p>100kVA 及以上高压供电的用户功率因数为 0.90 以上</p> <p>其他电力用户和大、中型电力排灌站、趸购转售电企业, 功率因数为 0.85 以上</p> <p>农业用电, 功率因数为 0.80</p> <p>凡功率因数不能达到上述规定的新用户, 供电企业可拒绝接电, 对已送电的用户, 供电企业应督促和帮助用户采取措施, 提高功率因数。对在规定期限内仍未采取措施达到上述要求的用户, 供电企业可中止或限制供电</p>
4.2	GB50052-1995 关于无功补偿装置的选择及其装设要求的规定	<p>GB50052-1995《供配电系统设计规范》规定:</p> <p>(1) 当采用提高自然功率因数措施后, 仍达不到电网合理运行要求时, 应采用并联电力电容器作为无功补偿装置。当经过技术经济比较, 确认采用同步电动机作为无功补偿装置合理时, 可采用同步电动机</p> <p>(2) 采用电力电容器作为无功补偿装置时, 宜就地平衡补偿。低压部分的无功功率宜由低压电容器补偿, 高压部分的无功功率宜由高压电容器补偿。容量较大、负荷平稳且经常使用的用电设备的无功功率宜单独就地补偿。补偿基本无功功率的电容器组, 宜在配变电所内集中补偿。在环境正常的车间内, 低压电容器宜分散补偿</p>
4.3	无功补偿容量的计算公式	<p>无功补偿容量宜按下列公式计算: [1-41]</p> $Q_c = P_{30} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$ <p>式中 <math>P_{30}</math> 为计算负荷; <math>\tan \varphi_1</math> 为对应于补偿前 <math>\cos \varphi_1</math> 的正切; <math>\tan \varphi_2</math> 为对应于补偿后 <math>\cos \varphi_2</math> 的正切</p>

表 3-19 部分工厂的需要系数、功率因数和年最大有功负荷利用小时参考值

序号	工厂类型	需要系数 $K_d$	功率因数 $\cos \varphi$	$\tan \varphi$	年最大有功负荷利用小时
1	汽轮机制造厂	0.38	0.88	0.54	5000
2	锅炉制造厂	0.27	0.73	0.94	4500
3	柴油机制造厂	0.32	0.74	0.91	4500
4	重型机械制造厂	0.35	0.79	0.78	3700
5	重型机床制造厂	0.32	0.71	0.99	3700
6	机床制造厂	0.20	0.65	1.17	3200
7	石油机械制造厂	0.45	0.78	0.80	3500
8	量具刃具制造厂	0.26	0.60	1.33	3800
9	工具制造厂	0.34	0.65	1.17	3800
10	电机制造厂	0.33	0.65	1.17	3000
11	电器开关制造厂	0.35	0.75	0.88	3400
12	电线电缆制造厂	0.35	0.73	0.94	3500
13	仪器仪表制造厂	0.37	0.81	0.72	3500
14	滚珠轴承制造厂	0.28	0.70	1.02	5800

表 3-20 部分工业产品的单位耗电量参考值

序号	工业部门及产品名称	产品单位	单位产品耗电量 (kW·h/产品单位)
1	机 械 工 业		
1.1	重型机床	t	1600
1.2	工作母机	t	1000
1.3	机车	辆	15000~60000
1.4	车厢	辆	1500~15000
1.5	汽车	t	1500~2500
1.6	拖拉机	辆	5000~6000
1.7	联合收割机	台	800~2200
1.8	复式打谷机	台	600
1.9	自行车	辆	25
1.10	电动机	kW	14
1.11	变压器	kVA	2.5
1.12	电力电容器	kvar	3
1.13	电气用瓷绝缘子	t	300~800
1.14	电能表	只	7
1.15	量具刃具	t	6300~8500
1.16	生铁铸件	t	300
1.17	锻件	t	30~80
1.18	人造金刚石	t	2500
1.19	有色金属制造	t	600~1000
2	有 色 冶 金 工 业		
2.1	铝	t	19000~20000
2.2	黑铜	t	1000
2.3	精炼铜	t	450
2.4	镁	t	25000
2.5	矾土	t	300~600
2.6	锌块	t	4000
2.7	镍电介质	t	4000
2.8	火镍	t	6000~8000
2.9	采掘铜矿	t	25~40
2.10	加工铜矿	t	35~40
2.11	石墨电极	t	5000~7000

续表

序号	工业部门及产品名称	产品单位	单位产品耗电量 (kW·h/ 产品单位)
3	黑色冶金工业		
3.1	马丁炉钢	t	10~17
3.2	碳素钢	t	600~1100
3.3	轧制钢材	t	15~150
3.4	钢管	t	40~200
3.5	生铁	t	40~60
3.6	铁矿石	t	12~17
3.7	烧结矿	t	10~16
3.8	焦炭	t	20
3.9	45%的硅铁合金	t	5000
3.10	55%的硅铁合金	t	5500
3.11	70%的硅铁合金	t	8500
3.12	铁铬合金	t	2000~4000
3.13	铁锰合金	t	2000~3000
4	燃料探采工业		
4.1	勘测钻探	m (钻进)	5~30
4.2	开采钻探	m (钻进)	100~150
4.3	透平钻探	m (钻进)	200~250
4.4	用压缩机开采石油	t	90~110
4.5	开采深处石油	t	10~35
4.6	精炼石油	t	5~50
4.7	无烟煤	t	16~17
4.8	褐煤	t	10~12
5	建筑与建材工业		
5.1	大批建造时不同钢筋含量的钢筋混凝土	m <sup>3</sup>	9.5~15
5.2	挡土墙用的钢筋混凝土	m <sup>3</sup>	5.5~8
5.3	空心结构的钢筋混凝土	m <sup>3</sup>	7~8.5
5.4	冲洗砂质土壤(水压为50m时)	m <sup>3</sup> (被冲洗土壤)	3~5
5.5	冲洗砂质粘土(水压为50m时)	m <sup>3</sup> (被冲洗土壤)	4~9
5.6	木结构	m <sup>3</sup> (木材)	17
5.7	安装金属结构(铆接)	t	140
5.8	用排锯锯木材	m <sup>3</sup> (成材)	9~18
5.9	机械加工细致的木制品	m <sup>3</sup> (木材)	85
5.10	水泥	t	40~120
5.11	玻璃	t	60~150
6	轻工、化工和食品工业		
6.1	纺纱	t	40
6.2	棉织物	—百万纬纱	50~80
6.3	漂白品	t	130~320
6.4	着色品	t	235

续表

序号	工业部门及产品名称	产品单位	单位产品耗电量 (kW·h/ 产品单位)
6.5	毛织物	t	3000
6.6	橡胶鞋	—千双	750
6.7	靴鞋	—千双	400
6.8	普通纸	t	400~800
6.9	木浆	t	1000
6.10	纤维(煮沸)	t	60~250
6.11	灰色硬纸	t	100
6.12	上等纸板	t	1400
6.13	硝酸	t	50~500
6.14	硫酸	t	70~120
6.15	硫酸(塔式制法)	t	40~70
6.16	氨	t	300~2300
6.17	酚	t	400~600
6.18	电石	t	3000~3500
6.19	橡胶制品	t	250~400
6.20	中等压力的压缩空气	m <sup>3</sup>	0.1
6.21	氟	m <sup>3</sup>	2~2.5
6.22	面粉(磨粉)	t	20~60

表 3-21 部分用电单位的负荷密度参考值

序号	建筑类别	负荷密度
1	旅游宾馆	65~80W/m <sup>2</sup>
2	一般住宅	5.91~10.7VA/m <sup>2</sup>
3	中等家庭公寓	10.75~16.14VA/m <sup>2</sup>
4	高级家庭公寓	21.52~26.5VA/m <sup>2</sup>
5	豪华家庭公寓	43.04~64.5VA/m <sup>2</sup>
6	宾馆锅炉房	4.5~5.9W/m <sup>2</sup>
7	宾馆冷冻机房	15~19W/m <sup>2</sup>
8	宾馆水泵房	1.2W/m <sup>2</sup>
9	宾馆电梯房	1.4W/m <sup>2</sup>
10	宾馆洗衣机房	1.3W/m <sup>2</sup>
11	宾馆厨房	0.9W/m <sup>2</sup>
12	办公楼	80.7~107.6VA/m <sup>2</sup>
13	商场	14.5~215VA/m <sup>2</sup>
14	餐厅	204~247VA/m <sup>2</sup>
15	保龄球场	75.4~86VA/m <sup>2</sup>
16	电影院	1.61~1.72VA/m <sup>2</sup>
17	铸造车间	55~60W/m <sup>2</sup>
18	焊接车间	40W/m <sup>2</sup>
19	机加车间	100W/m <sup>2</sup>
20	木工车间	60W/m <sup>2</sup>
21	工具车间	100~120W/m <sup>2</sup>
22	工业锅炉房与空压站	150~200W/m <sup>2</sup>

表 3-22 部分用电单位的单位用电指标参考值

序号	用电单位	单位指标
1	普通住宅 (北京)	370~433W/户
2	普通高层住宅 (北京)	480~526W/户
3	中级住宅 (北京)	3500W/户
4	高级住宅 (北京, 无电灶)	4500W/户
5	高级住宅 (北京, 有电灶)	5800W/户
6	北京市西苑饭店	12.3kVA/套房
7	广州市白云宾馆	3.9kVA/房间
8	西安市西安宾馆	4kVA/床
9	深圳市上海宾馆	4.3kVA/床
10	旅游宾馆 (推荐值)	2~2.4kW/床

二、企业供配电系统的电能损耗和年耗电量计算

如表 3-23 所示。

表 3-23 企业供配电系统的电能损耗和年耗电量计算

序号	项目	说明
1	企业供配电系统电能损耗的计算	
1.1	线路电能损耗的计算	<p>线路的年电能损耗按下式计算：  <math display="block">\Delta W_a = 3I_{30}^2 R_{WL} \tau</math>                     式中 <math>I_{30}</math> 为线路的计算电流；<math>R_{WL}</math> 为线路每相的电阻；<math>\tau</math> 为年最大负荷损耗小时，可利用年最大负荷利用小时 <math>T_{max}</math> 和线路负荷功率因数 <math>\cos\varphi</math> 去查 <math>\tau-T_{max}</math> 曲线求得</p> <p style="text-align: center;"><math>\tau-T_{max}</math> 关系曲线</p>
1.2	变压器电能损耗的计算	<p>变压器的年电能损耗按下式计算：  <math display="block">\Delta W_a \approx \Delta P_0 \times 8760 + \Delta P_k \beta^2 \tau</math>                     式中 <math>\Delta P_0</math> 为变压器的空载损耗；<math>\Delta P_k</math> 为变压器的短路损耗；<math>\beta = S_{30}/S_N</math> 为变压器的负荷率 (参看表 3-18 序号 3.1)；<math>\tau</math> 为年最大负荷损耗小时，由 <math>\tau-T_{max}</math> 曲线查得</p>
2	企业年耗电量的计算	
2.1	年耗电量估算	<p>(1) 利用企业的年产量及其产品的单位耗电量进行估算，如表 3-18 序号 1.3 所述                      (2) 利用企业的生产区域面积及其负荷密度 (单位面积耗电量) 进行估算，如表 3-18 序号 1.4 所述                      (3) 利用企业单位用电指标 (每人、每户或每床位用电瓦数) 及单位 (人、户或床位) 总数进行估算，如表 3-18 序号 1.5 所述                      以上 (2)、(3) 所估算的 <math>P_{30}</math>，乘以其年最大负荷利用小时 <math>T_{max}</math>，即得其年耗电量</p>

续表

序号	项目	说明
2.2	年耗电量较精确计算	<p>利用企业的有功和无功计算负荷 <math>P_{30}</math> 和 <math>Q_{30}</math> 按下式计算：                      年有功电能消耗量 <math>W_{p,30} = \alpha P_{30} T_a</math>                      年无功电能消耗量 <math>W_{q,30} = \beta Q_{30} T_a</math>                      式中 <math>\alpha</math> 为年平均有功负荷系数，一般取 0.7~0.75；<math>\beta</math> 为年平均无功负荷系数，一般取 0.76~0.82；<math>T_a</math> 为企业年实际工作时数，一班制可取 2300h，两班制可取 4600h，三班制可取 6900h</p>

第五节 尖峰电流及其计算

一、尖峰电流的概念

如表 3-23 所示。

表 3-23 尖峰电流的概念

序号	项目	说明
1	尖峰电流的含义	尖峰电流是指持续时间只有 1~2s 的短时最大负荷电流，例如电动机的启动电流
2	尖峰电流的应用	尖峰电流主要用来选择熔断器和低压断路器 (自动开关)、整定继电器保护装置及检验电动机自启动条件等

二、尖峰电流的计算

如表 3-24 所示。

表 3-24 尖峰电流的计算

序号	项目	说明
1	单台用电设备尖峰电流的计算	<p>单台用电设备的尖峰电流即其启动电流，按下式计算：  <math display="block">I_{pk} = I_a = K_a I_N</math>                     式中 <math>I_{pk}</math> 为尖峰电流；<math>I_a</math> 为设备的启动电流；<math>I_N</math> 为设备的额定电流；<math>K_a</math> 为设备时启动电流倍数，对笼型电动机 <math>K_a = 5 \sim 7</math>，绕线转子电动机 <math>K_a = 2 \sim 3</math>，直流电动机 <math>K_a \approx 1.7</math>，电焊变压器 <math>K_a \geq 3</math></p>
2	多台用电设备尖峰电流的计算	<p>配电给多台用电设备的干线上的尖峰电流按以下两式之一计算：                      (1) 按其中一台启动电流 (<math>I_a</math>) 与额定电流 (<math>I_N</math>) 之差为最大的那台设备的启动电流 <math>I_{a,max}</math> 与其他 <math>n-1</math> 台设备正常工作电流之和来计算：  <math display="block">I_{pk} = K_z \sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i} + I_{a,max}</math>                     式中 <math>K_z</math> 为除去 <math>I_{a,max}</math> 那台设备的其他 <math>n-1</math> 台设备的同时系数，一般视具体情况选取，通常 <math>K_z = 0.7 \sim 1</math>                      (2) 按全部 <math>n</math> 台设备正常运行的计算电流 <math>I_{30}</math> 与其中一台启动电流与额定电流之差值为最大的设备的 (<math>I_a - I_N</math>)<sub>max</sub> 之和来计算：  <math display="block">I_{pk} = I_{30} + (I_a - I_N)_{max}</math></p>

# 第四章 供配电系统的主要电气设备

续表

## 第一节 电气设备及其使用条件概述

### 一、电气设备的含义、类别及其一般要求

如表 4-1 所示。

表 4-1 电气设备的含义、类别及其一般要求

序号	项 目	说 明
1	电气设备及电器的含义	
1.1	电气设备的含义	电气设备是指用于发电、输电、变电、配电和用电的所有设备,包括发电机、变压器、控制电器、保护装置、测量仪表、线路器材、电动机及其他电气用具等
1.2	电器的含义	电器泛指用电的器具,包括用于对电路进行接通、分断,对电路参数进行变换,以实现对接电路或用电设备的控制、调节、切换、检测和保护等功能的电气设备和元件。也有的将除旋转电机(发电机和电动机)以外的电气设备统称为“电器”
2	电气设备的类别	
2.1	按电压高低分类	(1)高压设备(高压电器): 1)泛指 1000V 以上的设备; 2)指交流 50Hz、额定电压 1200V 以上或直流额定电压 1500V 以上的设备 (2)低压设备(低压电器): 1)泛指 1000V 及以下的设备; 2)指交流 50Hz、额定电压 1200V 及以下或直流额定电压 1500V 及以下的设备(据 GB 1497-1985)
2.2	按功用分类	(1)控制设备:包括各种起动器、接触器和控制继电器等;有的将开关电器、调节设备也归入控制设备 (2)开关电器:包括各种开关;也有将开关电器归入控制设备类 (3)调节设备:包括各种调压、调频和调速的设备;也有的将调节设备归入控制设备类 (4)检测电器:包括各种检测仪表设备及其配件 (5)变换设备:包括变压器、互感器、整流器、逆变器、变频器以及传感器、放大器等 (6)保护电器:包括熔断器、避雷器、限流电抗器和保护继电器等,低压断路器(自动开关)有时也归入保护电器类 (7)牵引和传动电器:包括各种操作和牵引电磁铁及机械负载传动用的电磁离合器等

序号	项 目	说 明
2.3	按使用场所分类	(1)一般工矿企业用电器:电器外壳防护按一般工矿企业环境条件考虑,无特殊要求 (2)特殊工矿企业用电器:电器应满足特殊环境条件下要求的防腐、防爆等要求 (3)农用电器:电器应满足农村环境条件下安全可靠及经济适用的要求 (4)船用电器:电器应满足船上航行的环境条件下安全可靠及经济适用的要求 (5)航空电器:电器应满足高空飞行的环境条件下安全可靠及经济适用的要求 (6)家用电器:电器应满足一般居民家庭的环境条件下安全可靠及经济适用的要求 (7)热带用电器:电器应满足热带地区(又分湿热带区和干热带区)的环境条件下安全可靠使用的要求 (8)高原用电器:电器应满足高原地区的环境条件下安全可靠使用的要求
2.4	按执行功能的元件结构分类	(1)有触点电器:电器通断的执行功能由机械触点来实现,主要用于电力系统中 (2)无触点电器:电器通断的执行功能由电子开关器件输出信号的电平高低或导通、截止来实现,主要用于电子电路中 (3)混合式电器:有触点与无触点相结合的一类电器,主要用于自动控制电路中
2.5	按所属回路分类	(1)一次回路设备(一次电器):一次回路是指供配电系统中用以传输、变换和分配电力电能的主电路,其中的设备就称为“一次设备”或“一次电器” (2)二次回路设备(二次电器):二次回路是指用来控制、指示、监测和保护一次回路(一次电路)运行的电路,其中的设备就称为“二次设备”或“二次元件”。通常二次元件是通过电流互感器和电压互感器与一次电路相联的
3	电气设备的一般要求	
3.1	绝缘安全可靠	电气设备(电器)的绝缘强度,既要满足耐受最高工作电压的长期作用,又要考虑能耐受一定的大气过电压和操作过电压的短时间作用。对于人身可能触及的电器,应有防触电的措施,以确保人身安全
3.2	满足正常发热条件	电气设备(电器)在长期通过额定负荷电流及一定的过负荷电流包括尖峰电流时,其发热温度不应超过规定的允许值,以免设备被烧毁
3.3	满足短路热稳定条件	电气设备(电器)应能耐受通过一定的短路电流时所产生的热效应而不致损坏,即其发热温度不应超过规定的允许值,满足短路热稳定度的要求(参看表 5-21)



续表

序号	项目	说明
3.4	满足短路动稳定条件	电气设备(电器)应能耐受一定的短路冲击电流(参看表5-2序号5)通过时所产生的电动力作用而不致损坏,满足短路动稳定度的要求(参看表5-20)
3.5	具有足够的通断能力	高低压开关电器应具有一定的通断能力。对具有分断短路电流要求的高低电压断路器和熔断器,应满足规定的分断短路电流的要求,即具有足够的断流能力
3.6	尽可能简单经济	在满足上述要求的前提下,电气设备的结构应尽可能简单,成本尽可能低廉,尽可能节约电能

## 二、电工电子设备防触电保护分类

如表4-2所示。

表4-2 电工电子设备防触电保护分类  
(据GB/T 12501—1990)

序号	项目	说明
1	有关术语概念	
1.1	基本绝缘	指带电部分上对防触电起基本保护作用的绝缘
1.2	附加绝缘	指为了在基本绝缘损坏的情况下防止触电,而在基本绝缘之外使用的独立绝缘
1.3	双重绝缘	指同时具有基本绝缘和附加绝缘的绝缘
1.4	加强绝缘	指相当于双重绝缘保护程度的单独绝缘结构
1.5	安全阻抗	指连接于带电部分与易导电部分之间的阻抗,其值可在设备正常使用和可能发生故障的情况下把电流限制在安全值以内,并在设备的整个寿命期间保持其可靠性
1.6	安全特低电压	指用安全隔离变压器或具有独立绕组的变流器与供电干线隔离开的电路中,导体之间或任何一个导体与地之间有效值不超过50V的交流电压(注:不同行业对安全特低电压的限制由有关行业标准规定)
2	设备按防触电保护分类	
2.1	0类设备	指仅靠基本绝缘作为防触电保护的设备。当设备有能触及的可导电部分时,该部分不与设施固定布线中的保护(接地)线相连接,一旦基本绝缘失效,则安全性就完全取决于使用环境
2.2	I类设备	该设备的防触电保护不仅靠基本绝缘,还包括一种附加的安全措施,即将能触及的可导电部分与设施固定布线中的保护(接地)线相连接
2.3	II类设备	该设备的防触电保护不仅靠基本绝缘,还具备象双重绝缘或加强绝缘这样的附加安全措施。这种设备不采用保护接地的措施,也不依赖于安装条件 有金属外壳的II类设备,必要时可以采取将等电位连接线与外壳连接

续表

序号	项目	说明
2.4	III类设备	该设备的防触电保护依靠安全特低电压供电,且设备内可能出现的电压不会高于安全特低电压 III类设备不得具有保护接地手段,必要时,可因工作(与保护目的不同)的原因,采取与大地连接的手段,但必须在技术上无损于安全水平 有金属外壳的III类设备,必要时可以采取将等电位连接线与外壳连接的手段

表4-2附表 设备按防触电保护分类的主要特征与安全措施

设备防触电类别	0类	I类	II类	III类
设备主要特征	没有保护接地	有保护接地	有附加绝缘,不需要保护接地	设计成由安全特低电压供电
安全措施	使用环境要与地绝缘	接地线与固定布线中的保护(接地)线连接	双重绝缘或加强绝缘	安全特低电压供电

注意:本附表为GB/T 12501—1990附录参考件。

## 三、影响电器使用的环境因素及环境条件分区

(1) 影响电器使用的环境因素,如表4-3所示。

表4-3 影响电器使用的环境因素

序号	项目	说明
1	气候的影响	主要考虑温度、湿度、大气压力、太阳辐射、雨、雪、冰、霜、露、雾、风等的影响。温度对电器的影响主要是考虑高温、低温和温变。高温使电器材料氧化、裂解、熔化等,加速绝缘老化。低温使电器材料收缩、变硬或变脆。温度突变很大,会使电器变形、开裂、绝缘损坏。空气湿度增大会加速金属的腐蚀,使绝缘受潮,绝缘性能下降,并可绝缘材料霉变。太阳辐射可引起绝缘材料加速光老化和增加温升。雨、雪、冰、霜、露、雾、风等对电器的安全运行也有一定的影响
2	化学活性物质的影响	化学活性物质有盐雾、化学腐蚀性气体(如二氧化硫、硫化氢、氯气、盐酸气、氨气等)、油漆、臭氧、有机溶剂等。这些物质会加速金属腐蚀,破坏电器外观,影响电气触点(触头)的导电性能
3	爆炸性介质的影响	爆炸性介质有气体、微粒和固体三种类型。易燃、易爆物质或可燃性粉尘、纤维悬浮在空气中在一定条件下会引起爆炸。当电气设备在这类环境中工作而产生电火花、电弧或危险温度时,就有爆炸或火灾危险

续表

序号	项目	说明
4	霉菌、白蚁、老鼠等有害生物的影响	霉菌的分泌物不仅污染产品外观，而且会引起绝缘性能下降。白蚁、昆虫、老鼠等会咬坏塑料电缆、绝缘电线，或进入电机和开关柜内造成短路事故
5	雷电和电磁的影响	雷电、高电压电晕放电、电路电流或电压的瞬间突变等，会引起强烈的电磁干扰，可使计算机、电子控制系统等发生误动作，降低仪器仪表的灵敏度和精度。大气中的雷电放电，可使电气设备遭受直接雷击或感应过电压的作用而遭到损坏
6	机械因素的影响	机械环境因素是指由运输过程、运行系统和电器本身运行等条件所产生的机械力。机械力的作用可使电器结构松动，使零件磨损或疲劳损坏，振动时还可能产生破坏性的共振作用

(2) 特殊环境对电气产品的防护要求。如表 4-4 所示。

表 4-4 特殊环境对电气产品的防护要求

使用环境	产品类型	防护要求		
		绝缘	金属表面	结构
湿热	湿热带型	防潮、防霉	防潮湿、大气腐蚀	防潮、防白蚁、昆虫及有害霉菌、动物
干热	干热带型	耐高温、耐大温差	防强烈太阳辐射、防风沙	防沙尘、防强烈太阳辐射、防昆虫及有害动物
户外	户外型	防潮、防污秽、防日照、防温变	防强烈太阳辐射、防低温冷暖	防潮、防雨、雪、尘、耐大温差、防太阳辐射
化学腐蚀	化工防腐型	防潮、防化学腐蚀性气体、粉尘	防化学活性物质腐蚀	防潮、防化学活性物质腐蚀
高海拔	高海拔用	防电晕	防强烈太阳(紫外线)辐射	防低气压、防低温、耐大温差
寒冷	寒冷用	防低温冻结、脆裂	防低温冷脆、防大温差	防低温、防大温差、防冰冻
矿山	防爆型	防潮、防腐蚀	防腐蚀(大气腐蚀、酸性、碱性、水性腐蚀、矿石腐蚀)	防爆炸性混合物、防水、防尘
船舶	船舶用	防潮、防盐雾、防霉	防海洋性大气腐蚀	防潮、防水、防冲击、振动、摇动、防电磁干扰
车辆	车辆用	防潮、防高低温、防水、防尘	防潮湿、防污秽大气腐蚀	防潮、防污秽、防冲击、振动

(3) 我国气候分区标准参数。如表 4-5 所示。

表 4-5 我国气候分区标准参数

环境参数	气象分区							
	寒冷	寒温		暖温	干热	亚湿热	湿热	
日平均值的年极值平均	低温(°C)	-40	-29	-26	-15	-15	-5	7
	高温(°C)	25	29	22	32	35	35	35
	RH <sup>①</sup> ≥ 95% 时最高温度(°C)	15	18	6	24	—	25	26
	最大绝对湿度(g/m <sup>3</sup> )	17	19	10	24	13	25	26
年极值平均	低温(°C)	-50	-33	-33	-20	-20	-10	5
	高温(°C)	35	37	31	38	40	40	40
	RH ≥ 95% 时最高温度(°C)	20	23	12	26	15	27	28
	最大绝对湿度(g/m <sup>3</sup> )	18	21	11	26	17	27	28
绝对极值	低温(°C)	-55	-40	-45	-30	-30	-15	0
	高温(°C)	40	40	34	45	45	45	40
	RH ≥ 95% 时最高温度(°C)	23	26	13	28	20	29	29
	最大绝对湿度(g/m <sup>3</sup> )	22	25	13	28	20	29	29

① RH 为“相对湿度”(Relative Humidity)的英文缩写。

(4) 爆炸和火灾危险环境的分区。如表 4-6 所示。

表 4-6 爆炸和火灾危险环境的分区

(据 GB 50058—1992)

序号	分区代号	环境特征
1	0 区	连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境
2	1 区	在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境
3	2 区	在正常运行时不可能出现爆炸性气体混合物的环境，或即使出现也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的环境
4	10 区	连续出现或长期出现爆炸性粉尘环境
5	11 区	有时会将积留下的粉尘扬起而偶然出现爆炸性粉尘混合物的环境
6	21 区	具有闪点高于环境温度的可燃液体，在数量和配置上能引起火灾危险的环境
7	22 区	具有悬浮状、堆积状的可燃粉尘或可燃纤维，虽不可能形成爆炸混合物，但在数量和配置上能引起火灾危险的环境
8	23 区	具有固体状可燃物质，在数量和配置上能引起火灾危险的环境

### 四、电气设备外壳防护等级 (IP 代码)

如表 4-7 所示。

表 4-7 外壳防护等级 (IP 代码)  
(据 GB 4208—1993)

序号	项目	说明	
1	IP 代码的组成		
		注: 不要求规定特征数字时, 该处用字母“X”代替。附加字母和补充字母省略时, 不需其他符号代替。	
2	第一位特征数字的含义	数字	防止固体异物进入
		0	无防护
		1	防止直径不小于 50mm 的固体异物 (直径 50mm 球形物体试具不得完全进入壳内)
		2	防止直径不小于 12.5mm 的固体异物 (直径 12.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内)
		3	防止直径不小于 2.5mm 的固体异物 (直径 2.5mm 球形物体试具不得完全进入壳内)
		4	防止直径不小于 1mm 的固体异物 (直径 1mm 的球形物体试具不得完全进入壳内)
		5	防尘 (不能完全防止尘埃进入, 但进入量不得影响设备的正常运行, 不得影响安全)
3	第二位特征数字的含义	防止接近危险部件	防止接近危险部件
		0	无防护
		1	防止手背接近危险部件 (直径 50mm 球形试具应与危险部件有足够的间隙)
		2	防止手指接近危险部件 (直径 12mm、长 80mm 的铰接试指应与危险部件有足够的间隙)
		3	防止工具接近危险部件 (直径 2.5mm 的试具不得进入壳内)
		4	防止金属线接近危险部件 (直径 1mm 的试具不得进入壳内)
4	附加字母的含义	字母	防止接近危险部件的补充信息
		A	防止手背接近 (直径 50mm 的球形试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		B	防止手指接近 (直径 12mm、长 80mm 的铰接试指与危险部件必须保持足够的间隙)
		C	防止工具接近 (直径 2.5mm、长 100mm 的试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		D	防止金属线接近 (直径 1.0mm、长 100mm 的试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		5	补充字母的含义
M	做防水试验时试样运行		
S	做防水试验时试样静止		
W	气候条件		
6	尘密 (无灰尘进入)		

续表

序号	项目	说明	
3	第二位特征数字的含义	数字	防止进水造成有害影响
		0	无防护
		1	防止垂直方向滴水 (垂直方向滴水应无有害影响)
		2	防止外壳在 15°范围内倾斜时垂直方向滴水 (当外壳的各垂直面在 15°范围内倾斜时, 垂直滴水应无有害影响)
		3	防淋水 (各垂直面在 60°范围内淋水无有害影响)
		4	防溅水 (向外壳各方向溅水无有害影响)
		5	防喷水 (向外壳各方向喷水无有害影响)
		6	防强烈喷水 (向外壳各方向强烈喷水无有害影响)
4	附加字母的含义	7	防短时间浸水影响 (浸入规定压力的水中经规定时间后外壳进水量不致达有害程度)
		8	防持续潜水影响 (按生产厂和用户双方同意的条件——应比以上代码 7 严酷的条件下持续潜水后外壳进水量不致达有害程度)
		字母	防止接近危险部件的补充信息
		A	防止手背接近 (直径 50mm 的球形试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		B	防止手指接近 (直径 12mm、长 80mm 的铰接试指与危险部件必须保持足够的间隙)
		C	防止工具接近 (直径 2.5mm、长 100mm 的试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		D	防止金属线接近 (直径 1.0mm、长 100mm 的试具与危险部件必须保持足够的间隙)
		5	补充字母的含义
H	高压设备		
M	做防水试验时试样运行		
S	做防水试验时试样静止		
W	气候条件		

## 第二节 电力变压器和互感器

### 一、电力变压器概述

(1) 电力变压器的类别、特点及应用范围, 如表 4-8 所示。

表 4-8 电力变压器的类别、特点及应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
按功能分类			
1	降压变压器	一次绕组匝数多, 二次绕组匝数少; 一次电压高, 二次电压低	供降低电压用

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
1.2	升压变压器	一次绕组匝数少,二次绕组匝数多;一次电压低,二次电压高	供升高电压用
1.3	联络变压器	各侧绕组的匝数取决于各侧电网的电压	供不同电压电网联络用
1.4	配电变压器	直接向用户电气设备供电的降压变压器(另一定义见序号11.1)	供降压配电用
2	按相数分类		
2.1	单相变压器	只有一个闭合铁芯、两个绕组。单台可供单相负荷,三台可按一定连接方式组成三相变压器组,用来变换三相电压,而每台容量只有总容量的1/3,因此每台变压器的体积、重量均较小,便于制造和运输	(1)供小容量单相负荷专用 (2)用三台单相变压器组成三相变压器组,主要用于大电力系统中,当采用一台三相变压器因容量过大不便制造和运输时
2.2	三相变压器	一般双绕组三相变压器有六个绕组,其中三个一次绕组,三个二次绕组,有一个三芯柱的闭合铁芯。在三相总容量相同的情况下,它与三台单相变压器组成的变压器组相比,具有造价低、占地面积小等优点	广泛用于供配电系统中;在大电力系统中当容量不是太大、便于制造和运输时,也都优先采用
3	按绕组型式分类		
3.1	双绕组变压器	每相两个绕组,其中一为一次绕组,另一为二次绕组。一、二次绕组之间通过磁路联系,没有电联系	广泛用于变换一个电压的场合
3.2	三绕组变压器	每相三个绕组,其中一为一次绕组,另两个为二次绕组,可将一次电压变换为两个二次电压,各绕组间也无电联系	用于需两个二次电压的场合
3.3	自耦变压器	其二次绕组与一次绕组有一部分是公用的,即有一部分为“公共绕组”,因此其一、二次绕组间除有磁联系外,尚有电联系。它与普通变压器相比,具有体积小、节约材料和投资、运行费用低等优点	自耦变压器广泛用在实验中作调压用
4	按绕组导体材质分类		
4.1	铜绕组变压器	绕组导体材质为铜。与同容量的铝绕组变压器相比,导体材料用量较少,可使变压器外形尺寸减小,但价格较贵	用于大容量变压器及某些低损耗配电变压器

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
4.2	铝绕组变压器	绕组导体材质为铝。铝绕组变压器与同容量的铜绕组变压器在功率损耗方面基本相同,只是用材较多,体积较大,但价格较低	广泛用作配电变压器
5	按绕组绝缘类型分类		
5.1	油浸式变压器	绕组和铁芯浸于绝缘油中。绝缘油除具有绝缘功能外,尚有散热和灭弧功能。油浸式变压器与干式变压器相比,具有较好的绝缘和散热性能,且价格较低,便于检修,但油为可燃物质,故有易燃易爆危险	广泛用作电力变压器,但不宜用于易燃易爆场所及安全要求较高的场所
5.2	干式变压器	有三种类型:①开启式,其绕组和铁芯直接置于大气中;②封闭式,其绕组和铁芯被密封在金属外壳内,因此散热条件较差,主要用于矿井等环境;③浇注式,用浇注的环氧树脂作为绝缘和散热介质,结构简单,体积小,重量轻,主要用作小容量配电变压器	广泛用于安全防火要求较高的场所,如高层建筑内的变电所、地下变电所及矿井内变电所等
5.3	充气变压器	绕组和铁芯置于充气的容器内,利用充填的气体来绝缘和散热。充填的气体现在多采用六氟化硫(SF <sub>6</sub> )。由于SF <sub>6</sub> 具有优良的电气性能,因此应用越来越广	主要用于安全防火要求较高的场所,常与其他充气电器配合,组成成套装置
6	按冷却方式分类		
6.1	自冷式变压器	只利用绕组和铁芯周围介质来自然地散热冷却,因此最为简单经济。油浸式变压器则利用其绝缘油的自然循环来散热冷却	一般中小容量的电力变压器多为自冷式
6.2	风冷式变压器	利用通风机来加强变压器的散热冷却。油浸式变压器的风扇通常安装在每组散热油管的内侧或底部	用于大容量电力变压器及散热条件较差的场所
6.3	强迫油冷式变压器	利用油泵来强迫油浸式变压器的绝缘油加速循环散热冷却	用于大容量的油浸式电力变压器
6.4	水冷式变压器	利用冷却的循环水或喷射的冷却水来带走油浸式变压器散热油管的热量	用于大容量的油浸式电力变压器
7	按调压方式分类		

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
7.1	无载调压变压器	<p>又称“无励磁调压变压器”，在变压器高压绕组上有 <math>U_N \pm 5\%U_N</math> 的分接头，可利用变压器外壳顶部装设的分接开关在变压器断电条件下进行调压。在二次电压总的接近于额定值时，则分接开关宜置于 <math>U_N</math> 的主接头位置。如二次电压总的高于额定值时，则分接开关应置于 <math>+5\%U_N</math> 的分接头位置。如二次电压总的低于额定值时，则分接开关应置于 <math>-5\%U_N</math> 的分接头位置。这种变压器较为经济，但不能随负载变动进行调压</p>	<p>广泛用于对电压水平要求不是很高的场所，特别是 10kV 及以下的配电变压器宜优先采用这种型式</p>
7.2	有载调压变压器	<p>它配有有载分接开关、有载调压控制器及有关附件。能在有负荷条件下调节变压器一次绕组的分接头电压，使其二次输出电压稳定在规定的范围内，满足负荷对电压水平的要求</p>	<p>主要用于 10kV 及以上的电力系统中及对电压水平要求较高的场所</p>
8	按容量系列分类		
8.1	R8 容量系列变压器	<p>变压器的容量等级是按 <math>R8 = \sqrt[8]{10} \approx 1.33</math> 倍数递增的。我国老型号变压器容量等级采用此种系列，如 100、135、180、240、320、420、560、750、1000kVA 等</p>	<p>旧的变压器容量系列，现已不再使用</p>
8.2	R10 容量系列变压器	<p>变压器的容量等级是按 <math>R10 = \sqrt[10]{10} \approx 1.26</math> 倍数递增的，我国新型号变压器容量等级采用此种系列，如 100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000kVA 等。此种系列的容量等级较密，便于合理选用，为国际电工委员会 (IEC) 所推荐，也为我国电力变压器新标准所采用</p>	<p>新的变压器容量系列，现已普遍采用</p>
9	按铁芯材质分类		
9.1	热轧硅钢片变压器	<p>铁芯采用热轧硅钢片。与冷轧硅钢片的铁芯相比，导磁性能较差，铁芯损耗较大</p>	<p>旧型变压器一般为此种铁芯，现已淘汰</p>
9.2	冷轧硅钢片变压器	<p>铁芯采用冷轧硅钢片。其导磁性能好，铁芯损耗较低</p>	<p>现在新的变压器均采用此种铁芯</p>
10	按用途分类		

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
10.1	普通变压器	<p>包括一般油浸式和干式变压器，其一、二次接头的导电部分是外露的</p>	<p>适用于一般正常环境</p>
10.2	全封闭变压器	<p>具有密封结构，其一、二次接头的导电部分均被密封，具有防尘、防腐和防爆性能</p>	<p>适用于多尘、有腐蚀性且易燃易爆场所</p>
10.3	防雷变压器	<p>其绕组联结方式特别（参考表 4-10 序号 3），耐雷水平较高，即具有防雷性能</p>	<p>适用于多雷地区</p>
11	按 GB/T 15164《油浸式电力变压器负载导则》分类		
11.1	配电变压器	<p>电压在 35kV 及以下、三相额定容量在 2500kVA 及以下、单相额定容量在 833kVA 及以下、具有独立绕组、自然循环冷却的变压器</p>	
11.2	中型变压器	<p>三相额定容量不超过 100MVA 或每柱容量不超过 33.3MVA、具有独立绕组、且额定短路阻抗 (Z) 应符合下式要求的变压器：  <math>Z \leq (25 - 0.3 \times 3S_N/W)\%</math>                      式中 <math>S_N</math> 为额定容量 (MVA)，W 为有绕组的芯柱数                      自耦变压器按等值容量考虑（等值容量的计算参看 GB/T 15164—1994 或 DL/T 572—1995 附录，此略）</p>	
11.3	大型变压器	<p>三相额定容量在 100MVA 以上、或其额定短路阻抗大于上式（序号 11.2 中 Z 式）计算值的变压器</p>	

(2) 电力变压器的基本结构、原理及有关概念。如表 4-9 所示。

表 4-9 电力变压器的基本结构、原理及有关概念

序号	项目	说明
1	电力变压器基本结构	
1.1	单相变压器	<p>The diagram illustrates the basic structure of a single-phase transformer. It features a rectangular magnetic core (铁芯) with two vertical limbs. The primary winding (一次绕组) is wound around the left limb, with terminals labeled A and X. The secondary winding (二次绕组) is wound around the right limb, with terminals labeled a and x. The diagram shows the electrical connections and the physical layout of the windings on the core.</p>

续表

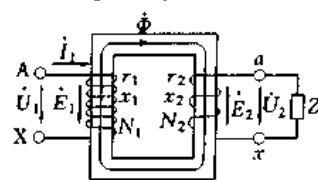
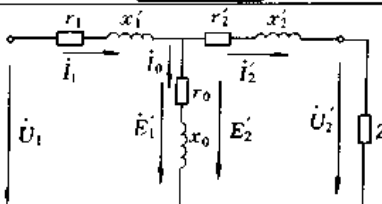
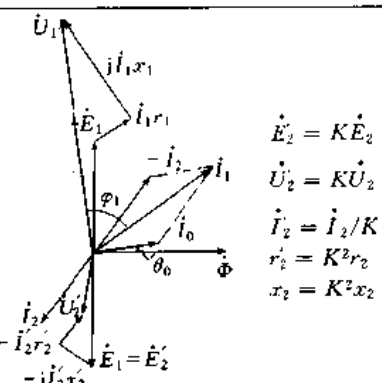
续表

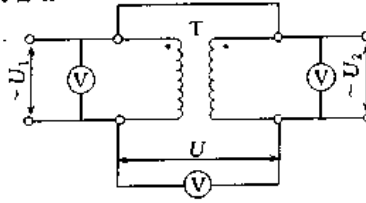
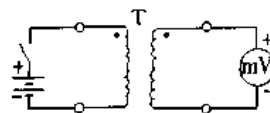
序号	项目	说明
1.2	三相变压器	<p>一次绕组 二次绕组 铁芯 T(Yy0联结)</p>
1.3	双绕组变压器	<p>铁芯 (a) 绕组结构; (b) 变压器符号 1—高压绕组; 2—低压绕组</p>
1.4	三绕组变压器	<p>铁芯 (a) 绕组结构; (b) 变压器符号 1—高压绕组; 2—中压绕组; 3—低压绕组</p>
1.5	自耦变压器	<p>铁芯 1—串联绕组; 2—公共绕组</p>

序号	项目	说明
1.6	油浸式三相电力变压器的外形结构	<p>1—信号式温度计; 2—铭牌; 3—吸湿器; 4—油枕(储油柜); 5—油标; 6—防爆管; 7—瓦斯继电器; 8—高压套管; 9—低压套管; 10—分接开关; 11—油箱; 12—铁芯; 13—绕组及绝缘; 14—放油阀; 15—小车; 16—接地端子</p>
1.7	环氧树脂浇铸型干式电力变压器的外形结构	<p>1—铁芯; 2—铭牌; 3—高压接头; 4—低压接头; 5—上部夹件; 6—吊耳; 7—冷却风道; 8—绕组(环氧树脂浇注); 9—下部夹件; 10—固定底座; 11—切换用分接头; 12—警示(危险)标志</p>
2	电力变压器工作原理	
2.1	一、二次感应电动势方程	$E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ $E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$
2.2	一、二次绕组电压方程	$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1r_1 + j\dot{I}_1x_1$ $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2r_2 - j\dot{I}_2x_2$
2.3	一、二次功率(略去损耗)	$S_1 = U_1I_1 \approx S_2 = U_2I_2$
2.4	磁动势平衡方程	$\dot{I}_1N_1 - \dot{I}_2N_2 = \dot{I}_0N_1$ <p>式中 <math>I_0</math> 为空载电流</p>
2.5	一、二次电压关系	$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = K$ <p>式中 <math>K</math> 为变压器变比(电压比)</p>

续表

续表

序号	项目	说明
2.6	一、二次电流关系	$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$ 
2.7	等效电路 (单相、双绕组)	
2.8	相量图 (单相、双绕组)	
3	变压器使用条件和特性参数	
3.1	海拔	不超过 1000m
	环境温度	最高气温 +40°C 最热月平均气温 +30°C 最高年平均气温 +20°C 最低气温: (1) 户外变压器 -25°C; (2) 户内变压器 -5°C
	电源电压	电源电压波形近似于正弦波
3.2	多相电源电压的对称性	多相变压器的电源电压应近似对称
	空载损耗	指以额定频率的额定电压施加在一个绕组的端子上而其余绕组开路时, 变压器所吸取 (消耗) 的有功功率
	负载损耗 (短路损耗)	(1) 对双绕组变压器 指当额定电流流经一个绕组而另一个绕组短路时, 在额定频率下变压器所吸取 (消耗) 的有功功率 (2) 对多绕组变压器 (以指定的一对绕组为准) 指当电流流经该对绕组中一个绕组而另一个绕组短路, 其余绕组开路, 所通的电流值则与该对绕组中容量较小的绕组额定电流相对应, 这时在额定频率下变压器所吸取 (消耗) 的有功功率
	总损耗	指空载损耗与短路损耗之和。由于空载损耗近似地等于铁损, 短路损耗近似地等于铜损, 因此变压器总损耗可认为等于铁损与铜损之和

序号	项目	说明
3.2	空载电流	指当变压器的一个绕组施加额定频率的额定电压而其余绕组开路时, 流经该绕组的电流。注意: (1) 空载电流通常以它占额定电流的百分值来表示。对多绕组变压器, 其百分值以最大额定容量的那个绕组为准 (2) 对多相变压器, 流经不同线路端子的空载电流可能不相等, 但不分别给出这些空载电流值, 而取其算术平均值
	特性参数	(1) 对双绕组变压器 指当一侧绕组短路, 而以额定频率的电压施加于变压器另一侧绕组上, 并使其中的电流达到额定值时所施加的电压值 (2) 对多绕组变压器 (以指定的一对绕组为准) 指当该对绕组中的一个绕组短路, 而以额定频率的电压施加于该对绕组中另一绕组上, 并使其中的电流值与该对绕组中容量较小的绕组的额定电流相对应时所施加的电压值
4	变压器的联结及标号	
4.1	星形联结 (Y)	多相变压器或多台单相变压器的同一电压侧的各绕组一端连接成一个公共点 (称为“中性点”), 而各绕组另一端接至相应的各相线路上
4.2	三角形联结 (Δ或D)	三相变压器的同电压的三个绕组, 或组成三相组的单相变压器的三个同电压绕组互相串联, 形成一个闭合回路
4.3	曲折形联结 (Z)	多相变压器的相绕组接成星形, 每个相绕组由两部分组成, 而这两部分绕组的感应电动势相位不同, 且通常具有相同的匝数
4.4	联结组标号	指出变压器各级电压绕组的联结方法及以时钟序数表示的相对相位移关系的通用标号, 如 Yyn0、Dy11、Yz11 等
5	变压器、互感器的“减极性”标号法	
5.1	“减极性”的概念及极性的交流判别法	按规定, 我国变压器和互感器线圈 (绕组) 的端子极性采用“减极性”标号法 按下图接线, 如一对同名端 (又称“同极性端”) 短接, 则另一对同名端测出的电压为 $U =  U_1 - U_2 $ 。如果短接的两个端子不是同名端, 则另一对端子间的电压为 $U = U_1 + U_2$ 按规定, 同名端可用小黑点“·”或小星号“*”或“±”号标示。用字母标注时, 变压器和电压互感器的一次绕组端子首端标 A、B、C, 末端标 X、Y、Z, 对应的二次绕组端子首端标 a、b、c, 末端标 x、y、z, 其中 A 与 a、B 与 b、C 与 c 分别为同名端, 而 X 与 x、Y 与 y、Z 与 z 也分别为同名端
		
5.2	极性的直流判别法	判断变压器和互感器绕组极性端的直流判别法的接线如下图所示, 一次侧接电池组, 二次侧接直流毫伏表。在接通电池的瞬间, 如果毫伏表指针正偏, 则两侧绕组接电池正极的端子与接毫伏表正极的端子为“同名端” 

(3) 三相双绕组电力变压器常用的联结组。如表 4-10 所示。

表 4-10 三相双绕组电力变压器常用的联结组

序号	联结组	接线图和相量图	特 性 及 应 用
1	Yyn0 (Y/Y <sub>0</sub> -12)		广泛用于 6~10/0.4kV 的配电变压器。低压为三相四线制，其线路中可有 3n (n=1、2、3...) 次谐波电流通过，但中性线电流规定不得超过相线电流 25%，因此三相负荷严重不平衡及 3n 次谐波相当突出的场合不宜采用
2	Dyn11 (Δ/Y <sub>0</sub> -11)		其一次绕组为三角形联结，3n 次谐波可在 Δ 联结的绕组内形成环流，有消除系统中高次谐波的作用；其二次绕组为带中性线的星形联结，其中性线电流可允许达相线额定电流 75% 以上。因此，这种联结组的 6~10/0.4kV 配电变压器适于三相负荷严重不平衡及 3n 次谐波相当突出的场合采用
3	Yzn11 (Y/Z <sub>0</sub> -11)		其二次绕组都分成两半，而且采用曲折形 (Z) 联结，每一芯柱上的两半个绕组的电流方向正好相反，使磁动势相互抵消。因此如果雷电过电压沿变压器二次侧线路侵入时，过电压不会感应到一次侧线路上去；反过来，如果雷电过电压沿变压器一次侧线路侵入时，过电压也不会感应到二次侧线路上去。所以这种联结组的变压器属于防雷变压器。但这种变压器二次绕组的用材量较之 Yyn0 联结变压器要增加 15% 以上
4	Yd11 (Y/Δ-11)		一次侧采用中性点不接地的星形联结，不会有 3n 次谐波电流；二次侧采用三角形联结，3n 次谐波电流在绕组内形成环流，线路不会出现 3n 次谐波电压。这种联结组常用于中性点不接地的大、中型变压器
5	YNd11 (Y <sub>0</sub> /Δ-11)		一次侧采用中性点接地的星形联结，有利于降低线路设备的相绝缘水平的要求；二次侧采用三角形联结，有利于消除线路上的 3n 次谐波电压。这种联结组常用于中性点直接接地的超高压线路上的大型电力变压器

(4) 电力变压器的型号编制。如表 4-11 所示。此表根据机械行业标准 JB/T 3837—1992 《变压器产品型

号编制方法》规定，但目前生产的电力变压器型号有的仍沿用旧标准，与此略有出入，请注意。



表 4-11 电力变压器的型号编制 (据 JB/T 3837—1992)

序号	项 目	说 明						
1	型号的组成格式	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>产品型号 字 母</span> <span>性能水 平代号</span> <span>特殊用途 或特殊结构</span> <span>额定容量 (kVA)</span> <span>电压等级 (kV)</span> <span>特殊使用 环境代号</span> </div>						
2	变 压 器 产 品 型 号 字 母							
2.1	线圈耦合方式	独 立 —			自“耦” O			
2.2	相数	“单”相 D			“三”相 S			
2.3	线圈外绝缘介质	变压器油	空气 (“干”式)	“气”体	“成”型固体		“难”燃液体 N	
		—	G	Q	浇注式 C	包封式 CR		
2.4	冷却装置种类	自然循环冷却 —		“风”冷却 F	“水”冷却 S			
2.5	油循环方式	自 然 循 环 —			强“迫”油循环 P			
2.6	绕组数	双 绕 组 —		“三”绕组 S	双“分”裂绕组 F			
2.7	调压方式	无励磁调压 —			有“载”调压 Z			
2.8	线圈导线材质	铜		铜“箔” B	“铝” L	“铝箔” LB		
		—						
3	变压器产品性能 水平代号 <sup>[注]</sup>	水平 代号	性 能 参 数				若有组 I和组II 者,表中 要求指组 I	
			空载损耗		负载损耗			
		7	符合 GB6451.1~5—1986		符合 GB6451.1~5—1986			
		8	比 GB6451.1~5 平均下降 10%		符合 GB 6451.1~5—1986			
		9	1600kVA 及以下, 10kV 级符合 OBT. 500. 1239					
			2000kVA 及以上, 10kV 级及以上电压 等级的变压器, 比 GB6451.1~5 低 20%		2000kVA 及以上, 10kV 级 及以上电压等级的变压器, 比 GB6451.1~5 低 10%			
10	比 GB6451.1~5 平均降低 30%		比 GB6451.1~5 平均降低 15%					
4	特殊用途或特殊 结构代号	“密”封式 M	“串”联用 C	“启”动用 Q	防雷“保”护用 B			
		“调”容用 T	高阻“抗” K	电源“牵”引用 QY	低“噪”声用 Z			
		“带”△不引出绕组 D	电“缆”引出 L	“隔”离用 G	“观”场组装式 X			
5	示例	例 1: SFL7—20000/110 三相, 油浸, 风冷, 双绕组, 无励磁调压, 铝导线, 性能水平符合 GB6451.4 规定, 额定容量 20000kVA, 110kV 电压级 例 2: SSP-X-300000/220 三相, 油浸, 水冷, 强迫油循环, 双绕组, 无励磁调压, 铜导线, 现场组装式, 额定容量 300000kVA, 220kV 电压级 注: 现在应用的 SL7、S9 等变压器型号中的 7、9 等为设计序号, 并非产品性能水平代号, 特此说明						

注 变压器产品性能水平按 GB6451.1~5—1986 来确定:

- GB6451.1—1986 《三相油浸式电力变压器技术参数和要求 6, 10kV 级》
- GB6451.2—1986 《三相油浸式电力变压器技术参数和要求 35kVA 级》
- GB6451.3—1986 《三相油浸式电力变压器技术参数和要求 63kV 级》
- GB6451.4—1986 《三相油浸式电力变压器技术参数和要求 110kV 级》
- GB6451.5—1986 《三相油浸式电力变压器技术参数和要求 220kV 级》

## 二、部分常用电力变压器的技术数据

(1) 10kV 级 S9 系列铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-12 所示。

表 4-12 10kV 级 S9 系列铜线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空载	负载		
S9-30/10(6)	30	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	130	600	2.1	4
S9-50/10(6)	50	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	170	870	2.0	4
				D,yn11	175	870	4.5	4
S9-63/10(6)	63	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	200	1040	1.9	4
				D,yn11	210	1030	4.5	4
S9-80/10(6)	80	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	240	1250	1.8	4
				D,yn11	250	1240	4.5	4
S9-100/10(6)	100	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	290	1500	1.6	4
				D,yn11	300	1470	4.0	4
S9-125/10(6)	125	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	340	1800	1.5	4
				D,yn11	360	1720	4.0	4
S9-160/10(6)	160	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	400	2200	1.4	4
				D,yn11	430	2100	3.5	4
S9-200/10(6)	200	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	480	2600	1.3	4
				D,yn11	500	2500	3.5	4
S9-250/10(6)	250	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	560	3050	1.2	4
				D,yn11	600	2900	3.0	4
S9-315/10(6)	315	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	670	3650	1.1	4
				D,yn11	720	3450	3.0	4
S9-400/10(6)	400	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	800	4300	1.0	4
				D,yn11	870	4200	3.0	4
S9-500/10(6)	500	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	960	5100	1.0	4
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	1030	4950	3.0	4
S9-630/10(6)	630	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	1200	6200	0.9	4.5
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	1300	5800	3.0	5
S9-800/10(6)	800	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	1400	7500	0.8	4.5
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	1400	7500	2.5	5
S9-1000/10(6)	1000	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	1700	10300	0.7	4.5
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	1700	9200	1.7	5
S9-1250/10(6)	1250	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	1950	12000	0.6	4.5
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	2000	11000	2.5	5
S9-1600/10(6)	1600	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	2400	14500	0.6	4.5
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	2400	14000	2.5	6
S9-2000/10(6)	2000	11,10.5,10.6.3,6	0.4	Y,yn0	3000	18000	0.8	6
		11,10.5,10	6.3	D,yn11	3000	18000	0.8	6
				Y,d11	3000	18000	1.2	6

续表

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
S9-2500/10(6)	2500	11,10.5,10,6,3.6	0.4	Y,yn0	3500	25000	0.8	6
				D,yn11	3500	25000	0.8	6
		11,10.5,10	6.3	Y,d11	3500	19000	1.2	5.5
S9-3150/10(6)	3150	11,10.5,10	6.3	Y,d11	4100	23000	1.0	5.5
S9-4000/10(6)	4000	11,10.5,10	6.3	Y,d11	5000	26000	1.0	5.5
S9-5000/10(6)	5000	11,10.5,10	6.3	Y,d11	6000	30000	0.9	5.5
S9-6300/10(6)	6300	11,10.5,10	6.3	Y,d11	7000	35000	0.9	5.5

(2) 35kV 级 S9 系列铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-13 所示。

表 4-13 35kV 级 S9 系列铜线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
S9-800/35	800	35	10.5 6.3 3.15	Y, d11	1480	8800	1.1	6.5
S9-1000/35	1000				1750	11000	1.0	6.5
S9-1250/35	1250				2100	14500	0.9	6.5
S9-1600/35	1600				2500	16500	0.8	6.5
S9-2000/35	2000				3200	16800	0.8	6.5
S9-2500/35	2500				3800	19500	0.8	6.5
S9-3150/35	3150	38.5 35	10.5 6.3 3.15	Y, d11	4500	22500	0.8	7
S9-4000/35	4000				5400	27000	0.8	7
S9-5000/35	5000				6500	31000	0.7	7
S9-6300/35	6300				7900	34500	0.7	7.5
S9-50/35	50	35	0.4	Y, yn0	250	1180	2.0	6.5
S9-100/35	100				350	2100	1.9	6.5
S9-125/35	125				400	1950	2.0	6.5
S9-160/35	160				450	2800	1.8	6.5
S9-200/35	200				530	3300	1.7	6.5
S9-250/35	250				610	3900	1.6	6.5
S9-315/35	315				720	4700	1.5	6.5
S9-400/35	400				880	5700	1.4	6.5
S9-500/35	500				1030	6900	1.3	6.5
S9-630/35	630				1250	8200	1.2	6.5
S9-800/35	800				1480	9500	1.1	6.5
S9-1000/35	1000				1750	12000	1.0	6.5
S9-1250/35	1250				2100	14500	0.9	6.5
S9-1600/35	1600				2500	17500	0.8	6.5

(3) 10kV 级 SC9 系列树脂浇注干式铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-14 所示。

表 4-14 10kV 级 SC9 系列树脂浇注干式铜线电力变压器的主要技术数据

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
SC9-200/10	200	10	0.4	Y, yn0	480	2670	1.2	4
SC9-250/10	250				550	2910	1.2	4

续表

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
SC9-315/10	315	10	0.4	Y, yn0	650	3200	1.2	4
SC9-400/10	400				750	3690	1.0	4
SC9-500/10	500				900	4500	1.0	4
SC9-630/10	630				1100	5420	0.9	4
SC9-630/10	630				1050	5500	0.9	6
SC9-800/10	800				1200	6430	0.9	6
SC9-1000/10	1000				1400	7510	0.8	6
SC9-1250/10	1250				1650	8960	0.8	6
SC9-1600/10	1600				1980	10850	0.7	6
SC9-2000/10	2000				2380	13360	0.5	6
SC9-2500/10	2500				2850	15880	0.5	6

注 本表据山东省金曼克电气集团股份有限公司提供的产品资料。

(4) 10kV 级 BS9 系列全密封式铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-15 所示。

表 4-15 10kV 级 BS9 系列全密封式铜线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
BS9-100/10	100	11 10.5 10 6.3 6	0.4	Y, yn0 或 Y, zn11	290	1500	1.6	4
BS9-125/10	125				340	1800	1.5	4
BS9-160/10	160				400	2200	1.4	4
BS9-200/10	200				480	2600	1.3	4
BS9-250/10	250				560	3050	1.2	4
BS9-315/10	315				670	3650	1.1	4
BS9-400/10	400			800	4300	1.0	4	
BS9-500/10	500			960	5100	1.0	4	
BS9-630/10	630			1200	6200	0.9	4.5	
BS9-800/10	800			1400	7500	0.8	4.5	
BS9-1000/10	1000			1700	10300	0.7	4.5	
BS9-1250/10	1250			1950	12000	0.6	4.5	
BS9-1600/10	1600	2400	14500	0.6	4.5			

(5) 10kV 级 SZ9 系列有载调压铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-6 所示。

表 4-16 10kV 级 SZ9 系列有载调压铜线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标 号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
SZ9-200/10	200	10 6.3 6	0.4	Y, yn0	520	2600	1.6	4
SZ9-250/10	250				610	3090	1.5	4
SZ9-315/10	315				730	3600	1.4	4
SZ9-400/10	400				870	4400	1.3	4
SZ9-500/10	500				1040	5250	1.2	4
SZ9-630/10	630				1270	6300	1.1	4.5
SZ9-800/10	800				1510	7560	1.0	4.5
SZ9-1000/10	1000				1780	10500	0.9	4.5
SZ9-1250/10	1250				2080	12000	0.8	4.5
SZ9-1600/10	1600				2540	14700	0.7	4.5

注 本产品有载调压范围为  $\pm 4 \times 2.5\%$ 。

(6) 10kV 级 SCZL 系列环氧树脂浇注有载调压干式铝线电力变压器的主要技术数据。如表 4-17 所示。

表 4-17 10kV 级 SCZL 系列环氧树脂浇注有载调压干式铝线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
SCZL-630/10	630	11 10.5 10 6.6 6.3 6 3.3 3.15 3	0.4	Y, yn0 或 D, ynl1	2100	5650	1.8	6
SCZL-800/10	800				2300	7080	1.8	
SCZL-1000/10	1000				2630	8330	1.7	
SCZL-1250/10	1250				3120	10330	1.6	
SCZL-1600/10	1600				3660	12520	1.5	
SCZL-2000/10	2000				4950	14940	1.5	

注 本产品有载调压范围为 $\pm 4 \times 2.5\%$ 。

(7) 35kV 级 SZ9 系列有载调压铜线电力变压器的主要技术数据。如表 4-18 所示。

表 4-18 35kV 级 SZ9 系列有载调压铜线电力变压器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型 号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)		联结组 标号	损耗 (W)		空载电流 (%)	阻抗电压 (%)
		一 次	二 次		空 载	负 载		
SZ9-1000/35	1000	35 38.5	6.3 10.5	Y, d11	1790	11550	1.1	6.5
SZ9-1250/35	1250				2140	14800	1.0	6.5
SZ9-1600/35	1600				2550	17300	0.9	6.5
SZ9-2000/35	2000				3260	17600	0.9	6.5
SZ9-2500/35	2500				3870	20500	0.9	6.5
SZ9-3150/35	3150				4500	23000	1.5	7
SZ9-4000/35	4000				5400	26000	1.2	7
SZ9-5000/35	5000				6630	32600	0.8	7
SZ9-6300/35	6300				8060	36300	0.8	7.5

注 本产品有载调压范围为 $\pm 3 \times 2.5\%$ 。

续表

### 三、电流互感器及其技术数据

(1) 电流互感器的类别、特点及应用范围。如表 4-19 所示。

表 4-19 电流互感器的类别、特点及应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
1	按一次绕组的匝数分类		
1.1	单匝式电流互感器	包括芯柱式、母线式和套管式等。芯柱式的一次绕组为一穿过铁芯的直导体。母线式和套管式本身没有一次绕组,使用时穿入母线或套管,利用母线或套管中导体作为一次绕组(只一匝)	用于母线及电力变压器和断路器等的套管上
1.2	多匝式电流互感器	包括线圈式、串级式等,电流互感器有一次绕组和二次绕组	用于一般电力线路和配电装置上
2	按用途分类		
2.1	测量用电流互感器	其准确度要求较高。例如对 1.5 级和 2.5 级的常用测量仪表,规定应配用不低于 1.0 级的互感器;对 0.5 级的有功电能表,规定应配用 0.2 级的互感器;对 1.0 级的有功电能表及 2.0 级计费用的有功电能表和无功电能表,规定应配用不低于 0.5 级的互感器(据 GBJ 63--1990)	用于供测量的电流回路

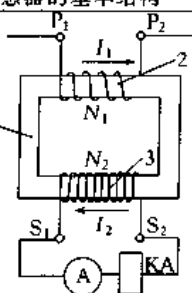
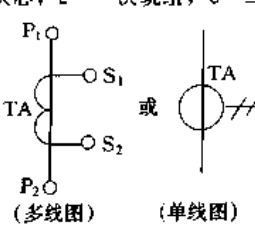
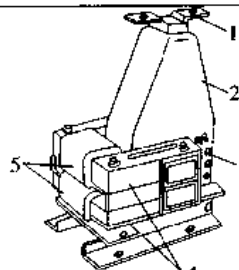
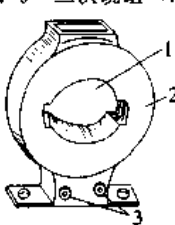
序号	类别	主要特点	应用范围
2.2	保护用电流互感器	其准确度要求较低,但要求短时过载能力较大。按 GB 50062-1992 规定:保护装置采用的电流互感器的稳态变比误差,不应大于 10%;对 35kV 及以下的线路和设备保护,有困难时还可允许有较大的误差	用于供继电保护的电流回路
3	按绝缘介质分类		
3.1	油浸式电流互感器	整个绕组和铁芯浸于绝缘油中,其散热较好,一般容量较大,但有易燃易爆危险	过去在高压系统中应用广泛,现 10kV 及以下系统中已为干式互感器所取代
3.2	干式电流互感器	大多采用浇注绝缘。它维护简单,安全可靠	广泛用于高低压系统中

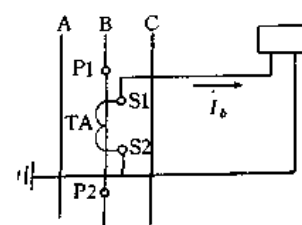
(2) 电流互感器的基本结构、原理及接线方案。如表 4-20 所示。

(3) 部分常用电流互感器的主要技术数据。如表 4-21 所示。

表 4-20 电流互感器的基本结构、原理及接线方案

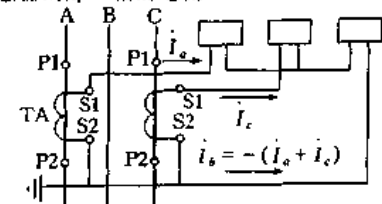
续表

序号	项目	说明
1		<p>电流互感器的基本结构</p>  <p>基本结构 1—铁芯；2—一次绕组；3—二次绕组</p>  <p>图形符号和文字符号</p>
1.1	结构	
1.2	实例	<p>LQJ-10型电流互感器 1—一次接线端子；2—一次绕组（环氧树脂浇注）；3—二次接线端子；4—铁芯（两个）；5—二次绕组（两个）</p>  <p>LMZJ1-0.5型电流互感器 1—一次母线穿孔；2—铁芯，外绕二次绕组，环氧树脂浇注；3—二次接线端子</p> 
2		<p>电流互感器的工作原理及注意事项</p> <p>(1) 用来使仪表、继电器等二次设备与主电路绝缘：这样既可防止主电路的高电压直接引入仪表、继电器等二次设备，又可防止仪表、继电器等二次设备的故障影响主电路，从而提高一、二次电路运行的安全性和可靠性，并有利于保障人身安全</p>
2.1	电流互感器的功用	

序号	项目	说明
2.1	电流互感器的功用	<p>(2) 用来扩大仪表、继电器等二次设备应用的电流范围：例如用一只5A的电流表，通过不同变流比的电流互感器就可测量任意大的电流，而且由于采用电流互感器，可使仪表、继电器等二次设备的规格统一，有利于这些二次设备的批量生产</p>
2.2	一、二次侧电流关系	<p>电流互感器的一次电流 <math>I_1</math> 与其二次电流 <math>I_2</math> 之间具有下列关系：</p> $I_1 \approx \frac{N_2}{N_1} I_2 \approx K_i I_2$ <p>式中 <math>N_1</math>、<math>N_2</math> 为电流互感器一、二次绕组匝数；<math>K_i</math> 为电流互感器变流比，一般 <math>K_i = \frac{d_1 f}{I_{1N}/I_{2N}}</math></p>
2.3	互感器工作时二次侧不得开路	<p>根据互感器的磁动势平衡方程式 <math>\dot{I}_1 N_1 - \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1</math> 可知，由于电流互感器二次负载很小（均为电流线圈），它接近于短路工作状态，因此 <math>\dot{I}_1 N_1 \approx \dot{I}_2 N_2</math>，正常工作时 <math>\dot{I}_0</math> 很小，通常只有 <math>\dot{I}_1</math> 的百分之几。但是如果二次侧在工作时开路，即 <math>I_2 = 0</math> 时，则 <math>\dot{I}_0 = \dot{I}_1</math>，而 <math>\dot{I}_1</math> 是不变的（决定于一次电路负荷），因此 <math>\dot{I}_0</math> 就会比正常值要骤增几十倍，从而使铁芯中磁通量大增，这会产生两个严重后果：</p> <p>(1) 铁芯过热，并产生剩磁，降低准确度 (2) 在二次电路开路处感生出危险的高电压，危及二次设备及人身安全</p>
2.4	二次侧有一端子必须接地	<p>为防止电流互感器一、二次绕组间绝缘击穿时，一次侧高电压窜入二次侧危及人身和设备安全，因此规定二次侧有一个端子必须接地</p>
2.5	接线时必须注意端子极性	<p>接线时必须注意其一、二次绕组端子的极性，过去规定：电流互感器一次绕组端子标 L1、L2，二次绕组端子标 K1、K2，其 L1 与 K1 为同名端，L2 与 K2 为同名端。按 GB1208—1997《电流互感器》规定，一次绕组端子标 P1、P2，二次绕组端子标 S1、S2，其中 P1 与 S1 为同名端，P2 与 S2 为同名端。接线时，端子极性不可接错，否则要出问题或事故</p>
3		<p>电流互感器的接线方案</p>
3.1	一相式接线	<p>如下图所示。电流线圈中通过的电流，反应一次电路相应相的电流。通常用于负荷平衡的三相电路如低动力线路中，供测量电流和接负荷保护装置之用</p> 

续表

续表

序号	项目	说明
3.2	两相V形接线	<p>如下图所示。亦称“两相不完全星形接线”。在继电保护装置中，这种接线称为“两相两继电器接线”。在中性点不接地的三相三线制电路中（例如6~10kV电路中），广泛用于测量三相电流、电能及作过电流继电保护之用。两相V形接线中公共线上的电流，反应的是未接电流互感器的那一相的电流</p> 
3.3	两相电流差接线	<p>如下图所示。亦称“两相交叉接线”。其二次侧公共线上的电流为 <math>I_a - I_c</math>，其量值为相电流的 <math>\sqrt{3}</math> 倍。这种接线广泛用于中性点不接地的三相三线制电路中（例如6~10kV电路中）作电流继电保护之用，也称“两相一继电器接线”</p>

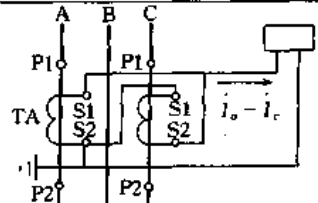
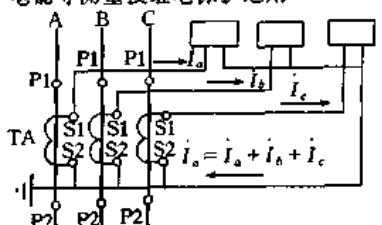
序号	项目	说明
3.3	两相电流差接线	
3.4	三相星形接线	<p>如下图所示。该接线中的三个电流线圈，正好反应各相的电流，广泛用于在负荷一般不平衡的三相四线制系统如TN系统中，也用在负荷可能不平衡的三相三线制系统中，作三相电流、电能等测量及继电保护之用</p> 

表 4-21 部分常用电流互感器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型号 <sup>①</sup>	额定电压 (kV)	额定电流比 (A)	准确级次	额定二次负荷 (Ω) ( $\cos\varphi=0.8$ )			10% 倍数	1s 热稳定 倍数	动稳定 倍数
				0.5 级	1 级	3 级			
LQZ-35	35	15~600/5	0.5	2	4		35	65	100
			D		1.2	3			
LCW-35	35	15~1000/5	0.5	2	4		28	65	100
			3			2			
LB-35	35	10~400/5	0.5	1.2			30	60	153
			D						
LCZ-35	35	20~1000/5	0.5	2			10	65	150(20~600) 100 (800,1000)
			3			2			
LA-10	10	5~200/5	0.5	0.4			10	90	160
			1		0.4		10		
			3			0.6	10		
			0.5	0.4			10		
			1		0.4		10		
			3			0.6	10		
		300~400/5	0.5	0.4			10	75	135
			1		0.4		10		
			3			0.6	10		
			0.5	0.4			10		
			1		0.4		10		
			3			0.6	10		
500/5	0.5	0.4			10	60	110		
	1		0.4		10				
	3			0.6	10				
	0.5	0.4			10				
	1		0.4		10				
	3			0.6	10				
600~1000/5	0.5	0.4			10	50	90		
	1		0.4		10				
	3			0.6	10				
	0.5	0.4			10				
	1		0.4		10				
	3			0.6	10				
LAI-10	10	20~200/5	0.5	0.6			15	120	215
			1		1		15		
			D			0.6 (D)	15		
		300/5	0.5	0.6			10	100	180
			1		1		10		

续表

型 号 <sup>①</sup>	额定电压 (kV)	额定电流比 (A)	准确级次	额定二次负荷 ( $\Omega$ ) ( $\cos\varphi=0.8$ )			10% 倍数	1s 热 稳定 倍数	动稳定 倍数
				0.5 级	1 级	3 级			
LAJ-10	10	300/5	D			0.6 (D)	15	100	180
LDZ1-10	10	400~1000/5	0.5	0.4	0.6			50	90
			1		0.4				
			3			0.6	15		
LDZJ1-10	10	600~1500/5	0.5	1.2	1.6			50	90
			1		1.2				
			3			1.2	15		
			D			1.6 (D)	15		
LDZB6-10	10	400/5 500/5	0.5	0.8			15	31.5kA (2s)	80kA
			B			1.2 (D)	15		
		600~1500/5	0.5	1.2			15	43.1kA (2s)	100kA
			B			1.6 (D)	15		
LMZ-10	10	300~1000/5	0.5	0.4	0.6				
			3			0.6	10		
			D			0.6 (D)	15		
LMZJ-10	10	1500/5	0.5	1.6	1.6				
			D			3.2 (D)	15		
		2000~ 3000/5	0.5	2.4	2.4				
			D			4.0 (D)	15		
LMZB6-10	10	1500、 2000/5	0.5	2.0			15		
			B			2.0 (D)	15		
		3000、 4000/5	0.5	2.4			15		
			B			2.4 (D)	15		
LQJ-10	10	5~100/5	0.5	0.4	0.6		6	90	225
			1		0.4		6		
		150~400/5	3			1.2	15	75	160
LMK1-0.5	0.5	5~400/5	0.5	0.2	0.3				
LMKJ1-0.5	0.5	5~800/5	0.5	0.4	0.6				
LMKB1-0.5	0.5	5~800/5	0.5	0.4	0.6				
LMZ1-0.5	0.5	5~400/5	0.5	0.2	0.3				
LMZJ1-0.5	0.5	5~800/5	0.5	0.4	0.6				
LMZB1-0.5	0.5	5~800/5	0.5	0.4	0.6				
LQG-0.5 LQG1-0.5 LQG2-0.5	0.5	5~1000/5		0.4	0.6		6	50	70~100
LQK6-0.38 LQKB6-0.38	0.38	5~200/5		0.2	0.3	0.6			
LMZ6-0.38 LMK6-0.38		300、 400/5		0.2	0.3	—			
LMZB6-0.38 LMKB6-0.38		300~800/5		0.4	0.6	1			
LMZJ6-0.38 LMKJ6-0.38		300~800/5		0.4	0.6	—			
		1000~3000/5		0.8	1.2	2			

① 电流互感器型号中字母含义：

L—电“流”互感器；Q—线“圈”式（第二位），加“强”型（后面）；Z—环氧浇“注”，有的表示“支”柱式；C—“瓷”绝缘，或“差”动保护用；W—户“外”式；A—穿墙式；B—支柱式（第二位），在后面表示带“保”护级，或差动“保”护用；J—“加”强型，“加”大容量，有的表示树脂“浇”注，个别表示油“浸”式；M—“母”线型（套管式）；D—“单”匝贯穿式，个别表示差动保护级；K—带外“壳”式；G—“干”式，或“改”进型。



### 四、电压互感器及其技术数据

(1) 电压互感器的类别、特点及应用范围。如表 4-22 所示。

表 4-22 电压互感器的类别、特点及应用范围

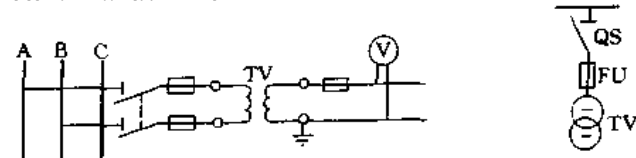
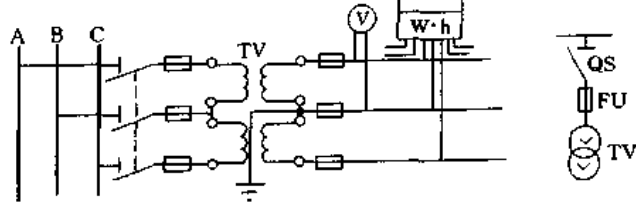
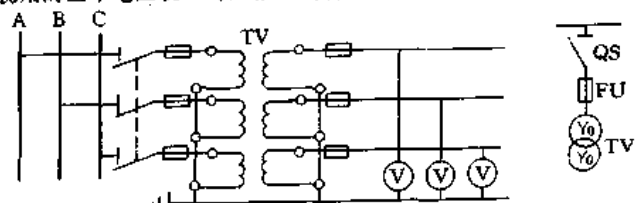
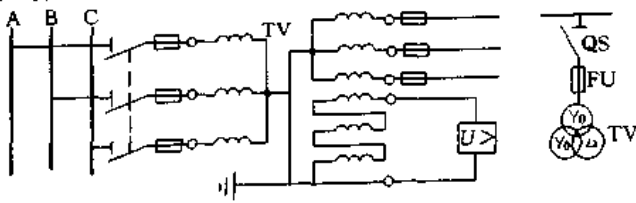
序号	类别	主要特点	应用范围
1	按相数和绝缘介质分类		
1.1	单相, 干式	采用环氧树脂浇注绝缘, 维护简单, 且便于组成各种连接方式, 体积小, 安全可靠	广泛用于高低压系统中, 供测量和保护等电压回路用
1.2	三相五芯柱, 油浸式	铁芯为三相五芯柱, 以便在互感器作零序保护时零序磁通能在铁芯内闭合; 互感器的整个铁芯和绕组均浸于绝缘油中, 其散热较好, 容量较大, 但有易燃易爆危险	过去在高压系统中应用广泛, 现多为单相、干式所取代
2	按用途分类		
2.1	测量用电压互感器	其准确度要求较高, 以满足测量的要求 (参看表 4-19 序号 2.1)	用于供测量的电压回路
2.2	保护用电压互感器	其准确度要求较低, 但能满足保护的特定要求	用于供保护的电压回路
3	按结构原理分类		
3.1	电磁感应式	即一般的电压互感器, 其工作原理与普通降压变压器相同, 但其工作时接近于空载状态	用于 220kV 及以下的各级电压, 供测量和保护等电压回路之用
3.2	电容分压式	利用串联电容器分压原理组成。一次侧串联的电容器多, 电压高; 二次侧电压是从上述串联电容器组中分出的小部分电压, 因此电压低	用于 110kV 及以上的系统中, 供测量和保护等电压回路之用

(2) 电压互感器的基本结构、原理及接线方案。如表 4-23 所示。

表 4-23 电压互感器的基本结构、原理及接线方案

序号	项目	说明
1	电压互感器的基本结构	
1.1	结构	<p>基本结构 (双绕组) 1—铁芯; 2—一次绕组; 3—二次绕组</p> <p>图形符号和文字符号 (多线图) 或 (单线图) TV</p>
1.2	实例	<p>JDZJ-10 型电压互感器</p> <p>1—一次接线端子; 2—一、二次绕组 (环氧树脂浇注); 3—铁芯; 4—二次接线端子</p>
2	电压互感器的工作原理及注意事项	
2.1	电压互感器的功用	<p>(1) 用来使仪表、继电器等二次设备与主电路绝缘, 这与电流互感器的功用相同 (参看表 4-20 序号 2.1), 提高一、二次电路运行的安全性和可靠性, 并有利于保障人身安全</p> <p>(2) 用来扩大仪表、继电器等二次设备应用的电压范围; 例如用一只 100V 的电压表, 通过不同变压比的电压互感器就可测量任意高的电压, 这也有利于仪表、继电器等二次设备的批量生产</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.2	一、二次侧电压关系	电压互感器的一次电压 $U_1$ 与其二次电压 $U_2$ 之间具有下列关系： $U_1 \approx \frac{N_1}{N_2} U_2 \approx K_u U_2$ 式中 $N_1$ 、 $N_2$ 为电压互感器一、二次绕组匝数； $K_u$ 为电压互感器变压比，一般 $K_u \stackrel{def}{=} U_{1N}/U_{2N}$
2.3	一、二次侧需装设熔断器保护	为防止二次侧短路时损坏互感器，特别是为了防止互感器短路时危及一次电路系统的正常运行，因此电压互感器的一、二次侧均应装设熔断器保护
2.4	二次侧有一端子必须接地	这与电流互感器二次侧有一端子必须接地的理由完全相同（参看表 4-20 序号 2.4），也是为了人身和设备安全
2.5	接线时必须注意端子极性	接线时也必须注意其一、二次绕组端子的极性。过去规定，单相分别标 A、X 和 a、x，其中 A 与 a、X 与 x 分别为对应的同名端，按 GB1207—1997《电压互感器》规定，单相分别标 A、N 和 a、n，其中 A 与 a、N 与 n 分别为对应的同名端。而三相电压互感器，按相序，一次侧端子标 A、B、C、N，二次侧端子标 a、b、c、n，其中 A 与 a、B 与 b、C 与 c、N 与 n 分别为对应的同名端
3	电 压 互 感 器 的 接 线 方 案	
3.1	一个单相电压互感器接于线电压（I <sub>0</sub> 联结）	适用于电压对称的三相线路，供仪表、继电器接于一个线电压 
3.2	两个单相电压互感器接成 V/V 形	适用于三相三线制线路，供仪表、继电器接于各个线电压，广泛用于高压系统中作电压、电能等测量 
3.3	三个单相电压互感器接成 Y <sub>0</sub> /Y <sub>0</sub> 形（YNyn0 联结）	适用于三相三线制和三相四线制线路，可供接要求线电压的仪表、继电器，并可接要求相电压的绝缘监视用的三个电压表（对三相三线制线路） 
3.4	三个单相三绕组电压互感器或一个三相三绕组五芯柱电压互感器接成 Y <sub>0</sub> /Y <sub>0</sub> /Δ 形	适用于三相三线制线路。接成 Y <sub>0</sub> 的二次绕组，供接要求线电压的仪表、继电器及作绝缘监视用的电压表；接成开口三角形的辅助二次绕组，则构成零序电压过滤器，供接作绝缘监视用的电压继电器。此辅助二次绕组亦称“剩余电压绕组” 

(3) 部分常用电压互感器的主要技术数据。如表 4-24 所示。

表 4-24 部分常用电压互感器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型号 <sup>①</sup>	额定电压 (kV)			二次负荷 (VA) ( $\cos\varphi=0.8$ )			最大容量 (VA)	辅助绕组容量 (VA)	联结组 标号
	一次	二次	辅助	0.5级	1级	3级			
JDx6-35	$35/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	150	250	500	1000	100	I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDJ-35	$35/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	150	250	600	1200		I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDJ2-35	35	0.1		150	250	500	1000		I, I <sub>0</sub>
JDJ-10	10	0.1		80	150	320	640		I, I <sub>0</sub>
JDJ-6	6	0.1		50	80	200	400		I, I <sub>0</sub>
JDJ-3	3	0.1		30	50	120	240		I, I <sub>0</sub>
JSJB-10	10	0.1		120	200	480	960		Y, yn0
JSJB-6	6	0.1		80	150	320	640		Y, yn0
JSJW-10	10	0.1	0.1/3	120	200	480	960		YN, yn0, d11
JSJW-6	6	0.1	0.1/3	80	150	320	640		YN, yn0, d11
JSJW-3	3	0.1	0.1/3	50	80	200	400		YN, yn0, d11
JDZ-10	10	0.1		80	150	300	500		I, I <sub>0</sub>
JDZ-6	6	0.1		50	80	200	300		I, I <sub>0</sub>
JDZ-3	3	0.1		30	50	80	300		I, I <sub>0</sub>
JDZ6-10	10	0.1		50	80	200	400		I, I <sub>0</sub>
JDZ6-6	6	0.1		50	80	200	400		I, I <sub>0</sub>
JDZ6-3	3	0.1		25	40	100	200		I, I <sub>0</sub>
JDZX6-10	$10/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	50	80	200	400	40	I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDZX6-6	$6/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	50	80	200	400	40	I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDZX6-3	$3/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	25	40	100	200	40	I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDZJ-10	$10/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	50	80	200	400		I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDZJ-6	$6/\sqrt{3}$	$0.1/\sqrt{3}$	0.1/3	30	50	120	200		I, I <sub>0</sub> , I <sub>0</sub>
JDZF-10	10	0.1		30 (0.2级)					I, I <sub>0</sub>
JDZF-6	6	0.1		30 (0.2级)					I, I <sub>0</sub>
JDG-0.5	0.5, 0.38	0.1		25	40	100	200		I, I <sub>0</sub>
JDG6-0.38	0.38	0.1		15	25	50	100		I, I <sub>0</sub>
JSGW-0.5	0.5, 0.38	0.1	0.1/3	50	80	200	300		YN, yn0, d11

① 电压互感器型号中字母含义:

J—电压互感器; D—“单”相; S—“三”相; X—带有剩余电压绕组; J—油“浸”绝缘(第三位); J—“接”地保护(第四位); B—带有“补”偿绕组; W—铁芯“五”芯柱; Z—浇“注”绝缘; F—测量与保护绕组“分”开; G—“干”式。

### 第三节 高低压开关电器

#### 一、高压开关电器概述

(1) 高压开关电器的功能要求及其型号编制。如表 4-25 所示。

表 4-25 高压开关电器的功能要求及其型号编制

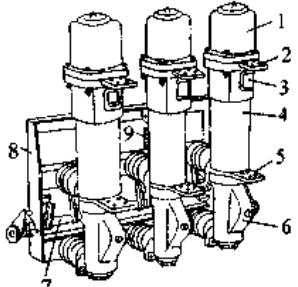
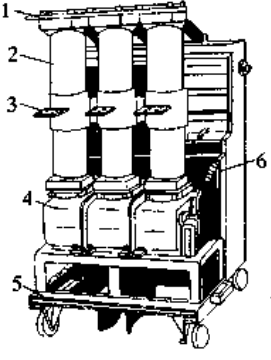
序号	项 目	说 明
1		高 压 开 关 的 功 能 要 求
1.1	高压断路器	高压断路器的功能, 不仅要求通断正常的负荷和过负荷电流, 而且要求通断一定的短路电流, 能在继电保护装置(参看第七章第三节)的作用下, 自动跳闸, 切除短路故障。由于它要通断短路电流, 因此它必须具有相当完善的灭弧结构, 具有足够的通断能力

续表

序号	项 目	说 明																												
1.2	高压负荷开关	高压负荷开关的功能,要求通断正常的负荷和过负荷电流,但不要求通断短路电流,因此它只需具有简单的灭弧装置。为了断开短路电流,所以它必须与高压熔断器串联,以借助熔断器来切除短路故障。高压负荷开关大多还具有隔离高压电源、以保证其后边设备和线路安全检修的功能,因此它断开后通常具有明显可见的断开间隙,与高压隔离开关类似。所以这种负荷开关又有“功率(电力)隔离开关”之称																												
1.3	高压隔离开关	高压隔离开关的功能,主要是用来隔离高压电源,以保证安全检修,因此其结构特点是断开后具有明显可见的断开间隙。它的另一结构特点是没有专门的灭弧装置,因此它不能带负荷操作。但它允许通断一定的小电流,如励磁电流不大于2A的空载变压器,充电电容电流不大于5A的空载线路以及电压互感器回路等																												
2	高 压 开 关 电 器 的 型 号 编 制																													
2.1	全型号组成格式	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">□ 产品 名称 代号</div> <div style="text-align: center;">□ 安 装 场 所 代 号</div> <div style="text-align: center;">□ 设 计 序 号</div> <div style="text-align: center;">□ 额 定 电 压 (kV)</div> <div style="text-align: center;">□ / □ 其 他 标 志 代 号</div> <div style="text-align: center;">□ 额 定 电 流 (A)</div> <div style="text-align: center;">□ 其 他 规 格 数 字</div> <div style="text-align: center;">□ 特 殊 环 境 代 号</div> </div>																												
	操动机构型号	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">□ 操 动 机 构 代 号</div> <div style="text-align: center;">□ 操 动 方 式 代 号</div> <div style="text-align: center;">□ 设 计 序 号</div> <div style="text-align: center;">□ 其 他 标 志 代 号</div> </div>																												
2.2	产品名称代号	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>S</td> <td>D</td> <td>Z</td> <td>L</td> <td>K</td> <td>C</td> <td>Q</td> </tr> <tr> <td>少油 断路器</td> <td>多油 断路器</td> <td>真空 断路器</td> <td>六氟化硫 断路器</td> <td>空气 断路器</td> <td>磁吹 断路器</td> <td>产气 断路器</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>R</td> <td>G</td> <td>J</td> <td>C</td> <td>ZH</td> <td>ZF</td> </tr> <tr> <td>负荷开关</td> <td>熔断器</td> <td>隔离开关</td> <td>接地 短路器</td> <td>操动机构</td> <td>敞开式 组合电器</td> <td>全封闭 组合电器</td> </tr> </table>	S	D	Z	L	K	C	Q	少油 断路器	多油 断路器	真空 断路器	六氟化硫 断路器	空气 断路器	磁吹 断路器	产气 断路器	F	R	G	J	C	ZH	ZF	负荷开关	熔断器	隔离开关	接地 短路器	操动机构	敞开式 组合电器	全封闭 组合电器
		S	D	Z	L	K	C	Q																						
		少油 断路器	多油 断路器	真空 断路器	六氟化硫 断路器	空气 断路器	磁吹 断路器	产气 断路器																						
F	R	G	J	C	ZH	ZF																								
负荷开关	熔断器	隔离开关	接地 短路器	操动机构	敞开式 组合电器	全封闭 组合电器																								
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="3">N</td> <td colspan="4">W</td> </tr> <tr> <td colspan="3">户 内</td> <td colspan="4">户 外</td> </tr> </table>	N			W				户 内			户 外																			
N			W																											
户 内			户 外																											
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>S</td> <td>D</td> <td>J</td> <td>T</td> <td>Z</td> <td>Q</td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td>手 动</td> <td>电 磁</td> <td>电 动 机</td> <td>弹 簧</td> <td>重 锤</td> <td>气 动</td> <td>液 压</td> </tr> </table>	S	D	J	T	Z	Q	Y	手 动	电 磁	电 动 机	弹 簧	重 锤	气 动	液 压																
S	D	J	T	Z	Q	Y																								
手 动	电 磁	电 动 机	弹 簧	重 锤	气 动	液 压																								
2.3	安装场所代号																													
2.4	操动机构操动方式代号																													
2.5	其他标志代号	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>G</td> <td>D</td> <td>X</td> <td>K</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>产品的 部分改进</td> <td>隔离开关 带接地刀闸</td> <td>操动机构 带箱子</td> <td>带有 快分装置</td> <td>带有 限流电阻</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>F</td> <td>(F)</td> <td>Z</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td>负荷开关 带熔断器</td> <td>可分相操作</td> <td>负荷型的 跌落熔断器</td> <td>带有 重合闸装置</td> <td>带有 脱扣器</td> </tr> </table>	G	D	X	K	H	产品的 部分改进	隔离开关 带接地刀闸	操动机构 带箱子	带有 快分装置	带有 限流电阻	R	F	(F)	Z	T	负荷开关 带熔断器	可分相操作	负荷型的 跌落熔断器	带有 重合闸装置	带有 脱扣器								
		G	D	X	K	H																								
		产品的 部分改进	隔离开关 带接地刀闸	操动机构 带箱子	带有 快分装置	带有 限流电阻																								
R	F	(F)	Z	T																										
负荷开关 带熔断器	可分相操作	负荷型的 跌落熔断器	带有 重合闸装置	带有 脱扣器																										
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>T</td> <td>TH</td> <td>TA</td> <td>G</td> <td>H</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>统 一 设 计</td> <td>湿 热 带</td> <td>干 热 带</td> <td>高 原</td> <td>船 用</td> <td>化 工 防 腐 用</td> </tr> </table>	T	TH	TA	G	H	F	统 一 设 计	湿 热 带	干 热 带	高 原	船 用	化 工 防 腐 用																		
T	TH	TA	G	H	F																									
统 一 设 计	湿 热 带	干 热 带	高 原	船 用	化 工 防 腐 用																									
	特殊环境条件派生代号																													
2.7	型号示例	<p>高压断路器</p> <p style="text-align: center;">S N 10-10/1250-43.3</p> <p style="text-align: center;">少油断路器      分断电流(kA) 户内型              额定电流(A) 设计序号            额定电压(kV)</p>																												
		<p>高压负荷开关</p> <p style="text-align: center;">F N 3 10 R T</p> <p style="text-align: center;">负荷开关      带热脱扣器 户内型          带熔断器 设计序号       额定电压(kV)</p>																												
		<p>高压隔离开关</p> <p style="text-align: center;">G N 8-10 T/400</p> <p style="text-align: center;">隔离开关      额定电流(A) 户内型          统一设计型 设计序号       额定电压(kV)</p>																												
		<p>弹簧操动机构</p> <p style="text-align: center;">C T 9-I(或II)</p> <p style="text-align: center;">操动机构      只有手力储能 弹簧储能      兼有手力储能和电动机储能 设计序号</p>																												

(2) 高压开关电器的类别、结构特点及其应用范围。如表 4-26 所示。

表 4-26 高压开关电器的类型、结构特点及其应用范围

序号	类型	结构特点	应用范围
1		高压断路器	
1.1	多油断路器 (DN、DW 型)	(1) 开关触头在绝缘油中闭合和断开 (2) 油兼有灭弧和绝缘双重功能, 油量多 (3) 结构较简单, 但体积较大, 耗用钢材多 (4) 外壳接地, 人体触及无触电危险, 但有易燃易爆危险	过去曾广泛应用, 现在 10kV 及以下电网中已不再使用
1.2	少油断路器 (SN、SW 型)	 (1) 开关触头在绝缘油中闭合和断开 (2) 油只作灭弧介质用, 油量少 (3) 结构简单, 且体积小, 重量轻 (4) 外壳带电, 必须与大地绝缘, 人体不能触及, 但燃烧爆炸的危险性小  1—铝帽; 2—上接线端; 3—油标; 4—绝缘筒(内装灭弧室及触头); 5—下接线端; 6—基座; 7—主轴; 8—框架; 9—断路弹簧	现广泛用在不需频繁操作及不要求高速开断的各级电压电网中
1.3	真空断路器 (ZN、ZW 型)	(1) 开关触头在高真空 (气压为 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ Pa) 的容器内闭合和断开 (2) 灭弧能力强, 燃弧时间短 (一般不大于半个周期 0.01s), 属高速断路器 (3) 触头不受外界有害气体的侵蚀, 电磨损小, 使用寿命长 (4) 结构简单, 体积小, 重量轻, 且可采用积木式结构, 系列性强 (5) 无易燃易爆介质, 无易燃易爆危险	适用于频繁操作及要求高速开断的场合
1.4	六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) 断路器 (LN、LW 型)	 (1) 开关触头在 SF <sub>6</sub> 气体中闭合和断开 (2) SF <sub>6</sub> 气体兼有灭弧和绝缘功能 (3) 灭弧能力强, 亦属高速断路器 (4) SF <sub>6</sub> 气体本身无毒, 但在电弧的高温作用下会产生氟化氢等有强烈腐蚀性的剧毒物质, 检修时应注意防毒 (5) 结构简单, 且可采用积木式结构 (6) 无燃烧爆炸危险  LN2-10 型六氟化硫断路器外形 1—上接线端; 2—绝缘筒(内为气缸及触头系统); 3—下接线端; 4—操动机构箱; 5—小车; 6—断路弹簧	亦适用于频繁操作及要求高速开断的场合, 但不适用于高寒地区

续表

序号	类型	结构特点	应用范围
2	高 压 负 荷 开 关		
2.1	固体产气式负荷开关 (FN1、FN5、FW5 等型)	(1) 利用开断电弧的能量来使灭弧室内壁的产气材料分解, 产生气体来吹灭电弧, 但其灭弧能力较小, 只能熄灭负荷和过负荷的开断电弧 (2) 它必须与高压熔断器串联使用, 借助熔断器来断开短路电流 (3) 结构简单	用于 35kV 及以下电网中
2.2	压气式负荷开关 (FN2、FN3 等型)	(1) 开断过程中利用传动机构带动活塞来压气吹弧而使电弧熄灭 (2) 它也必须与高压熔断器串联使用才能断开短路电流 (3) 结构也较简单  <p>1—主轴; 2—上支柱绝缘子(兼气缸, 内有压气活塞); 3—连杆; 4—下支柱绝缘子; 5—框架; 6—RN1型高压熔断器; 7—下触座; 8—闸刀; 9—弧动触头; 10—绝缘喷嘴(内有弧静触头); 11—主静触头; 12—上触座; 13—断路弹簧; 14—绝缘拉杆; 15—热脱扣器</p> <p>FN3-10RT 型高压负荷开关外形</p>	用于 35kV 及以下户内装置中
2.3	六氟化硫(SF <sub>6</sub> )负荷开关(如FW11-10型)	(1) 其基本结构为三相共箱式, 利用 SF <sub>6</sub> 气体作为灭弧和绝缘介质。其灭弧原理为旋转式灭弧, 效果良好 (2) 它也必须与高压熔断器串联使用才能断开短路电流 (3) 结构较复杂, 且断开后无可见间隙	适用于 35kV 及以下城市环网中
2.4	油浸式负荷开关 (FW2、FW4、FW6 等型)	(1) 其基本结构亦为三相共箱式, 利用绝缘油兼作灭弧和绝缘介质。其灭弧能力较强, 容量较大 (2) 它也必须与高压熔断器串联使用才能断开短路电流 (3) 结构较简单, 但有易燃易爆危险, 且断开后无可见间隙	用于 35kV 及以下户外电网中
2.5	真空负荷开关(如 FN4 等型)	(1) 利用真空灭弧原理灭弧, 但其断流能力只考虑开断正常负荷和过负荷电流, 断开短路电流也必须借助串联的熔断器 (2) 电寿命长, 但价较贵	用于 220kV 及以下电网中
3	高 压 隔 离 开 关		
3.1	户内式隔离开关 (GN 型)	(1) 没有专门的灭弧装置, 因此不能带负荷操作, 但允许通断一定的小电流(参考表 4-25 序号 1、3) (2) 断开后有明显可见的断开间隙, 因此可用来隔离高压电源, 保证安全检修 (3) 多采用三相闸刀同一底座结构, 闸刀均作垂直回转运动	用于户内装置中
3.2	户外式隔离开关 (GW 型)	(1) 也没有专门的灭弧装置, 与序号 3.1 (1) 同 (2) 断开后有明显可见的断开间隙, 可用来隔离高压电源, 与序号 3.1 (2) 同 (3) 结构型式有单柱式、双柱式和三柱式, 闸刀有垂直回转式和水平回转式 (4) 为熄灭小电流电弧, 有的隔离开关动、静触头上加有灭弧角(导条)	用于户外电网中

## 二、部分高压开关电器的技术数据

(1) 部分常用高压断路器的主要技术数据。如表 4-27 所示。

表 4-27 部分常用高压断路器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

类别	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	开断电流 (kA)	断流容量 (MVA)	动稳定电流峰值 (kA)	热稳定电流有效值 (kA)	固有分闸时间 (s)	合闸时间 (s)	配用操动机构型号			
少油 户外	SW2-35/1000	35	1000	16	—	45	16 (4s)	0.06	0.4	CT2- XG I CD3-XG			
	SW2-35/1600		1600	25	—	63	25 (4s)						
	SW2-35/2000		2000	25	—	63	25 (4s)						
少油 户内	SN10-35 I	35	1000	16	—	40	16 (4s)	0.06	0.2 0.25	CT10 CD10			
	SN10-35 II		1250	20	—	50	20 (4s)						
	SN10-10 I	10	630	16	300	40	16 (4s)	0.06	0.15	CT7 CT8			
			1000	16	300	40	16 (4s)						
			1000	31.5	500	80	31.5 (4s)						
			1250	40	750	125	40 (4s)						
			2000	40	750	125	40 (4s)						
SN10-10 II	3000	40	750	125	40 (4s)	0.06	0.2	CD10 CD14					
真空 户内	ZN12-35/1250	35	1250	25	—	63	25 (4s)	0.075	0.09	CT型			
	ZN12-35/1600		1600	31.5	—	80	31.5 (4s)						
	ZN12-35/2000		2000										
	ZN4-10/1000	10	1000	16	—	40	16 (4s)	0.05	0.2	专用 CD型			
	ZN4-10/1250		1250	20	—	50	20 (4s)						
	ZN5-10/630		630	20	—	50	20 (4s)						
	ZN5-10/1000		1000	20	—	50	20 (4s)				0.06	0.1	专用 CD型
			25	63	25 (4s)								
	ZN5-10/1250		1250	20	—	50	20 (4s)				0.06	0.1	专用 CD型
		25	63	25 (4s)									
	ZN12-10	10	1250	31.5	—	80	31.5 (4s)	0.065	0.075	专用 CT型			
			1600										
			2000										
	ZN12-10	10	1600	40	—	100	40 (3s)	0.065	0.075	专用 CT型			
			2000										
3150													
ZN12-10	10	1600	50	—	125	50 (3s)	0.065	0.075	专用 CT型				
		2000											
		3150											
真空 户外	ZW1-10	10	630	6.3	—	16	63 (4s)	—	—	CT型			
	ZW□-10		12.5	—	31.5	12.5 (4s)							
六氟 化硫 户内	LN2-35	35	1250	16	—	40	16 (4s)	0.06	0.15	CT型			
			1250	25	—	63	25 (4s)						
	LN2-10/1250	10	1250	25	—	63	25 (4s)	0.06	0.15	CT型			
六氟 化硫 户外	LW8-35	35	1600	25	—	63	25 (4s)	0.06	0.1	CT14			
			2000	31.5	—	80	31.5 (4s)						
	LW3-10	10	400	6.3	—	16	6.3 (4s)	0.06	0.06	CD型			

(2) 部分常用高压负荷开关的主要技术数据。如表 4-28 所示。

表 4-28 部分常用高压负荷开关的主要技术数据<sup>[23,24]</sup>

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定短路关合电流峰值 (kA)	额定开断电流 (kA)			动稳定电流峰值 (kA)	热稳定电流有效值 (kA)	配用熔断器断流容量 (MVA)		
				空载 $\cos\varphi \leq 0.15$	轻载 $\cos\varphi \leq 0.4$	满载 $\cos\varphi \leq 0.7$			上限	下限	
FW9-10R	10	6.3	0.4	0.4	1	6.3	4	1.6 (2s)	50	5	
FW5-10	10	200	3.15	1.25			10	4 (4s)	—		
FW11-10 (柱上 SF <sub>6</sub> )	10	400	16	6.3			16, 试验通过 31.5	6.3 (4s)	—		
FN2-10	10	400	—	2.5 (6kV)			40	16 (4s)	200		
FN2-10R				1.25 (10kV)			25	6.3 (4s)			
FN3-6 (R)	6	400	15	0.85 ( $\cos\varphi=0.15$ )	$\cos\varphi=0.7$	1.95	25	9.5 (4s)	200		
FN3-10 (R)	10			1.45							
FN5-10 (R)	10	400	25 31.5	0.4			25 31.5	10 (4s) 12.5	200		
		630	40	0.63			40	16 (4s)			
		1250	50	1.25			50	20 (4s)			
FN4-10 (真空)	10	600	7.5	3			7.5	3 (4s)	—		

(3) 部分常用高压隔离开关的主要技术数据。如表 4-29 所示。

表 4-29 部分常用高压隔离开关的主要技术数据<sup>[22]</sup>

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	动稳定电流峰值 (kA)	热稳定电流有效值 (kA)	配用操动机构型号
GW4-35 GW4-350 GW4-35W GW4-35DW	35	630	50	20 (4s)	CS11, CS11F CS8-6D, CS8-6DF
		1250	63	25 (4s)	
GW5-35G GW5-35GD	35	630	50	16 (4s)	CS17
		1000	50	16 (4s)	
		1250	50	16 (4s)	
GW1-6	6	400	31.5	12.5 (2s)	CS8-1
		630	40	16 (2s)	
GW1-10 (W)	10	200	8	3.15 (2s)	CS8-1
		400	31.5	12.5 (2s)	
		630	40	16 (2s)	
GN2-35T	35	400	52	14 (5s)	CS6-2
		600	64	25 (5s)	
		1000	70	27.5 (5s)	
		2000	70	27.5 (4s)	
GN2-10	10	2000	85	51 (5s)	CS6-2
		3000	100	70 (5s)	CS7
GN19-35	35	630	50	20 (2s)	CS6-2
		1250	80	31.5 (2s)	



续表

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	动稳定电流峰值 (kA)	热稳定电流有效值 (kA)	配用操动机构型号
GN19-10	10	400	31.5	12.5 (2s)	CS6-1T
		630	50	20 (2s)	
		1000	80	31.5 (2s)	
		1250	100	40 (2s)	
GN22-10	10	2000	100	40 (2s)	CS6-2
GN22-10D		3150	125	50 (2s)	
GN24-10D	10	400	31.5	12.5 (4s)	CS18
		630	50	20 (4s)	
		1000	80	31.5 (4s)	
		1250	100	40 (4s)	
GN30-10	10	400	31.5	12.5 (4s)	CS6-1
GN30-10D		630	50	20 (4s)	
		1000	80	31.5 (4s)	
GN $\frac{6}{8}$ -6T <sup>[3]</sup>	6	200	25.5	10 (5s)	CS6-1T
		400	40	14 (5s)	
		600	52	20 (5s)	
GN $\frac{6}{8}$ -10T <sup>[3]</sup>	10	200	25.5	10 (5s)	CS6-1T
		400	40	14 (5s)	
		600	52	20 (5s)	
		1000	75	30 (5s)	

### 三、低压开关电器概述

(1) 低压开关电器的功能要求及其型号编制。如表 4-30 所示。

表 4-30 低压开关电器的功能要求及其型号编制

序号	项 目	说 明
1		低 压 开 关 的 功 能 要 求
1.1	低压断路器	低压断路器又称“低压自动开关”，要求既能带负荷通断电路，又能在短路、过负荷和低压（失压）时自动跳闸，即它既具有控制电路通断的功能，又具有保护装置的功能，因此它必须具有比较完善的灭弧结构，又具有一定的保护灵敏度
1.2	低压负荷开关	低压负荷开关由低压刀开关与低压熔断器串联组合而成，外装封闭式铁壳或开启式胶盖，又称“开关熔断器组”。它具有刀开关和熔断器的双重功能，既可带负荷操作，又能借助其熔断器进行短路保护，但熔断器熔断后，需更换熔体后才能恢复供电
1.3	低压刀开关	低压刀开关有带灭弧罩的和不带灭弧罩的两种。带灭弧罩的刀开关能带一定的负荷电流通断电路；不带灭弧罩的刀开关只能当隔离开关使用，用来隔离电源，以保证安全检修 有一种熔断器式刀开关，又称“刀熔开关”，即将刀开关的闸刀换以 RTO 型熔断器的具有刀形触头的熔管，所以它是刀开关与熔断器的一种组合电器，具有刀开关与熔断器的双重功能。它简化了低压配电装置的结构，经济实用，因此应用颇广
2		低 压 开 关 电 器 的 型 号 编 制
2.1	全型号的组成格式	<div style="text-align: center;"> <pre>           □   □   □   □   □   □   □   类  设  系  品  品  规  热           组  计  列  种  种  格  带           代  代  派  代  派  代  产           号  号  生  号  生  号  品               代  代               号  号           </pre> </div>

续表

序号	项 目	说 明																
		类别代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A			
		类别名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	断路器	控制器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他			
2.2	类组代号(第一位为类别代号,第二、三位为组别代号)	第一位组别代号及名称	A						按钮式		按钮							
			B									板形元件				保护器		
			C		插入式					电磁式			冲片元件	旋臂式			插销	
			D	刀开关(隔离器)							漏电		铁铝带元件		电压		信号灯	
			E															
			F															
			G	熔断器式隔离器				鼓形	高压					管形元件				
			H	封闭式负荷开关	汇流排式													接线盒
			J						交流	减压			接近开关	锯齿型元件				交流接触器
			K	开启式负荷开关					真空				主令控制器					
			L		螺旋式							电流			励磁			电铃
			M		密闭管式	灭磁			灭磁									
			N					平面	中频									
			P								频率				频敏启动			牵引
			Q															
			R	熔断器式开关								热		非线性电力电阻				
			S	刀形转换开关(转换隔离器)	半导体元件保护(快速)	快速			时间	手动	时间	时间	主令开关	烧结元件	石墨			
			T		有填料封闭管式			凸轮	通用			通用	足踏开关	铸铁元件	起动调速			
			U								油浸		旋钮		油浸起动			
			W			万能式					无触点	温度	万能转换开关		液体起动			起重
X		熔断信号器						星三角		行程开关	电阻器	滑线式						
Y	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	其他	超速开关	硅炭电阻元件	其他			液压			

续表

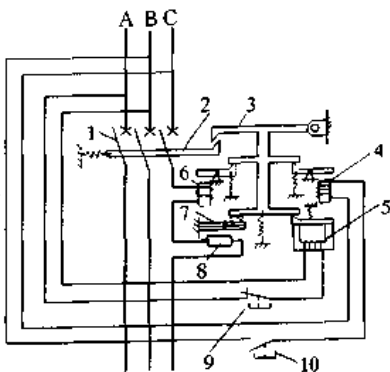
序号	项 目	说 明															
2.2	类组代号(第一位为类别代号, 第二位为组别代号, 第三位为组别代号)	类别代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A		
		类别名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	断路器	控制器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其他		
		第二位组别代号及名称	Z	组合开关	自复	塑料外壳式		直流	综合	中间						制动	
			D														多功能电子式
			G					高压									
			J				交流	交流									
			L			漏电											
			R														热
			S		半导体元件保护(快速)												
			T														推动器
X				限流													
Z					直流									直流			
2.3	设计代号	设计代号用阿拉伯数字表示, 位数不限。其中设计代号为二位及二位以上时, 首位数“9”表示船用, “8”表示防爆, “7”表示纺织用, “6”表示农业用, “5”表示化工用。类组代号与设计代号组成产品系列															
2.4	派生代号	代号	代 表 意 义														
		A、B、C、D...	结构设计稍有改进或变化														
		C	插入式、抽屉式														
		D	达标验证攻关														
		E	电子式														
		J	交流、防溅式、较高通断能力型、节电型														
		Z	直流、防震、正向、重任务、自动复位、组合式、中性接线柱式														
		W	失压、无极性、外销用、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、塑料熔管式、保持式														
		P	单相、电压的、防滴式、电磁复位、两个电源、电动机操作														
		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、柜式														
L	电流的、挡板式、漏电保护、单独安装式																
F	高返回、带分励脱扣、多纵缝灭弧结构式、防护盖式																
X	限流																
G	高电感、高通断能力型																
TH	湿热带产品代号																
TA	干热带产品代号																
2.5	品种代号	品种代号用阿拉伯数字表示, 位数不限, 根据各产品的主要参数确定, 一般用电流、电压或容量参数表示															
2.6	品种派生代号	品种派生代号用一位或二位汉语拼音字母表示, 系列内个别品种的变化特征, 由型号颁发单位根据序号 2.4 统一确定															
2.7	规格代号	规格代号用阿拉伯数字表示, 位数不限, 表示除品种以外的需进一步说明的产品特征, 如极数、脱扣方式、用途等															
2.8	热带产品代号	表示产品的环境适应性特征, 由型号颁发单位根据序号 2.4 确定, 湿热带代号为 TH, 干热带代号为 TA															

续表

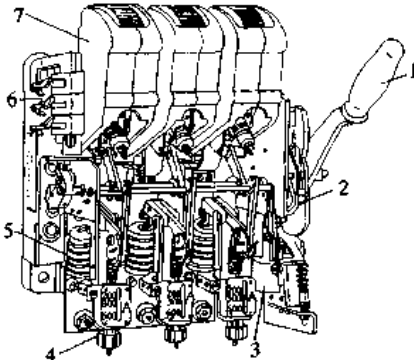
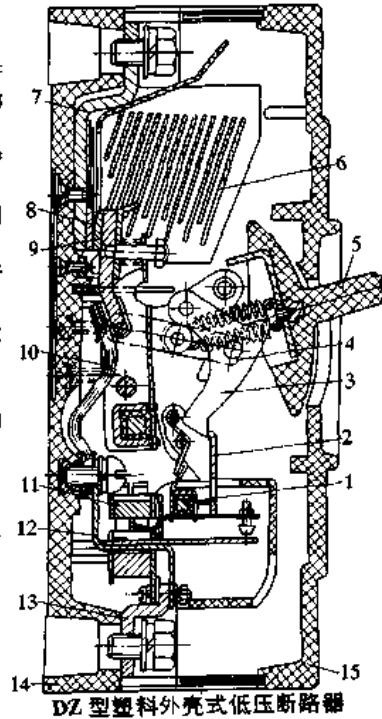
序号	项 目	说 明
2.9	型号示例	<p>低压断路器</p> <p>D Z X 10 D-630 P/□ □</p> <p>                     低压断路器                      塑料外壳式                      限流型                      设计序号                      达标代号                 </p> <p>                     脱扣器方式                      及附件代号                      极数                      电动机操作                      额定电流(A)                 </p>
	低压刀开关	<p>H □ □ □ □ □ □</p> <p>                     低压刀开关                      D—单投                      S—双投                 </p> <p>                     11—中央手柄式                      12—侧方正面、杠杆操作式                      13—中央正面、杠杆操作式                      14—侧面手柄式                 </p> <p>                     接线方式                      8—板前接线                      9—板后接线                 </p> <p>                     灭弧罩                      0—无灭弧罩                      1—有灭弧罩                 </p> <p>                     极数                      额定电流(A)                 </p> <p>                     B—特殊派生代号                      X—旋转操作                 </p>

(2) 低压开关电器的类别、结构特点及其应用范围。如表 4-31 所示。

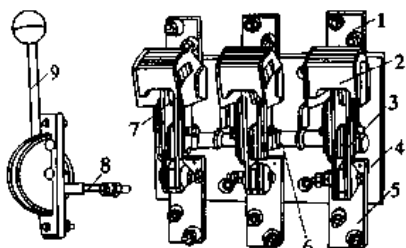
表 4-31 低压开关电器的类别、结构特点及其应用范围

序号	项 目	说 明
1		低 压 断 路 器
1.1	低压断路器的分类	<p>(1) 按灭弧介质分：①空气断路器；②真空断路器</p> <p>(2) 按保护性能分：①非选择型断路器，一般为瞬时动作，只作短路保护用，也有的为长延时动作，作限流用；②选择型断路器，有两段保护（具有瞬时或短延时动作和长延时动作）和三段保护（具有瞬时动作、短延时动作和长延时动作）的动作特性；③智能型断路器，其脱扣器动作由微机控制，保护性能更多样更灵活</p> <p>(3) 按用途分：①配电用断路器；②电动机保护用断路器；③照明用断路器；④漏电保护（触电保护）断路器</p> <p>(4) 按结构型式分：①万能式（框架式）断路器；②塑料外壳式（装置式）断路器</p>
1.2	低压断路器的基本结构和工作原理	<p>(1) 当线路上出现短路故障时，其过电流脱扣器（电磁脱扣器）动作，使开关跳闸</p> <p>(2) 当线路上出现过负荷时，串联在一次线路上的加热电阻加热，使热脱扣器的双金属片弯曲，使开关跳闸</p> <p>(3) 当线路电压严重下降或电压消失时，其失压脱扣器动作，使开关跳闸</p> <p>(4) 如果按下脱扣按钮 9，使失压脱扣器失电动作，或者按下脱扣按钮 10，使分励脱扣器通电动作，均可使开关跳闸</p> <div style="text-align: right;">  <p>低压断路器的原理结构和接线</p> <p>1—主触头；2—跳钩；3—锁扣；4—分励脱扣器；5—失压脱扣器；6—电流脱扣器；7—热脱扣器（双金属片）；8—加热电阻；9—脱扣按钮（常闭）；10—脱扣按钮（常开）</p> </div>

续表

序号	项 目	说 明
1.3	<p>万能式断路器的结构特点及其应用范围</p>	<p>(1) 断路器为框架式结构,其主要部件大多是敞露可见的,因此又有“框架式断路器”之称。如图所示为一种万能式断路器的外形结构</p> <p>(2) 其保护方案和操作方式较多,既有手柄操作,也有杠杆操作、电磁操作或电动操作</p> <p>(3) 安装地点也相当灵活,可装设在配电装置内,也可安装在墙上或支架上,因此有“万能式”之称</p> <p>(4) 电流容量较大,断流能力也较大,但其分断速度较慢,断路时间(含灭弧时间)一般大于0.02s</p> <p>(5) 万能式断路器主要用作配电变压器低压侧的总开关、低压母线分段主开关和低压出线主开关</p> <div data-bbox="981 347 1396 705" style="text-align: right;">  <p>DW型万能式低压断路器 1—操作手柄;2—自由脱扣机构;3—失压脱扣器;4—过流脱扣器电流调节螺母;5—过流脱扣器;6—辅助触头(联锁触头);7—灭弧罩(内有主触头)</p> </div>
1.4	<p>塑料外壳式断路器的结构特点及其应用范围</p>	<p>(1) 断路器为封闭式结构,除操作手柄外露外,其余部件均装在塑料外壳之内。所示图为一种塑料外壳式断路器的剖面图</p> <p>(2) 其保护方案主要为两段保护,即具有热脱扣器保护(作过负荷保护)和电磁脱扣器保护(作短路保护)两种</p> <p>(3) 其操作方式主要为手柄操作,容量较大的有电动合闸操作</p> <p>(4) 电流容量和断流能力均较小,但其分断速度较快,断路时间(含灭弧时间)一般不大于0.02s</p> <p>(5) 一般只安装在低压配电装置之内,因此,又有“装置式断路器”之称</p> <p>(6) 结构尺寸较小,质量较轻</p> <p>(7) 塑料外壳式断路器广泛用作容量较小的配电开关和电动机控制开关、照明控制开关以及漏电保护开关等</p> <div data-bbox="997 952 1380 1668" style="text-align: right;">  <p>DZ型塑料外壳式低压断路器</p> </div> <p>1—牵引杆;2—锁扣;3—跳钩;4—连杆;5—操作手柄;6—灭弧栅;7—引入线和接线端子;8—静触头;9—动触头;10—可挠连接条;11—电磁过流脱扣器;12—热脱扣器;13—引出线和接线端子;14—塑料底座;15—塑料盖</p>
2	低 压 负 荷 开 关	
2.1	<p>封闭式负荷开关的结构特点和应用范围</p>	<p>(1) 由低压刀开关与熔断器串联组合而成</p> <p>(2) 外装封闭式铁壳,俗称“铁壳开关”</p> <p>(3) 用于低压配电线路中作小负荷电流的通断,兼作短路保护</p>
2.2	<p>开启式负荷开关的结构特点和应用范围</p>	<p>(1) 由低压刀开关与熔断器串联组合而成</p> <p>(2) 外装开启式胶盖,俗称“胶盖开关”</p> <p>(3) 亦用于低压配电线路中作小负荷电流的通断,兼作短路保护</p>
3	低 压 刀 开 关	

续表

序号	项 目	说 明
3.1	低压刀开关的结构特点及应用范围	<p>(1) 单投刀开关 (HD 型) 的刀闸是单向通断; 而双投刀开关 (HS 型) 的刀闸则双向通断, 切换电路</p> <p>(2) 操作方式有手柄直接操作和杠杆传动操作两种</p> <p>(3) 带有灭弧罩的刀开关可带负荷操作, 而未带灭弧罩的刀开关一般不能带负荷操作 (参看表 4-36)</p> <p>(4) 刀开关在低压配电系统中主要作隔离开关 (隔离器) 使用; 双投刀开关可用于切换操作, 兼有隔离器作用</p> <div style="text-align: center;">  <p>1—上接线端子; 2—灭弧罩; 3—闸刀; 4—底座; 5—下接线端子; 6—主轴; 7—静触头; 8—连杆; 9—操作手柄</p> <p>HD13 型低压刀开关外形结构</p> </div>
3.2	熔断器式刀开关的结构特点及应用范围	<p>(1) 其闸刀上带有熔断管 (RTO 型), 因此又称“刀熔开关”</p> <p>(2) 由于带有熔断管, 因此它兼有短路保护功能</p> <p>(3) 带有灭弧罩的刀熔开关, 可带负荷操作; 不带灭弧罩的, 一般当隔离开关使用</p> <p>(4) 由于它系组合电器, 占用空间小, 因此广泛应用于低压配电装置上</p>

#### 四、部分低压开关电器的技术数据

(1) 部分万能式低压断路器的主要技术数据。如表 4-32 所示。

表 4-32 部分万能式低压断路器的主要技术数据<sup>[11-23]</sup>

型 号 <sup>①</sup>	脱扣器 额定电流 (A)	长延时动作 整定电流 (A)	短延时动作 整定电流 (A)	瞬时动作 整定电流 (A)	单相接地短 路动作电流 (A)	分断能力	
						电流 (kA)	cosφ
DW15-200	100	64~100	300~1000	300~1000 800~2000	—	20	0.15
	150	98~150	—	—			
	200	128~200	600~2000	600~2000 1600~4000			
DW15-400	200	128~200	600~2000	600~2000 1600~4000	—	25	0.35
	300	192~300	—	—			
	400	256~400	1200~4000	3200~8000			
DW15-600	300	192~300	900~3000	900~3000 1400~6000	—	30	0.35
	400	256~400	1200~4000	1200~4000 3200~8000			
	600	384~600	1800~6000	—			
DW15-1000	600	420~600	1800~6000	6000~12000	—	40 (短延时)	0.35
	800	560~800	2400~8000	8000~16000			
	1000	700~1000	3000~10000	10000~20000			
DW15-1500	1500	1050~1500	4500~15000	15000~30000	—	—	—

续表

型号 <sup>①</sup>	脱扣器 额定电流 (A)	长延时动作 整定电流 (A)	短延时动作 整定电流 (A)	瞬时动作 整定电流 (A)	单相接地短 路动作电流 (A)	分断能力	
						电流 (kA)	cosφ
DW15-2500	1500	1050~1500	4500~9000	10500~21000	—	60	0.2
	2000	1400~2000	6000~12000	14000~28000		(短延时)	(短延时)
	2500	1750~2500	7500~15000	175000~35000		40	0.25
DW15-4000	2500	1750~2500	7500~15000	17500~35000	—	80	0.2
	3000	2100~3000	9000~18000	21000~42000		(短延时)	
	4000	2800~4000	12000~24000	28000~56000		60	
DW16-630	100	64~100	—	300~600	50	30 (380V)	0.25 (380V)
	160	102~160		480~960	80		
	200	128~200		600~1200	100		
	250	160~250		750~1500	125	20 (660V)	0.3 (660V)
	315	202~315		945~1890	158		
	400	256~400		1200~2400	200		
	630	403~630		1890~3780	315		
DW16-2000	800	512~800	—	2400~4800	400	50	—
	1000	640~1000		3000~6000	500		
	1600	1024~1600		4800~9600	800		
	2000	1280~2000		6000~12000	1000		
DW16-4000	2500	1400~2500	—	7500~15000	1250	80	—
	3200	2048~3200		9600~19200	1600		
	4000	2560~4000		12000~24000	2000		
DW17-630 (ME630)	630	200~400 350~630	3000~5000 5000~8000	1000~2000 1500~3000 2000~4000 4000~8000	—	50	0.25
DW17-800 (ME800)	800	200~400 350~630 500~800	3000~5000 5000~8000	1500~3000 2000~4000 4000~8000	—	50	0.25
DW17-1000 (ME1000)	1000	350~630 500~1000	3000~5000 5000~8000	1500~3000 2000~4000 4000~8000	—	50	0.25
DW17-1250 (ME1250)	1250	500~1000 750~1250	3000~5000 5000~8000	2000~4000 4000~8000	—	50	0.25
DW17-1600 (ME1600)	1600	500~1000 900~1600	3000~5000 5000~8000	4000~8000	—	50	0.25
DW17-2000 (ME2000)	2000	500~1000 1000~2000	5000~8000 7000~12000	4000~8000 6000~12000	—	80	0.2
DW17-2500 (ME2500)	2500	1500~2500	7000~12000 8000~12000	6000~12000	—	80	0.2
DW17-3200 (ME3200)	3200	—	—	8000~16000	—	80	0.2
DW17-4000 (ME4000)	4000	—	—	10000~20000	—	80	0.2

① 表中断路器的额定电压：DW15，直流 220V，交流 380、660、1140V；DW16，交流 400、660V；DW17 (ME)，交流 380、660V。

(2) 部分塑料外壳式低压断路器的主要技术数据。 DZ15 系列的主要技术数据，如表 4-33 所示；DZ20 系

列的主要技术数据,如表 4-34 所示;DZ 15L 系列的主要技术数据,如表 4-35 所示。

表 4-33 DZ15 系列塑料外壳式低压断路器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型号	额定电流 (A)	额定电压 (V)	极数	脱扣器额定电流 (A)	最大通断能力		通断间隔时间
					电流 (A)	cosφ	
DZ15-40/190□	40	~220	1	6、10、16、 20、25、 32、40	2500 3000	0.7 0.9	断 $\xrightarrow{3\text{min}}$ 通断 $\xrightarrow{3\text{min}}$ 通断
DZ15-40/290□		~380	2				
DZ15-40/390□			3				
DZ15-40/490□			4				
DZ15-63/190□	63	~220	1	10、16、20、 25、32、40、 50、63	5000	0.7	断 $\xrightarrow{3\text{min}}$ 通断 $\xrightarrow{3\text{min}}$ 通断
DZ15-63/290□		~380	2				
DZ15-63/390□			3				
DZ15-63/490□			4				

\* 型号含义:

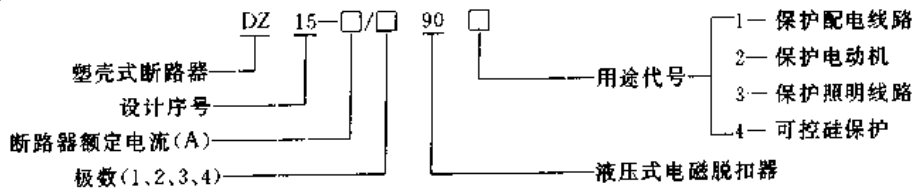


表 4-34 DZ20 系列塑料外壳式低压断路器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型号	断路器额定电流 (A)	脱扣器额定电流 I <sub>N,OR</sub> (A)	极数	额定极限短路分断能力 ~380V (kA)	额定运行短路分断能力 ~380V (kA)	瞬时脱扣器整定电流						
						配电用	保护电动机用					
DZ20Y-100	100	16、20、32、 40、50、63、 80、100	2、3	18	14	10I <sub>N,OR</sub> (≤40A 为 600A)	12I <sub>N,OR</sub>					
DZ20J-100			2、3、4	35	18							
DZ20G-100			2、3	100	50							
DZ20H-100			2、3	35	18							
DZ20C-160	160	16、20、32、40、 50、63、80、100、 125、160	3	12	—	10I <sub>N,OR</sub>	—					
DZ20Y-200	200	16**、80*、 100、125、160、 180、200、225	2、3	25	18	5I <sub>N,OR</sub> 10I <sub>N,OR</sub>	8I <sub>N,OR</sub> 12I <sub>N,OR</sub>					
DZ20J-200			2、3、4	42	25							
DZ20G-200			2、3	100	50							
DZ20H-225			3	35	18							
DZ20C-250	250	100、125、160、 180、200、225、250	3	15	—	10I <sub>N,OR</sub>	—					
DZ20C-400	400	100、125、160、 180、200、250、 315、350、400	3	20	—	10I <sub>N,OR</sub>	—					
DZ20Y-400								2、3	30	23	10I <sub>N,OR</sub>	12I <sub>N,OR</sub>
DZ20J-400									50	25	5I <sub>N,OR</sub>	—
DZ20G-400									100	50	10I <sub>N,OR</sub>	—
DZ20C-630	630	250**、315**、 350**、400、 500、630	3	20	—	5I <sub>N,OR</sub> 10I <sub>N,OR</sub>	—					
DZ20Y-630			2、3	30	23							
DZ20J-630				50	25							
DZ20H-630			3	50	25							
DZ20Y-1250	1250	630、700、800、 1000、1250	2、3	50	38	4I <sub>N,OR</sub>	—					
DZ20J-1250				65	38	7I <sub>N,OR</sub>						

\* 断路器型号中 C、Y、J、G 等字母表示“额定极限短路分断能力级别”:C—经济型;Y—一般型;J—较高型;H—最高型。

\*\* 表中标 \* 号者,为 DZ20J-200 和 630 型 4 极有此规格。



表 4-35 DZ15L 系列漏电保护断路器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型号	额定电压 (V)	额定频率 (Hz)	额定电流 (A)	极数	脱扣器额定电流 (A)	额定漏电动作电流 (mA)	额定漏电不动作电流 (mA)	漏电脱扣全动作时间 (s)
DZ15L-40/390□	380	50	40	3	5、10、16、20、25、32、40	30	15	≤0.1
DZ15L-40/490□						50	25	
						75	40	
				50		25		
				75		40		
				100		50		
	100	50						
DZ15L-63/390□	380	50	63	3	10、16、20、25、32、40、50	30	15	≤0.1
					50	25		
					75	40		
				50	25			
DZ15L-63/490□				75	40			
				100	50			
				100	50			
				50	25			
				75	40			
	100	50						

\* 型号含义，其中“L”为漏电保护派生代号，其余参看表 4-33 注。

续表

(3) HD、HS 系列低压刀开关的分断能力。如表 4-36 所示。

表 4-36 HD、HS 系列低压刀开关的分断能力<sup>[24]</sup>

型号	有无灭弧罩	在下列电源电压下允许断开的电流值			
		交流, $\cos\varphi=0.7$		直流, $T=0.01s$	
		380V	500V	220V	440V
HD12、13、14 HS12、13	有	$1N$	$0.51N$	$1N$	$0.51N$
HD12、13、14 HS12、13	无	$0.31N$	—	$0.21N$	—
HD11 HS11	无	用于电路中无电流时开断电路			

\*  $I_N$  为开关额定电流。

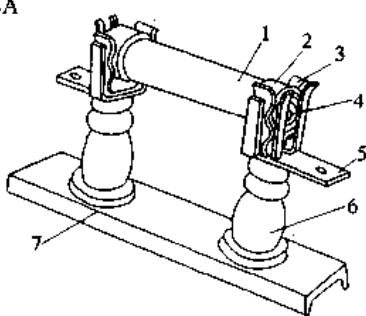
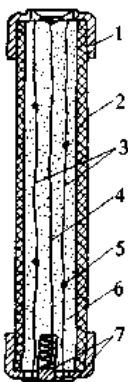
## 第四节 高低压熔断器和避雷器

### 一、高压熔断器及其技术数据

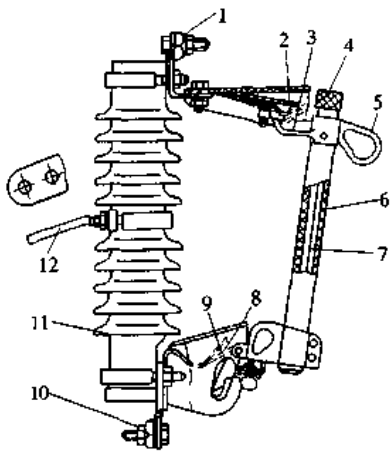
(一) 高压熔断器的类别、结构特点及型号编制如表 4-37 所示。

表 4-37 高压熔断器的类别、结构特点及型号编制

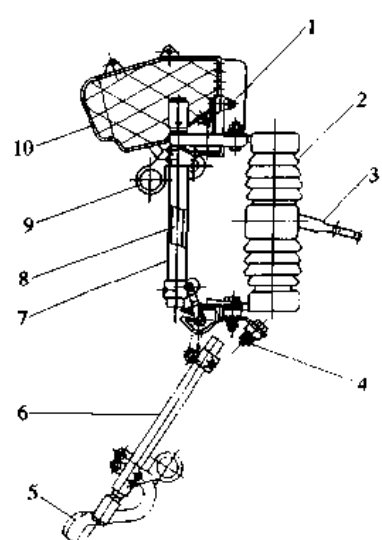
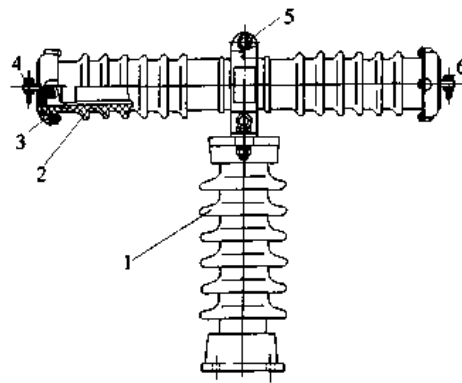
序号	项目	说明
1		户内式高压熔断器
1.1	功能	主要用作短路保护，也能起过负荷保护作用

序号	项目	说明
1.2	RN1-10 型管型熔断器外形结构	<p>RN1 型用于电力变压器和其他高压设备保护，容量和结构尺寸较大，而 RN2 型只用于电压互感器保护，结构尺寸较小，其额定电流仅 0.5A</p>  <p>1—瓷熔管；2—金属管帽；3—弹性触座；4—熔断指示器；5—接线端子；6—瓷绝缘支柱；7—底座</p>
1.3	管型熔断器的熔管剖面示意图	 <p>1—金属管帽；2—瓷管；3—工作熔体（铜丝，上焊锡球）；4—指示熔体（铜丝）；5—锡球；6—石英砂填料；7—熔断指示器（虚线表示熔体熔断后弹出）</p>

续表

序号	项目	说明
1.4	保护原理	<p>(1) 短路保护: 短路电流通过熔体, 使之迅速加热熔断。电流越大, 熔断时间越短</p> <p>(2) 过负荷保护: 过负荷电流通过熔体时, 首先使焊在熔体(铜丝)上的锡球受热熔化, 此熔化的锡球包围铜丝, 铜锡分子相互渗透而形成熔点较铜的熔点低的铜锡合金, 使铜熔丝能在较低的温度下熔断(通称“冶金效应”), 从而使熔断器能在过负荷电流或较小短路电流时也能动作, 提高熔断器保护的灵敏度</p>
1.5	限流特性	<p>高压管型熔断器的熔管内并联多根熔丝, 而且各熔丝熔断时产生的细长电弧在石英砂中燃烧, 因此其灭弧能力很强, 灭弧速度很快。通常它能在短路后不到半个周期(0.01s)内就能熄灭电弧。而短路过程中最大的瞬时电流即短路冲击电流出现在短路后半个周期(0.01s, 参看表 5-2 序号 5), 因此它能在短路电流达到冲击值之前熔断, 从而使装有这种熔断器保护的电路和设备可不考虑短路冲击电流的影响。这种能躲过短路冲击电流的熔断器, 称为“限流熔断器”</p>
1.6	熔断信号	<p>当短路电流或过负荷电流通过熔体使工作熔体熔断后, 其指示熔体相继熔断, 其红色的熔断指示器弹出(参看序号 1.3), 表示其熔体已经熔断</p>
2	户外式高压熔断器	
2.1	户外高压熔断器的功能及图形符号	<p>(1) 一般跌落式熔断器的功能: ①短路保护; ②用来隔离电源, 保证安全检修, 与隔离开关功能相同</p> <p>(2) 负荷型跌落式熔断器(如 RW10-10F 型)的功能: ①短路保护; ②隔离电源, 与隔离开关功能相同; ③又能带额定负荷和过负荷操作, 与负荷开关功能相同</p> <p>(3) 户外高压限流熔断器(如 RW10-35 型)的功能: ①短路保护; ②过负荷保护</p> <p>(4) 图形符号: ①一般跌落式熔断器, 按 GB/T4728.7-2000 规定, 可采用表 1-36 序号 8.3 符号; ②负荷型跌落式熔断器, 可采用表 1-36 序号 8.4 符号; ③户外限流器熔断器, 则采用一般熔断器的符号, 参见表 1-36 序号 8.1 所列符号</p>
2	一般跌落式熔断器(RW4-10 型)的外形结构	 <p>1—上接线端子; 2—上静触头; 3—上动触头; 4—管帽(带薄膜); 5—操作环; 6—熔管(外层为酚醛纸管或环氧玻璃布管, 内套纤维质灭弧管); 7—铜熔丝; 8—下动触头; 9—下静触头; 10—下接线端子; 11—绝缘瓷瓶; 12—固定安装板</p>

续表

序号	项目	说明
2.3	负荷型跌落式熔断器(RW10-10F 型)的外形结构	 <p>1—上接线端子; 2—绝缘瓷瓶; 3—固定安装板; 4—下接线端子; 5—灭弧触头; 6—熔丝管(内层为纤维质灭弧管); 7—熔丝管(同6), 闭合位置; 8—熔丝(铜丝); 9—操作环; 10—灭弧罩</p>
2.4	户外高压限流熔断器(RW10-35 型)的外形结构	 <p>1—棒形支柱绝缘子; 2—瓷质熔管(内装特制熔体, 并充满石英砂); 3—铜管帽; 4—接线端子; 5—固定抱箍; 6—接线端子</p>
2.5	一般跌落式熔断器的工作原理	<p>一般跌落式熔断器(如 RW4、RW7 等型)在线路上发生短路时, 短路电流使熔丝熔断, 产生电弧, 使纤维质灭弧管内壁烧灼而分解出大量气体, 导致管内压力剧增, 并沿管道形成强烈气流纵吹电弧, 使电弧熄灭。熔丝熔断后, 上动触头因失去熔丝的张力而下垂, 使锁紧机构释放, 熔管在触头弹力和熔管自重作用下回转跌落, 形成明显可见的断开间隙</p> <p>大多数跌落式熔断器的熔管设计为逐级排气结构。在开断小短路电流时, 由于上端被一薄膜封闭, 形成单端(下端)排气, 使管内保持较大的气压, 以利于熄灭小短路电弧。在开断大短路电流时, 由于管内分解的气体很多, 气压很大, 从而使上端薄膜被冲开, 形成上下两端排气, 以减小管内压力, 防止熔管爆破。采用逐级排气结构的有 RW4-10、RW5-35、RW9-10、RW10-10F、RW11-10 等型</p>



续表

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	开断容量不小于 (MVA)	最大开断电流 (kA)	熔管数	质量 (kg)	
						熔断器	熔管
RN3-3/2~75	3	2~75	200	—	1	5.57	—
RN3-3/100~200		100~200				9.27	
RN3-6/2~50	6	2~50	600	—	1	8.05	—
RN3-6/75~200		75~200				10.5	
RN3-10/2~200	10	2~200	—	—	—	—	—
RN4-3/0.5	3	0.5	500	—	1	—	—
RN4-6/0.5	6		1000				
RN4-10/0.5	10		4500				
RN4-10/0.5	20		—				
RN5-3/2~20	3	2~20	200	40	1	6.6	0.9
RN5-3/30~100		30~100				7.8	2.2
RN5-3/150、200		150、200			8.5	4.5	
RN5-6/2~20	6	2~20	200	20	1	7.8	1.5
RN5-6/30~75		30~75				8.8	2.5
RN5-6/100		100			10.6	2.6	
RN5-6/150、200		150、200			10.6	2.6	
RN5-10/1	10	1	500	—	1	—	—
RN5-10/2~20		2~20	200	12		8.5	2
RN5-10/30~75		30~75				10.3	3
RN5-10/100		100				—	—
RN6-3/50~300	3	50~300	—	20	1	—	—
RN6-6/50~30	6	50~300	—	40	1	—	—

注 熔断器熔体额定电流等级有：0.5、1、2、3、5、7.5、10、15、20、30、40、50、75、100、150、200、300、400A等。

(2) 部分户外高压跌落式熔断器的主要技术数据。如表 4-39 所示。

表 4-39 部分户外高压跌落式熔断器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型 号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大三相 开断容量 (MVA)	工频干 耐受电压 (kV)	工频湿 耐受电压 (kV)	全波冲击 耐受电压 (kV)	质量 (kg)
RW3-10/50	10	50	50	45	34	75	7
RW3-10/100		100	100				7.1
RW3-10/200		200	200				—
RW4-10/50	10	50	50	45	34	75	5.8
RW4-10/100		100	100				5.9
RW4-10/200		200	200				6.5
RW5-35/100	35	100	10~400	105	85	185	30
RW5-35/200		200	30~800				31
RW6-60G/50	60	50	500	—	—	—	—
RW6-60G/100		100					—
RW6-110/100	110	100	20~550	280	215	460	150
RW7-10/50	10	50	10~75	45	34	75	6
RW7-10/100		100	30~100				6
RW7-10/200		200	30~100				7
RW9-10/100	6~10	100	100	42	34	95	—
RW9-15/200	15	200	150	73	45	100	—
RW9-35/0.5	35	0.5	2000	—	—	—	18.5
RW9-35/2		2	600				19.0

续表

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	最大三相开断容量 (MVA)	工频干耐受电压 (kV)	工频湿耐受电压 (kV)	全波冲击耐受电压 (kV)	质量 (kg)
RW10-10F	10	50, 100, 200	200	—	—	—	—
RW11-10/100	10	100	110	—	—	—	—
RW-35B	35	100	400	—	—	—	66
			600				—
RWJ-35/0.5	35	0.5	2000	—	—	—	18.5
RWJ-35/2~10		2~10	600				19

(3) RW10-35型和RXW0-35型户外高压限流熔断器的主要技术数据。如表4-40所示。

表4-40 RW10-35型和RXW0-35型户外高压限流熔断器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	三相断流容量 (MVA)	质量 (kg)	型号	额定电压 (kV)	额定电流 (A)	三相断流容量 (MVA)	质量 (kg)
RW10-35/0.5	35	0.5	2000	19	RW10-35/10	35	10	600	23
RW10-35/2		2	600		RXW0-35/0.5		0.5	1000	
RW10-35/3		3			RXW0-35/2		2	200	
RW10-35/5		5			RXW0-35/3		3		
RW10-35/7.5		7.5			RXW0-35/5		5		

## 二、低压熔断器及其技术数据

### (一) 低压熔断器的类别、结构特点及型号编制

低压熔断器的类别、结构特点及型号编制，如表4-41所示。

表4-41 低压熔断器的类别、结构特点及型号编制

序号	项 目	说 明
1		低 压 熔 断 器 的 类 别 与 结 构 特 点
1.1	低压熔断器分类概述	<p>低压熔断器的类型很多。按结构型式分，有RM系列无填料密闭管式熔断器，RT系列有填料密闭管式熔断器，RC系列瓷插式熔断器，RL系列螺旋式熔断器，还有引进技术生产的NT系列高分断能力熔断器等。</p> <p>按保护性能分，可分限流型和非限流型两大类。限流型熔断器的灭弧能力强，能在短路电流达到冲击值之前即0.01s内熄灭电弧，因此有限流作用。限流熔断器都是熔管内充填有石英砂的，如RT型、RL型、NT型等。非限流型熔断器的灭弧能力不强，不能躲过短路冲击电流，即其灭弧时间大于0.01s，因此无限流作用。非限流熔断器都是熔管内未充填有石英砂的，如RM型、RC型等，但这类熔断器在熔体熔断后便于更换，比较经济。</p>
1.2	RM10型密闭管式熔断器	<p>(1) 结构：由纤维质熔管、变截面锌熔片和触头底座等组成，其熔管、熔片如右图所示。</p> <p>(2) 工作原理：短路时，短路电流首先使熔片窄部（其电阻较大）加热熔化，使熔管内形成几段串联短弧，而且由于中间各段熔片跌落，迅速拉长电弧，使短路电弧加速熄灭。而过负荷时，由于过负荷电流加热熔片的时间较长，而且熔片窄部的散热较好，因此往往不在窄部熔断，而在宽窄之间的斜部熔断。由熔片熔断的部位，可以大致判断熔断器熔断的故障性质。</p> <p>(3) 保护性能：灭弧能力较差，灭弧时间大于0.01s，具有“非限流”特性。</p> <div style="text-align: right;"> <p>(a) 熔管；(b) 熔片 1—铜管帽；2—管夹；3—纤维质熔管； 4—触头（刀形）；5—变截面锌熔片</p> </div>

续表

序号	项 目	说 明
1.3	RTO型有填料管式熔断器	<p>(1) 结构: 由瓷熔管、栅状铜熔体、触头底座及填料石英砂等组成, 如图所示</p> <p>(2) 工作原理: 短路电流通过栅状熔体时, 由于引燃栅具有等电位作用, 而变截面小孔处的电阻较大, 所以在一圈变截面小孔处同时产生电弧, 这些并行电弧又在石英砂填料燃烧, 因此快速熄灭, 切除短路故障。当过负荷电流通过栅状熔体时, 其中部的“锡桥”(参看图示, 弯曲处点有焊锡)在“冶金效应”(参看表 4-37 序号 1.4)作用下熔断。熔体熔断后, 有红色的熔断指示器从一端弹出, 便于值班运行人员检视和处理</p> <p>(3) 保护性能: 灭弧能力强, 能在 0.01s 内短路电流未达冲击值之前灭弧, 因此具有“限流”特性</p> <p>(a) 熔体; (b) 熔管; (c) 熔断器; (d) 操作手柄            1—栅状铜熔体; 2—刀形触头; 3—瓷熔管; 4—熔断指示器; 5—端面盖板; 6—弹性触座; 7—瓷底座; 8—接线端子; 9—扣眼; 10—绝缘拉手手柄</p>

2 低压熔断器的型号编制<sup>[3-23]</sup>

2.1	低压熔断器的型号格式及含义	<p>上述型号格式不适用于引进技术生产的熔断器, 如 NT 型、gF、aM 型等</p>
-----	---------------	--

2.2	型号示例	<p>(1) RTO型有填料管式熔断器</p> <p>(2) RT12型有填料管式螺栓连接熔断器</p> <p>注: 指示器位置代号亦有用 1、2、3 者, 与 A、B、C 含义对应<sup>[23]</sup></p>
-----	------	--

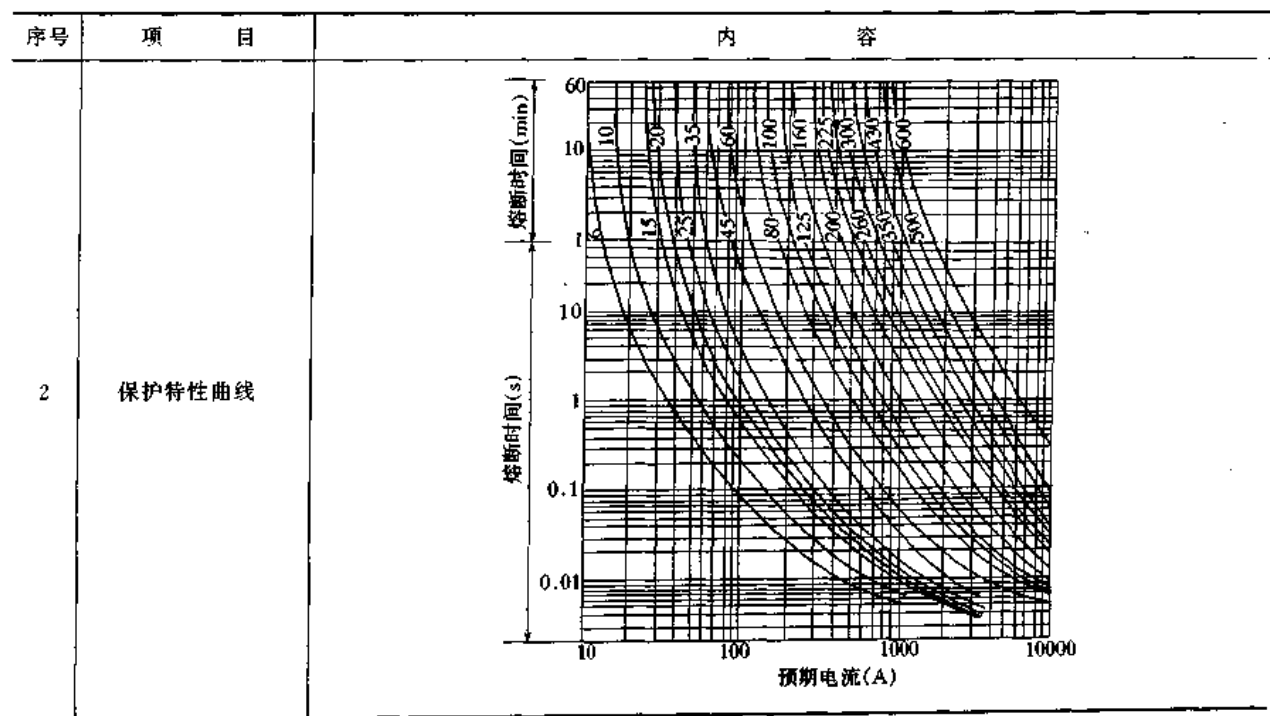
(二) 部分低压熔断器的技术数据

(1) RM10型密闭管式低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线。如表 4-42 所示。

表 4-42 RM10 型密闭管式低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线<sup>[23]</sup>

序号	项 目	内 容					
		型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)		最大分断能力	
				熔管	熔 体	电流 (kA)	cosφ
1	主要技术数据	RM10-15	交流 220, 380 直流 220, 440	15	6, 10, 15	1.2	0.8
		RM10-60		60	15, 20, 25, 35, 45, 60	3.5	0.7
		RM10-100		100	60, 80, 100	10	0.35
		RM10-200		200	100, 125, 160, 200	10	0.35
		RM10-350		350	200, 225, 250, 300, 350	10	0.35
		RM10-600		600	350, 430, 500, 600	10	0.35

续表



(2) RT0型有填料管式低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线。如表 4-43 所示。

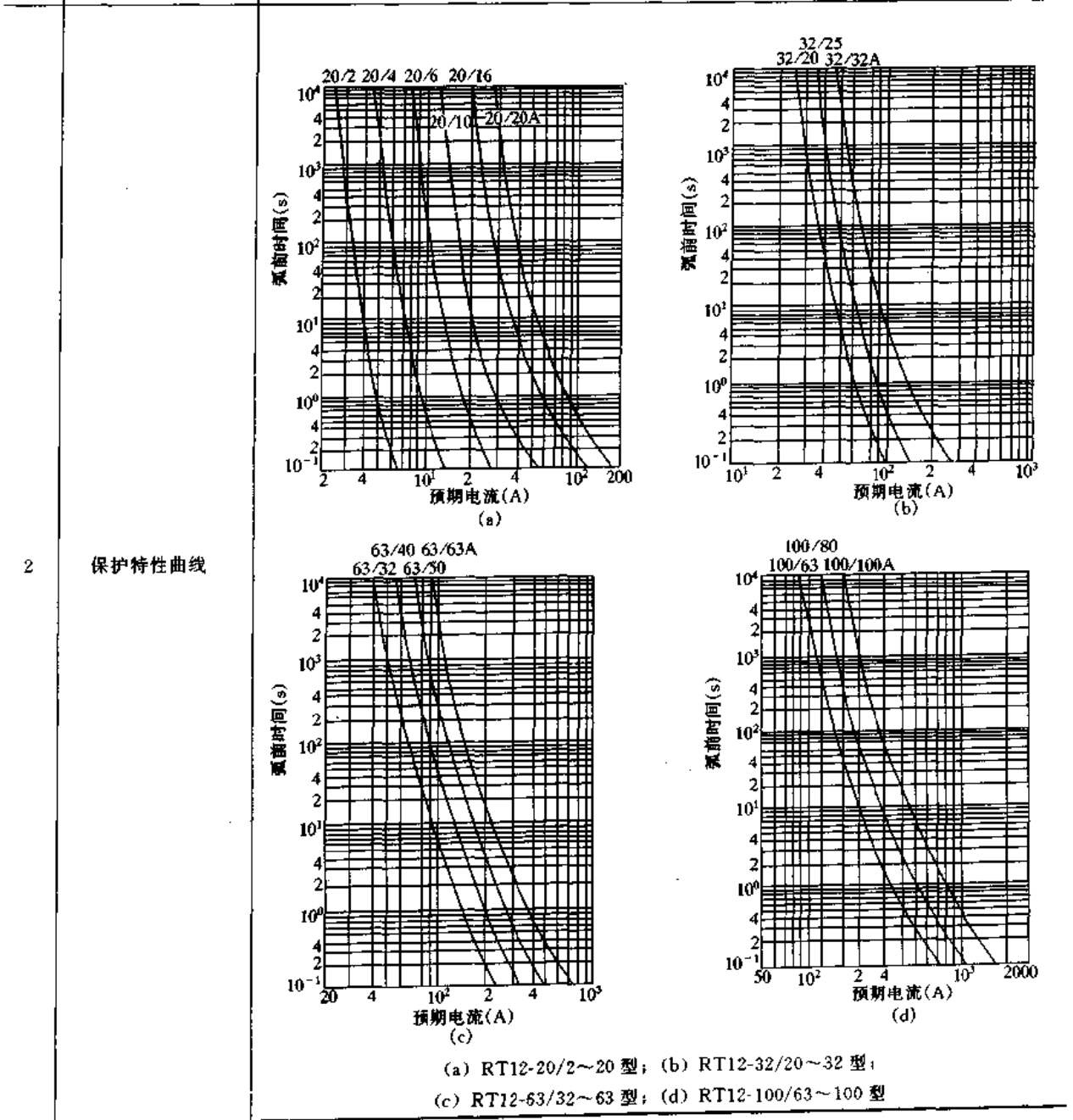
表 4-43 RT0型有填料管式低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线<sup>[24]</sup>

序号	项 目	内 容					
		型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)		最大分断能力	
				熔 管	熔 体	电 流 (kA)	cosφ
1	主要技术数据	RT0-100	交流 380 直流 440	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	50	0.1~0.2
		RT0-200		200	80, 100, 120, 150, 200		
		RT0-400		400	150, 200, 250, 300, 350, 400		
		RT0-600		600	350, 400, 450, 500, 550, 600		
		RT0-1000		1000	700, 800, 900, 1000		
2	保护特性曲线						

(3) RT12 型有填料管式螺栓连接低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线。如表 4-44 所示。

表 4-44 RT12 型有填料管式螺栓连接低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线<sup>[24]</sup>

序号	项 目	内 容						
		型 号	额定电压 (V)	额定电流 (A)		最大分断能力		
				熔管	熔 体		电流 (kA)	cosφ
1	主要技术数据	RT12-20	415	20	2, 4, 6, 10, 16, 20		80	0.1~0.2
		RT12-32		32	20, 25, 32			
		RT12-63		63	32, 40, 50, 63			
		RT12-100		100	63, 80, 100			



(4) NT、RT16、RT17 型有填料管式刀形触头熔断器的主要技术数据和保护特性曲线。如表 4-45 所

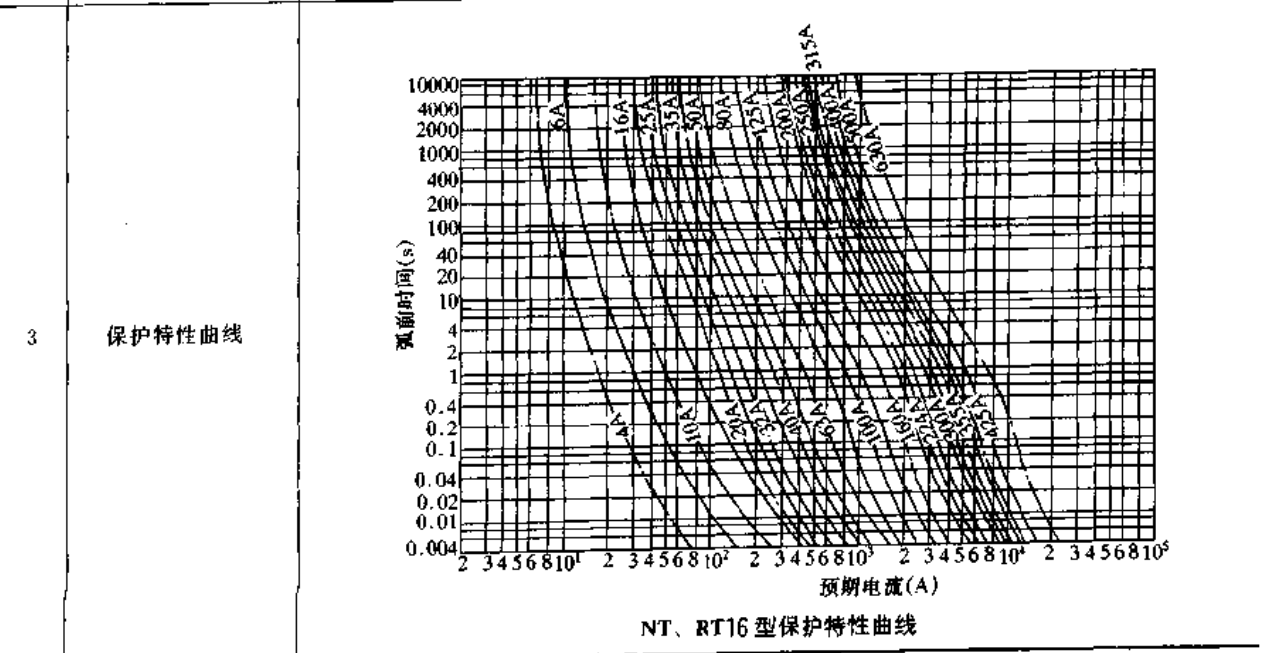
示。NT 系列熔断器是引进技术生产的产品，RT16、RT17 则是与 NT 相同的国内产品型号。



表 4-45 NT、RT16、RT17 型有填料管式刀形触头熔断器的主要技术数据和保护特性曲线<sup>[23]</sup>

序号	项 目	内 容				
1	主要技术数据	型 号	熔体额定电流 (A)	额定电压 (V)	底座型号 额定电流	
		NT00C RT16-000	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100	500	Sist 101 160A	
		NT60 RT16-00	4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100 125, 160	500 660		
		NT0 RT16-0	6, 10, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 80, 100 125, 160	500 660	Sist160 160A	
		NT1 RT16-1	80, 100, 125, 160, 200 224, 250	500 660	Sist201 250A	
		NT2 RT16-2	125, 160, 200, 224, 250, 300, 315 355, 400	500 660	Sist401 400A	
		NT3 RT16-3	315, 355, 400, 425 500, 630	500 660	Sist601 630A	
		NT4 RT17	800, 1000	380	Sist1001 1000A	
		注: (1) Sist 为 NT 型熔断器底座型号 (2) 熔断器分断能力: RT16 (NT) 为 500V/120kA, 660V/50kA, RT17 (NT) 为 380V/100kA				

序号	项 目	前后熔体的选择性配合								
		前一级熔体电流 (A)	16	20	25	32	36	40	50	63
2	前一级熔体电流 (A)	6	10	10	20	20	25	25	36	
	后一级熔体电流 (A)	80	100	125	160	200	224	250	300	
	前一级熔体电流 (A)	50	63	80	100	125	125	160	160	
	后一级熔体电流 (A)	315	355	400	425	500	630	800	1000	
	前一级熔体电流 (A)	200	250	250	250	315	400	500	630	
	后一级熔体电流 (A)									



续表

序号	项目	内容
3	保护特性曲线	<p>NT、RT17型保护特性曲线</p>

### 三、避雷器及其技术数据

续表

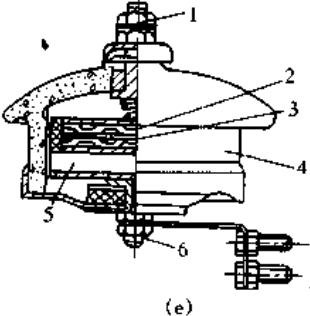
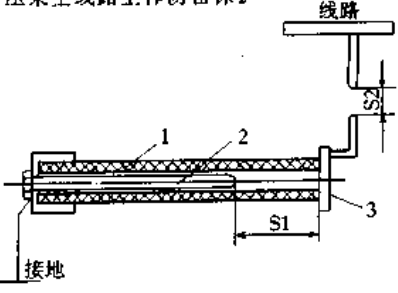
(一) 避雷器的类别、结构特点及型号编制  
如表 4-46 所示。

表 4-46 避雷器的类别、结构特点及型号编制

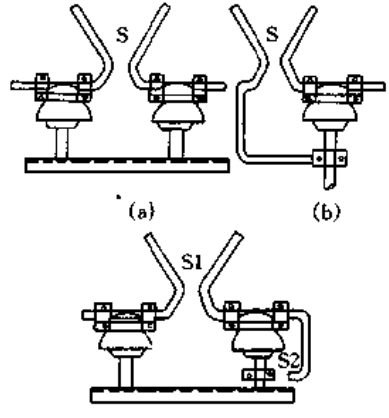
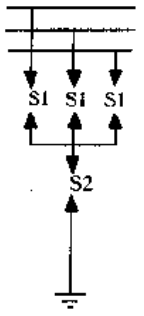
序号	项目	说明
1	避雷器的类别和结构特点	<p>碳化硅阀式避雷器的基本元件由火花间隙和碳化硅阀电阻片串联组成</p> <p>(1) 火花间隙：由铜片冲制而成，每对间隙用 0.5~1mm 厚的云母垫圈隔开，如图 a 所示</p> <p>(2) 阀电阻片：由碳化硅压制和烧结而成，如图 b 所示。阀电阻片具有“阀性”特性，即正常工作电压下，其电阻很大，而在过电压作用下，其电阻变得很小，如图 c 所示</p> <p>(a) 火花间隙；(b) 阀电阻片； (c) 阀电阻特性曲线</p>
1.1	碳化硅阀式避雷器	<p>碳化硅阀式避雷器的基本元件</p>

序号	项目	说明
1.1	普通阀式避雷器	<p>普通阀式避雷器有两种型式： (1) 火花间隙旁无并联电阻的 FS 型，适于 10kV 及以下中小型配变电所电气设备的过电压保护，如图 d 和图 e 所示</p> <p>(d) FS-10 型</p>

续表

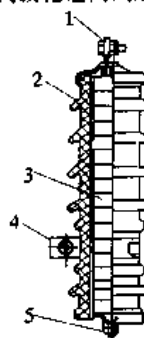
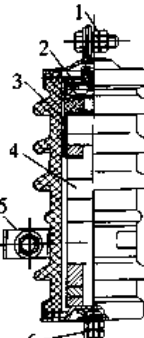
序号	项目	说明
1.1	普通阀式避雷器 碳化硅阀式避雷器	 <p>(e) FS-0.38 型 1—上接线端；2—火花间隙；3—云母垫圈；4—瓷套管；5—阀电阻片（碳化硅）；6—下接线端</p> <p>(2) 火花间隙旁有并联电阻的 FZ 型，适于发电厂和大中型配变电站电气设备的过电压保护，其并联电阻有使各串联火花间隙上的电压分布均匀的作用，改善避雷器的保护性能</p>
	磁吹阀式避雷器	<p>FC□型磁吹阀式避雷器，利用磁力吹弧来加速火花间隙中电弧的熄灭，从而使其放电电压和残余电压降低，通流容量增大，能更好地实现与电气设备绝缘的配合，不仅能保护大气过电压，而且能保护某些内部过电压。它主要用作旋转电机保护</p>
1.2	排气式避雷器	<p>排气式避雷器通称“管型避雷器”，由产气管、内部间隙和外部间隙等三部分组成，如右图所示。产气管由纤维、有机玻璃或塑料制成，内部间隙装在产气管内，其中一个电极为棒形，另一个电极为环形</p> <p>当线路上出现大气过电压时，过电压使其外部间隙和内部间隙被击穿，强大的雷电流通过避雷器及其接地线入地。雷电流在内部间隙发生强烈的电弧，此电弧使产气管内壁烧灼分解，产生大量灭弧气体，从管口喷出，强烈吹弧，使电弧迅速熄灭。电弧熄灭后，外部间隙恢复绝缘，使避雷器与线路隔离，恢复系统的正常运行</p> <p>排气式避雷器只用于室外，而且一般用于高压架空线路上作防雷保护</p>  <p>1—产气管；2—内部电极； 3—外部电极； S1—内部间隙；S2—外部间隙</p>

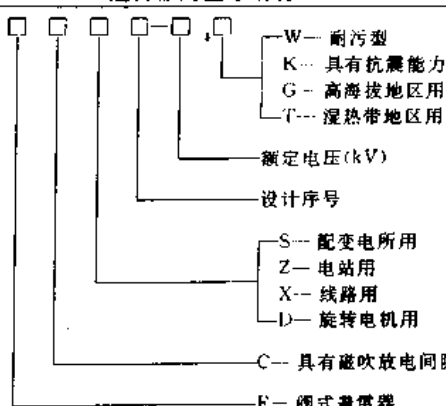
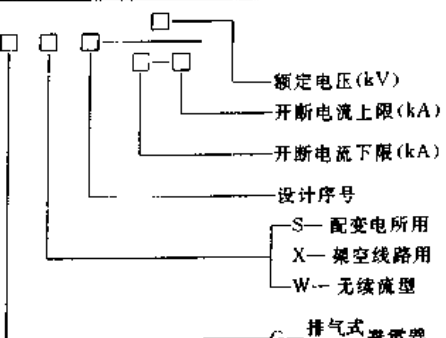
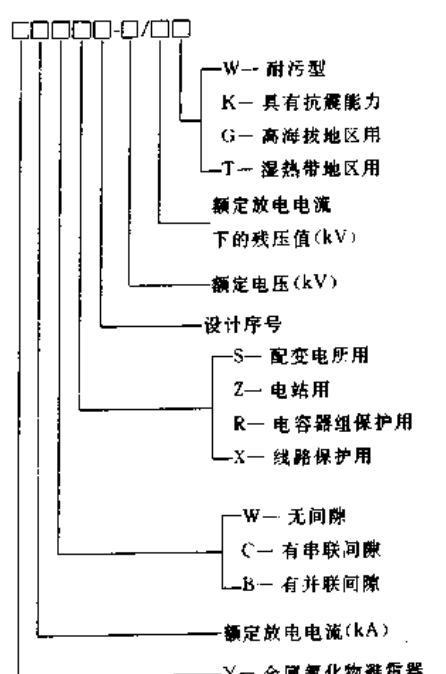
续表

序号	项目	说明
1.3	保护间隙	 <p>(a) 双支持绝缘子，单间隙；(b) 单支持绝缘子，单间隙；(c) 双支持绝缘子，双间隙 S—保护间隙；S1—主间隙；S2—辅助间隙</p> <p>保护间隙是由两个金属电极构成的一种简单的避雷设备，其金属电极有棒型、球型和角型，而以角型应用最广。图所示即为角型保护间隙，又称“角型避雷器”</p> <p>保护间隙的安装是一个电极接线路，另一个电极接地。但为了防止间隙被外物短接而造成线路接地故障，因此只有一个间隙的保护间隙必须在其公共接地引下线中间串入一个辅助间隙，如图所示</p>  <p>三相线路上保护间隙的连接 S1—主间隙；S2—辅助间隙</p> <p>保护间隙只用于户外而负荷不重要的架空线路上</p>
	1.4	击穿式保险器

续表

续表

序号	项目	说明
1.5	金属氧化物避雷器	<p>金属氧化物避雷器又称“氧化锌避雷器”，是以氧化锌电阻阀片为主体的一种新型避雷器。它又分无间隙和有间隙两种：</p> <p>(1) 无间隙金属氧化物避雷器：其外形结构与碳化硅阀式避雷器相似，只是无内部火花间隙，且阀片材质不同，如图所示。它消除了因间隙击穿特性变化所造成的影响，使其保护特性仅由雷电流在阀片上产生的电压降来决定。它可以有效地限制大气过电压和操作过电压的影响。但由于没有串联间隙，阀片不仅要承受雷电压和操作过电压的作用，还要直接承受持续运行电压和暂时过电压的作用，因而相应地出现老化、寿命和热稳定问题</p> <p>(2) 有间隙金属氧化物避雷器：其外形结构也与碳化硅阀式避雷器相似，它也有火花间隙（串联或并联），但阀片为氧化锌。图所示为有串联间隙的金属氧化物避雷器外形结构。由于氧化锌阀片具有比碳化硅阀片更优越的非线性特性，因此有间隙的金属氧化物避雷器势将取代碳化硅阀式避雷器</p>
		 <p><b>Y5W 型无间隙金属氧化物避雷器</b>                      1—上接线端；2—瓷套管；                      3—阀电阻片（氧化锌）；4—固定抱箍；5—下接线端</p>  <p><b>Y5C 型有间隙金属氧化物避雷器</b>                      1—上接线端；2—火花间隙；3—瓷套管；                      4—阀电阻片（氧化锌）；5—固定抱箍；                      6—下接线端</p> <p>金属氧化物避雷器具有保护特性好、通流能力高、体积小、重量轻、安装方便、耐污性能好等优点，已在中性点非直接接地系统中广泛应用，用来限制并联电容器和电动机的操作过电压方面也取得了良好的效果</p>

序号	项目	说明
2	避雷器的型号编制	
2.1	碳化硅阀式避雷器型号 <sup>[23]</sup>	 <p>W—耐污型                      K—具有抗震能力                      G—高海拔地区用                      T—湿热带地区用                      额定电压(kV)                      设计序号                      S—配变电所用                      Z—电站用                      X—线路用                      D—旋转电机用                      C—具有磁吹放电间隙                      F—阀式避雷器</p>
2.2	排气式(管型)避雷器型号 <sup>[23]</sup>	 <p>额定电压(kV)                      开断电流上限(kA)                      开断电流下限(kA)                      设计序号                      S—配变电所用                      X—架空线路用                      W—无续流型                      G—排气式(管型)避雷器</p>
2.3	金属氧化物避雷器型号 <sup>[23]</sup>	 <p>W—耐污型                      K—具有抗震能力                      G—高海拔地区用                      T—湿热带地区用                      额定放电电流下的残压值(kV)                      额定电压(kV)                      设计序号                      S—配变电所用                      Z—电站用                      R—电容器组保护用                      X—线路保护用                      W—无间隙                      C—有串联间隙                      B—有并联间隙                      额定放电电流(kA)                      Y—金属氧化物避雷器</p>

(二) 部分避雷器的技术数据

(1) FZ 系列普通阀式避雷器的主要技术数据，如表 4-47 所示。

表 4-47 FZ 系列普通阀式避雷器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型 号	额定电压 有效值 (kV)	灭弧电压 有效值 (kV)	工频放电电压 有效值 (kV)		冲击放电电压峰值 (1.2/50 $\mu$ s)* 不大于 (kV)	8/20 $\mu$ s 雷电冲击波残压峰 值不大于 (kV)		泄漏电流 (电导电流) ( $\mu$ A)
			不小于	不大于		5kA	10kA	
FZ-3	3	3.8	9	11	20	13.5	14.8	450~650
FZ-6	6	7.6	16	19	30	27	30	
FZ-10	10	12.7	26	31	45	45	50	
FZ-15	15	20.5	41	49	73	67	74	
FZ-20	20	25	51	61	85	81.5	90	
FZ-30	30	35	56	67	110	81.5	—	
FZ-35	35	41	82	98	134	134	148	
FZ-40	40	47	95	118	151	151	166	
FZ-44	44	50	102	122	163	163	—	
FZ-60	60	70.5	140	173	220	227	250	400~600
FZ-66	66	75	153	183	244	244	—	
FZ-110	110	125	255	314	375	410	415	

\* 为抚顺电瓷厂数据, 其他厂有 1.5/20 $\mu$ s 及 1.5/40 $\mu$ s 者。

(2) FS 系列普通阀式避雷器的主要技术数据, 如表 4-48 所示。

表 4-48 FS 系列普通阀式避雷器的主要技术数据<sup>[24]</sup>

型 号	额定电压 有效值 (kV)	灭弧电压 有效值 (kV)	工频放电电压 有效值 (kV)		冲击放电电压峰值 (1.5/50 $\mu$ s)* 不大于 (kV)	8/20 $\mu$ s 雷电冲击波残压峰 值不大于 (kV)		泄漏电流 (电导电流) ( $\mu$ A)
			不小于	不大于		3kA	5kA	
FS-0.22	0.22	0.25	0.5	0.9	1.7	1.5	—	5
FS-0.38	0.38	0.5	1.1	1.6	3.0	3.0	—	
FS-0.66	0.66	0.76	1.5	2.2	4.0	3.5	—	
FS-3	3	3.8	9	11	21	(16)	17	10
FS-6	6	7.6	16	19	35	(28)	30	
FS-10	10	12.7	26	31	50	(47)	50	
FS3-0.38	0.38	0.5	1.1	1.6	3.0	3.0	—	5
FS3-2	2	2.5	5	7	15	11	—	10
FS3-3	3	3.8	9	11	21	(16)	17	
FS3-6	6	7.6	16	19	35	(28)	30	
FS3-10	10	12.7	26	31	50	(47)	50	
FS3-11	11	14.6	30	35	56	—	56	
FS <sub>3</sub> -3	3	3.8	9	11	21	(16)	17	F (FS4) 10 (FS8)
FS <sub>3</sub> -6	6	7.6	16	19	35	(28)	30	
FS <sub>3</sub> -10	10	12.7	26	31	50	(47)	50	

\* 为抚顺电瓷厂数据, 其他厂有 1.5/20 $\mu$ s 及 1.5/40 $\mu$ s 者。

(3) FCD 系列磁吹阀式避雷器的主要技术数据, 如表 4-49 所示。

表 4-49 FCD 系列磁吹阀式避雷器的主要技术数据<sup>[23,24]</sup>

型 号	额定电压 有效值 (kV)	灭弧电压 有效值 (kV)	工频放电电压 有效值 (kV)		冲击放电电压峰值 (1.2/50 $\mu$ s) 不大于 (kV)	8/20 $\mu$ s 雷电冲击波残压峰 值不大于 (kV)		电导电流 ( $\mu$ A)
			不小于	不大于		3kA	5kA	
FCD-2	—	2.3	4.5	5.7	6	6	6.4	50~100
FCD-3	3.15	3.8	7.5	9.5	9.5	9.5	10	

续表

型号	额定电压有效值 (kV)	灭弧电压有效值 (kV)	工频放电电压有效值 (kV)		冲击放电电压峰值 (1.2/50μs) 不大于 (kV)	8/20μs 雷电冲击波残压峰值不大于 (kV)		电导电流 (μA)
			不小于	不大于		3kA	5kA	
FCD-4	—	4.6	9	11.4	12	12	12.8	50~100
FCD-6	6.3	7.6	15	18	19	19	20	
FCD-10	10.5	12.7	25	30	31	31	33	
FCD-13.8	13.8	16.7	33	39	40	40	43	
FCD <sub>2</sub> -2	—	2.3	4.5	5.7	6	6	6.4	10
FCD <sub>2</sub> -3	3.15	3.8	7.5	9.5	9.5	9.5	10	
FCD <sub>2</sub> -4	—	4.6	9	11.4	12	12	12.8	
FCD <sub>2</sub> -6	6.3	7.6	15	18	19	19	20	
FCD <sub>2</sub> -10	10.5	12.7	25	30	31	31	33	
FCD <sub>2</sub> -13	13.8	16.7	33	39	40	40	43	
FCD <sub>2</sub> -15	15.75	19	37	44	45	45	49	

\* 为抚顺电瓷厂数据, 其他厂有 1.5/20μs 及 1.5/40μs 者。  
 \*\* FCD-2、FCD-4 等型产品专为电机中性点过电压保护用。

(4) GXS1 系列排气式避雷器的主要技术数据。如表 4-50 所示。

表 4-50 GXS1 系列排气式避雷器的主要技术数据<sup>[37]</sup>

型式	额定电压 (kV)	外部间隙 (mm)	灭弧间隙 (mm)	灭弧管内径 (mm)	冲击放电电压峰值 (1.5/40μs)				工频放电电压有效值 (kV)		额定断流能力有效值 (kA)	
					(-)		(+)		干	湿	下限	上限
					波前	最小	波前	最小				
GXS1 <sub>6-10</sub>	6	10	60	9	84	76.5	92	64	40.5	27	2	12
	10	30			144	80	133	103	48	35		
GXS1 <sub>6-10</sub>	6	10	60	7	84	68.5	90.5	66	43.7	35	0.5	4
	10	30			134	82	136	113	50.4	35		
GXS1 <sub>35</sub>	35	120	150	12	349.5	257	364	259.5	100	80	2	10
GXS1 <sub>35</sub>	35	120	175	7	360	225	363	186	118.8	104.8	0.5	4
	200	200			410	304	405	240				

(5) JBO 系列击穿式保险器的主要技术数据。如表 4-51 所示。

表 4-51 JBO 系列击穿式保险器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型号	额定电压 (V)	工频放电电压有效值 (V)	质量 (kg)
JBO-0.22	220	351~500	0.175
JBO-0.38	380	501~800	
JBO-0.5	500	801~1000	

(6) Y5W 系列配电和电站用金属氧化物避雷器的主要技术数据。如表 4-52 所示。

表 4-52 Y5W 系列配电和电站用金属氧化物避雷器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型号	系统额定电压	避雷器额定电压	避雷器持续运行电压	直流 1mA 参考电压 (kV)	工频 1mA 参考电压有效值 (kV)	陡波冲击电流下残压不大于	8/20μs, 5kA 雷电冲击电流下残压不大于	操作冲击电流下残压不大于	2ms 方波冲击电流峰值 (A)
	有效值 (kV)			不小于	不小于	峰值 (kV)			
Y5WS1-3.8/17	3	3.8	2	7.5	7	19.6	17	14.5	75
Y5WS2-3.8/17					4				
Y5WZ-3.8/13.5	3	3.8	2	7.2	4	15.5	13.5	11.5	200
Y5WZ1-3.8/13.5					6.7				
Y5WS1-7.6/30	6	7.6	4	15	14.5	34.5	30	25.5	75
Y5WS2-7.6/30					8				

续表

型号	系统 额定 电压	避雷器 额定 电压	避雷器 持续运 行电压	直流 1mA 参考电压 (kV)	工频 1mA 参考电压 有效值 (kV)	陡波冲击 电流下残 压不大于	8/20 $\mu$ s, 5kA 雷电冲击电 流下残压不大于	操作冲 击电流 下残压 不大于	2ms 方波 冲击电 流峰值 (A)
	有效值 (kV)			不小于	不小于	峰值 (kV)			
Y5WZ-7.6/27 Y5WZ1-7.6/27 Y5W-7.6/26	6	7.6	4	14.4	8 13.9 9	31 31 30	27 27 26	23	200 150 1400
Y5WS1-12.7/50 Y5WS2-12.7/50	10	12.7	6.6	25	24.5 13	57.5	50	42.5	75
Y5WZ-12.7/45 Y5WZ1-12.7/45 Y5W-12.7/42	10	12.7	6.6	24	13 23.5 15.5	51.8 51.8 48	45 45 42	38.3	200 150 400
Y5WZ-42/134 Y5WZ1-42/134 Y5W-42/134 Y5WS-42/134	35	42	23.4	73	42 72 46 —	154	134	114	200 — 400 400

续表

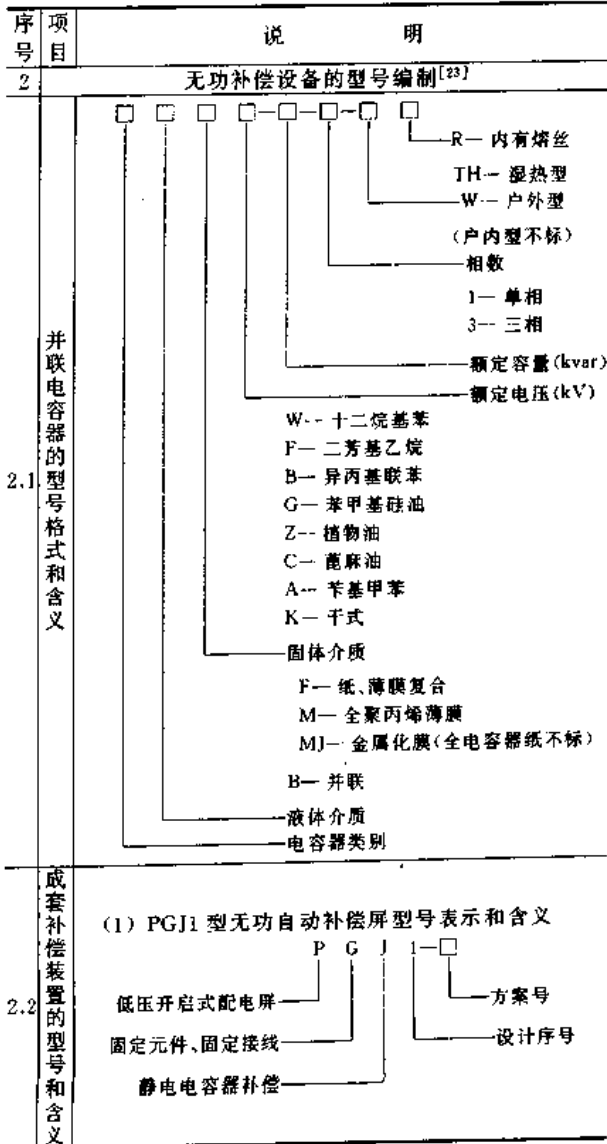
第五节 无功补偿设备和成套配电装置

一、无功补偿设备及其技术数据

(1) 无功补偿设备的类别、结构特点及型号编制。如表 4-53 所示。

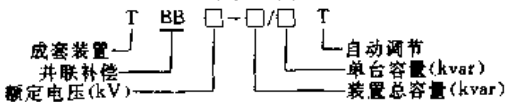
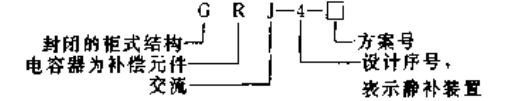
表 4-53 无功补偿设备的类别、结构特点及型号编制

序号	项目	说明
1		无功补偿设备的类别和结构特点
1.1	静态无功补偿设备	(1) 同步补偿机：它是一种专门用来改善功率因数的空载运转的同步电动机，通过调节其励磁电流来补偿电网的无功功率。由于它为旋转机械，安装和运行维修都相当复杂，所以在企业供电系统中很少应用。它通常在大电网和大变电所中作为调压和改善功率因数之用
		(2) 并联电容器：它是一种专门用来无功补偿的电力电容器。与同步补偿机相比，因无旋转部分，具有安装简单、运行维护方便、有功损耗小以及组装灵活、扩容方便等优点，因此并联电容器应用最为普遍。但是它损坏后不便修复以及从电网中切除后有危险的残余电压等缺点。不过，电容器从电网中切除后的残余电压可通过短接放电来消除，而现在生产的一种金属化膜低压电容器具有被击穿后能“自愈”的性能，即它被击穿时，击穿电流使击穿点周围的金属层蒸发，介质迅速恢复绝缘性能。现在在企业变电所和车间中广泛使用的无功功率补偿装置，就是以并联电容器作为无功补偿元件而组合起来的一种成套装置
1.2	动态无功补偿设备	动态无功补偿设备用于急剧变动的冲击负荷如炼钢电弧炉、轧钢机的无功功率补偿 动态无功补偿设备通常采用一种名为“静止型无功功率自动补偿装置”，简称“静补装置”，英文缩写“SVC”(Static Var Compensator)，它具有响应快(可小于 10ms)、平滑调节性能好、补偿效率高、维修方便及谐波、噪声、损耗均小等优点，因此在冲击负荷突出的钢铁企业等单位得到广泛应用



续表

续表

序号	项目	说明
2.2	成套补偿装置的型号和含义	(2) TBB10.5型并联补偿装置型号表示和含义 
		(3) GRJ-4型低压静补装置型号表示和含义 

(2) 部分并联电容器的主要技术数据。如表 4-54 所示。

表 4-54 部分并联电容器的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型号	额定电压 (kV)	额定容量 (kvar)	额定电容 (μF)	相数
BCMJO.23-2.5-1/3	0.23	2.5	151	1/3
BCMJO.23-5-3	0.23	5	302	3
BCMJO.23-10-3	0.23	10	—	3
BCMJO.23-15-3	0.23	15	—	3
BCMJO.23-20-3	0.23	20	—	3
BCMJO.23-25-3	0.23	25	—	3
BCMJO.4-4-3	0.4	4	80	3
BCMJO.4-5-3	0.4	5	100	3
BCMJO.4-8-3	0.4	8	160	3
BCMJO.4-10-1/3	0.4	10	200	1/3
BCMJO.4-12-1/3	0.4	12	238.8	1/3
BCMJO.4-15-1/3	0.4	15	—	1/3
BCMJO.4-20-3	0.4	20	390	3
BCMJO.4-25-3	0.4	25	498	3
BCMJO.4-30-3	0.4	30	—	3
BCMJO.4-40-3	0.4	40	—	3
BCMJO.4-45-3	0.4	45	—	3
BCMJO.4-50-3	0.4	50	—	3
BKMJO.23-15-1/3	0.23	15	300	1/3
BKMJO.23-20-1/3	0.23	20	400	1/3
BKMJO.4-6-1/3	0.4	6	120	1/3
BKMJO.4-9-1/3	0.4	9	180	1/3
BKMJO.4-12-1/3	0.4	12	240	1/3
BKMJO.4-15-1/3	0.4	15	300	1/3
BKMJO.4-20-1/3	0.4	20	400	1/3
BKMJO.4-25-1/3	0.4	25	500	1/3
BKMJO.4-30-1/3	0.4	30	600	1/3
BKMJO.4-40-1/3	0.4	40	800	1/3
BZMJ0.4-5-1/3	0.4	5	100	1/3
BZMJ0.4-7.5-1/3	0.4	7.5	150	1/3
BZMJ0.4-10-1/3	0.4	10	199	1/3
BZMJ0.4-12-1/3	0.4	12	239	1/3
BZMJ0.4-14-1/3	0.4	14	279	1/3
BZMJ0.4-16-1/3	0.4	16	318	1/3
BZMJ0.4-20-1/3	0.4	20	398	1/3
BZMJ0.4-25-1/3	0.4	25	498	1/3
BZMJ0.4-30-1/3	0.4	30	597	1/3
BZMJ0.4-40-1/3	0.4	40	796	1/3
BZMJ0.4-50-1/3	0.4	50	995	1/3
BGMJO.4-2.5-3	0.4	2.5	55	3
BGMJO.4-5-3	0.4	5	99	3

型号	额定电压 (kV)	额定容量 (kvar)	额定电容 (μF)	相数
BGMJO.4-10-3	0.4	10	198	3
BGMJO.4-12-3	0.4	12	239	3
BGMJO.4-15-3	0.4	15	298	3
BGMJO.4-20-3	0.4	20	398	3
BGMJO.4-25-3	0.4	25	498	3
BGMJO.4-30-3	0.4	30	598	3
BWF0.4-14-1/3	0.4	14	279	1/3
BWF0.4-20-1/3	0.4	20	398	1/3
BWF0.4-25-1/3	0.4	25	498	1/3
BWF0.4-75-1/3	0.4	75	1500	1/3
BWF10.5-16-1	10.5	16	0.462	1
BWF10.5-25-1	10.5	25	0.722	1
BWF10.5-30-1	10.5	30	0.866	1
BWF10.5-40-1	10.5	40	1.155	1
BWF10.5-50-1	10.5	50	1.44	1
BWF10.5-100-1	10.5	100	2.89	1
BWF11/√3-16-1	11/√3	16	1.26	1
BWF11/√3-25-1	11/√3	25	1.97	1
BWF11/√3-30-1	11/√3	30	2.37	1
BWF11/√3-40-1	11/√3	40	3.16	1
BWF11/√3-50-1	11/√3	50	3.95	1
BWF11/√3-100-1	11/√3	100	7.89	1
BFF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	1
BFF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	1
BFF10.5-200-1W	10.5	200	5.78	1
BFF11/√3-50-1W	11/√3	50	3.95	1
BFF11/√3-100-1W	11/√3	100	7.9	1
BFF11/√3-200-1W	11/√3	200	15.79	1
BAM10.5-100-1W	10.5	100	2.89	1
BAM10.5-200-1W	10.5	200	5.78	1
BAM10.5-334-1W	10.5	334	9.65	1
BAM11/√3-100-1W	11/√3	100	7.90	1
BAM11/√3-200-1W	11/√3	200	15.79	1
BAM11/√3-334-1W	11/√3	334	26.37	1
BGF11/√3-50-1W	11/√3	50	3.95	1
BGF11/√3-100-1W	11/√3	100	7.89	1
BGF11/√3-200-1W	11/√3	200	15.3	1
BGF10.5-50-1W	10.5	50	1.44	1
BGF10.5-100-1W	10.5	100	2.89	1
BBM11/√3-100-1W	11/√3	100	7.89	1
BBM11/√3-200-1W	11/√3	200	15.8	1
BBM <sub>2</sub> 11/√3-100-1W	11/√3	100	7.89	1
BBM <sub>2</sub> 11/√3-200-1W	11/√3	200	15.8	1
BBM <sub>2</sub> 11/√3-334-1W	11/√3	334	26.36	1



(3) PGJ1 型无功自动补偿静电电容器屏介绍, 如表 4-55 所示。

表 4-55 PGJ1 型无功自动补偿静电电容器屏介绍

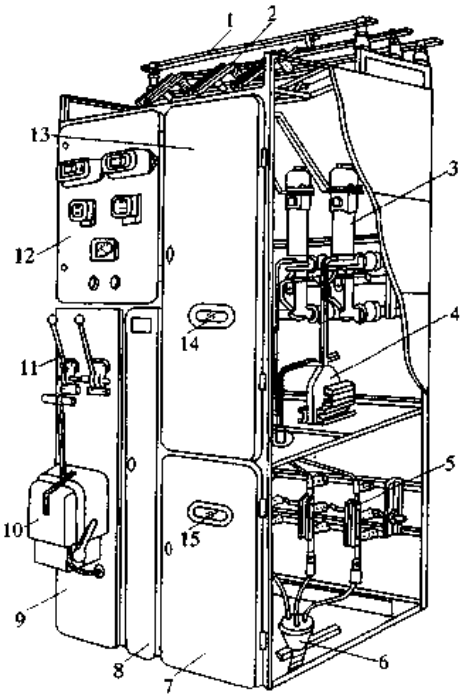
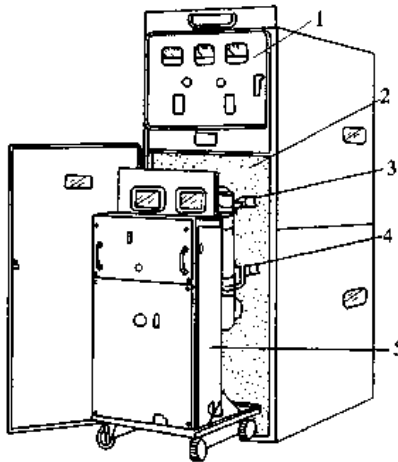
序号	项目	说明				
1	功能概述	本屏可与 PGL 型低压配电屏配套使用, 也可单独使用, 双面维护。屏内装有无功功率补偿自动控制器, 分 6 步或 8 步循环投切的方式进行工作。能根据电网负荷消耗的感性功率多少, 以 10~120s 可调的时间间隔, 自动地控制并联电容器组的投切, 使电网的无功消耗保持在最低状态, 从而提高电网的电压质量, 降低变压器和线路的电能损耗				
2	屏体型号和规格	屏体型号				
		主屏	PGJ1-1	84	6 步带控制器	800
			PGJ1-2	112	8 步带控制器	1000
		辅屏	PGJ1-3	84	6 步	800
		PGJ1-4	112	8 步	1000	
3	补偿屏的组合方案选择	(1) 先根据操作步数 (6 步或 8 步) 确定主屏型号 (PGJ1-1 或 PGJ1-2) (2) 根据所需无功补偿容量补充 1 台或数台辅屏 (注意: PGJ1-3 屏与 PGJ1-1 屏相配, PGJ1-4 屏与 PGJ1-2 屏相配) (3) 该屏原设计安装的并联电容器为 BW0.4-14-3 型, 该型电容器现已淘汰, 可改用表 4-54 中的 BCMJ、BKMJ 或 BGMJ 等型, 具体方案可与生产厂家协商				
4	补偿屏的一次线路方案					
5	补偿屏自动补偿原理图	<p>注: ZKW-I 型控制器与 <math>\cos\varphi</math> 表的信号电源不能取自同一电流互感器, 但必须装在同一相上</p>				
6	ZKW-I 型无功自动补偿控制器	ZKW-I 型无功功率自动补偿控制器是与自动补偿屏配套使用的产品, 适用于 380V、50Hz 的电网中。控制器可根据电网中无功功率的大小及性质来控制适量的电容器投入或切除, 使电网的无功功率消耗降至最小。该控制器采用 CMOS 集成电路元件组成, 具有工作稳定、性能可靠、灵敏度高、抗干扰能力强、体积小、消耗功率少等优点。控制器的输出为 10、8、6 路, 工作方式采用循环投切, 可保证接触器、电容器的操作次数相同, 延长电容器、接触器的使用寿命				

## 二、高压配电装置及其一次线路方案

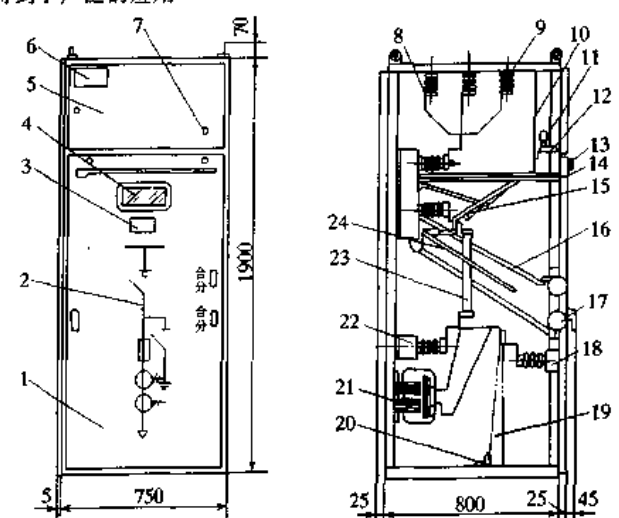
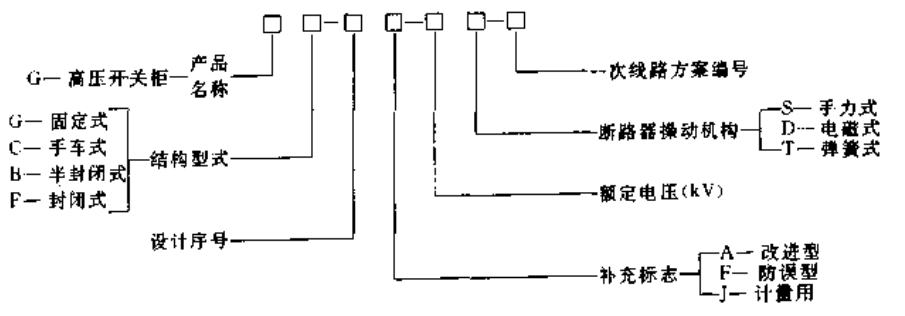
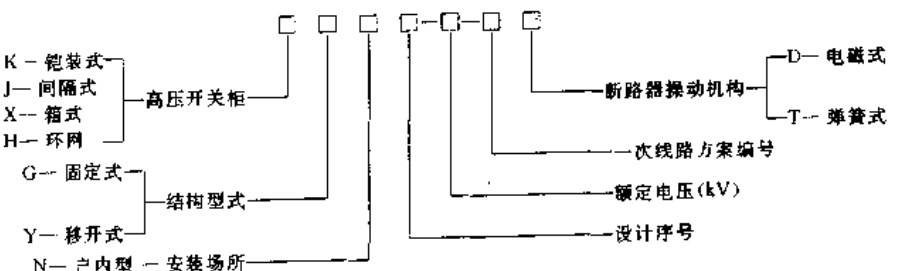
(一) 高压配电装置的类别及其型号编制

如表 4-56 所示。

表 4-56 高压配电装置的类别及其型号编制

序号	项目	说明
1		高压配电装置的类别
1.1	概述	<p>高压配电装置指高压开关柜,是按一定的线路方案将有关一、二次设备组装而成的一种高压成套装置,在发电厂和变配电站中作为控制和保护发电机、变压器和高压线路之用,也可作为大型高压交流电动机的起动和保护之用,其中安装有高压开关电器、保护设备、监测仪表和母线、绝缘子等</p> <p>高压开关柜按其设备元件的安装方式分,有固定式和手车式(移开式)两大类;按开关柜隔室的构成型式分,有铠装型、间隔型、箱型和半封闭型等;按其母线系统分,有单母线的、单母线带旁路母线的和双母线的等型式</p>
1.2	固定式 高压开关柜	 <p>其主要设备包括断路器、互感器和避雷器等及其他设备都是固定安装的,如 GG-1A(F)、KGN、XGN 等型开关柜。图中所示为 GG-1A(F) 型开关柜外形结构图</p> <p>固定式开关柜具有结构比较简单、制造成本较低的优点,但主要设备如断路器发生故障或需要检修试验时,则必须中断供电,直到故障消除或检修试验完成后才能恢复供电,因此这类固定式高压开关柜主要用在企业的中小变配电站及负荷不是很重要的场所</p> <p>1—母线; 2—母线侧隔离开关(GN8-10型); 3—少油断路器(SN10-10型); 4—电流互感器(LQJ-10型); 5—线路侧隔离开关(GN6-10型); 6—电缆头; 7—下检修门; 8—端子箱门; 9—操作板; 10—断路器的手力操动机构(CS2型); 11—隔离开关的操作手柄(CS6型); 12—仪表继电器屏; 13—上检修门; 14、15—观察窗</p> <p>GG-1A(F)-07S型高压开关柜</p>
1.3	手车式 (移开式) 高压开关柜	 <p>其主要设备如断路器、电压互感器—避雷器等是装设在可以拉出和推入开关柜的手车上的。这些设备如发生故障或需要检修试验时,可随时将其手车拉出,再推入同类备用手车,即可恢复供电,停电时间很短,大大提高了供电可靠性。手车式开关柜较之固定式开关柜,具有检修安全、供电可靠性高等优点,但制造成本较高,主要用于大中型变配电站及负荷比较重要、要求供电可靠性高的场所。常用的手车式开关柜有 GC□、JYN□等型</p> <p>图中所示为 GC□-10(F) 型手车式开关柜的外形结构图</p> <p>GC□-10(F) 型高压开关柜</p> <p>1—仪表继电器屏; 2—手车室; 3—上触头(兼起隔离开关作用); 4—下触头(兼起隔离开关作用); 5—SN10-10型断路器手车</p>

续表

序号	项 目	说 明
1.4	环网高压开关柜	<p>环网高压开关柜一般由三个间隔组成，其中一个电缆进线间隔，一个电缆出线间隔，另一个为变压器回路间隔</p> <p>环网柜的主要电气元件有高压负荷开关、熔断器、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等</p> <p>环网柜具有可靠的防误操作设施，达到了规定的“五防”<sup>[注]</sup>要求。环网柜在我国城市电网改造和建设中得到了广泛的应用</p>  <p>1—下门；2—模拟电路；3—显示器；4—观察窗；5—上门；6—铭牌；7—组合开关；8—母线；9—绝缘子；10—隔板；11—照明灯；12—端子板；13—旋钮；14—隔板；15—负荷开关(断开状态)；16—连杆；17—负荷开关操动机构；18—支架；19—电缆(用户自备)；20—固定电缆支架；21—电流互感器；22—支架；23—高压熔断器；24—连杆</p> <p><b>HXGN1-10型环网开关柜</b></p> <p>[编者注]：“五防”是对高压开关柜结构的安全要求：①防止误跳、误合断路器；②防止带负荷拉、合隔离开关；③防止带电挂接地线；④防止带接地线合隔离开关；⑤防止人员误入开关柜的带电间隙。有的开关柜型号末尾加注有“(F)”的，即为达到“五防”的防误型开关柜</p>
2	高压开关柜的型号编制	
2.1	老系列高压开关柜的全型号格式和含义	 <p>G—高压开关柜—产品名称</p> <p>G—固定式 C—手车式 B—半封闭式 F—封闭式</p> <p>结构型式</p> <p>设计序号</p> <p>次线路方案编号</p> <p>断路器操动机构 { S—手力式 D—电磁式 T—弹簧式 }</p> <p>额定电压(kV)</p> <p>补充标志 { A—改进型 F—防误型 J—计量用 }</p>
2.2	新系列高压开关柜的全型号格式和含义	 <p>K—铠装式 J—间隔式 X—箱式 H—环网</p> <p>高压开关柜</p> <p>G—固定式 Y—移开式</p> <p>结构型式</p> <p>N—户内型—安装场所</p> <p>断路器操动机构 { D—电磁式 T—弹簧式 }</p> <p>次线路方案编号</p> <p>额定电压(kV)</p> <p>设计序号</p>

(二) 部分高压开关柜的主要设备及一次线路方案

(1) 部分高压开关柜的主要电气设备及生产厂。如表 4-57 所示。

表 4-57 部分高压开关柜的主要电气设备及生产厂<sup>[23]</sup>

开关柜型号	类别 型式	电气参数				主要电气设备型号							外形尺寸 (宽×深×高, mm)	生产厂
		额定 电压 (kV)	额定电 流 (A)	额定断 开 容 量 (kA)	主 开 关	操 动 机 构	电 流 互 感 器	电 压 互 感 器	高 压 熔 断 器	避 雷 器	接 地 开 关			
BA1-35			1250,1600	25	HB35	KHB	GN.AKB, AKX,AKH	VKV,VK1	RN2-35			1200×2400 ×2350	⑬	
GBC-35(F)			100	16.2	SN10-35	CD-10	LCZ-35	JDJ2-35 JDJ2-35	RN2-35	FZ3-35		1818×2050 ×2900	③⑦⑨⑩⑫⑬ ⑭⑮⑯⑰⑱⑲ ⑳㉑㉒㉓	
GBC-35A(F)	单 母 线 手 车 式		1000	16~31.5	SN10-35 SN12-35	CD10-IV	LCZ-35	JDJ2-35 JDJ2-35	RN2-35	FZ3-35		1818×2050 ×2900	①②④	
JYN1-35(F)		35	1000	16.2	SN10-35	CD10 CT8	LCZ-35	JDJ2-35 JDJ2-35	RN2-35 RW10-35	FZ-35 FYZ1-35		1818×2400 ×2925	③④⑥⑦⑧⑨⑩ ⑪⑫⑬⑭⑮⑯ ⑰⑱⑲⑳㉑㉒ ㉓㉔㉕	
KYN-35			1600	25	SN10-35 ZN-35 LN2-35	CT12 CT10	LFI1-35 LDJ1-35	JDZ8-35 JDZJ8-35	RN2-35 NRI-35	FZ-35	JN-35	1200 2060 1400 × 2260 ×2640	①④⑤⑥⑦⑧⑨	
GBC-35(S)	双 母 线 手 车 式		1000	16	SN10-35 SN12-35	CD10 CT18 CT7	LCZ-35	JDJ2-35	RN1-35	YSC12		1818×3600 ×3600	①③④	
GC2-10(F)	单 母 线 手 车 式		630~3000	20~40	SN10-10 ZN□-10	CD10 CT8	LFS-10 LFSQ-10	JDZ 10 JDZJ-10	RN2-10	FS3-10 PCD3-10	JN-10G	800 × 1500 1000 ×2282	④⑩⑪⑫⑬⑭ ⑮⑯⑰⑱	
GC5-10(F)	五 防		630~2500	16~40	SN10-10 ZN3-10 LN2-10	CD10 CT8	LFS-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FS,FZ-10	JN1-10(G)	840×1470 ×2185	⑱⑲	

续表

开关柜型号	类别 型式	电气参数				主要电气设备型号						外形尺寸 (宽×深×高 mm)	生产厂
		额定 电压 (kV)	额定电 流 (A)	额定断 开 容 量 (kA)	主 开 关	操 动 机 构	电 流 互 感 器	电 压 互 感 器	高 压 熔 断 器	避 雷 器	接 地 开 关		
GFC-3BQ(F)	单 母 线 手 车 式 五 防 全 工 况 带 旁 路 母 线	10	900	31.5	SN10-10	CD10 CT7	LZX-10Q LZZB9-10 LZZB9-10C	JDJ-10 JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN1-10 RN2-10	FS3-10 FCD3-10	JN2-10	800×1250 ×2100	①
GFC-3BZQ(F)					ZN4-10								
GFC-3BQG(F)					SN10-10								
GFC-3BPQ(F)					SN10-10								
GFC-7B(F)	单 母 线 手 车 式 五 防	10	630~1250	8~40	SN10-10 ZN3-10 ZN5-10	CD10 CT8	LZJC-10	JDZ-10 JJDZJ-10	RN2-10 RN3-10	FS2-10 FZ2-10 FCD3-10	JN-10	840×1500 ×2200	②
GFC-10A(F)					SN10-10 ZN4-10C								
GFC-10B					SN10-10								
GFC-11					SN10-10								
GFC-15A(F)	单 母 线 手 车 式 五 防	10	600~3000	10~40	SN10-10	CD10	LZX-10 LZJC-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN2-10	FS8-10 FZ-10 FCD3-10		1000×1550 ×2000	⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱
GFC-15AZ(F)					SN10-10 ZN4-10								
					SN10-10								
GFC-18G					SN10-10 ZN-10								
			630~2500	16~31.5		CD14 CT8	LZZB6-10 LZZJB6-10 LZX-10	JDZ-10 JDZ6-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS3-10 FCD3-10	JN-101	1000×1500 ×2200	⑳

续表

开关柜型号	类别 型式	电气参数			主要电气设备型号							外形尺寸 (宽×深×高, mm)	生产厂
		额定 电压 (kV)	额定电 流 (A)	额定断 开 容 量 (kA)	主 开 关	操 动 机 构	电 流 互 感 器	电 压 互 感 器	高 压 熔 断 器	避 雷 器	接 地 开 关		
BA/BB-10	单、双 母线手 车式		630~2500	25~40	HB10	KHB	AKS AKV	VKI VKV	RN1-10 RN5-10	FZ-10 FS3-10 FCD3-10		800 1120 1000 × 1570 × 1800	⑭
JYN2-10			630~2500	16~31.5	SN10-10	CD10 CT8	LZZB6-10 LZZJB6-10 LMZB6-10	JDZ6-10 JDZJ6-10	RN2-10 RN3-10	FS2,FZ FCD3-10	JN-10f	840 × 1500 1000 × 2200	⑬ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ~ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ~ ㊱
JYN2-10A			630~1250	8~40	SN10-10 ZN3-10, ZN5-10	CD10 CT8	LZJC-10 LZXQ5-10 LZJC/CB-10	JDZ-10 JDZJC-10	RN2-10	FS2,FZ2 FCD3-10	JN2-10	800 × 1500 × 2200	㉚ ㉛ ㉜ ~ ㉝
JYNB-10			900	40	SN10-10	CD10 CT8	LZZQB9-10	4MQ-10	RN2-10	FS3-10		800 × 1275 × 2400 × 2650	①
JYNC-10		10	630~3150	31.5~50	ZN□-10 ZN12-12	CD10 CT8 CT7	LZZBJ9-10A	JDZ-10 JDZJ-10 4QM	RN2-10	FZ-10 FS3-10		800 × 1275 2400 × 2650	①
JYN□-10	单母线 手车式 五防		630~3000	16.5~40	SN10-10 ZN-10, LN-10	CD10 CT8	LZXQ4-10 AKS,AK1	JDZ6-10 JDZJ6-10		FS3-10 FCD3-10		1200 × 1000 × 1800	⑫ ⑬ ⑭ ~ ⑮
JYN□-10A			600~3000	16~40	SN10-10 ZN3-5B, 7-10	CD10 CT8	LZXQ4-10 LMZD2-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS3-10 FCD3-10	JN5-10	700 1250 900 × 1350 × 2000	⑳
KYN-10 KYN1-10			630~2500	16.2~40	SN10-10	CD10 CT8	LDJ-10	JDZ-10 JSJW-10	RN2-10 RN3-10	FS2-10 FZ2-10	JN4-10	800 1500 1000 × 1800 × 2200 × 2350	⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ~ ㉛
KYN3-10			630~2500	20~40	SN10-10 ZN□-10	CD10 CT8	LFSQ-10 LMZ-10	JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN1-10 RN2-10	FZ2-10 FS3-10 FCD3-10	JN-10	800 × 1800 1000 × 2200	㉜ ㉝

续表

开关柜型号	类别 型式	电气参数				主要电气设备型号							外形尺寸 (宽×深×高 mm)	生产厂
		额定电压 (kV)	额定电流 (A)	额定开 容量 (kA)	主开关	操 动 机 构	电 流 互 感 器	电 压 互 感 器	高 压 熔 断 器	避 雷 器	接 地 开 关			
												LDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10		
KGN1-10(F)	单、双 母线固 定式		5~2500	16~40	SN10-10	CD10 CT8	LA(J)-10 LQJ-10	JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN1-10 RN2-10	FS-10 FZ-10		1180×1600 ×3000	⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒	
KGN3-10	单母线 手车式		630~2500	20~40	SN10-10	CD10 CT8	LFZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN2-10	FS-10 FZ-10		1180×1600 ×2900	㉓	
GG-1A(F)			600~3000	16~40	SN10-10	CD10 CD14 CT8	LA-10 LAJ-10 LFZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS-10 FCD-10	JN-10	1218×1225 ×3125	各地开关厂	
GG-1AZ(F)	单母线 固定式 五防		400~1000	16,20	ZN-10	CD10 CT8	LA-10 LMZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS-10 FCD-10	JN-10	1218×1225 ×3110	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟	
GG-11			400~1000	16.5	SN10-10	CD10 CS15	LFZ1-10 LDZ1-10 LMZJ1-10	JDZ1-10 JDZJ1-10	RN2-10	FS4 FZ2-10 FCD3-10		1100×1200 ×2600	㉞	
GPC-1A(F)	单母线 带旁路		400~3000	31.5	SN10-10 ZN4-10	CD10	LA-10 LMZ-10 LMZJ1-10	JDZ, JDJ-10 JSJW-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FS3-10 FCD3-10 FYR1-10		1218×1950 ×3150	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟	
GSG-1A(F)	双母线 固定式 五防		400~3000	31.5	SN10-10 ZN4-10	CD10	LA-10 LMZ-10 LMZJ1-10	JDZJ-10 JSJW-10	RN2-10	FS3-10		1400×1900 ×2700	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟	
VC-10	单母线 固定式		630~1250	25	VK-10J /M25		LZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS3-10		800×1540 ×2300	㉟	
XGN-10	单、双 母线固 定式		630~2500	16~31.5	ZN-10	CD10 CT8	LZZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN2-10 RN1-10	FZ-10 FS3-10	JN□-10	1100×1200 ×2650	㉟	

续表

开关柜型号	类别 型式	电气参数				主要电气设备型号							外形尺寸 (宽×深×高, mm)	生产厂
		额定 电压 (kV)	额定 电流 (A)	额定断开 容量 (kA)	主开关	操动 机构	电流 互感器	电压 互感器	高压 熔断器	避雷器	接地开关			
XGN1-10 XGN2-10	单母线 固定式		630~2500	16~40	SN10-10 ZN28-10	CD10 CT8	LZZJ-10	JDZ-10 JDZJ-10 JSJW-10	RN2-10 RN1-10	FZ-10 FS3-10	JN4-10	1100×1200 ×2650	③④⑬	
HGKC-10			630	22	KL-10/630 KLF-10/630		LZJC-10	JDZ-10	RN3-10		EUK-10	850×725 ×1900	⑤	
MKH-10 ELC-24			630	16			LFS-10	JDZ-10	SDLAJ-12 SFLAJ-12	FZ2-10 FS3-10		450×955 900×1600	②⑤	
HXGN1-10	环网 开关柜	10	400	31.5	FN5-10		LZJC-10	JD2-10	RN2-10 RN3-10	FS2-10 FS4-10		750×800 ×1900	③	
GFG-10(F)			400 600	31.5 50	FN5-10D		LZJC-10	JDZ-10	RN3-10 SLAJ	FS2-10 FS4-10		750×800 ×1900	④⑤	
HK-10D			630	16, 20	HKZ-10		LFS-10 LZJC-10	JDZ-0 JDZJ-10	RN2-10 SLF-10	FS4-10 HYSWSI		650×700 800×1800 ×2200	⑤	
PJ1			20~1000				LQJ-10 LA-10	JDZ-10	RN2-10			1200×1200 ×3100	⑥⑦⑫⑬	
GGJ-1	计量柜		200~1000				LQJ-10	JDJ-10	RN2-10			1218×1225 ×3110	①②	
GSC-1(F)	双层柜	6	2500	40	CKG1		LAJ-10	JDZ-10	RN2-10			840×1500 ×2200	③⑬	
JYNC-10(J,R)	接触 器柜	10	630~3150	50	ZJ□-10 /400		LA2-10		WFNH0 WKNH0	MYGK- 6/5	JN□-10/I	650×1275 ×2400	①	

注 部分高压开关柜生产厂家如下：①北京开关厂；②北京第二开关厂；③天津市开关厂；④天津电气成套厂；⑤天津长城电器制造厂；⑥石家庄高压开关厂；⑦保定高压开关厂；⑧邯郸开关厂；⑨山西电气控制设备厂；⑩太原电气电器厂；⑪包头开关厂；⑫沈阳开关厂；⑬沈阳低压开关厂；⑭大连开关厂；⑮长春新生开关厂；⑯哈尔滨开关厂；⑰牡丹江高压开关厂；⑱上海华通开关厂；⑲上海电器成套厂；⑳锦州开关厂；㉑苏州开关厂；㉒杭州开关厂；㉓南通电器成套厂；㉔浙江开关厂；㉕合肥开关厂；㉖合肥高压开关厂；㉗湖南开关厂；㉘湘潭开关厂；㉙福州第一开关厂；㉚广州高压电器厂；㉛广州南方开关厂；㉜昆明开关厂；㉝北京开关厂；㉞北京高压电器研究所；㉟武汉开关总厂；㊱四川开关厂；㊲成都开关厂；㊳成都开关厂；㊴柳州开关厂；㊵柳州开关厂；㊶柳州开关厂；㊷柳州开关厂；㊸柳州开关厂；㊹柳州开关厂；㊺柳州开关厂；㊻柳州开关厂；㊼柳州开关厂；㊽柳州开关厂；㊾柳州开关厂；㊿柳州开关厂；①②北京开关厂；①③北京第二开关厂；①④北京高压电器研究所；①⑤北京高压开关厂；①⑥北京高压开关厂；①⑦北京高压开关厂；①⑧北京高压开关厂；①⑨北京高压开关厂；①⑩北京高压开关厂；①⑪北京高压开关厂；①⑫北京高压开关厂；①⑬北京高压开关厂；①⑭北京高压开关厂；①⑮北京高压开关厂；①⑯北京高压开关厂；①⑰北京高压开关厂；①⑱北京高压开关厂；①⑲北京高压开关厂；①⑳北京高压开关厂；①㉑北京高压开关厂；①㉒北京高压开关厂；①㉓北京高压开关厂；①㉔北京高压开关厂；①㉕北京高压开关厂；①㉖北京高压开关厂；①㉗北京高压开关厂；①㉘北京高压开关厂；①㉙北京高压开关厂；①㉚北京高压开关厂；①㉛北京高压开关厂；①㉜北京高压开关厂；①㉝北京高压开关厂；①㉞北京高压开关厂；①㉟北京高压开关厂；②西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；③西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；④西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑤西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑥西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑦西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑧西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑨西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑩西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑪西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑫西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑬西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑭西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑮西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑯西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑰西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑱西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑲西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑳西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉑西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉒西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉓西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉔西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉕西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉖西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉗西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉘西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉙西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉚西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉛西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉜西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉝西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉞西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㉟西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；⑳成都四川高压开关厂（XGN2-10）。



(2) GBC-35 (F) 型高压开关柜的一次线路方案。如表 4-58 所示。

表 4-58 GBC-35 (F) 型开关柜的一次线路方案<sup>[23]</sup>

一次线路方案编号	01	02	03	04	05
一次线路方案图					
用途	柜后架空进(出)线	柜后架空出线			柜后架空进线
SN10-35 型断路器	1	1	1	1	1
CD10 型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35 型电流互感器		1	2	3	1
一次线路方案编号	06	07	08	09	10
一次线路方案图					
用途	柜后架空进线				
SN10-35 型断路器	1	1	1	1	1
CD10 型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35 型电流互感器	2	3	4	4	5
一次线路方案编号	11	12	13	14	15
一次线路方案图					
用途	柜后架空进线	柜后架空进出线			
SN10-35 型断路器	1	1	1	1	1
CD10 型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35 型电流互感器	6	4	4	5	6
一次线路方案编号	16	17	18	19	20
一次线路方案图					
用途	电缆进(出)线	电缆出线			电缆进线
SN10-35 型断路器	1	1	1	1	1
CD10 型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35 型电流互感器		1	2	3	1

续表

一次线路方案编号	21	22	23	24	25
一次线路方案图					
用途	电缆进线				
SN10-35型断路器	1	1	1	1	1
CD10型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35型电流互感器	2	3	4	4	5
一次线路方案编号	26	27	28	29	30
一次线路方案图					
用途	电缆进线	电缆进(出)线			
SN10-35型断路器	1	1	1	1	1
CD10型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35型电流互感器	6	4	4	5	6
一次线路方案编号	31	32	33	34	35
一次线路方案图					
用途	左(右)联络				
SN10-35型断路器	1	1	1	1	1
CD10型操动机构	1	1	1	1	1
LCZ-35型电流互感器		1	2	3	
CB-35型穿墙套管					3
一次线路方案编号	36	37	38	39	40
一次线路方案图					
用途	柜后架空进线兼左(右)联络			柜后架空(进)出线	柜后架空出线
SN10-35型断路器	1	1	1		
CD10型操动机构	1	1	1		
LCZ-35型电流互感器	1	2	3		1
CB-35型穿墙套管	3	3	3		
隔离手车				1	1

续表

一次线路方案编号	41	42	43	44	45	46
一次线路方案图						
用途	柜后架空出线			柜后架空进线		电缆进(出)线
LCZ-35型电流互感器	2	3	1	2	3	
隔离手车	1	1	1	1	1	1
一次线路方案编号	47	48	49	50	51	52
一次线路方案图						
用途	电缆出线			电缆进线		
LCZ-35型电流互感器	1	2	3	1	2	3
隔离手车	1	1	1	1	1	1
一次线路方案编号	53	54	55	56	57	58
一次线路方案图						
用途	左(右)联络				柜后架空进线兼左(右)联络	
LCZ-35型电流互感器		1	2	3		1
隔离手车	1	1	1	1	1	1
CB-35型穿墙套管					3	3
一次线路方案编号	59	60	61	62	63	64
一次线路方案图						
用途	柜后架空进线兼左(右)联络					
LCZ-35型电流互感器	2	3		1	2	3
隔离手车	1	1	1	1	1	1
CB-35型穿墙套管	3	3				

续表

一次线路方案编号	65	66	67	68	69	
一次线路方案图						
用途	电压互感器	电压互感器兼 电缆进(出)线	电压互感器兼 左(右)联络			
LCZ-35型电流互感器				1	2	
FN2-35型熔断器	3	3	3	3	3	
JDJ2-35型电压互感器	3	3	3	3	3	
一次线路方案编号	70	71	72	73	74	
一次线路方案图						
用途	电压互感器兼 左(右)联络	左(右)联络、架空进(出)线兼电压互感器				
LCZ-35型电流互感器	3		1	2	3	
RN2-35型熔断器	3	3	3	3	3	
JDJ2-35型电压互感器	3	3	3	3	3	
CB-35型穿墙套管		3	3	3	3	
一次线路方案编号	75	76	77	78	79	80
一次线路方案图						
用途	电压互感器兼 左(右)联络		电压互感器	电压互感器兼 电缆进(出)线	电压互感器兼左(右)联络	
LCZ-35型电流互感器						1
RN2-35型熔断器	3		2	2	2	2
JDJ2-35型电压互感器	(JDJ2-35型) 3		1	1	1	1

续表

一次线路方案编号	81	82	83	84	85
一次线路方案图					
用途	电压互感器兼左(右)联络		电压互感器、柜后架空进线及左(右)联络		
LCZ-35型电流互感器	2	3		1	2
RN2-35型熔断器	2	2	2	2	2
JDJ2-35型电压互感器	1	1	1	1	1
CB-35型穿墙套管			3	3	3
一次线路方案编号	86	87	88	89	90
一次线路方案图					
用途	电压互感器、柜后架空进线及左(右)联络	电压互感器兼左(右)联络	非标	避雷器	避雷器兼电缆进(出)线
LCZ-35型电流互感器	3				
RN2-35型熔断器	2	2	3		
JDJ2-35型电压互感器	1	1	2		
CB-35型穿墙套管	3				
FZ-35型避雷器				(FYZ1-35型) 3	3
JS-2型放电记录器				(JS-3型) 3	3
一次线路方案编号	91	92	93	94	95
一次线路方案图					
用途	避雷器兼左(右)联络				避雷器兼柜后架空进线及左(右)联络
LCZ-35型电流互感器		1	2	3	1
FZ-35型避雷器	3	3	3	3	3
JS-2型放电记录器	3	3	3	3	3
CB-35型穿墙套管					3

续表

一次线路方案编号	96	97	100	101	102
一次线路方案图					
用途	避雷器兼左(右)联络		熔断器柜 (非标)	所用变压器柜	所用变压器柜 (非标)
LCZ-35型电流互感器	2	3		(LMZJ1-0.5型) 3	(LMZJ1-0.5型) 3
CB-35型穿墙套管	3	3			
FZ-35型避雷器	3	3			
JS-2型放电记录器	3	3			
RW10-35/3型熔断器			3	3	3
S7-50/35/0.4/0.23型变压器				1	1
GN2-35/400型隔离开关					1
CJ10-100/3型接触器				1	
DZ10-100型低压断路器				5	5
一次线路方案编号	103	201	202	203	
一次线路方案图					
用途	所用变压器柜	左(右)联络			
LCZ-35型电流互感器	(LMZJ1-0.5型) 3	1	2	3	
断路器		1	1	1	
操动机构		1	1	1	
RW10-35/3型熔断器	3				
S7-50/35/0.4/0.23型变压器	1				
GN2-35/400型隔离开关	1				
DZ10-100型低压断路器	5				
一次线路方案编号	204	205	206	207	208
一次线路方案图					
用途	左(右)联络				
LCZ-35型电流互感器	1	2	3	4	4
隔离手车	1	1	1		
SN10-35型断路器				1	1
CD10型操动机构				1	1

续表

一次线路方案编号	209	210	211	212	213
一次线路方案图					
用途	左(右)联络				
LCZ-35型电流互感器	5	6	4	5	6
SN10-35型断路器	1	1	1	1	1
CD10型操动机构	1	1	1	1	1
一次线路方案编号	214	215	216	217	218
一次线路方案图					
用途	左(右)联络			柜后架空进线兼左(右)联络	
LCZ-35型电流互感器	4	5	6	1	2
CB-35型穿墙套管				3	3
隔离手车	1	1	1		
SN10-35型断路器				1	1
CD10型操动机构				1	1
一次线路方案编号	219	220	221	222	223
一次线路方案图					
用途	柜后架空进线兼左(右)联络				
LCZ-35型电流互感器	3	1	2	3	4
CB-35型穿墙套管	3	3	3	3	3
隔离手车		1	1	1	
SN10-35型断路器	1				1
CD10型操动机构	1				1

续表

一次线路方案编号	224	225	226	227	228
一次线路方案图					
用途	柜后架空进线兼左(右)联络			电缆进(出)线	
LCZ-35型电流互感器	5	6	4	5	6
CB-35型穿墙套管	3	3			
隔离手车			1	1	1
SN10-35型断路器	1	1			
CD10型操动机构	1	1			
一次线路方案编号	229	230	231	232	233
一次线路方案图					
用途	柜后架空进(出)线			柜后架空进出线兼左(右)联络	
LCZ-35型电流互感器	4	5	6	4	5
CB-35型穿墙套管				3	3
隔离手车	1	1	1	1	1

(3) KGN-10型开关柜单母线一次线路方案。如表4-59所示。

表 4-59 KGN-10型开关柜单母线一次线路方案<sup>[29]</sup>

一次线路方案编号	01	02	03	04	05
一次线路方案图					
用途	电缆出线				电缆进出线
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1	1	1	1
GN24-10D型(下)隔离开关					1
SN10-10 I、II、III型断路器	1	1	1	1	1
CD10、CT8型操动机构	1	1	1	1	1
LA(j)-10型电流互感器		1	2	3	
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓



续表

一次线路方案编号	06	07	08	09	10
一次线路方案图					
用途	电缆进出线			架空出线	
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1	1	1	1
GN24-10D型(下)隔离开关	1	1	1		
SN10-10 I、II、III型断路器	1	1	1	1	1
CD10、CT8型操动机构	1	1	1	1	1
LA(J)-10型电流互感器	1	2	3	1	2
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓
一次线路方案编号	11	12	13	14	15
一次线路方案图					
用途	架空出线	架空进出线			电抗器启动电动机与24、25、61、62、65~69方案配合使用
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1	1	1	1
GN24-10D型(下)隔离开关		1	1	1	1
SN10-10 I、II、III型断路器	1	1	1	1	1
CD10、CT8型操动机构	1	1	1	1	1
LA(J)-10型电流互感器	3	1	2	3	3
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓
一次线路方案编号	16	17	18	19	20
一次线路方案图					
用途	备用电缆进线左右联络与61、62、65~69、77方案配合使用		架空进出线左右联络与77方案配合使用		向左联络与57、58、72方案配合使用
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1	1	1	1
GN24-10D型(下)隔离开关	1	1	1	1	1
SN10-10 I、II、III型断路器	1	1	1	1	1
CD10、CT8型操动机构	1	1	1	1	1
LA(J)-10型电流互感器	2	3	2	3	
GN19-10型隔离开关	1	1	1	1	✓
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓

续表

一次线路方案编号	21	22	23	24	25
一次线路方案图					
用途	向左联络与57、58、72方案配合使用。57、58、72方案的隔离开关由本柜操作			电抗器启动电动机与15方案配合使用	
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1	1		
SN10-10 I、II型断路器	1	1	1	1	1
CD10、CT8型操动机构	1	1	1	1	1
LA(J)-10型电流互感器	1	2	3		
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓
一次线路方案编号	26	27	28	29	30
一次线路方案图					
用途	启动电动机与01方案配合使用		向左联络与29~37方案配合使用。29~37方案中的隔离开关由本柜操作	架空进线向右联络与28方案配合使用	
GN24-10D型(上)隔离开关	1	1			
GN24-10D型(下)隔离开关	1	1			
GN22-10型隔离开关			1	1	1
SN10-10 I、II型断路器	1	1	(II) 1		
CD10、CT8型操动机构	1	1	(II) 1		
LA(J)-10型电流互感器	2	3		3	3
JSJW、JDZJ-3、6、10型电压互感器					3
RN2-10型熔断器					3
最大工作电流(A)	630	✓	✓	1600	✓
	1000	✓	✓	2000	✓
	1250	✓	✓	2500	✓
一次线路方案编号	31	32	33	34	35
一次线路方案图					
用途		架空进线(带TV)向右联络与28方案配合使用		电缆进线向右联络与28方案配合使用	向右联络与28方案配合使用
GN22-10型隔离开关	1	1	1	1	1
LA(J)-10型电流互感器	3	3	3	3	3
JDJ、JDZ-3、6、10型电压互感器					
JSJW、JDZJ-3、6、10型电压互感器	2	3或1	2		
RN2-10型熔断器	3	3	3		
最大工作电流(A)	1600	✓	✓	✓	✓
	2000	✓	✓	✓	✓
	2500	✓	✓	✓	✓

续表

一次线路方案编号	36	37	38	39	40
一次线路方案图					
用途	向右联络分段与 28 方案配合使用			电缆进线	
GN22-10 型隔离开关	1	1		1	1
GN19-10 型隔离开关			1		
LA (J) -10 型电流互感器	3	3		1	2
JDJ、JDZ-3、6、10 型电压互感器					
JSJW、JDZJ-3、6、10 型电压互感器	3 或 1	2			
RN1-3、6、10 型熔断器			3	3	3
RN2-10 型熔断器	3	3			
最大工作电流 (A)	200		√	√	√
	1600	√	√		
	2000	√	√		
	2500	√	√		
一次线路方案编号	41	42	43	44	45
一次线路方案图					
用途	架空出线	发电机保护		可两路进线或出线	
GN19-10 型隔离开关	1			1	1
GN19-10C2 (G) 型隔离开关					1
LA (J) -10 型电流互感器	2	3			
RN1-3、6、10 型熔断器	3				
FCD3-3、6 型避雷器		1	1		
最大工作电流 (A)	200	√		√	
	630		√	√	√
	1000		√	√	√
	1250		√	√	√
一次线路方案编号	46	47	48	49	50
一次线路方案图					
用途	一路进线 一路出线		电压互感器		避雷器
GN19-10 型隔离开关	1	1	1	1	1
GN19-10C2 (G) 型隔离开关		1			
LA (J) -10 型电流互感器	1	1			
JDZ、JDJ-3、6、10 型电压互感器				2	
JDZJ、JSJW-3、6、10 型电压互感器			3 或 1		
RN1-3、6、10 型熔断器	3	3	3	3	
RN2-10 型熔断器					3
FS 或 FZ-3、6、10 型避雷器					
最大工作电流 (A)	200	√	√		
	630				

续表

一次线路方案编号	51	52	53	54	55
一次线路方案图					
用途	电容器	电压互感器、避雷器		一路出线	
GN19-10型隔离开关	1	1	1	1	1
GN19-10C2(G)型隔离开关					1
JDZ、JDJ-3、6、10型电压互感器			2	2	
JDZJ、JSJW-3、6、10型电压互感器		3或1			3或1
RN1-6、10型熔断器	3				
RN2-10型熔断器		3	3	3	3
BWJ- $\frac{6}{10}$ -12-1型电容器	3				
FS、FZ-3、6、10型避雷器	3	3	3		
最大工作电流(A)	200			✓	✓
一次线路方案编号	56	57	58	59	60
一次线路方案图					
用途	一路出线	向右联络与20~23、78方案配合使用			
GN19-10型隔离开关	1	1	1		
GN19-10C2(G)型隔离开关	1	1	1		
JDZ、JDJ-3、6、10型电压互感器	2		2		
JSJW、JDZJ-3、6、10型电压互感器		3或1			
RN2-10型熔断器	3	3	3		
最大工作电流(A)	200	✓			
	630		✓		
	1000		✓		
	1250		✓		
一次线路方案编号	61	62	63	64	65
一次线路方案图					
用途	备用电缆进线左右联络与15、16、17方案配合使用		电缆进线电能计量		备用电缆进线左右联络与15、16、17方案配合使用
GN19-10型隔离开关	2	2	2	2	
LA(J)-10型电流互感器			2	3	
JDZ、JDJ-3、6、10型电压互感器		2	2		
JDZJ、JSJW-3、6、10型电压互感器	3或1			3或1	3或1
RN2-10型熔断器	3	3	3	3	3
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓

续表

一次线路方案编号	66	67	68	69	70
一次线路方案图					
用途	备用电缆进线左右联络与15、16、17方案配合使用				避雷器兼电缆进线
GN19-10C1型隔离开关			1		1
GN19-10型隔离开关		1	1		1
JDZ、JDJ-3、6、10型电压互感器	2			2	
JDZJ型电压互感器		3	2		
RN2-10型熔断器	3	3	3	3	
FS-3、6、10型避雷器					3
最大工作电流(A)	630	✓	✓	✓	✓
	1000	✓	✓	✓	✓
	1250	✓	✓	✓	✓
一次线路方案编号	71	72	73	74	75
一次线路方案图					
用途		向右联络与20~23、78方案配合使用	无保护电缆进出线		
GN19-10C1型隔离开关		1	1		
GN19-10型隔离开关		1			
LA(J)-10型电流互感器			2		
FS-3、6、10型避雷器		3			
最大工作电流(A)	200		✓		
	630		✓		
	1000		✓		
	1250		✓		
一次线路方案编号	76	77	78	79	90
一次线路方案图					
用途	所用电	所用电左右联络与16~19方案配合使用	向左联络与57、58、72方案作母线分段用。57、58、72方案中的隔离开关由本柜操作		
GN19-10型隔离开关	1				
RN1-3、6、10型熔断器	3	3			
SJL、SJ-20~50-6.3、10/0.4型变压器	1	1			
DZ12-60型低压断路器	6	6			
LMZ1-0.5型电流互感器	3	3			
最大工作电流(A)	630		✓		
	1000		✓		

注 1. 本开关柜一次接线方案01~78均可从主母线直接架空进出。

2. 图中有“✓”者，表示该开关柜可以选择的电流规格。

(4) HXGN1-10 型环网柜一次线路方案。如表 4-60 所示。

表 4-60 HXGN1-10 型环网柜一次线路方案<sup>[23]</sup>

一次线路方案编号	01	02	03	04	05	06
一次线路方案图						
用途	电缆进出线	电缆进出线	电缆进出线	电缆进出线	电缆出线	电缆出线
FN5-10D 型负荷开关	1	1	1	1	1	1
FN5-10 型负荷开关						
RN3-10 型熔断器					3	3
RN2-10 型熔断器						
LZJC-10 型电流互感器		1	2	3		1
JDZ-10 型电压互感器						
FS4-10 型避雷器						
BWF-12.5 型电容器						
一次线路方案编号	07	08	09	10	11	12
一次线路方案图						
用途	电缆出线	电缆出线	电压互感器	电压互感器	电压互感器 电缆进出线	电压互感器 电缆进出线
FN5-10D 型负荷开关	1	1		1	1	1
FN5-10 型负荷开关			1			
RN3-10 型熔断器	3	3				
RN2-10 型熔断器			3	3	3	3
LZJC-10 型电流互感器	2	3				1
JDZ-10 型电压互感器			2	2	2	2
FS4-10 型避雷器						
BWF-12.5 型电容器						
一次线路方案编号	13	14	15	16	17	18
一次线路方案图						
用途	电压互感器 电缆进出线	电压互感器 电缆进出线	电压互感器	电压互感器	电压互感器 电缆进出线	电压互感器 电缆进出线
FN5-10D 型负荷开关	1	1		1	1	1
FN5-10 型负荷开关			1			
RN3-10 型熔断器						
RN2-10 型熔断器	3	3	3	3	3	3
LZJC-10 型电流互感器	2	3	3	3	3	3
JDZ-10 型电压互感器	2	2	3	3	3	3
FS4-10 型避雷器						
BWF-12.5 型电容器						

续表

一次线路方案编号	19	20	21	22	23	24
一次线路方案图						
用途	电压互感器 电缆进出线	电压互感器 电缆进出线	避雷器	避雷器	避雷器 电缆进出线	避雷器 电缆进出线
FN5-10D 型负荷开关	1	1		1	1	1
FN5-10 型负荷开关			1			
RN3-10 型熔断器						
RN2-10 型熔断器	3	3				
LZJC-10 型电流互感器	2	3				1
JDZ-10 型电压互感器	3	3				
FS4-10 型避雷器			3	3	3	3
BWF-12.5 型电容器						
一次线路方案编号	25	26	27	28	29	30
一次线路方案图						
用途	电缆进出线	电缆进出线	电缆出线	电缆出线	电缆出线	电缆出线
FN5-10D 型负荷开关	1	1	1	1	1	1
FN5-10 型负荷开关						
RN3-10 型熔断器			3	3	3	3
RN2-10 型熔断器						
LZJC-10 型电流互感器	2	3		1	2	3
JDZ-10 型电压互感器						
FS4-10 型避雷器	3	3	3	3	3	3
BWF-12.5 型电容器						
一次线路方案编号	31	32	33	34	35	36
一次线路方案图						
用途	避雷器 电压互感器	避雷器 电压互感器	避雷器 电压互感器	避雷器 电压互感器	避雷器 电容器	避雷器 电容器
FN5-10D 型负荷开关		1		1	1	1
FN5-10 型负荷开关	1		1			
RN3-10 型熔断器						
RN2-10 型熔断器	3	3	3	3		
LZJC-10 型电流互感器						
JDZ-10 型电压互感器	2	2	3	3		
FS4-10 型避雷器	3	3	3	3	3	3
BWF-12.5 型电容器					3	3

### 三、低压配电装置及其一次线路方案

#### (一) 低压配电装置的类别及其型号编制

如表 4-61 所示。

表 4-61 低压配电装置的类别及其型号编制

序号	项目	说明
1		低压配电装置的类别
1.1	概述	<p>低压配电装置包括低压配电屏(柜)和配电箱,是按一定的线路方案将有关一、二次设备组装而成的一种低压成套装置,在低压配电系统中作为控制、保护和计量之用</p>
1.2	低压配电屏(柜)的类别	<p>(1) 固定式低压配电屏(柜):其中的电器元件均为固定安装,固定接线。目前使用较广的固定式配电屏有 PGL、GGL、GGD 等型,其中 GGD 型是国产较新产品,全部采用新型电器元件,具有分断能力强、热稳定性好、接线方案灵活、组合方便、结构新颖及外壳防护等级高等优点,是一种国家推广应用的新产品。固定式低压配电屏适用于发电厂、变电所及工矿企业等电力用户作动力和照明配电之用</p> <p>(2) 抽屉式低压配电屏(柜):其安装方式为抽屉式(或称抽出式),每个抽屉为一个功能单元,按一、二次线路方案要求将有关功能单元的抽屉叠装安装在封闭的金属柜体内。常用的抽屉式配电屏(柜)有 BFC、GCL 和 GCK 等型,适用于三相交流系统中作为负荷或电动机控制中心的配电和控制装置。引进国外技术生产的多米诺(DOMINO)动力配电柜,是动力配电箱的一种新产品,具有体积小、结构新颖美观、易于安装维护和安全可靠等优点,适于工矿企业和高层建筑作低压动力和照明配电之用</p> <p>(3) 混合式低压配电屏(柜):其安装方式为固定和插入混合安装,型式有 ZH1(F)、GHL 等,其中 GHL-1 型配电屏采用了先进新型电器,如 NT 系列熔断器、ME 系列断路器及 CJ20 系列接触器等,集动力配电与控制为一体,兼有固定式和抽屉式的优点,可取代 PGL 型低压配电屏和 XL 型动力配电箱,并兼有 BFC 型抽屉式配电屏的优点</p>
1.3	配电箱的类别	<p>(1) 动力配电箱:通常具有配电和控制两种功能,主要用于动力配电与控制,但也可供照明配电与控制。常用的有 XL、XLL2、XF-10、XLCK、BGL-1、BGM-1 等多种型式。其中 BGL-1、BGM-1 型多用于高层住宅建筑的照明和动力配电</p> <p>(2) 照明配电箱:主要用于照明配电,但也能对一些小容量的动力设备配电。照明配电箱的品种繁多,XR<sup>X</sup>M-□系列照明配电箱适于工业和民用建筑作照明配电之用,也可作小容量动力线路的漏电、过负荷和短路保护之用</p> <p>按安装方式分,动力和照明配电箱均有:靠墙式、悬挂式、嵌入式等。靠墙式是配电箱靠墙落地安装;悬挂式是配电箱挂墙明装;嵌入式是配电箱嵌墙暗装</p>

续表

序号	项目	说明
2		低压配电装置的型号编制
2.1	老系列低压配电屏的全型号格式和含义	<p>派生代号 A—改进型</p> <p>设计序号</p> <p>结构用途 L—动力用 C—抽屉式</p> <p>型式特征 D—单面维护式 S—双面维护式 F—封闭式</p> <p>B—低压配电屏</p>
2.2	新系列低压配电屏的全型号格式和含义	<p>辅助电路方案号</p> <p>主电路方案号</p> <p>设计序号</p> <p>用途代号 L—动力用 D—混合式</p> <p>型式特征 G—固定式 C—抽屉式 H—混合式</p> <p>低压配电屏 P—开启式 G—封闭式</p>
2.3	配电箱的全型号格式和含义	<p>方案编号</p> <p>特征数字</p> <p>设计序号</p> <p>用途代号 L—动力 M—照明</p> <p>型式特征 X—悬挂式 R—嵌入式 K—开启式 M—密封式 F—防尘式 W—户外式</p> <p>X—低压配电箱</p>

#### (二) 部分低压配电屏(柜)的主要电气设备及一次线路方案

(1) 部分低压配电屏的主要电气设备及生产厂,如表 4-62 所示。



表 4-62 部分低压配电屏的主要电气设备及生产厂<sup>[23]</sup>

配电屏 型号	类别 型式	电气参数			主要电气设备型号					外形尺寸 (宽×深 ×高, mm)	生产厂	
		额定 电压 (V)	额定 电流 (A)	分断 能力 (kA)	受电断 路器	馈电断 路器	交流 接触器	熔断器	电流互 感器			
GCK1	抽出式	660	1000 ~ 2500	15 ~ 50	ME630 ~ 2500	DZ10, DZ20, DWX15C	CJ20, 3TB	RT19 NT1	LMJ-0.66, LMJ3-0.66, LMZ1-0.5	600×500 800×1000 ×2200	①④⑦⑩⑫⑮⑱~⑳ ㉑⑳~㉓㉔㉕㉖~ ㉗㉘㉙㉚㉛	
GCL1			1600 ~ 3150	50 ~ 80	ME1600 ~ 3200	ME630 ~1600, DW15C, DZ20	CJ20	gF1, aM4 NT	LMZ2-0.66	400~1000 ×1200 ×2200	①④⑦⑩⑫⑮⑱⑳ ㉑~㉓㉔~㉕㉖㉗ ㉘㉙㉚㉛㉜	
GCK2		380	800 ~ 2500	30 ~ 80	ME800 ~ 2500	DW15, DWX15 DZ10, DZ15	CJ10, 3KM52 CJ12	RT0 RL1	LMZJ-0.5	600×400 800×800 ×2200	㉞㉟㊱㊲	
GCL2			500 ~ 2500	63	ME630 ~ 3200	ME, HKB	B, TX		LM-0.5	660 1000 ×1642 ×2270	⑫⑬	
GCK3		380	500 ~ 1500	31.5	ME630 ~ 1600	ME, HKB	B		LMZJ1-0.5, LM-0.5	660 ×842 ×2270	⑫⑬	
GCK4			630 ~ 3200	30 ~ 80	AH600 ~3200 ME1250 ~3200	ME, DZ10, DZX10	CJ20, LC1	NT	LMZJ1-0.5, LMZ1-0.5	400~1000 ×600 1000 ×2200	⑩	
DOMI -NO 多米 诺		抽出式	380	630 ~ 3200	50	AH600 ~1600 ME630 ~4000	AH, DZ20, C45N, T系列	B, CJ20, LC1	NT gF aM	R-0.5, LMK-0.66	见表 4-68	②⑦⑩⑫⑮⑱⑳㉑ ㉒㉓㉔㉕
MNS				630 ~ 4000	60	ME630 ~3200 AH600 ~3200	S503, H系列, LNA	HKB, B	NT	LN	400~1200 ×600 ×1000 ×2200	⑫⑬⑭
SV18			660	15~ 380	50		MCbs	B	sist	LN	800 1000 ×500 ×2200	⑫
SK				1600 ~ 4800	50	MEbs	MEbs, MCbs	B	sist	LN	400 ~1200 ×1000 ×2200	⑫⑬
BFC- 2A			380	630 ~ 1600	30, 40	AH600 ~ 1500	AH, DZ20	CJ20	NT	LMZ-0.5	600 ×800 500~1000 ×2250	①
BFC- 2BG				600 ~ 2500	30	AH600 ~ 2500	AH, DZ20, DZX10	CJ20	NT		550 ×900 ×2200	①
BFC- 10A			380	800 ~ 1500	50	DW94- 800~ 1500	DZ10	CJ10, CJ12	RT0, RL1	LM	600 900 ×800 ×2000	⑫⑬
BFC- 15				600 ~ 1500	40	DW15 ~600 ~1500	DZ10	CJ10	RT0, RL1	LKMZJ -0.5, LMK-0.5	700 ×900 ×2100	⑩⑪
BFC- 20 (A)				630 ~ 3400	30 ~ 80	ME630 ~ 4000	DWX15C, DZ10	CJ10	NT	LM-0.5	600~1000 × 700~1200 ×2300	⑤~⑨⑪⑬⑮⑱⑳ ~㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗ ⑲

续表

配电屏 型号	类别 型式	电气参数			主要电气设备型号					外形尺寸 (宽×深 ×高, mm)	生产厂		
		额定 电压 (V)	额定 电流 (A)	分断 能力 (kA)	受电断 路器	馈电断 路器	交流 接触器	熔断器	电流互 感器				
BFC —25	抽出式	380	1000 ~ 5000	75	DW12— 2500 ~ 5000	DWX15、 DZX10	CJ10、 CJ20	RT0	LMZ2—0.5、 LMZ1—0.5	700 900 ×600 950 ×2300	⑩		
BFC —40			630 ~ 3200		50	ME630 ~3200、 AH600 ~3200	DWX15C、 HKB、 TG		B、 LC2、 CJ20	NT	LMZJ1—0.5、 LM—0.5	600~1200 × 800~1200 ×2300	⑪
BFC— 50E			380 660		400 ~ 3000	50	3WE400 ~ 3000		DWX15C、 DZ20、T0	CJ20、 3TB	NT	LM—0.5	600~1000 ×800 ×2200
JK1、 2、3	固定面板式	380	600 ~ 3150	15 ~ 50	DW10— 600~ 1500、 DW15 —600 ~1500、 ME630 ~3200	DW15、 DW10、 DZ20、 DZX10	CJ20	NT、 gF、 aM	LMZ2—0.5	400~ 1000 ×650 ~1000 ×2200	各地开关厂		
GGD1、 2、3			400 ~ 3150	15 ~ 50	ME630 ~3200、 DW15— 600~ 1500	DW10、 DZX10、 DZ20	CJ20		NT	LMZ1—0.66 LMJ3D—0.66	600~1000 ×600 ×800 ×2200	各地开关厂	
PGL1、 2、3			400~ 3200	15~ 50	DW10 —600 ~1500、 DW15— 600 ~1500、 ME2000 ~3200	DZ10、 DW10、 DZ20、 DW15、 DZX10	CJ12、 B、 CJ20		RT0、 NT	LMZJ1—0.5、 LMZ1—0.5	400~1000 ×600 800 ×2200	各地开关厂	
GGL1			630~ 2500	50	ME630 ~2500	ME630 ~2500、 DZ20、 TG	B		NT	LMZ1—0.5 LMZJ1—0.5	600 800 ×600 1000 ×2200	⑯⑰	
GGL2			630~ 1500	30、 40	DW15— 630~ 1600	DZ20、 DW15	CJ20		RT0	LMZ1—0.5、 LMZ2—0.66	800 ×600 ×2200	⑱⑲	
GGL□			630~ 3200	30、 40	ME630 ~3200	ME630~ 1600	CJ20、 B		NT	LMZJ1—0.66、 LMZ1—0.5	600~1200 × 600~1000 ×2200	⑳㉑㉒㉓	
GHL□ —0.5			380 660	630~ 2500	50	ME630 ~2500	ME630 ~1600、 H、 DZ12		B、H	NT	LM—0.5	600~1200 ×800 ×2200	㉔㉕㉖
GZL1、 2、3	混合安装式	380	600~ 2500	15 ~50	DW10— 600~ 1500、 DW15— 600~ 1500、 ME630 ~2500	ME、 DZ10、 DZX10	B、CJ10、 CJ20	RT0、 NT	LMZJ1—0.5 LMZ1—0.5	400~1000 × 350~1000 2000 ×2200	㉗㉘		
GHK1、 2、3			380 660	600~ 4000	30~ 65	AN600 ~1500、 ME630 ~4000	M、 DZ20、 C45N	B、 CJ20、 T	NT	LMZJ1—0.5、 LMZ1—0.5	450~1000 ×700 1000 ×2200	㉙㉚	

续表

配电屏型号	类别型式	电气参数			主要电气设备型号					外形尺寸 (宽×深×高, mm)	生产厂	
		额定电压 (V)	额定电流 (A)	分断能力 (kA)	受电断路器	馈电断路器	交流接触器	熔断器	电流互感器			
GHK5	混合安装式	380 660	630~ 1600	30~ 50	DW15— 600~ 1500、 ME630 ~1600	DW15、 T、 DZ20	B	NT	LMZJ1—0.5、 LMZ1—0.5	450~800 ×700 ×2200	⑤⑩	
GCK—□			630 ~ 3200	30~ 80	AH600 ~1500、 ME630 ~3200	DZ20、T	B、 CJ20	NT	LMZ1—0.5、 LMK—0.66	400~1200 ×800 ×1000 ×2200	④⑨⑩	
GCD		380	600~ 3200	30 ~80	AH600 ~1500、 ME630 3200	DZ20	B、CJ20 T	NT	LMZ—0.5、 LMK—0.5	400~1000 ×800 ×1000 ×2200	④⑨⑩	
GCL90 GCK90 (防腐型)				630~ 3150	30	AH600 ~1500、 ME630 ~3200	DZ20	B		LMZ1—0.5	600×600 800×1000 ×2200	④⑩
CUBIC		380 660	1000 ~ 7000	50、 80	AH600 ~4000、 ME630 ~3900	H、 TD、 TG、 DZ20	B、 CJ20	NT	LMZ1—0.5			⑤⑩⑪

注 部分低压开关柜生产厂：

- ①北京开关厂；②北京第二开关厂；③北京电器研究所；④天津市开关厂；⑤山西电气控制设备厂；⑥锦州开关厂；⑦包头市开关厂；⑧沈阳开关厂；⑨沈阳低压开关厂；⑩大连低压开关厂；⑪长春新生开关厂；⑫上海华通开关厂；⑬上海电器成套厂；⑭苏州开关厂；⑮杭州开关厂；⑯南通电器成套厂；⑰靖江扬子开关总厂；⑱靖江第二开关厂；⑲合肥高压开关总厂；⑳合肥开关厂；㉑福州第一开关厂；㉒厦门电控厂；㉓江西电气控制设备厂；㉔烟台开关厂；㉕郑州开关厂；㉖开封开关厂；㉗湖北开关厂；㉘武汉开关总厂；㉙湖南开关厂；㉚广州南洋开关厂；㉛佛山市电器厂；㉜柳州市开关厂；㉝柳州市整流器厂；㉞四川开关厂；㉟成都光明电器开关厂；㊱重庆开关厂；㊲遵义长征电器成套厂；㊳昆明开关厂；㊴西安开关厂；㊵天水长城开关厂；㊶北京北方开关厂；㊷北京北郊电器工业公司；㊸北京三环开关厂；㊹靖江防腐电器厂；㊺江苏靖江电器设备厂；㊻江苏靖江电力设备厂；㊼江苏无锡兰达电力设备厂；㊽西安中低压成套电器厂（西安微电机厂）；㊾北京市华东开关厂；㊿北京新拓机电厂；①北京长虹开关厂；②江苏镇江电器设备厂；③江苏镇江电力设备厂；④成都四川高压开关厂；⑤天津开发区电力设备有限公司；⑥成都电力电子设备厂；⑦常州太平洋电力设备有限公司；⑧北京大光明电器有限公司

(2) GGD型低压配电柜的主要技术数据及一次线路方案。如表 4-63~表 4-67 所示。

表 4-63 GGD 型低压配电柜的主要技术数据<sup>[23]</sup>

型号	额定电压 (V)	额定电流 (A)		额定短路开断电流 (kA)	1s 额定短时耐受电流 (kA)	额定峰值耐受电流 (kA)
		A	1000			
GGD1	380	B	600 (630)	15	15	30
		C	400			
		A	1500 (1600)			
GGD2	380	B	1000	30	30	63
		C				
		A	3150			
GGD3	380	B	2500	50	50	105
		C	2000			
		A				

表 4-64 GGD1 型低压配电柜的一次线路方案<sup>[24]</sup>

一次线路方案编号		01			02			03		
一次线路方案										
用途		受 电			受 电			受 电		
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C	A	B	C
主要电气设备	HD13BX-1000/31 型刀开关				1			1		
	HD13BX-600/31 型刀开关					1			1	
	HD13BX-400/31 型刀开关						1			1
柜 宽 (mm)		600	600	600	1000	800	800	1000	800	800
柜 深 (mm)		600	600	600	600	600	600	600	600	600
备 注										
一次线路方案编号		04			05			06		
一次线路方案										
用途		受 电			受 电 馈 电			受 电		
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C	A	B	C
主要电气设备	HD13BX-1000/31 型刀开关	1			1					
	HD13BX-600/31 型刀开关		1			1				
	HD13BX-400/31 型刀开关			1			1	2	2	2
	DW15-1000/3 □ 电动型断路器				1					
	DW15-630/3 □ 电磁型断路器					1				
	DW15-400/3 □ 电磁型断路器						1			
	CJ20-400/3 型接触器							2		
	CJ20-250/3 型接触器								2	
	CJ20-160/3 型接触器									2
	LMZ1-0.66 □/5 型电流互感器	1	1	1	3	3	3	2		
LMZ3-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器								2	2	
柜 宽 (mm)		600	600	600	800	800	800	800	800	800
柜 深 (mm)		600	600	600	600	600	600	600	600	600
备 注		B、C 方案柜宽可为 600mm								
一次线路方案编号		07			08			09		
一次线路方案										
用途		受 电 联 络			受 电 联 络			受 电 联 络		
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C	A	B	C
主要电气设备	HD13BX-1000/31 型刀开关	1			1			1		
	HD13BX-600/31 型刀开关		1			1			1	
	HD13BX-400/31 型刀开关			1			1			1
	DW15-1000/3 □ 电动型断路器				1					
	DW15-630/3 □ 电磁型断路器					1				
	DW15-400/3 □ 电磁型断路器						1			
LMZ1-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器				3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	
柜 宽 (mm)		600	600	600	800	800	800	1000	800	800
柜 深 (mm)		600	600	600	600	600	600	600	600	600
备 注		当容量小时,可选用括号内数字								

续表

一次线路方案编号		10			11			12		
一次线路方案										
用途		受电 联络			受 电			受电 联络		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31 型刀开关	1			2			2		
	HD13BX-600/31 型刀开关		1			2			2	
	HD13BX-400/31 型刀开关			1			2			2
	DW15-1000/3 □ 电动型断路器	1			1			1		
	DW15-630/3 □ 电磁型断路器		1			1			1	
	DW15-400/3 □ 电磁型断路器			1			1			1
	LMZ1-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)
	柜 宽 (mm)	1000	800	800	1000	800	800	1000	800	800
	柜 深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600
备注										
一次线路方案编号		13			14			15		
一次线路方案										
用途		受电 联络			受电 备用			受电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31 型刀开关	2								
	HD13BX-600/31 型刀开关		2							
	HD13BX-400/31 型刀开关			2						
	HS13BX-1000/31 (41) 刀开关				1			1		
	HS13BX-600/31 (41) 刀开关					1			1	
	HS13BX-400/31 (41) 刀开关						1			1
	DW15-1000/3 □ 电动型断路器	1			1			1		
	DW15-630/3 □ 电磁型断路器		1			1			1	
	DW15-400/3 □ 电磁型断路器			1			1			1
LMZ1-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (1)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	
柜 宽 (mm)	1000	800	800	1000	800	800	1000	800	800	
柜 深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		16			18			21		
一次线路方案										
用途		受电 备用			受 电			联 络		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31 型刀开关				1			2		
	HD13BX-600/31 型刀开关					1			2	
	HD13BX-400/31 型刀开关									2
	HS13BX-1000/31 (41) 刀开关	1								
	HS13BX-600/31 (41) 刀开关		1							
	HS13BX-400/31 (41) 刀开关			1						
	DW15-1000/3 □ 电动型断路器	1			1					
	DW15-630/3 □ 电磁型断路器		1			1				
	DW15-400/3 □ 电磁型断路器			1			1			
LMZ1-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)					
JDG-0.5型电压互感器(380/100V)							2(3)	2(3)	2(3)	
RT0-□型熔断器							3	3	3	
柜 宽 (mm)	1000	800	800	1000	800		1000	800	800	
柜 深 (mm)	600	600	600	600	600		600	600	600	
备注										

续表

一次线路方案编号		22			23			24		
一次线路方案										
用途		联络 馈电			联络			馈电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	2								
	HD13BX-600/31型刀开关		2							
	HD13BX-400/31型刀开关			2						
	HS13BX-1000/31 (41) 刀开关							1		
	HS13BX-600/31 (41) 刀开关								1	
	DZ10-600P/3□型断路器							1		
	DZ10-250/3□型断路器	2	2						1	
	DZ10-100/3□型断路器			2						
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器							3		
LMZ3-0.66□/5型电流互感器	2	2	2					3		
柜宽 (mm)	1000	800	800	600	600	600	600	600	600	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		25			26			27		
一次线路方案										
用途		馈电 备用			馈电 备用			馈电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HS13BX-1000/31 (41) 刀开关				1			1		
	HS13BX-600/31 (41) 刀开关	1				1			1	
	HS13BX-400/31 (41) 刀开关		1				1			1
	HS13BX-200/31 (41) 刀开关			1						
	DZ10-250/3□型断路器	2	1		4			4		
	DZ10-100/3□型断路器		1	2		4	4		4	4
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器							3	3	3
	LMZ3-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	4	4	4	4	4	4
	柜宽 (mm)	600	600	600	800	800	800	800	800	800
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		28			29			33		
一次线路方案										
用途		联络 备用 馈电			联络 备用 馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	1			1			1		
	HD13BX-600/31型刀开关		1			1			1	
	HD13BX-400/31型刀开关			1			1			1
	HD13BX-200/31型刀开关									
	HS13BX-1000/31 (41) 刀开关	1			1					
	HS13BX-600/31 (41) 刀开关		1			1				
	HS13BX-400/31 (41) 刀开关			1			1	1		
	DZ10-600P/3□型断路器							1	2	
	DZ10-250/3□型断路器	2			2					2
DZ10-100/3□型断路器		2	2		2	2			2	
LMZ1-0.66□/5型电流互感器							1			
LMZ3-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	2	2	2				
LMZ3-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5) 型电流互感器							1	2	2	
柜宽 (mm)	1000	800	800	1000	800	800	600	600	600	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										

续表

一次线路方案编号		34			35			36		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	1			1					
	HD13BX-600/31型刀开关							1		
	HD13BX-400/31型刀开关		1			1				
	DZ10-250/3□型断路器	4			4					
	DZ10-100/3□型断路器		4			4		6		
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器				3	3		3		
	LMZ3-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器	4	4							
	柜宽 (mm)	800	800		800	800		800		
	柜深 (mm)	600	600		600	600		600		
备注										
一次线路方案编号		37			38			39		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关	2			2			2		
	HD13BX-400/31型刀开关								2	
	HD13BX-200/31型刀开关		2			2				
	DZ10-250/3□型断路器	2			2			4		
	DZ10-100/3□型断路器		2			2			4	
	LMZ3-0.66□/5型电流互感器	2	2		6	6		4	4	
	柜宽 (mm)	800	600		800	600		800	800	
柜深 (mm)	600	600		600	600		500	600		
备注										
一次线路方案编号		40			41			42		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关	2			2			2		
	HD13BX-400/31型刀开关		2			2			2	
	HD13BX-200/31型刀开关			2			2			
	DW15-630/3□电磁型断路器								1	
	DW15-400/3□电磁型断路器									1
	RT0-□型熔断器	6	6	6	12	12	12	3	3	
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	4	4	4	4	4	
	LJ-□型电流互感器	2	2	2	4	4	4	2	2	
	柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600		
备注										

续表

一次线路方案编号		43			44			46		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关	1						2		
	HD13BX-400/31型刀开关		1							
	HD13BX-200/31型刀开关	1	1		3					
	DW15-630/3□电磁型断路器	1								
	DW15-400/3□电磁型断路器		1							
	CJ20-630/3型接触器							1		
	CJ20-250/3型接触器							1		
	RT0-□型熔断器	3	3		9			6		
	JDG-0.5型电压互感器(380/100V)	2(3)	2(3)		2(3)					
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	3	3		2			2			
LJ-□型电流互感器	1	1		2			2			
柜宽(mm)	800	800		800			800			
柜深(mm)	600	600		600			600			
备注										
一次线路方案编号		48			49			51		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			照明		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关							1		
	HD13BX-400/31型刀开关				2				1	
	HD13BX-200/31型刀开关	3								1
	CJ20-160/3				2					
	CJ20-63/3型接触器	6			4					
	RT0-□型熔断器	18			18			12	12	12
LMZ3-0.66□/5(LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器							4	4	4	
柜宽(mm)	800			800			800	800	800	
柜深(mm)	600			600			600	600	600	
备注										



续表

一次线路方案编号		52			53			54			57		
一次线路方案													
用途		照明			照明			照明			馈电(电动机)		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关	1						2					
	HD13BX-400/31型刀开关		1										
	HD13BX-200/31型刀开关			1									
	HR5-630/3□型刀熔断开关				1								
	HR5-400/3□型刀熔断开关					1							
	HR5-200/3□型刀熔断开关						1				2		
	HR5-100/3□型刀熔断开关											2	
	HG2-160型刀熔断开关							12					
	CJ10-100/3型接触器										2		
	CJ10-60/3型接触器											2	
	RT0-□型熔断器	18	18	18	18	18	18						
	SG-□型干式变压器				1	1	1						
	LMZ3-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器	6	6	6								2	2
	JR16-150/3D型热继电器											2	
JR16-60/3D型热继电器												2	
LJ-□型电流互感器											2	2	
柜宽(mm)	800	800	800	800	800	800	800				800	800	
柜深(mm)	600	600	600	600	600	600	600				600	600	
备注													
一次线路方案编号		58			59			60					
一次线路方案													
用途		馈电(电动机)			馈电(电动机)			馈电(电动机)					
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
	HR5-100/3□型刀熔断开关	4	4		5	5		4	4				
	CJ10-100/3型接触器	4			2	2		4	4				
	CJ10-60/3型接触器		4		3			4					
	CJ10-40/3型接触器					3			4				
	JR16-150/3D型热继电器	4			2	2		2	2				
	JR16-60/3D型热继电器		4		3	3		2	2				
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	4	4		5	5		4	4				
LJ-□型电流互感器	4	4		5	5								
柜宽(mm)	800	800		800	800		800	800					
柜深(mm)	600	600		600	600		600	600					
备注													

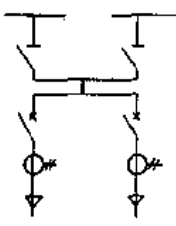

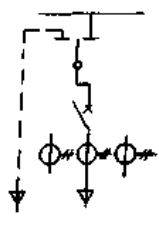
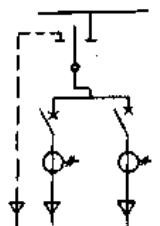
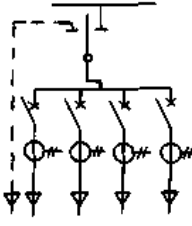
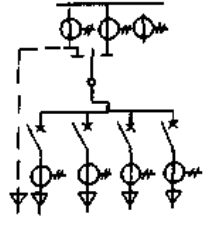
表 4-65 GGD2型低压配电柜的一次线路方案<sup>[24]</sup>

一次线路方案编号		01			02			03		
一次线路方案										
用途		受电			受电			受电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关				1			1		
	HD13BX-1000/31型刀开关					1			1	
	柜宽 (mm)	600	600	600	1000	1000		1000	1000	
	柜深 (mm)	600	600	600	600	600		600	600	
备注										
一次线路方案编号		04			05					
一次线路方案										
用途		受电			受电 馈电					
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C			
	HD13BX-1500/30型刀开关	1			1					
	HD13BX-1000/31型刀开关		1			1				
	HD13BX-600/31型刀开关						1			
	DW15-1600/3□电动型断路器				1					
	DW15-1000/3□电动型断路器					1				
	DW15-630/3□电磁型断路器						1			
	LMZ1-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5) 型电流互感器	1	1		3	3	3			
	柜宽 (mm)	800	800		800	800	800			
	柜深 (mm)	600	600		600	600	600			
备注		C方案柜宽可为600mm								
一次线路方案编号		07			08			09		
一次线路方案										
用途		受电 联络			受电 联络			受电 联络		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关	1			1			1		
	HD13BX-1000/31型刀开关		1			1			1	
	DW15-1600/3□电动型断路器				1			1		
	DW15-1000/3□电动型断路器					1			1	
	LMZ1-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5) 型电流互感器				3 (4)	3 (4)		3 (4)	3 (4)	
	柜宽 (mm)	600	600		800	800		1000	1000	
	柜深 (mm)	600	600		600	600		600	600	
备注										

续表

一次线路方案编号		10			11			12		
一次线路方案										
用途		受电 联络			受 电			受电 联络		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关	1			2			2		
	HD13BX-1000/31型刀开关		1			2			2	
	DW15-1600/3□型电动机断路器	1			1			1		
	DW15-1000/3□型电动机断路器		1			1			1	
	LMZ1-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器	3 (4)	3 (4)		3 (4)	3 (4)		3 (4)	3 (4)	
	柜宽 (mm)	1000	1000		1000	1000		1000	1000	
柜深 (mm)	600	600		600	600		600	600		
备注										
一次线路方案编号		13			14			15		
一次线路方案										
用途		受 电			受电 备用			受电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关	2								
	HD13BX-1000/31型刀开关		2							
	HS13BX-1000/31 (41)型刀开关					1			1	
	DW15-1600/3□型电动机断路器	1								
	DW15-1000/3□型电动机断路器		1			1			1	
	LMZ1-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器	3 (4)	3 (4)			3 (4)			3 (4)	
柜宽 (mm)	1000	1000			1000			1000		
柜深 (mm)	600	600			600			600		
备注										
一次线路方案编号		16			18			21		
一次线路方案										
用途		受电 备用			受 电			联 络		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关				1			2		
	HD13BX-1000/31型刀开关					1			2	
	HS13BX-1000/31 (41)型刀开关		1							
	DW15-1600/3□型电动机断路器				1					
	DW15-1000/3□型电动机断路器		1			1				
	LMZ1-0.66□/5 (LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器		3 (4)		3 (4)	3 (4)				
NT-□型熔断器							3	3		
JDG-0.5型电压互感器 (380/100V)							2 (3)	2 (3)		
柜宽 (mm)		1000		1000	1000		1000	1000		
柜深 (mm)		600		600	600		600	600		
备注										

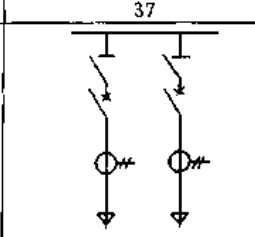
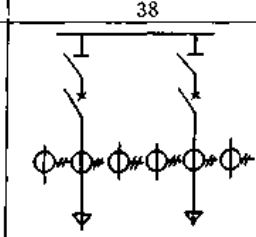
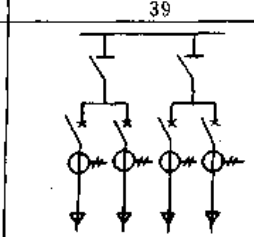
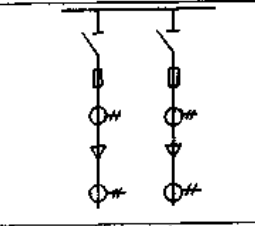
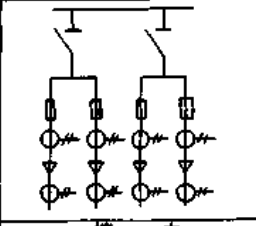
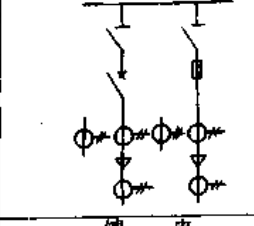
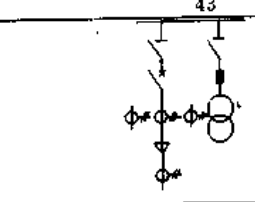
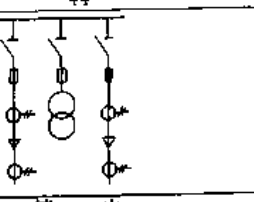
续表

一次线路方案编号		22			23			24		
一次线路方案										
用途		联络 馈电			联 络			馈电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1500/30型刀开关	2								
	HD13BX-1000/31型刀开关		2							
	HS13BX-1000/31 (41)型刀开关							1		
	HS13BX-600/31 (41)型刀开关								1	
	HS13BX-400/31 (41)型刀开关									1
	DW15-630/3□电磁型断路器							1		
	DW15-400/3□电磁型断路器								1	
	DW15-200/3□电磁型断路器									1
	DZX10-400/3□型断路器	2								
	DZX10-200/3□型断路器		2							
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器	2						3	3	
LMZ3-0.66□/5型电流互感器		2							3	
柜 宽 (mm)	1000	1000		600	600	600	600	600	600	
柜 深 (mm)	600	600		600	600	600	600	600	600	
备 注										
一次线路方案编号		25			26			27		
一次线路方案										
用途		馈电 备用			馈电 备用			馈电 备用		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HS13BX-1000/31 (41)型刀开关	1			1			1		
	HS13BX-600/31 (41)型刀开关		1			1			1	
	HS13BX-400/31 (41)型刀开关			1			1			1
	DZX10-400/3□型断路器	2								
	DZX10-200/3□型断路器		2		4	2		4	2	
	DZX10-100/3□型断路器			2		2	4		2	4
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器	2						3	3	3
LMZ3-0.66□/5型电流互感器		2	2	4	4	4	4	4	4	
柜 宽 (mm)	600	600	600	800	800	800	800	800	800	
柜 深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备 注										

续表

一次线路方案编号		28			29					
一次线路方案										
用途		联络	备用	馈电	联络	备用	馈电			
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C			
主要电气设备	HD13BX-600/31型刀开关		1			1				
	HS13BX-600/31(41)型刀开关		1			1				
	DZX10-100/3□型断路器		2			2				
	LMZ3-0.66□/5型电流互感器		2			2				
柜宽(mm)			800			800				
柜深(mm)			600			600				
备注										
一次线路方案编号		31			32			33		
一次线路方案										
用途		联络	馈电	备用	联络	馈电	备用	联络	馈电	备用
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C	A	B	C
主要电气设备	HD13BX-1500/30型刀开关							1		
	HD13BX-1000/31型刀开关								1	
	HD13BX-600/31型刀开关		1			1				
	HD13BX-400/31型刀开关									1
	HS13BX-600/31(41)型刀开关		1			1				
	DW15-630/3□电磁型断路器							2		
	DZX10-400/3□型断路器								2	
	DZX10-200/3□型断路器									2
	DZX10-100/3□型断路器		4			4				
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器							2		
LMZ3-0.66□/5(LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器		4			4			2	2	
柜宽(mm)			800		800		800	800	600	
柜深(mm)			600		600		600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		34			35			36		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
型号、规格及名称		A	B	C	A	B	C	A	B	C
主要电气设备	HD13BX-1000/31型刀开关	1			1			1		
	HD13BX-600/31型刀开关		1			1			1	
	HD13BX-400/31型刀开关			1			1			
	DZX10-200/3□型断路器	4	2		4	2				
	DZX10-100/3□型断路器		2	4		2	4	6	6	
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器				3	3	3	3	3	
LMZ3-0.66□/5(LMZ3D-0.66□/5)型电流互感器	4	4	4							
柜宽(mm)		800	800	800	800	800	800	800	800	
柜深(mm)		600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										

续表

一次线路方案编号		37			38			39		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	2			2			2		
	HD13BX-600/31型刀开关		2			2			2	
	HD13BX-400/31型刀开关			2			2			2
	DWX15-630/3□电磁型断路器	2			2					
	DWX15-630/3□电磁型断路器		2			2				
	DZX10-400P/3□型断路器							2	2	
	DZX10-400/3□型断路器			2			2	2		
	DZX10-200/3□型断路器								2	4
	LMZ1-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	6	6	6	4	2	4
LMZ3-0.66□/5型电流互感器								2	4	
柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		40			41			42		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	2			2					
	HD13BX-600/31型刀开关		2			2			1	
	HD13BX-400/31型刀开关			2			2		1	
	DWX15-630/3□电磁型断路器								1	
	NT-□型熔断器	6	6	6	12	12	12		3	
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	4	4	4		4	
	LJ-□型电流互感器	2	2	2	4	4	4		2	
	柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800		800	
	柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600		600	
备注										
一次线路方案编号		43			44					
一次线路方案										
用途		馈电			馈电					
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C			
	HD13BX-600/31型刀开关		1							
	HD13BX-400/31型刀开关		1							
	HD13BX-200/31型刀开关						3			
	DWX15-630/3□电磁型断路器		1							
	NT-□型熔断器		3				9			
	JDG-05型电压互感器(380/100V)		2(3)				2(3)			
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器		3				2			
	LJ-□型电流互感器		1				2			
	柜宽 (mm)		800				800			
柜深 (mm)		600				600				
备注										

续表

一次线路方案编号		46			47			48		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关		2			2				
	HD13BX-400/31型刀开关			2			2			
	HD13BX-200/31型刀开关									3
	CJ20-630/3型接触器		1							
	CJ20-250/3型接触器		1	1						
	CJ20-160/3型接触器			1						
	CJ20-63/3型接触器					4	4			6
	NT-□型熔断器		6	6		12	12			18
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器		2	2		4	4			
LJ-□型电流互感器		2	2		4	4				
柜宽 (mm)		800	800		800	800			800	
柜深 (mm)		600	600		600	600			600	
备注										
一次线路方案编号		49			50			51		
一次线路方案										
用途		馈电			- 馈电			照明		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	2								
	HD13BX-600/31型刀开关		2			2		1		
	HD13BX-400/31型刀开关								1	
	DZX10-630P/3□型断路器					2				
	CJ20-630/3型接触器					2				
	CJ20-250/3型接触器	2								
	CJ20-160/3型接触器		2							
	CJ20-63/3型接触器	4	4							
	NT-□型熔断器	18	18					12	12	
LMZ3-0.66□/5型电流互感器							4	4		
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器					6					
LJ-□型电流互感器					2					
柜宽 (mm)	800	800			800		800	800		
柜深 (mm)	600	600			600		600	600		
备注										

续表

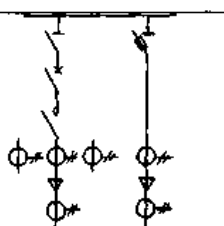
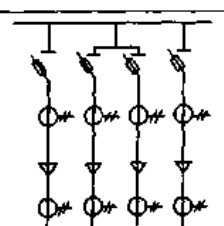
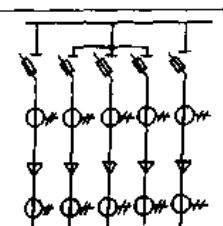
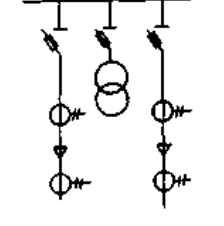
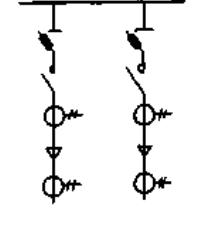
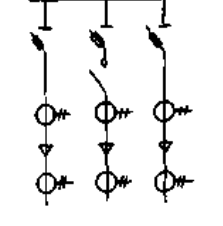
一次线路方案编号		52			53			54		
一次线路方案										
用途		照明			照明			照明		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-600/31型刀开关	1							2	
	HD13BX-400/31型刀开关		1							
	HR5-630/3□型刀熔开关				1					
	HR5-400/3□型刀熔开关					1				
	HG2-160型隔离开关								12	
	NT-□型熔断器	18	18		18	18				
	SG-□型干式变压器				1	1				
	LMZ3-0.66□/5型电流互感器	6	6							
	柜宽 (mm)	800	800		800	800				800
柜深 (mm)	600	600		600	600				600	
备注										
一次线路方案编号		55			57					
一次线路方案										
用途		馈电			馈电 (电动机)					
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C			
	HD13BX-600/31型刀开关		1							
	HD13BX-400/31型刀开关			1						
	HR5-200/3□型刀熔开关					2				
	HR5-100/3□型刀熔开关						2			
	CJ20-100/3型接触器		4	4	2					
	CJ20-63/3型接触器					2				
	JR16-150/3D型热继电器					2				
	JR16-60/3D型热继电器						2			
	NT-□型熔断器		12	12						
LMZ1-0.66□/5型电流互感器		3	3							
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器					2	2				
LJ-□型电流互感器		4	4	2	2					
柜宽 (mm)		800	800	800	800	800				
柜深 (mm)		600	600	600	600	600				
备注										
一次线路方案编号		58			59			60		
一次线路方案										
用途		馈电 (电动机)			馈电 (电动机)			馈电 (电动机)		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HR5-100/3□型刀熔开关	4	4		5	5		4	4	
	CJ20-100/3型接触器	4			2	2		4	4	
	CJ20-63/3型接触器		4		3			4		
	CJ20-40/3型接触器					3			4	
	JR16-150/3D型热继电器	4			2	2		2	2	
	JR16-60/3D型热继电器		4		3	3		2	2	
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	4	4		5	5		4	4	
	LJ-□型电流互感器	4	4		5	5				
	柜宽 (mm)	800	800		800	800		800	800	
柜深 (mm)	600	600		600	600		600	600		
备注										



表 4-66 GGD3型低压配电柜的一次线路方案<sup>[24]</sup>

一次线路方案编号		01			02			03			
一次线路方案											
用途		受电 联络			受电 联络			受电 联络			
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	ME3205电动型断路器	1			1			1			
	ME2505电动型断路器		1			1			1		
	ME2500电动型断路器			1			1			1	
	LMZ2-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	3 (4)	
	柜宽 (mm)	1000	800	800	1200	1000	1000	1200	1000	1000	
	柜深 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	
	备注	当容量小时,可选用括号内数字									
	一次线路方案编号		04			05			06		
	一次线路方案										
用途		联 络			受电 联络			受电 馈电			
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	隔离插头3200A	1									
	隔离插头2500A		1								
	隔离插头2000A			1							
	ME2505电动型断路器								1		
	ME2500电动型断路器									1	
	HR5-100/3 □型刀熔开关						1				
	JDG-0.5型电压互感器(380/100V)						2 (3)				
	LMZ2-0.66 □/5 (LMZ3D-0.66 □/5) 型电流互感器								3	3	
	柜宽 (mm)	1000	800	800			800		800	800	
柜深 (mm)	800	800	800			600 (800)		800	800		
一次线路方案编号		07			08			09			
一次线路方案											
用途		馈 电			馈 电			馈 电			
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
	HD13BX-1000/31型刀开关							1			
	HD13BX-600/31型刀开关								1		
	HD13BX-400/31型刀开关									1	
	HR5-100/3 □型刀熔开关							1	1	1	
	ME-630电动型断路器	2									
	DWX15C-630/3 □电磁型断路器		2			2					
	DWX15C-400/3 □电磁型断路器			2			2				
	DZX10-630P/3 □型断路器							1			
	DZX10-400/3 □型断路器								1		
	DZX10-200/3 □型断路器									1	
	CJ20-630/3 □型接触器					2		1			
	CJ20-400/3 □型接触器						2		1		
	CJ20-160/3 □型接触器							1		1	
	JDG-0.5型电压互感器(380/100V)							2 (3)	2 (3)	2 (3)	
LMZ3D-0.66 □/5型电流互感器	6	6	6		6	6	3	3	3		
LJ-□型电流互感器	2	2	2		2	2	1	1	1		
柜宽 (mm)	1000	1000	1000		1000	1000	800	800	800		
柜深 (mm)	800	800	800		800	800	600	600	600		
备注											

续表

一次线路方案编号		10			11			12		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要 电气 设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关	1								
	HD13BX-600/31型刀开关		1							
	HD13BX-400/31型刀开关			1						
	HR5-400/3□型刀熔开关	1	1		2			2		
	HR5-200/3□型刀熔开关			1	2	4		3	5	
	HR5-100/3□型刀熔开关						4			
	DZX10-630P/3□型断路器	1								
	DZX10-400/3□型断路器		1							
	DZX10-200/3□型断路器			1						
	CJ20-630/3□型接触器	1								
	CJ20-400/3□型接触器		1							
	CJ20-160/3□型接触器			1						
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	4	4	4	4	4	4	5	5	
LJ-□型电流互感器	2	2	2	4	4	4	5	5		
柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800		
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600		
备注										
一次线路方案编号		13			14			15		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要 电气 设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HR5-630/3□型刀熔开关				2			2		
	HR5-400/3□型刀熔开关	2				2		1	2	
	HR5-200/3□型刀熔开关		2				2		1	
	HR5-100/3□型刀熔开关	1	1	3						1
	CJ20-400/3型接触器				2					
	CJ20-250/3型接触器					2				
	CJ20-160/3型接触器						2	1		
	CJ20-100/3型接触器								1	
	JDG-0.5型电压互感器 (380/100V)	2 (3)	2 (3)	2 (3)						
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	2	2	2	3	3		
LJ-□型电流互感器	2	2	2	2	2	2	3	3		
柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800		
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600		
备注										

续表

一次线路方案编号		16			17			19		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电		
主要 电气 设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HR5-200/3□型刀熔开关	2			2					
	HR5-100/3□型刀熔开关	2			3	5				
	CJ20-160/3型接触器	2			2					
	CJ20-100/3型接触器					2				
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	4			5	5		6	6	
	LJ-□型电流互感器	4			5	5		2	2	
	HD13BX-1000/31型刀开关							2		
	HD13BX-600/31型刀开关								2	
	DWX15-630/3□电磁型自动开关							2		
DWX15-400/3□电磁型自动开关								2		
柜宽 (mm)	800			800	800		800	800		
柜深 (mm)	600			600	600		600	600		
备注										
一次线路方案编号		20			21			23		
一次线路方案										
用途		馈电			馈电			馈电 照明		
主要 电气 设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关							2		
	HD13BX-600/31型刀开关		2			2				
	DZX10-400P/3□型断路器		2							
	DZX10-200/3□型断路器					4				
	CJ20-400/3型接触器		2							
	CJ20-160/3型接触器					4				
	HG2-160型刀熔开关							2		
	LMZ3D-0.66□/5型电流互感器		6			4				
LJ-□型电流互感器		2			4					
柜宽 (mm)		800			300		1000			
柜深 (mm)		600			600		600			
备注										

续表

一次线路方案编号		25			26			27		
一次线路方案										
主要电气设备	用途	馈电 (电动机)			馈电 (电动机)			馈电 (电动机)		
	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HR5-200/3□型刀熔开关	2								
	HR5-100/3□型刀熔开关		2	2	4	4	4	5	5	5
	B105 (或 B170) 型接触器	2						2	2	
	B85型接触器		2		4	2				2
	B45 (或 B65) 型接触器			2		2	4	3		3
	B37型接触器								3	
	T105 (或 T170) 型热继电器	2						2	2	
	T85 (或 T105) 型热继电器		2		4	2				2
	T45 (或 T105) 型热继电器			2		2	4	3		3
	T45 (或 T25、T16) 型热继电器								3	
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	2	2	2	4	4	4	5	5	5	
LJ-□型电流互感器	2	2	2	4	4	4	5	5	5	
柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										
一次线路方案编号		28			29			30		
一次线路方案										
主要电气设备	用途	馈电 (电动机)			照 明			照 明		
	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关				1			1		
	HD13BX-600/31型刀开关					1			1	
	HD13BX-400/31型刀开关						1			1
	HR5-100/3□型刀熔开关	4	4	4						
	B105 (或 B170) 型接触器	4	4							
	B85型接触器			4						
	B45 (或 B65) 型接触器	4		4						
	B37型接触器		4							
	T105 (或 T170) 型热继电器	2	2							
	T85 (或 T105) 型热继电器			2						
T45 (或 T105) 型热继电器	2		2							
T45 (或 T25、T16) 型热继电器		2								
NT-□型熔断器				12	12	12	18	18	18	
LMZ3-0.66□/5型电流互感器				4	4	4	6	6	6	
LMZ3D-0.66□/5型电流互感器	4	4	4							
柜宽 (mm)	800	800	800	800	800	800	800	800	800	
柜深 (mm)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
备注										

表 4-67 GGJ 低压无功功率补偿柜的一次线路方案

一次线路方案编号		GGJ1-01			GGJ1-02			GGJ2-01			GGJ2-02		
一次线路方案													
用途		无功补偿			无功补偿			无功补偿			无功补偿		
主要电气设备	型号、规格及名称	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	HD13BX-1000/31型刀开关							1	1	1	1	1	1
	HD13BX-400/31型刀开关	1	1	1	1	1	1						
	LMZ2-0.66□/5型电流互感器	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	aM3-32型熔断器	30	24	18	30	24	18	30	24	18	30	24	18
	FYS-0.22型避雷器	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	CJ16-32/□型接触器	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6
	JR16-60/32型热继电器	10	8	6	10	8	6	10	8	6	10	8	6
	DWB-2N型断路器	1	1	1				1	1	1			
	BCMJO.4-16-3 (BW0.4-16-3)型电容器	10(10)	8(8)	6(6)	10(10)	8(8)	6(6)	10(10)	8(8)	6(6)	10(10)	8(8)	6(6)
柜宽 (mm)		1000	800	800	1000	800	800	1000	800	800	1000	800	800
柜深 (mm)		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
备注		主柜			辅柜			主柜			辅柜		

(3) 多米诺 (DOMINO) 低压开关柜的主要技术数据及一次线路方案,如表4-68和表4-69所示。

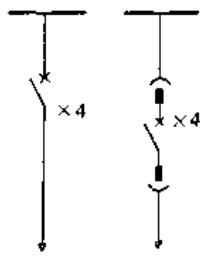
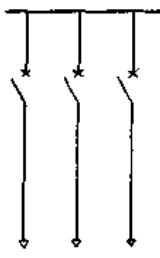
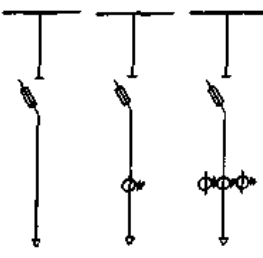
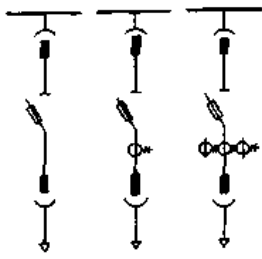
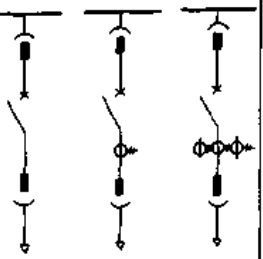
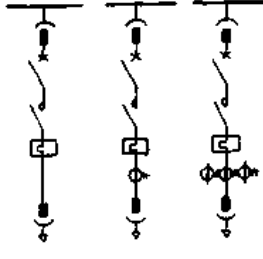
表 4-68 多米诺 (DOMINO) 低压开关柜的主要技术数据<sup>[23]</sup>

项 目		技术数据
额定工作频率 (Hz)		50~60
额定工作电压 (V)		380, 660
额定绝缘电压 (V)		660
额定工作电流 (A)	水平母线	225~7800A
	垂直母线	225~1600A
额定短时 (1s) 耐受电流有效值/峰值 (kA)	水平母线	115/250
	垂直母线	50/120
外壳防护等级		IP20、IP22、IP44、IP54
基本模块单元尺寸及外形尺寸		多米诺开关柜的基本模块单元尺寸: 高 ( $H_m$ ) 172mm×宽 ( $W_m$ ) 431mm×深 ( $D_m$ ) 250mm。在三个方向上均可以基本模数值的倍数按需要增减,但高度方向一般推荐12个模数,即 $12H_m$ ,加上顶底101mm,总高度为2165mm,最多可设置9个抽屉。宽度由1、1.5和2个模数的宽度组合扩展加上两边12mm。深度由基本模数的组合加上门及后盖板40mm

表 4-69 多米诺低压开关柜一次方案简表

一次线路方案编号	01					02					03						
一次线路方案图																	
用途	电缆受电					柜顶进线					母线联络						
总容量 (kVA)	315	400 ~ 1000	1250 ~ 2500	1600 ~ 3000	3000	315	400 ~ 1000	1250 ~ 2500	1600 ~ 3000	3000	315	400 ~ 1000	1250 ~ 2500	1600 ~ 3000	3000		
占用高度模数 H	10					10					10						
占用宽度模数 W	1	1 1/2	1 1/2 ~ 2	2	2 1/2	1	1 1/2	1 1/2 ~ 2	2	2 1/2	1	1 1/2	1 1/2 ~ 2	2	2 1/2		
占用深度模数 D	3		4			3		4			3~4		4				
型号及名称	数 量																
AH 型断路器	1					1					1						
LMK-0.66型电流互感器	3					3					3						
备 注																	
一次线路方案编号	04					05a~32a					05b~32b						
一次线路方案图																	
用途	馈电或电动机控制					馈 电					馈 电						
总容量 (A)	1600					100	200	250	400	630	630	100	200	250	400	630	
占用高度模数 H	6					2~3					3~4	2~3					3~4
占用宽度模数 W	1~1 1/2					1~1 1/2						1~1 1/2					
占用深度模数 D	3~4					3~4						3~4					
型号及名称	数 量																
AH 型断路器	1											1~3					
TG (或 TO) 型断路器						1~3						1~3					
LMK-0.66型电流互感器	3					0~9						0~9					
备 注	最多3个回路, 每路电流互感器数量自选																

续表

一次线路方案编号	33		34			35~37						
一次线路方案图												
用途	馈电		馈电			馈电						
总容量 (A)	400		1000			63	160	250	400	630		
占用高度模数 H	2		3			1	2			3		
占用宽度模数 W	1 1/2		1 1/2			1						
占用深度模数 D	3~4		3~4			3~4						
型号及名称	数 量											
QSA 型熔断器式隔离开关						1						
TG-100型断路器	4											
TG-400型断路器			3									
LMK-0.66型电流互感器						0~3						
备注												
一次线路方案编号	38~40		41~43			44~48						
一次线路方案图												
用途	馈电		馈电			电动机控制 (kW)						
总容量 (A) (kW)	63	160	250	400	600	100	400	4~15	18.5~37	55~90	132	200
占用高度模数 H	1~2	2	2~3	3				1	2	3	6	
占用宽度模数 W	1 1/2		1 1/2			1 1/2						
占用深度模数 D	3~4		3~4			3~4						
型号及名称	数 量											
QSA 型熔断器式隔离开关	1											
TG 型断路器			1			1						
TC1-D 型接触器						1						
LRI-D 型热继电器						1						
LMK-0.66型电流互感器	0~3		0~3			0~1		3				
备注												

续表

一次线路方案编号	49~53					54~58					59~63				
一次线路方案图															
用途	电动机控制					电动机控制					电动机控制				
电动机容量 (kW)	4~15	18.5~37	55~90	132	200	4~15	18.5~37	45	55	90	4~15	18.5~37	55~75	90	132
占用高度模数 H	1	2	3	4	6	1	2	5			1~2	2	3	4	5
占用宽度模数 W	1 1/2					1 1/2					1 1/2				
占用深度模数 D	3~4					3~4					3~4				
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关	1										1				
CTG 型断路器						1									
LC1-D 型接触器	1														
LC2-D 型接触器						1					1				
6C 系列接触器											2				
LR1-D 型热断电器	1					1					1				
LMK-0.66 型电流互感器	0~1	3				0~1	3				0~1	3			
备 注															
一次线路方案编号	64~66				67~69				70~72						
一次线路方案图															
用途	Y-Δ启动				Y-Δ启动				电动机控制						
电动机容量 (kW)	37	45	75		37	45	75		4~15	18.5~37	55~90	132	200		
占用高度模数 H	3		4		4	5			2	3	4	5			
占用宽度模数 W	1 1/2				1				1						
占用深度模数 D	3~4				3~4				3~4						
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关	1								1						
TG (或 TO) 型断路器					1										
TC1-D 型接触器									1						
TC3-D 型降压起动器	1				1										
LR1-D 型热继电器	2				2										
LMK-0.66 型电流互感器	3				3				0~3						
备 注															



续表

一次线路方案编号	73					74~77					78~82				
一次线路方案图															
用途	电动机控制					电动机控制					电动机控制				
电动机容量 (kW)	55	90	132	200		4~15	18.5	22	30	37	4~15	18.5~37	55~90	132	200
占用高度模数 H	3	4		5		2	3				1~2	2	3~5		5
占用宽度模数 W	1					1					1				
占用深度模数 D	3~4					3~4					3~4				
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关	1					1									
TG 型断路器											1				
LC1-B 型接触器											1				
LC2-D 型接触器						1									
6C 系列接触器	2														
LR1-D 型热继电器	1					1					1				
LMK-0.66 型电流互感器	3					0~3					0~1		3		
备 注															
一次线路方案编号	83~87					88~90					91~99				
一次线路方案图															
用途	电动机控制					电动机控制					照明 (A)				
电动机容量 (kW)	4~15	18.5~37	55	90	132	4~15	4~15	4~15			200	200	250	250	400
占用高度模数 H	2	3	3~4	4~5	5	2	3	4			4	3	4	5	
占用宽度模数 W	1					1					1				
占用深度模数 D	3~4					3~4					3~4				
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关						1					1				
TG 型断路器	1					1					1				
C45N 型断路器						2					3~5				
TC1-D 型接触器						2					5				
TC2-D 型接触器	1	1													
6C 系列接触器	2														
LR1-D 型热继电器	1	1				2		5							
LMK-0.66 型电流互感器	0~1		3								3				
备 注	95号方案可出15回路														

续表

一次线路方案编号	100~101、104~105				102~103、106~107				108						
一次线路方案图															
用途	照 明				照 明				无功补偿 (kvar)						
配出容量 (A)	100	100	200	200	100	100	200	200	90	120	180	240	270		
占用高度模数 H	3	4		5	4		5		10						
占用宽度模数 W	1				1				1	1 1/2					
占用深度模数 D	3~4				3~4				3~4						
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关	1								1						
CTG 型断路器					1										
C45N 型断路器	3	5	3	5	3	5	3	5							
LCI-D 型接触器	3	5	3	5	3	5	3	5							
RF 型电容器 (15kvar)									6	8	12	16	18		
aM3-40型熔断器									18	24	36	48	54		
CJ19-40型接触器									6	8	12	16	18		
LMK-0.66型电流互感器	3				3				3						
JKG 型无功补偿控制器									1						
备 注															
一次线路方案编号	109				110				110						
一次线路方案图															
用途	无功补偿				电源切换 (A)				电源切换 (A)						
配出容量 (kvar)	90	120	180	240	270	110	180	250	400	600	110	180	250	400	600
占用高度模数 H	10					4	5	6			4	5	6		
占用宽度模数 W	1	1 1/2				1 1/2			2						
占用深度模数 D	3~4					3~4									
型号及名称	数 量														
QSA 型熔断器式隔离开关	1								2						
TG 型断路器					2										
6C 系列接触器					2				2						
RF 型电容器 (15kvar)	6	8	12	16	18										
aM3-40型熔断器	18	24	36	48	54										
CJ19-40型接触器	6	8	12	16	18										
LMK-0.66型电流互感器	3														
备 注															

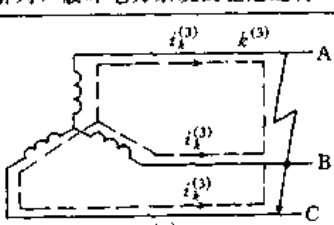
# 第五章 短路计算及电器的选择校验

## 第一节 短路及短路电流的有关概念

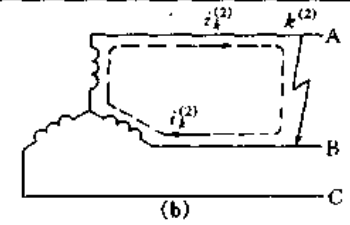
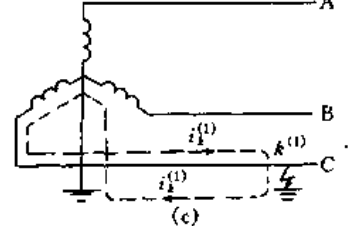
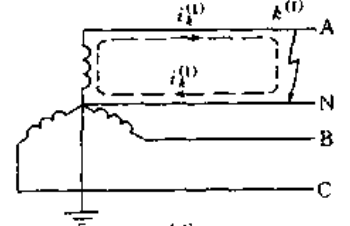
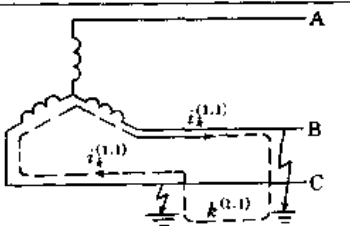
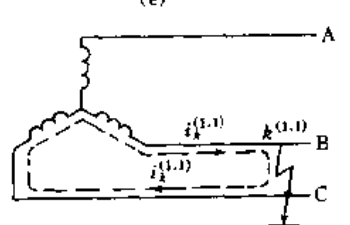
### 一、短路的有关概念

短路的有关概念，如表5-1所示。

表 5-1 短路的有关概念

序号	项目	说明
1	短路含义	短路是指不同电位的导体（含零电位的“大地”）之间的电气短接。短路是电力系统中最常见的一种故障，也是其最严重的一种故障
2	短路原因	<p>(1) 电气绝缘损坏：可能是由于设备或线路长期运行，绝缘自然老化而损坏；也可能是由于设备或线路本身质量不好，绝缘强度不够而被正常电压击穿；也可能是设备或线路遭受外力或外部过电压袭击而损坏绝缘，造成短路</p> <p>(2) 误操作：例如带负荷误拉高压隔离开关，可能导致三相弧光短路；又如误将较低电压的设备接入较高电压的电路而造成设备的击穿短路</p> <p>(3) 鸟兽害：例如鸟类及蛇、鼠等小动物跨越在裸露的不同电位的导体之间，或者咬坏设备或线路的绝缘，都会引起短路故障</p>
3	短路后果	<p>(1) 损坏线路和设备：短路电流会产生很高的温度（称为“短路热效应”）和很大的机械力（称为“短路电动效应”），从而造成线路和设备的损坏</p> <p>(2) 电压骤降：短路会造成系统的电压骤然下降，而且越靠近短路的故障点的电压越低，严重影响电气设备的正常运行</p> <p>(3) 造成停电事故：短路时，系统的保护装置应该动作，使短路电路的开关跳闸或熔断器熔断，从而造成停电事故。越靠近电源短路，引起停电的范围越大，造成的停电损失也越大</p> <p>(4) 产生电磁干扰：不对称的短路特别是单相短路，可对附近的通信线路和电子设备等产生电磁干扰，使之无法正常运行，甚至可能引起误动作</p> <p>(5) 影响电力系统稳定：严重的短路可使并列运行的发电机组失去同步，造成电力系统解列，破坏电力系统的稳定运行</p>
4	短路形式	<p>三相短路 <math>k^{(3)}</math></p>  <p>(a)</p>

续表

序号	项目	说明
		<p>两相短路 <math>k^{(2)}</math></p>  <p>(b)</p>
		<p>单相短路 <math>k^{(1)}</math></p>  <p>(c)</p>
4	不对称短路	<p>单相短路 <math>k^{(1)}</math></p>  <p>(d)</p>
		<p>两相接地短路 <math>k^{(1,1)}</math></p>  <p>(e)</p>
		<p>两相短路 <math>k^{(1,1)}</math></p>  <p>(f)</p>

续表

## 二、短路电流的有关概念

如表5-2所示。

表 5-2 短路电流的有关概念

序号	项 目	说 明
1	短路电流	短路电流是指由于故障或误操作而在电路中造成短路时所产生的过电流。这一短路电流比正常电流一般大几十倍甚至几百倍。在大的电力系统中，短路电流可达几万安甚至几十万安，可对电力系统产生极大的危害。短路电流瞬时值符号为 $i_k$ 。
2	短路电流周期分量	指短路电流在短路过程中出现的一个呈周期性变化的交流分量，其变化规律符合欧姆定律，即其任意瞬间的值均决定于当时的短路回路的电压与阻抗的比值。因此在短路初瞬间 $t=0$ 时，短路电流周期分量因回路阻抗骤减而要剧增。短路电流周期分量符号为 $i_p$ 或 $i_{k,p}$ ，其有效值通常用 $I_k$ 表示。
3	短路电流非周期分量	指短路电流在短路过程中出现的一个按指数函数衰减的直流分量，它的产生符合楞次定律，在短路初瞬间感应出一个反电动势，产生一个与短路电流周期分量反向的短路电流非周期分量，使电路电流不致突变。短路电流非周期分量符号为 $i_{np}$ 或 $i_{k,np}$ 。

序号	项 目	说 明
4	短路全电流	即短路电流，为短路电流周期分量与非周期分量之和。符号即用 $i_k$ 表示。其有效值（在 $t$ 瞬间）为 $I_k = \sqrt{I_{p(t)}^2 + i_{np(t)}^2}$ 。
5	短路冲击电流	短路冲击电流又称“冲击短路电流”，是短路过程中的短路全电流最大瞬时值，通常指短路后半个周期（即0.01s）的短路全电流瞬时值。短路冲击电流的符号为 $i_{sh}$ 。
6	短路冲击电流有效值	短路冲击电流有效值指短路后第一个周期的短路全电流有效值，其符号为 $I_{sh}$ ，其值为 $I_{sh} = \sqrt{I_{p(0.01)}^2 + i_{np(0.01)}^2}$ 。它又称“短路全电流最大有效值”。
7	短路稳态电流	短路稳态电流又称“稳态短路电流”，是短路电流非周期分量衰减完毕，短路回路进入稳定状态的短路电流。短路稳态电流有效值符号为 $I_\infty$ 。
8	短路次暂态电流	短路次暂态电流又称“超瞬变短路电流”，即短路初瞬间的短路电流周期分量有效值，符号为 $I''$ 。
9	短路容量	短路容量是电力系统中某一点发生三相短路时的短路功率，符号为 $S_k$ ，单位为 MVA，其定义为： $S_k = \frac{def}{\sqrt{3}} U_k I_k$ 式中 $U_k$ 为短路计算点的电网短路计算电压（kV），取为比电网额定电压高5%； $I_k$ 为短路计算点的三相短路电流（kA）。

## 第二节 电力系统对称短路的分析计算

### 一、无限大容量电力系统的三相短路及短路电流

如表5-3所示。

表 5-3 无限大容量电力系统的三相短路及短路电流

序号	项 目	说 明
1	无限大容量电力系统的概念	无限大容量电力系统是指电力系统容量相对于用户电网容量相当大（一般认为系统容量大于用户电网容量50倍时），或者短路点离电源较远、系统阻抗相对于短路总阻抗相当小（一般认为系统阻抗不大于短路总阻抗的5%~10%时）的系统，其特点是系统母线电压可视为恒定不变，而不论用户电网的负荷如何变化或短路。
2	无限大容量系统三相短路的电压变动曲线（ $t=0$ 时短路）	

续表

序号	项目	说明
3	无限大容量电力系统中三相短路电流和短路容量	<p>(1) 三相短路冲击电流计算公式：                      1) 高压电网中三相短路时 <math>i_{sh}^{(3)} = 2.55I^{(3)}</math>                      2) 低压电网或1000kVA 及以下电力变压器二次侧三相短路时 <math>i_{sh}^{(3)} = 1.84I^{(3)}</math></p> <p>(2) 三相短路冲击电流有效值计算公式：                      1) 高压电网中三相短路时 <math>I_{sh}^{(3)} = 1.51I^{(3)}</math>                      2) 低压电网或1000kVA 及以下电力变压器二次侧三相短路时 <math>I_{sh}^{(3)} = 1.09I^{(3)}</math></p> <p>(3) 三相短路稳态电流有效值计算公式：  <math display="block">I_{\infty}^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}  Z_{\Sigma} }</math>                     式中 <math>U_c</math> 为短路计算点的短路计算电压，取为较相应的电网额定电压高5%；<math> Z_{\Sigma} </math> 为短路回路的总阻抗 [模]。  <math> Z_{\Sigma}  = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}</math>；如 <math>X_{\Sigma} &gt; R_{\Sigma}/3</math>，则 <math>I_{\infty}^{(3)} = U_c / \sqrt{3} X_{\Sigma}</math></p> <p>(4) 三相短路次暂态电流和短路电流周期分量有效值：  <math>I''^{(3)} = I_k^{(3)} = I_{\infty}^{(3)}</math>                      即在无限大容量系统中，由于短路电流周期分量的幅值恒定不变，因此 <math>I''^{(3)}</math>、<math>I_k^{(3)}</math> 均与 <math>I_{\infty}^{(3)}</math> 相等</p> <p>(5) 三相短路容量的计算公式：  <math display="block">S_k^{(3)} = \sqrt{3} U_c I_k^{(3)}</math></p>

## 二、有限容量电力系统的三相短路及短路电流

如表5-4所示。

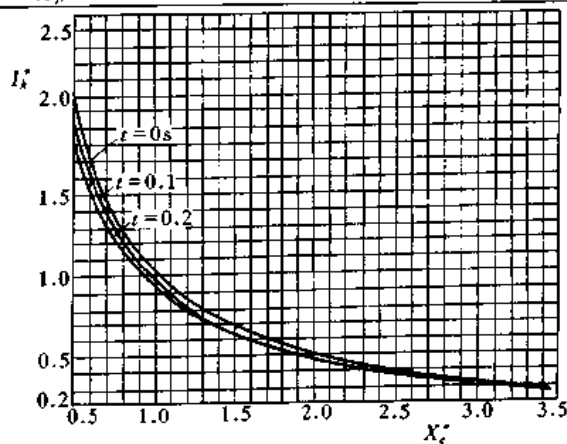
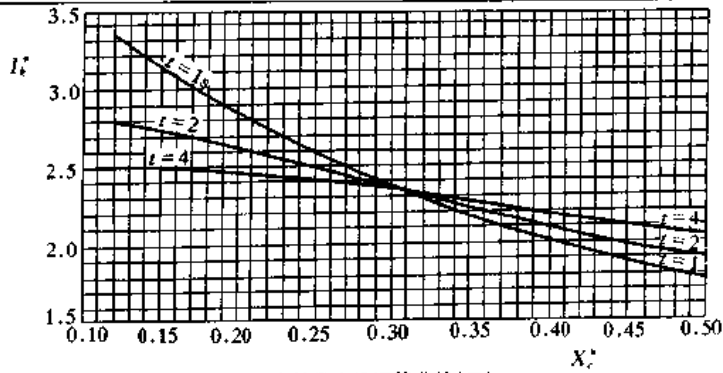
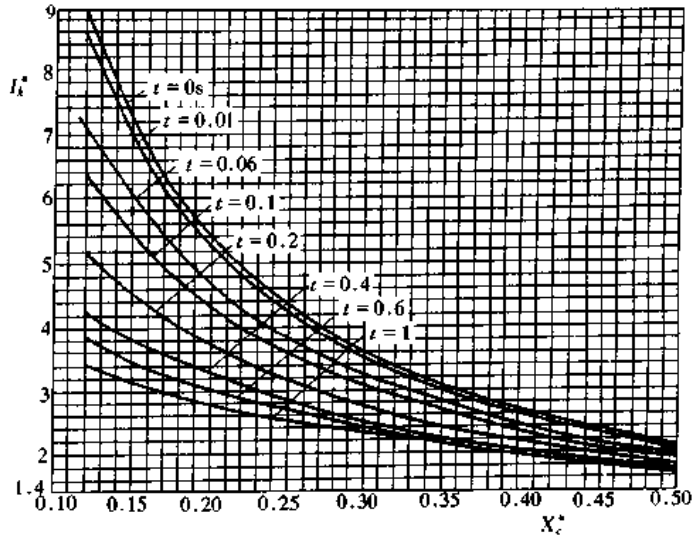
表 5-4 有限容量电力系统的三相短路及短路电流

序号	项目	说明
1	有限容量电力系统的概念	有限容量电力系统的概念是指电力系统容量相对于用户电网容量不是很大，或者是短路点离电源较近，使系统阻抗相对于短路回路总阻抗不是很小因而系统母线电压不能维持恒定不变的电力系统
2	未装自动调磁的发电机供电系统中三相短路电压变动的电流曲线 ( $t=0$ 时短路)	<p>由于发电机未装自动调磁装置，因此该系统发生三相短路时，发电机端电压下降，短路电流周期分量的幅值要逐渐减小，直至进入稳态才不再变化，如图中的虚线（包络线）所示</p> <p style="text-align: center;">正常运行状态      短路暂态过程      短路稳定状态</p>
3	装有自动调磁的发电机供电系统中三相短路电压变动的电流曲线 ( $t=0$ 时短路)	<p>装有自动调磁装置的发电机供电的系统中三相短路时，约在短路后0.5s内，发电机的自动调磁装置动作，使发电机端电压自动回升，因此短路电流周期分量的幅值将由逐渐减小转为逐渐增大，如图中虚线（包络线）所示</p> <p style="text-align: center;">正常运行状态      短路暂态过程      短路稳定状态</p>
4	三相短路冲击电流及其有效值	<p>(1) 当在单机容量为12000kW 及以上的发电机端短路时  <math>i_{sh}^{(3)} = 2.69I^{(3)}</math>      <math>I_{sh}^{(3)} = 1.62I^{(3)}</math></p> <p>式中 <math>I^{(3)}</math> 可按序号5~8所述发电机运算曲线法求得</p> <p>(2) 短路点远离发电厂，短路回路的 <math>R_{\Sigma} &lt; X_{\Sigma}/3</math> 时，通常认为是高压电网中短路时  <math>i_{sh}^{(3)} = 2.55I^{(3)}</math>      <math>I_{sh}^{(3)} = 1.51I^{(3)}</math></p> <p>(3) 在电阻较大的短路回路中 <math>R_{\Sigma} &gt; X_{\Sigma}/3</math> 时，通常认为是低压电网中短路时  <math>i_{sh}^{(3)} = 1.84I^{(3)}</math>      <math>I_{sh}^{(3)} = 1.09I^{(3)}</math></p>

续表

序号	项目	说明
5	利用发电机短路运算曲线确定任一时间的三相短路电流周期分量标么值	工程计算中通常利用发电机的短路运算曲线(参看序号6~8)来确定任一时间的三相短路电流周期分量有效值如 $I^{(3)}$ 、 $I_2^{(3)}$ 、 $I_0^{(3)}$ 等,运算曲线的纵坐标 $I_t^*$ 为三相短路电流周期分量有效值的标么值,即三相短路电流周期分量有效值与发电机额定总电流 $I_{N-SG}$ 之比,运算曲线的横坐标 $X_c^*$ 为短路回路的计算电抗标么值,这标么值也是以发电机额定参数为基准,计算电抗 $X_c^* = X_d^* + X_{c0}^*$ ; 其中 $X_d^*$ 为发电机的稳态直轴电抗标么值,汽轮发电机约为1.62,水轮发电机约为1.15; $X_{c0}^*$ 为以发电机额定参数为基准的短路回路外部电抗标么值(注: $I_0^{(3)}$ 可取 $t \geq 4s$ 的 $I_t^{(3)}$ 值)

汽轮发电机的短路运算曲线(说明见序号8)



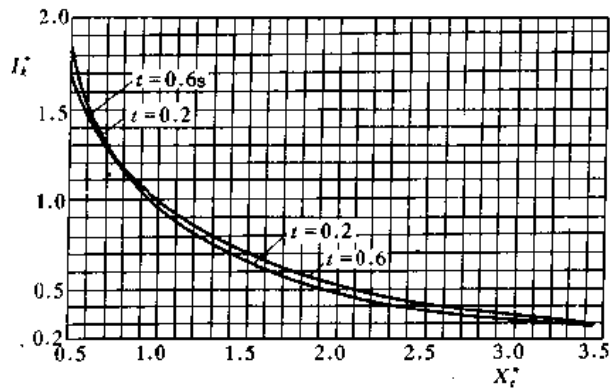
$X_{js} = 0.5 \sim 3.45, t = 0 \sim 0.2s; X_c^* = 0.5 \sim 3.45, t = 0 \sim 0.2s$

续表

序号	项 目	说 明
----	-----	-----

汽轮发电机的短路运算曲线(线说明见序号8)

4

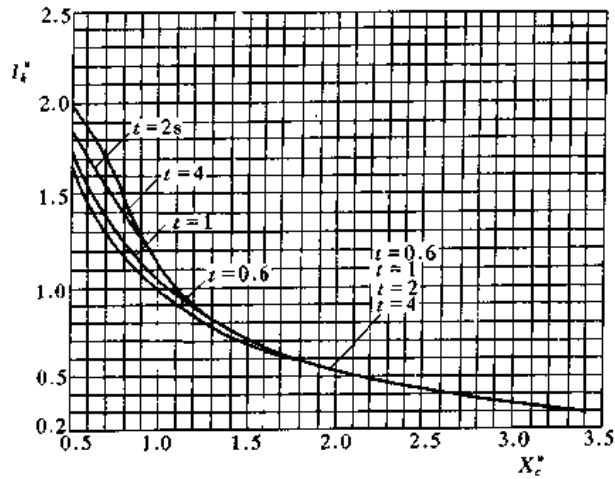


汽轮发电机运算曲线(四)

$X_c = 0.5 \sim 3.45, t = 0.2, 0.6s; X_c'' = 0.5 \sim 3.45, t = 0.2, 0.6s$

6

5

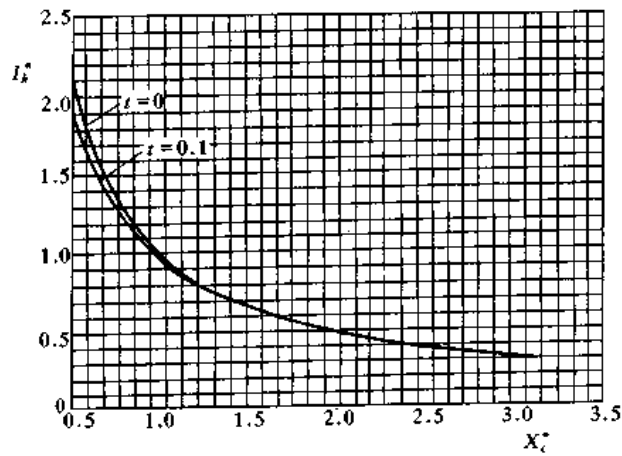


汽轮发电机运算曲线(五)

$X_c = 0.5 \sim 3.45, t = 0.6 \sim 4s; X_c'' = 0.5 \sim 3.45, t = 0.6 \sim 4s$

水轮发电机的短路运算曲线(线说明见序号8)

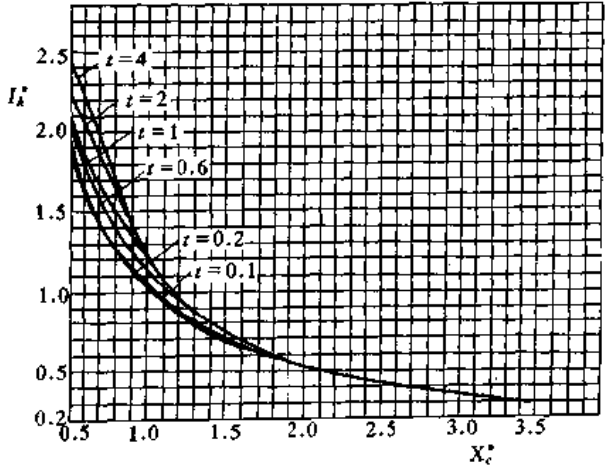
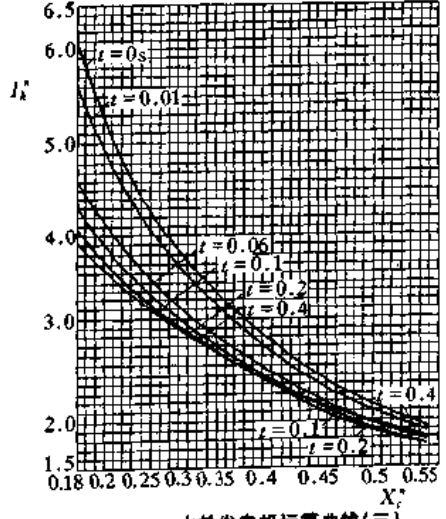
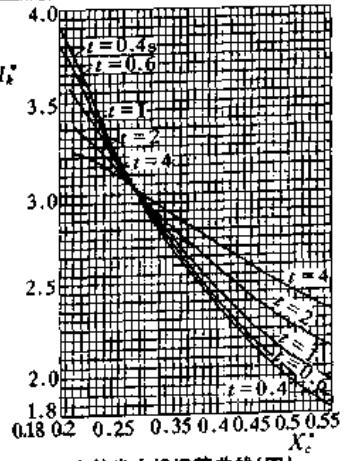
1



水轮发电机运算曲线(一)

$X_c = 0.5 \sim 3.5, t = 0, 0.1s; X_c'' = 0.5 \sim 3.5, t = 0, 0.1s$

续表

序号	项 目	说 明
	2	 <p style="text-align: center;">水轮发电机运算曲线(二)</p> <p style="text-align: center;"><math>X_{\beta} = 0.5 \sim 3.5, t = 0.1 \sim 4s; X_c^* = 0.5 \sim 3.5, t = 0.1 \sim 4s</math></p>
7	3	 <p style="text-align: center;">水轮发电机运算曲线(三)</p> <p style="text-align: center;"><math>X_{\beta} = 0.18 \sim 0.56, t = 0 \sim 0.4s; X_c^* = 0.18 \sim 0.56, t = 0 \sim 0.4s</math></p>
	4	 <p style="text-align: center;">水轮发电机运算曲线(四)</p> <p style="text-align: center;"><math>X_{\beta} = 0.18 \sim 0.56, t = 0 \sim 0.4s; X_c^* = 0.18 \sim 0.56, t = 0 \sim 0.4s</math></p>

水轮发电机的短路运算曲线说明见序号 8



续表

序号	项 目	说 明																					
8	制订的标幺值及与标准参数相差较大时的修正	制订以上序号6、序号7所示运算曲线所依据的同步发电机的标准参数 $\epsilon$ ，如以下附表所示，而且均为具有自动调节励磁装置即自动调压的																					
		<b>附表 运算曲线依据的发电机标准参数</b>																					
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>发电机类型</th> <th><math>X_{d(s)}</math></th> <th><math>X'_{d(s)}</math></th> <th><math>X''_{d(s)}</math></th> <th><math>X_{q(s)}</math></th> <th><math>X''_{q(s)}</math></th> <th><math>T'_{d0} (s)</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汽轮发电机</td> <td>1.9040</td> <td>0.2150</td> <td>0.1385</td> <td>0.9040</td> <td>0.1385</td> <td>9.0283</td> </tr> <tr> <td>水轮发电机</td> <td>0.9851</td> <td>0.3025</td> <td>0.2055</td> <td>0.6423</td> <td>0.2257</td> <td>5.9000</td> </tr> </tbody> </table>	发电机类型	$X_{d(s)}$	$X'_{d(s)}$	$X''_{d(s)}$	$X_{q(s)}$	$X''_{q(s)}$	$T'_{d0} (s)$	汽轮发电机	1.9040	0.2150	0.1385	0.9040	0.1385	9.0283	水轮发电机	0.9851	0.3025	0.2055	0.6423	0.2257	5.9000
		发电机类型	$X_{d(s)}$	$X'_{d(s)}$	$X''_{d(s)}$	$X_{q(s)}$	$X''_{q(s)}$	$T'_{d0} (s)$															
		汽轮发电机	1.9040	0.2150	0.1385	0.9040	0.1385	9.0283															
		水轮发电机	0.9851	0.3025	0.2055	0.6423	0.2257	5.9000															
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>发电机类型</th> <th><math>T'_{d0(s)} (s)</math></th> <th><math>T''_{d0(s)} (s)</math></th> <th><math>T'_{d(s)} (s)</math></th> <th><math>T''_{d(s)} (s)</math></th> <th><math>T''_{q(s)} (s)</math></th> <th><math>\cos\varphi</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>汽轮发电机</td> <td>0.1819</td> <td>2.0125</td> <td>0.2560</td> <td>1.0195</td> <td>0.1172</td> <td>0.825</td> </tr> <tr> <td>水轮发电机</td> <td>0.0673</td> <td>0.1581</td> <td>0.2124</td> <td>1.8117</td> <td>0.0457</td> <td>0.850</td> </tr> </tbody> </table>	发电机类型	$T'_{d0(s)} (s)$	$T''_{d0(s)} (s)$	$T'_{d(s)} (s)$	$T''_{d(s)} (s)$	$T''_{q(s)} (s)$	$\cos\varphi$	汽轮发电机	0.1819	2.0125	0.2560	1.0195	0.1172	0.825	水轮发电机	0.0673	0.1581	0.2124	1.8117	0.0457	0.850
		发电机类型	$T'_{d0(s)} (s)$	$T''_{d0(s)} (s)$	$T'_{d(s)} (s)$	$T''_{d(s)} (s)$	$T''_{q(s)} (s)$	$\cos\varphi$															
汽轮发电机	0.1819	2.0125	0.2560	1.0195	0.1172	0.825																	
水轮发电机	0.0673	0.1581	0.2124	1.8117	0.0457	0.850																	
如果实际电源的发电机时间常数 $T$ 与标准参数相差较大时，则应按以下要求予以修正，且用修正后的短路时间来查运算曲线：																							
(1) 当实际短路时间 $t \leq 0.06s$ 时，可用换算后的 $t''$ 取代 $t$ 去查曲线： $t'' = \frac{T''_{d(s)}}{T'_d} t$																							
式中 $T''_{d(s)} = \frac{X'_{d(s)} T'_{d0(s)}}{X'_{d(s)}}$ , $T'_d = \frac{X'_{d(s)} T'_{d0}}{X'_{d(s)}}$																							
(2) 当实际短路时间 $t > 0.06s$ 时，可用换算后的 $t'$ 取代 $t$ 去查曲线： $t' = \frac{T'_{d0(s)}}{T'_d} t$																							
式中 $T'_{d(s)} = \frac{X_{d(s)} T'_{d0(s)}}{X_{d(s)}}$ , $T'_d = \frac{X'_{d(s)} T'_{d0}}{X_{d(s)}}$																							

### 三、利用标幺值法进行三相短路计算

如表5-5所示。

表 5-5 利用标幺值法进行三相短路计算

序号	项 目	说 明
1		标幺值的基准值
1.1	基准容量 $S_d$ (MVA)	(1) 一般设 $S_d = 100MVA$ (2) 在有限容量电力系统中的短路计算中，通常设 $S_d = S_{N,SG}$ (发电机总容量)
1.2	基准电压 $U_d$ (kV)	一般设 $U_d = U_c$ (短路计算电压)，较电网额定电压 $U_N$ 高5%。按我国现行电压标准，常用的短路计算电压有：0.4、0.69、3.15、6.3、10.5、37、69、115、230kV等
1.3	基准电流 $I_d$ (kA)	$I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d}$
1.4	基准阻抗 $ Z_d $ ( $\Omega$ ) 基准电抗 $X_d$ ( $\Omega$ )	当只计电抗时 $ Z_d  = \frac{U_d^2}{S_d}$ $X_d = \frac{U_d^2}{S_d}$
2		标幺值的定义
2.1	容量标幺值	$S_d \stackrel{def}{=} \frac{S}{S_d}$
2.2	电压标幺值	$U_d \stackrel{def}{=} \frac{U}{U_d}$
2.3	电流标幺值	$I_d \stackrel{def}{=} \frac{I}{I_d} = \frac{\sqrt{3} U_d I}{S_d}$
2.4	阻抗及电抗标幺值	$ Z_d  \stackrel{def}{=} \frac{ Z }{ Z_d } =  Z  \frac{S_d}{U_d^2}$ 当只计电抗时 $X_d = \frac{X}{X_d} = X \frac{S_d}{U_d^2}$
3		短路回路中主要元件的电抗标幺值计算
3.1	无限大容量电力系统的电抗标幺值计算	$X_S^* = X_S / X_d = \frac{U_c^2 / U_d^2}{S_\infty / S_d} = \frac{S_d^2}{S_\infty}$ 式中 $S_\infty$ 为无限大容量电力系统出口断路器的断路容量 (看作系统的短路容量)
3.2	发电机的电抗标幺值计算	$X_{d,G}^* = X_{N,G} \frac{S_d}{S_{N,G}}$ 式中 $X_{N,G}$ 为以发电机额定容量 $S_{N,G}$ 为基准的电抗标幺值； $X_{d,G}^*$ 为以 $S_d$ 为基准的电抗标幺值

续表

序号	项 目	说 明
----	-----	-----

3.3	变压器的电抗标么值计算	$X_{d.T}^* = X_{N.T} \frac{S_d}{S_N} \approx \frac{U_k \% S_d}{100 S_N}$ <p>式中 <math>U_k\%</math> 为变压器短路电压 (阻抗电压) 百分值; <math>S_N</math> 为变压器额定容量</p>
-----	-------------	--

3.4	线路的电抗标么值计算	$X_{d.WL}^* = X_{WL} \frac{S_d}{U_c^2} = X_0 l \frac{S_d}{U_c^2}$ <p>式中 <math>X_0</math> 为线路单位长度的每相电抗值, 可查有关手册。在线路结构数据不详时, 可采用下面附表所示的电抗平均值; <math>l</math> 为线路长度; <math>U_c</math> 为线路的短路计算电压</p> <p style="text-align: center;">附表 线路每相单位长度的电抗平均值</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">线路结构</th> <th colspan="3">电抗平均值 <math>X_0</math> (<math>\Omega/\text{km}</math>)</th> </tr> <tr> <th>380~660V</th> <th>3~10kV</th> <th>35kV 及以上</th> </tr> <tr> <td>架空线路</td> <td>0.32</td> <td>0.35</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>电缆线路</td> <td>0.066</td> <td>0.08</td> <td>0.12</td> </tr> </table>	线路结构	电抗平均值 $X_0$ ( $\Omega/\text{km}$ )			380~660V	3~10kV	35kV 及以上	架空线路	0.32	0.35	0.40	电缆线路	0.066	0.08	0.12
线路结构	电抗平均值 $X_0$ ( $\Omega/\text{km}$ )																
	380~660V	3~10kV	35kV 及以上														
架空线路	0.32	0.35	0.40														
电缆线路	0.066	0.08	0.12														

4 无限大容量系统短路计算示例

4.1	绘制计算电路图	<p>例: 某短路回路的计算电路图如下:</p> <p>在计算电路图上, 标出短路计算所需的各元件的技术数据 <math>Y_{m0}</math>, 并依次编以序号。短路计算点的选择, 应按短路选择校验的要求而定, 使被选择校验的元件有最大可能的短路电流通过</p>
-----	---------	--

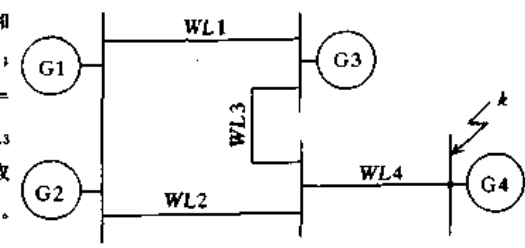
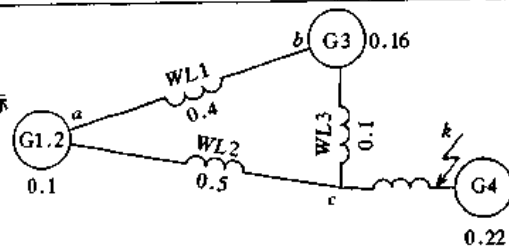
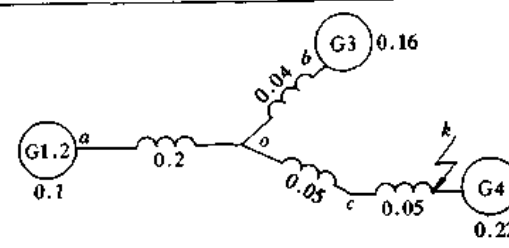
4.2	设定基准容量和基准电压, 计算基准电流	<p>取 <math>S_d = 100\text{MVA}</math>              取 <math>U_{d1} = U_{c1} = 10.5\text{kV}</math>, <math>U_{d2} = U_{c2} = 0.4\text{kV}</math>              计算短路计算点 <math>k-1</math>、<math>k-2</math> 的基准电流:</p> $I_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{d1}} = \frac{100\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 10.5\text{kV}} = 5.50\text{kA}$ $I_{d2} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{d2}} = \frac{100\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 0.4\text{kV}} = 144\text{kA}$
-----	---------------------	--

4.3	计算短路回路中各元件的电抗标么值	<p>(1) 电力系统电抗标么值: 由表4-27查得 SN10-10 I 型断路器的 <math>S_{sc} = 500\text{MVA}</math>, 因此</p> $X_1^* = \frac{S_d}{S_{sc}} = \frac{100\text{MVA}}{500\text{MVA}} = 0.2$ <p>(2) 架空线路电抗标么值: 由本表序号3.4的附表查得 <math>X_0 = 0.35\Omega/\text{km}</math>, 因此</p> $X_2^* = X_0 l \frac{S_d}{U_{d1}^2} = 0.35(\Omega/\text{km}) \times 5\text{km} \times \frac{100\text{MVA}}{(10.5\text{kV})^2} = 1.59$ <p>(3) 电力变压器电抗标么值: 由表4-12查得 S9-800/10型变压器的 <math>U_k\% = 4.5</math>, 因此</p> $X_3^* = X_4^* = \frac{U_k \% S_d}{100 S_{N.T}} = \frac{4.5 \times 100 \times 10^3 \text{kVA}}{100 \times 800 \text{kVA}} = 5.625$
-----	------------------	--

4.4	绘等效电路	<p>在等效电路图上, 用阻抗 (电抗) 符号来表示各元件, 并在每一元件符号的近旁用分式分别标示其序号和阻抗 (电抗) 值, 如图所示:</p>
-----	-------	---

4.5	针对各化简电路, 计算总电抗标么值	<p>(1) 对 <math>k-1</math> 点求短路回路总电抗标么值:</p> $X_{\Sigma(k-1)}^* = X_1^* + X_2^* = 0.2 + 1.59 = 1.79$ <p>(2) 对 <math>k-2</math> 点求短路回路总电抗标么值:</p> $X_{\Sigma(k-2)}^* = X_1^* + X_2^* + X_3^* // X_4^* = 0.2 + 1.59 + \frac{5.625}{2} = 4.60$
-----	-------------------	--

续表

序号	项 目	说 明
4.6	针对各短路点计算其三相短路电流和短路容量	<p>(1) 对 <math>k-1</math> 点, 求各短路电流和短路容量:</p> $I_{k-1}^{(3)} = \frac{I_{d1}}{X_{\Sigma(k-1)}} = \frac{5.50\text{kA}}{1.79} = 3.07\text{kA}$ $I^{u(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-1}^{(3)} = 3.07\text{kA}$ $i_{sh}^{(3)} = 2.55I^{u(3)} = 7.83\text{kA}$ $I_{sh}^{(3)} = 1.51I^{u(3)} = 4.64\text{kA}$ $S_{k-1}^{(3)} = \frac{S_d}{X_{\Sigma(k-1)}} = \frac{100\text{MVA}}{1.79} = 55.9\text{MVA}$ <p>(2) 对 <math>k-2</math> 点, 求各短路电流和短路容量:</p> $I_{k-2}^{(3)} = \frac{I_{d2}}{X_{\Sigma(k-2)}} = \frac{144\text{kA}}{4.60} = 31.3\text{kA}$ $I^{u(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = 31.3\text{kA}$ $i_{sh}^{(3)} = 1.84I^{u(3)} = 57.6\text{kA}$ $I_{sh}^{(3)} = 1.09I^{u(3)} = 34.1\text{kA}$ $S_{k-2}^{(3)} = \frac{S_d}{X_{\Sigma(k-2)}} = \frac{100\text{MVA}}{4.60} = 21.7\text{MVA}$
5	多电源复杂电网短路计算示例	
5.1	计算电路及其说明	<p>例: 某10kV系统如图所示。已知发电机 <math>G1</math> 和 <math>G2</math> <math>X_{G1} = X_{G2} = 0.2</math>; 发电机 <math>G3</math> <math>X_{G3} = 0.16</math>; 发电机 <math>G4</math> <math>X_{G4} = 0.22</math>; 线路 <math>WL1</math> <math>X_{WL1} = 0.4</math>; 线路 <math>WL2</math> <math>X_{WL2} = 0.5</math>; 线路 <math>WL3</math> <math>X_{WL3} = 0.1</math>; 线路 <math>WL4</math> <math>X_{WL4} = 0.05</math>; 基准容量取 <math>S_d = 100\text{MVA}</math>; 基准电压取 <math>U_d = U_c = 10.5\text{kV}</math>。试求 <math>k</math> 点发生三相短路时的短路电流</p> 
5.2	电源的合并	<p>将 <math>G1</math> 与 <math>G2</math> 合并, 合并后的等效电抗标幺值为:</p> $X_{G1,2} = X_{G1} // X_{G2} = 0.2 / 2 = 0.1$ 
5.3	电路变换	<p>将以上 <math>\Delta</math> 联电路变换为 <math>Y</math> 联电路</p> $X_{ab} = \frac{0.4 \times 0.5}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.20$ $X_{bc} = \frac{0.4 \times 0.1}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.04$ $X_{ca} = \frac{0.1 \times 0.5}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.05$ 
5.4	电路简化, 计算总电抗	<p>短路点 <math>k</math> 左边的总电抗标幺值为:</p> $X_{\Sigma 1} = \frac{(0.1 + 0.2) \times (0.04 + 0.16)}{0.1 + 0.2 + 0.04 + 0.16} + 0.05 + 0.05 = 0.22$ <p>短路点 <math>k</math> 右边的电抗标幺值为: <math>X_{G4} = 0.22</math></p> <p>设各电源的电压的标幺值均为1, 则短路点 <math>k</math> 左右两边电抗并联后总的等效电抗标幺值为:</p> $X_{\Sigma} = X_{\Sigma 1} // X_{G4} = 0.22 / 2 = 0.11$
5.5	求三相短路电流	$I_k^{(3)} = \frac{I_d}{X_{\Sigma}} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_c} \cdot \frac{1}{X_{\Sigma}} = \frac{100\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 10.5\text{kV} \times 0.11} = 50\text{kA}$

续表

序号	项 目	说 明
6		有限容量系统短路计算示例
6.1	计算电路及其说明	<p>例：某电力系统的电源均为汽轮发电机，总容量 <math>S_{N, \Sigma G} = 1250\text{MVA}</math>；该系统出口母线发生三相短路后0.5s的 <math>S_k^{(3)} = 2000\text{MVA}</math>；110kV架空输电线长15km, <math>X_0 = 0.4\Omega/\text{km}</math>；110/10kV的区域变电所装有2台60MVA、<math>U_k\% = 10.5</math>的电力变压器，并列运行。试求该变电所一、二次侧 <math>k-1</math>点和 <math>k-2</math>点三相短路的短路电流和短路后0.2s的三相短路容量。计算电路如下图所示：</p>
6.2	确定短路回路中主要元件的计算电抗标幺值	<p>计算电抗 <math>X_c^*</math> 应以发电机总容量为基准容量，即 <math>S_d = S_{N, \Sigma G} = 1250\text{MVA}</math></p> <p>(1) 有限容量系统的计算电抗标幺值： 系统出口母线上三相短路后，<math>t = 0.5\text{s}</math>时短路容量的标幺值：  <math display="block">S_{k(0.5)}^* = \frac{2000\text{MVA}}{1250\text{MVA}} = 1.6</math> 由表5-4序号6对应于 <math>t = 0.5</math>和 <math>I_{k(0.5)}^* = S_{k(0.5)}^* = 1.6</math>的运算曲线上查得（用插入法）：  <math>X_{c1}^* \approx 0.55</math></p> <p>(2) 架空输电线的计算电抗标幺值：  <math display="block">X_{c2}^* = 0.4 (\Omega/\text{km}) \times 15\text{km} \times \frac{1250\text{MVA}}{(115\text{kV})^2} = 0.57</math></p> <p>(3) 电力变压器的计算电抗标幺值：  <math display="block">X_{c3}^* = X_{c4}^* = \frac{10.5 \times 1250\text{MVA}}{100 \times 60\text{MVA}} = 2.2</math></p>
6.3	针对 $k-1$ 点计算短路回路总计算电抗及三相短路电流和短路容量	<p><math>k-1</math>点的短路回路总计算电抗标幺值：  <math display="block">X_{c(k-1)}^* = X_{c1}^* + X_{c2}^* = 0.55 + 0.57 = 1.12</math> 由表5-4序号6中相应的运算曲线上查得  <math>t = 0</math>时 <math>I'' = 0.94</math>  <math>t = 0.2\text{s}</math>时 <math>I_{0.2} = 0.87</math>  <math>t \geq 4\text{s}</math>时 <math>I_\infty = 1.01</math></p> <p>由于 <math>I_{d1} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{d1}} = \frac{1250\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 115\text{kV}} = 6.28\text{kA}</math>，因此  <math>I'' = 0.94 \times 6.28\text{kA} = 5.90\text{kA}</math>  <math>I_{0.2} = 0.87 \times 6.28\text{kA} = 5.46\text{kA}</math>  <math>I_\infty = 1.01 \times 6.28\text{kA} = 6.34\text{kA}</math>  <math>i_{sh} = 2.55 \times 6.28\text{kA} = 16.0\text{kA}</math>  <math>I_{sh} = 1.51 \times 6.28\text{kA} = 9.48\text{kA}</math>  <math display="block">S_{0.2} = \sqrt{3} \times 115\text{kV} \times 5.46\text{kA} = 1088\text{MVA}</math></p>
6.4	针对 $k-2$ 点计算短路回路总计算电抗及三相短路电流和短路容量	<p><math>k-2</math>点的短路回路总计算电抗标幺值：  <math display="block">X_{c(k-2)}^* = X_{c1}^* + X_{c2}^* + X_{c3}^* // X_{c4}^* = 0.55 + 0.57 + \frac{2.2}{2} = 2.22</math> 由表5-4序号6中相应的运算曲线上查得  <math>t = 0</math>时 <math>I'' = 0.46</math>  <math>t = 0.2\text{s}</math>时 <math>I_{0.2} = 0.44</math>  <math>t \geq 4\text{s}</math>时 <math>I_\infty = 0.47</math></p> <p>由于 <math>I_{d2} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_{d2}} = \frac{1250\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 10.5\text{kV}} = 68.7\text{kA}</math>，  因此  <math>I'' = 0.46 \times 68.7\text{kA} = 31.6\text{kA}</math>  <math>I_{0.2} = 0.44 \times 68.7\text{kA} = 30.2\text{kA}</math>  <math>I_\infty = 0.47 \times 68.7\text{kA} = 32.3\text{kA}</math>  <math>i_{sh} = 2.55 \times 68.7\text{kA} = 175\text{kA}</math>  <math>I_{sh} = 1.51 \times 68.7\text{kA} = 104\text{kA}</math>  <math display="block">S_{0.2} = \sqrt{3} \times 10.5\text{kV} \times 30.2\text{kA} = 549\text{MVA}</math></p>

## 四、利用欧姆法进行三相短路计算

如表5-6所示。

表 5-6 利用欧姆法进行三相短路计算

序号	项 目	说 明
1		欧姆法计算短路的特点及适用范围
1.1	欧姆法的计算特点	<p>(1) 所有物理量均采用有名单位, 如阻抗采用欧姆 (<math>\Omega</math>) 单位, 电压采用千伏 (kV) 单位等</p> <p>(2) 可直接运用欧姆定律公式来计算短路电流, 无须换算 (标么值法一般先求出短路电流标么值, 需乘以基准电流才得出实际短路电流)</p> <p>(3) 短路回路元件的阻抗值, 与短路计算点的电压级有关, 所有元件的阻抗值, 均须换算到短路计算点的电压级, 才能求其总阻抗值, 而标么值法的各元件的阻抗标么值, 与短路计算点的电压级无关, 因此欧姆法较之标么值法在计算阻抗值方面要繁杂一些</p> <p>(4) 欧姆法不便应用短路运算曲线等工程实用图表, 因此其应用范围受限</p>
1.2	欧姆法的适用范围	主要用于无限大容量电力系统中低压电网的短路计算
2		短路回路中主要元件阻抗的计算
2.1	电力系统的电抗计算	<p>电力系统的电阻通常均远小于电抗, 因此只计电抗:</p> $X_S = \frac{U_c^2}{S_{\alpha}}$ <p>式中 <math>U_c</math> 为电力系统出口母线的短路计算电压, 但为了计算短路回路的总阻抗, 宜直接代以短路计算点的短路计算电压, 比相应的电网额定电压高5%; <math>S_{\alpha}</math> 为电力系统出口断路器的断流容量, 实质上就是将它看作电力系统的短路容量</p>
2.2	电力变压器的阻抗计算	<p>(1) 变压器的电阻为: <math>R_T \approx \Delta P_k \left( \frac{U_c}{S_N} \right)^2</math></p> <p>式中 <math>\Delta P_k</math> 为变压器的短路损耗; <math>S_N</math> 为变压器的额定容量; <math>U_c</math> 宜采用短路计算点的计算电压</p> <p>(2) 变压器的电抗为: <math>X_T \approx \frac{U_k \% U_c^2}{100 S_N}</math></p> <p>式中 <math>U_k \%</math> 为变压器短路电压 (阻抗电压) 百分值; <math>S_N</math> 为变压器的额定容量; <math>U_c</math> 宜采用短路计算点的计算电压</p>
2.3	电力线路的阻抗计算	<p>(1) 线路的电阻为: <math>R_{WL} = R_0 l</math></p> <p>式中 <math>R_0</math> 为线路单位长度的每相电阻; <math>l</math> 为线路长度</p> <p>如果线路所在计算电压为 <math>U_c</math>, 而短路计算点的计算电压为 <math>U'_c</math>, 则 <math>R_{WL}</math> 应按下式换算:</p> $R'_{WL} = R_{WL} \left( \frac{U'_c}{U_c} \right)^2$ <p>(2) 线路的电抗为: <math>X_{WL} = X_0 l</math></p> <p>式中 <math>X_0</math> 为线路单位长度的每相电抗, 可查有关手册, 亦可采用表5-5序号3.4中附表电抗平均值; <math>l</math> 为线路长度</p> <p>如果线路所在计算电压为 <math>U_c</math>, 而短路计算点的计算电压为 <math>U'_c</math>, 则 <math>X_{WL}</math> 应按下式换算:</p> $X'_{WL} = X_{WL} \left( \frac{U'_c}{U_c} \right)^2$
3		无限大容量系统短路计算示例
3.1	示例	例: 表5-5序号4.1所示短路回路 (计算电路) 再用欧姆法进行短路计算
3.2	针对 $k-1$ 点计算短路回路电抗及短路电流和短路容量	<p>(1) 计算短路回路中各元件的电抗和总电抗 (<math>U_{c1} = 10.5 \text{ kV}</math>):</p> <p>1) 电力系统的电抗: SN10-10 I 型断路器的 <math>S_{\alpha} = 500 \text{ MVA}</math>, 因此</p> $X_1 = \frac{U_{c1}^2}{S_{\alpha}} = \frac{(10.5 \text{ kV})^2}{500 \text{ MVA}} = 0.22 \Omega$ <p>2) 架空线路的电抗: 由表5-5序号3.4中附表查得 <math>X_0 = 0.35 \Omega/\text{km}</math>, 因此</p> $X_2 = X_0 l = 0.35 (\Omega/\text{km}) \times 5 \text{ km} = 1.75 \Omega$ <p>3) 针对 <math>k-1</math> 的短路回路总电抗为:</p> $X_{\Sigma(k-1)} = X_1 + X_2 = 0.22 \Omega + 1.75 \Omega = 1.97 \Omega$ <p>(2) 计算 <math>k-1</math> 点的三相短路电流和短路容量:</p> <p>1) 三相短路电流: <math>I_k^{(3)} = \frac{U_{c1}}{\sqrt{3} X_{\Sigma(k-1)}} = \frac{10.5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 1.97 \Omega} = 3.08 \text{ kA}</math></p> $I''^{(3)} = I_{\infty}^{(3)} = I_{k-1}^{(3)} = 3.08 \text{ kA}$ $i_{sh}^{(3)} = 2.55 I''^{(3)} = 7.85 \text{ kA}$ $I_{sh}^{(3)} = 1.51 I''^{(3)} = 4.65 \text{ kA}$ <p>2) 三相短路容量: <math>S_{k-1}^{(3)} = \sqrt{3} U_{c1} I_k^{(3)} = 56.0 \text{ MVA}</math></p>

续表

序号	项 目	说 明
3.3	针对 k-2 点计算短路回路电抗及短路电流和短路容量	<p>(1) 计算短路回路中各元件的电抗和总电抗 (<math>U_{c2}=0.4\text{kV}</math>):</p> <p>1) 电力系统的电抗 (换算值) <math>X'_1 = \frac{U_{c2}^2}{S_{Gk}} = \frac{(0.4\text{kV})^2}{500\text{MVA}} = 3.2 \times 10^{-4} \Omega</math></p> <p>2) 架空线路的电抗 (换算值) <math>X'_2 = X_{0l} \left( \frac{U_{c2}}{U_{c1}} \right)^2 = 0.35 (\Omega/\text{km}) \times 5\text{km} \times \left( \frac{0.4\text{kV}}{10.5\text{kV}} \right)^2 = 2.54 \times 10^{-3} \Omega</math></p> <p>3) 变压器的电抗: <math>U_k\% = 4.5</math>, 因此 <math>X_3 = X_4 \approx \frac{U_k\% U_{c2}^2}{100 S_N} = \frac{4.5 \times (0.4\text{kV})^2}{100 \times 800\text{kVA}} = 9 \times 10^{-6} \text{k}\Omega = 9 \times 10^{-3} \Omega</math></p> <p>4) 针对 k-2 点的短路回路总电抗为: <math>X_{\Sigma(k-2)} = X'_1 + X'_2 + X_3 // X_4 = 3.2 \times 10^{-4} \Omega + 2.54 \times 10^{-3} \Omega + \frac{9 \times 10^{-3} \Omega}{2} = 7.36 \times 10^{-3} \Omega</math></p> <p>(2) 计算 k-2 点的三相短路电流和短路容量:</p> <p>1) 三相短路电流: <math>I_{k-2}^{(3)} = \frac{U_{c2}}{\sqrt{3} X_{\Sigma(k-2)}} = \frac{0.4\text{kV}}{\sqrt{3} \times 7.36 \times 10^{-3} \Omega} = 31.4\text{kA}</math>  <math>I^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = I_{k-2}^{(3)} = 31.4\text{kA}</math>  <math>i_{sh}^{(3)} = 1.84 I^{(3)} = 1.84 \times 31.4\text{kA} = 57.8\text{kA}</math>  <math>I_{th}^{(3)} = 1.09 I^{(3)} = 1.09 \times 31.4\text{kA} = 34.2\text{kA}</math></p> <p>2) 三相短路容量: <math>S_{k-2}^{(3)} = \sqrt{3} U_{c2} I_{k-2}^{(3)} = 21.8\text{MVA}</math></p> <p>附注: 欧姆法多用于低压电网的短路计算, 而且一般计及电阻, 这里示例未计及电阻, 是为了与标么值法相比较</p>

### 五、对大型交流电动机反馈冲击电流的计算

如表 5-7 所示。

表 5-7 对大型交流电动机反馈冲击电流的计算

序号	项 目	说 明																				
1	计算条件	<p>(1) 当短路点附近所接电动机额定电流之和超过短路电流的 1% 时, 应计入电动机反馈电流的影响 (据 GB50054-1995); 或短路点附近所接电动机容量之和超过 100kW 时, 应计入电动机反馈电流的影响 [41]</p> <p>(2) 只在计算短路冲击电流时才需考虑大容量交流电动机反馈电流</p> <p>(3) 如果大容量交流电动机与短路点之间相隔一台电力变压器时以及在计算不对称短路时可不考虑电动机反馈电流的影响</p>																				
2	交流电动机反馈冲击电流的计算公式	<p>交流电动机反馈冲击电流的计算公式:</p> $i_{sh.M} = \sqrt{2} \frac{E''_M}{X''_M} K_{sh.M} I_{N.M} = C K_{sh.M} I_{N.M}$ <p>式中 <math>I_{N.M}</math> 为电动机的额定电流; <math>E''_M</math> 为电动机的次暂态电动势标么值; <math>X''_M</math> 为电动机的次暂态电抗标么值; <math>C</math> 为反馈电流系数, 它等于 <math>\sqrt{2} E''_M / X''_M</math>; <math>K_{sh.M}</math> 为电动机的短路冲击系数, 对 3~10kV 电动机取 1.4~1.7, 对 380~660V 电动机取 1; <math>E''_M</math>、<math>X''_M</math> 和 <math>C</math> 值见序号 3 附表</p>																				
3	附表	<p>附表 交流电动机的 <math>E''_M</math>、<math>X''_M</math> 和 <math>C</math> 值</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>电动机类型</th> <th><math>E''_M</math></th> <th><math>X''_M</math></th> <th><math>C</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>感应电动机</td> <td>0.9</td> <td>0.2</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>同步电动机</td> <td>1.1</td> <td>0.2</td> <td>7.8</td> </tr> <tr> <td>同步补偿机</td> <td>1.2</td> <td>0.16</td> <td>10.6</td> </tr> <tr> <td>综合性负荷</td> <td>0.8</td> <td>0.35</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table>	电动机类型	$E''_M$	$X''_M$	$C$	感应电动机	0.9	0.2	6.5	同步电动机	1.1	0.2	7.8	同步补偿机	1.2	0.16	10.6	综合性负荷	0.8	0.35	3.2
电动机类型	$E''_M$	$X''_M$	$C$																			
感应电动机	0.9	0.2	6.5																			
同步电动机	1.1	0.2	7.8																			
同步补偿机	1.2	0.16	10.6																			
综合性负荷	0.8	0.35	3.2																			

### 六、三相短路计算的实用数据

(1) 三相短路回路中各主要元件的电抗值, 表 5-8 列出无限大容量系统的电抗值; 表 5-9 列出 6~35kV 电

力线路的电抗值; 表 5-10 列出 6~10/0.4kV 电力变压器的电抗值; 表 5-11 列出 35/6~10kV 变压器的电抗值。

表 5-8 无限大容量系统的电抗值

系统出口断路器断流容量 (MVA)		100	200	250	300	350	400	500	750	1000
电力系统 电抗 (Ω)	6kV	0.397	0.198	0.158	0.132	0.113	0.100	0.079	0.053	0.04
	10kV	1.103	0.551	0.441	0.368	0.315	0.276	0.221	0.147	0.11
	35kV	13.69	6.845	5.476	4.563	3.911	3.423	2.738	1.825	1.369
	380V	$1.6 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-4}$	$5.33 \times 10^{-4}$	$4.57 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$2.13 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-4}$
系统电抗标么值 ( $S_d=100\text{MVA}$ )		1	0.5	0.4	0.333	0.286	0.25	0.2	0.133	0.1

表 5-9 6~35kV 电力线路的电抗值

线路长度 (km)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	
电抗 (Ω)	架空线	5~10kV	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75	2.10	2.45	2.80	3.15	3.50	4.20	4.90	5.60
		35kV	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.80	5.60	6.40
	电缆线	6~10kV	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	0.96	1.12	1.28
		35kV	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20	1.44	1.68	1.92
电抗标么值	架空线	6kV	0.88	1.76	2.65	3.53	4.41	5.29	6.17	7.05	7.99	8.82	10.6	12.3	14.1
		10kV	0.317	0.635	0.95	1.27	1.59	1.90	2.22	2.54	2.86	3.17	3.81	4.44	5.08
	电缆线	35kV	0.029	0.058	0.088	0.117	0.146	0.175	0.205	0.234	0.263	0.292	0.351	0.409	0.467
		6kV	0.202	0.403	0.605	0.806	1.01	1.21	1.41	1.61	1.81	2.01	2.42	2.82	3.22
		10kV	0.073	0.145	0.218	0.290	0.363	0.435	0.508	0.580	0.653	0.726	0.870	1.02	1.16
		35kV	$8.77 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-2}$	$2.63 \times 10^{-2}$	$3.51 \times 10^{-2}$	$4.38 \times 10^{-2}$	$5.26 \times 10^{-2}$	$6.14 \times 10^{-2}$	$7.01 \times 10^{-2}$	$7.89 \times 10^{-2}$	$8.77 \times 10^{-2}$	0.105	0.123	0.140

注：1. 各级电压的电抗平均值取表5-5序号3.4中附表数值。  
2. 电抗标么值的基准，采用  $S_d=100\text{MVA}$ ,  $U_d=U_n$  (短路计算电压)。

表 5-10 6~10/0.4kV 电力变压器的电抗值

变压器容量 (kVA)	100		125		160		200		250		315		400	
短路电压 %	4	4.5	4	4.5	4	4.5	4	4.5	4	4.5	4	4.5	4	4.5
电抗 (mΩ, 400V)	64	72	51	58	40	45	32	36	26	29	20	23	16	18
电抗标么值 ( $S_d=100\text{MVA}$ )	40	45	32	36	25	28	20	23	16	18	13	14	10	11
变压器容量 (kVA)	500		630		800		1000		1250		1600			
短路电压 %	4	4.5	4	4.5	5	4.5	5	4.5	5	4.5	5	4.5	5	6
电抗 (mΩ, 400V)	13	14	10	11	13	9	10	7.2	8	5.8	6.4	4.5	5	6
电抗标么值 ( $S_d=100\text{MVA}$ )	8	9	6.4	7.1	7.9	5.6	6.3	4.5	5	3.6	4	2.8	3.1	3.8

表 5-11 35/6~10kV 电力变压器的电抗值

变压器容量 (kVA)	800	1000	1250	1600	2000	2500		3150	4000	5000	6300	
短路电压 %	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.0	7.5	
电抗 (Ω)	6kV	3.22	2.53	2.06	1.61	1.29	1.03	1.11	0.88	0.69	0.56	0.47
	10kV	8.96	7.17	5.73	4.48	3.58	2.87	3.09	2.45	1.93	1.54	1.31
电抗标么值 ( $S_d=100\text{MVA}$ )	8.13	6.5	5.2	4.06	3.25	2.6	2.8	2.2	1.75	1.4	1.19	

(2) 按总电抗标么值计算的三相短路电流和短路容量值,如表5-12所示。

表 5-12 按总电抗标么值计算的三相短路电流和短路容量值 ( $S_d=100\text{MVA}$ )

总电抗标么值 $X_{\Sigma}^{(3)}$	6kV 短路电流 (kA)			10kV 短路电流 (kA)			35kV 短路电流 (kA)			380kV 短路电流 (kA)			三相短路容量 (MVA)
	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_k^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	
1.0	9.16	23.4	13.8	5.50	14.0	8.31	1.56	3.98	2.36	144	265	157	100
1.5	6.11	15.6	9.23	3.67	9.36	5.54	1.04	2.65	1.57	96.2	177	105	66.7
2.0	4.58	11.7	6.99	2.75	7.01	4.15	0.78	1.99	1.18	72.2	133	78.7	50
2.5	3.65	9.36	5.54	2.20	5.61	3.32	0.62	1.58	0.94	57.7	106	62.9	40
3.0	3.05	7.78	4.61	1.83	4.67	2.76	0.52	1.33	0.79	48.1	88.5	52.4	33.3
3.5	2.62	6.68	3.96	1.57	4.00	2.37	0.45	1.15	0.68	41.2	75.8	44.9	28.6
4.0	2.29	5.84	3.46	1.37	3.49	2.07	0.39	0.99	0.59	36.1	66.4	39.3	25
4.5	2.04	5.20	3.08	1.22	3.11	1.99	0.35	0.89	0.53	32.1	59.1	35.0	22.0
5.0	1.83	4.67	2.76	1.10	2.81	1.66	0.31	0.79	0.47	28.9	53.2	31.5	20
5.5	1.67	4.26	2.52	1.00	2.55	1.51	0.28	0.71	0.42	26.2	48.2	28.6	18.2
6.0	1.53	3.90	2.31	0.92	2.35	1.39	0.26	0.66	0.39	24.1	44.3	26.3	16.7

续表

总电抗标么值 $X_2^*$	6kV 短路电流 (kA)			10kV 短路电流 (kA)			35kV 短路电流 (kA)			380kV 短路电流 (kA)			三相短路容量 (MVA) $S_k^{(3)}$
	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_k^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	$I_k^{(3)}$	$i_{sh}^{(3)}$	$I_{sh}^{(3)}$	
6.5	1.41	3.60	2.13	0.85	2.17	1.28	0.24	0.61	0.36	22.2	40.8	24.2	15.4
7.0	1.31	3.34	1.98	0.79	2.01	1.19	0.22	0.56	0.33	20.6	37.9	22.5	14.3
7.5	1.22	3.11	1.84	0.73	1.86	1.10	0.21	0.54	0.32	19.2	35.3	20.9	13.3
8.0	1.15	2.93	1.74	0.69	1.76	1.04	0.20	0.51	0.30	18.0	33.1	19.6	12.5
8.5	1.08	2.75	1.63	0.65	1.66	0.98	0.18	0.46	0.27	17.0	31.3	18.5	11.8
9.0	1.02	2.60	1.54	0.61	1.56	0.92	0.17	0.43	0.26	16.0	29.4	17.4	11.1
9.5	0.96	2.45	1.45	0.58	1.48	0.88	0.16	0.41	0.24	15.2	28.0	16.6	10.5
10	0.92	2.36	1.39	0.55	1.40	0.83	0.16	0.40	0.24	14.4	26.5	15.7	10
11	0.83	2.12	1.25	0.50	1.28	0.76	0.14	0.36	0.21	13.1	24.1	14.3	9.09
12	0.76	1.94	1.15	0.46	1.17	0.69	0.13	0.33	0.20	12.0	22.1	13.1	8.33
13	0.70	1.79	1.06	0.42	1.07	0.63	0.12	0.31	0.18	11.1	20.4	12.1	7.69
14	0.65	1.66	0.98	0.39	0.99	0.59	0.11	0.28	0.17	10.3	19.0	11.2	7.14
15	0.61	1.56	0.92	0.37	0.94	0.56	0.10	0.26	0.15	9.62	17.7	10.5	6.67

### 第三节 电力系统不对称短路的分析计算

#### 一、电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗

如表5-13所示。

表 5-13 电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗

序号	项目	正序电抗	负序电抗	零序电抗		
1	含义说明	为元件通过三相正序电流时所呈现的电抗值,也就是计算对称(三相)短路时所采用的电抗值 $X$ , 即 $X_1 = X$	为元件通过三相负序电流时所呈现的电抗值。对静止元件,如变压器和线路,由于其电感和互感与通过电流的相序无关,因此其 $X_2 = X_1$ 。而对旋转电机,由于负序电流产生的旋转磁场方向与正序电流产生的旋转磁场方向相反,也与转子转向相反,两者的磁路也有差异,因此 $X_2 \neq X_1$	为元件通过零序电流时所呈现的电抗值。如果元件中无零序电流通过,则其 $X_0 = \infty$ 。例如变压器联接成三角形或中性点不接地的星形绕组一侧的线路上无零序电流,因此从变压器 $\Delta$ 联结或 $Y$ 联结一侧看进去,其 $X_0 = \infty$ 。除没有互感关系的静止元件 $X_0 = X_1$ 外,一般 $X_0 \neq X_1$		
2	同步电机	汽轮发电机	$X_1' \approx 0.125$	$X_2' \approx 0.16$	$X_0' \approx 0.06$	
		水轮发电机 (有阻尼绕组)	$X_1' \approx 0.20$	$X_2' \approx 0.25$	$X_0' \approx 0.07$	
		水轮发电机 (无阻尼绕组)	$X_1' \approx 0.27$	$X_2' \approx 0.45$	$X_0' \approx 0.07$	
		大型同步电动机	$X_1' \approx 0.20$	$X_2' \approx 0.24$	$X_0' \approx 0.08$	
3	架空线路	无避雷线	单回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 3.5X_1$
			双回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 5.5X_1$
		有避雷线	单回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 3X_1$
			双回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 5X_1$
4	电缆线路	低压	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 2.6X_1$	
		高压	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 3.5X_1$	



续表

序号	项目	正序电抗	负序电抗	零序电抗		
5	电力变压器	D <sub>yn</sub> (Δ/ Y <sub>0</sub> ) 联结	一次侧	$X_2 = X_1$	$X_0 = \infty$	
			二次侧		$X_1 = X_T$	$X_0 = X_1 + X_1 // X_\mu \approx X_1 + X_1 = X_1 (X_\mu \gg X_1)$
		零序等效电路				
		Y <sub>m</sub> (Y/ Y <sub>0</sub> ) 联结	一次侧	$X_2 = X_1$	$X_0 = \infty$	
			二次侧		$X_1 = X_T$	$X_0 = X_1 + X_\mu \approx X_\mu (X_\mu \gg X_1)$
		零序等效电路				
		Yd (Y/ Δ) 联结	一次侧	$X_2 = X_1$	$X_0 = \infty$	
			二次侧		$X_1 = X_T$	$X_0 = \infty$
		零序等效电路				

续表

## 二、两相短路的分析计算

如表5-14所示。

表 5-14 两相短路的分析计算

序号	项目	说明
1	两相短路电路图	

序号	项目	说明
2	两相短路电路条件	(1) $I_A = -I_B$ (2) $I_C = 0$ (不计负荷电流) (3) $\dot{U}_A = \dot{U}_B$
3	两相短路电流的计算	(1) 在无限大容量电力系统中或远离电源处发生两相短路时 $I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 0.866 I_k^{(3)}$ (2) 在靠近发电机端发生两相短路时 $I_k^{(2)} \approx 1.5 I_k^{(3)}$ (3) 两相短路冲击电流及其有效值 $i_{sh}^{(2)} = 0.866 i_{sh}^{(3)}$ $I_{sh}^{(2)} = 0.866 I_{sh}^{(3)}$

### 三、单相短路的分析计算

如表5-15所示。

表 5-15 单相短路的分析计算

序号	项 目	说 明
1	单相短路电路图	
2	单相短路电路条件	(1) $\dot{U}_A=0$ (2) $\dot{I}_B=0$ (3) $\dot{I}_C=0$
3	高压电网中单相短路电流的计算	$I_k^{(1)} = \frac{3E_\varphi}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$ <p>式中 <math>E_\varphi</math> 为发电机的相电动势; <math>X_{1\Sigma}</math>、<math>X_{2\Sigma}</math> 和 <math>X_{0\Sigma}</math> 分别为单相短路回路总的正序电抗、负序电抗和零序电抗                      在无限大容量系统中或远离电源处发生单相短路时, 可认为 <math>X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}</math>, 因此</p> $I_k^{(1)} = \frac{3E_\varphi}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}} = \frac{3U_{c(\varphi)}}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}}$ <p>式中 <math>U_{c(\varphi)}</math> 为短路计算相电压                      由于三相短路时 <math>I_k^{(3)} = U_{c(\varphi)} / X_{1\Sigma}</math>, 因此</p> $\frac{I_k^{(1)}}{I_k^{(3)}} = \frac{3}{2 + \frac{X_{0\Sigma}}{X_{1\Sigma}}}$ <p>(1) 在无限大容量系统中或远离电源处发生单相短路时, 由于 <math>X_{0\Sigma} &lt; X_{1\Sigma}</math>, 故 <math>I_k^{(1)} &gt; I_k^{(3)}</math>                      (2) 在靠近发电机端发生单相短路时, 由于 <math>X_{0\Sigma} &lt; X_{1\Sigma}</math>, 故 <math>I_k^{(1)} &gt; I_k^{(3)}</math></p>

续表

序号	项 目	说 明
4	低压电网中单相短路电流的计算	低压电网中单相短路电流的计算, 与三相短路电流时计算一样, 一般应计及电阻, 因此 $I_k^{(1)} = \frac{U_{c(\varphi)}}{ Z_{\Sigma(\varphi)} } = \frac{U_{c(\varphi)}}{\sqrt{R_{\Sigma(\varphi)}^2 + X_{\Sigma(\varphi)}^2}}$ <p>式中 <math> Z_{\Sigma(\varphi)} </math> 和 <math>R_{\Sigma(\varphi)}</math>、<math>X_{\Sigma(\varphi)}</math> 分别为单相短路回路的总计算阻抗 [模] 和总计算电阻、总计算电抗, 包括变压器和线路 (含相线、N 线、PE 线和 PEN 线等) 的阻抗</p>

表5-16~表5-19为单相短路回路中主要元件的计算阻抗近似值供参考<sup>[28]</sup>。

表 5-16 R10容量系列的6~10/0.4kV 变压器 低压侧单相短路电流的计算阻抗近似值

变压器容量 (kVA)	Yyn0联结		Dyn11联结	
	计算电阻 (mΩ)	计算电抗 (mΩ)	计算电阻 (mΩ)	计算电抗 (mΩ)
100	125	178	31	54
125	105	145	26	44
160	93	129	19	35
200	78	108	15	28
250	61	88	11	24
315	46	70	8.5	18
400	35	58	6.3	15
500	23	45	4.9	12
630	16	35	4.0	11
800	14	26	3.0	8.5
1000	13	20	2.3	6.8
1250	11	16	1.8	5.5
1600	8.8	14	1.3	4.3

表 5-17 220/380V 三相架空线路单相短路的计算阻抗近似值

导线 (线芯) 额定截面 (mm <sup>2</sup> )	计算电阻 (mΩ/m)				<p>计算电抗 (mΩ/m)</p> <p>线距单位: mm</p>
	裸绞线 (70°C)		绝缘导线 (65°C)		
	铜	铝	铜	铝	
10	4.460	—	4.386	7.316	0.773
16	3.788	4.696	3.742	4.572	0.747
25	1.784	3.006	1.754	2.956	0.713
35	1.274	2.146	1.254	2.112	0.693
50	0.892	1.502	0.886	1.492	0.673
70	0.638	1.074	0.632	1.066	0.653
95	0.470	0.792	0.466	0.786	0.627
120	0.376	0.632	0.372	0.622	0.613
150	0.300	0.506	0.298	0.498	0.593
185	0.244	0.406	0.244	0.404	0.573

注 假设 N 线或 PEN 线的截面、材质均与相线的相同。

表 5-18 220/380V 三相绝缘子布线线路单相短路的计算阻抗近似值

绝缘导线 线芯额定 截面 (mm <sup>2</sup> )	计算电阻 (mΩ/m) (65°C)		计算电抗 (mΩ/m)		
	铜 芯	铝 芯	相间距离 (mm)		
			70	100	150
1	45.42	73.16	0.697	0.741	0.791
1.5	28.95	48.77	0.673	0.716	0.767
2.5	17.37	29.26	0.645	0.685	0.737
4	10.86	18.29	0.611	0.655	0.707
6	7.238	12.19	0.585	0.631	0.681
10	4.386	7.316	0.547	0.591	0.643
16	3.742	4.572	0.515	0.561	0.611
25	1.754	2.956	0.489	0.533	0.583
35	1.254	2.112	0.467	0.513	0.563
50	0.866	1.492	0.443	0.489	0.537
70	0.632	1.066	0.423	0.469	0.517
95	0.466	0.786	0.397	0.443	0.493
120	0.372	0.622	0.383	0.429	0.478
150	0.298	0.498	0.369	0.413	0.464
185	0.244	0.404	0.355	0.399	0.448

注 假设 N 线或 PEN 线的截面、材质均与相线的相同, N 线或 PEN 线与邻近相线距离与相间距离相等。

表 5-19 220/380V 三相四线和五线穿钢管或穿塑料管布线(管内含 PEN 线或 PE 线)的单相短路计算阻抗近似值

绝缘导线 线芯 额定 截面 (mm <sup>2</sup> )	PEN (或 PE) 线截面 比相线相同		PEN (或 PE) 线截面 此相线小一级			
	计算电阻 (mΩ/m)		计算电抗 (mΩ/m)		计算电抗 (mΩ/m)	
	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯	铜芯	铝芯
1.5	29	49	0.32	37	61	0.32
2.5	17	29	0.29	23	39	0.29
4	11	18	0.28	14	24	0.28
6	7.2	12	0.27	9.0	15	0.27
10	4.2	7.3	0.26	5.8	10	0.26
16	2.7	4.5	0.25	3.6	6.0	0.25
25	1.8	2.9	0.23	2.2	3.8	0.24
35	1.3	2.1	0.22	1.5	2.4	0.23
50	0.9	1.5	0.21	1.1	1.8	0.22
70	0.6	1.1	0.21	0.8	1.3	0.21
95	0.5	0.8	0.21	0.6	0.9	0.21
120	0.4	0.6	0.20	0.5	0.7	0.20
150	0.3	0.5	0.20	0.4	0.6	0.20

第四节 短路电流的效应

一、短路电流的电动效应与动稳定度

如表 5-20 所示。

表 5-20 短路电流的电动效应与动稳定度

序号	项 目	说 明
1	两相短路时导体的最大电力	<p>矩形截面导体的形状系数曲线</p> <p>两相短路时导体所受的最大电力为:</p> $F^{(2)} = \mu_0 K_f i_{sh}^{(2)2} \frac{l}{2\pi a} \times 10^{-6} \text{ (N)}$ <p>或 <math>F^{(2)} = 0.2 K_f i_{sh}^{(2)2} \frac{l}{a} \text{ (N)}</math></p> <p>式中 <math>\mu_0</math> 为空气导磁率, 其值等于 <math>4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2</math>; <math>K_f</math> 为矩形截面导体的形状系数, 可根据导体截面尺寸和相邻两导体中心间距离 <math>a</math> 由上图查得, 当 <math>\frac{a-b}{b+h} \geq 2</math> 时, <math>K_f \approx 1</math>; <math>i_{sh}^{(2)}</math> 为两相短路冲击电流 (kA); <math>l</math> 为导体两支持点间跨距 (档距, m); <math>a</math> 为两导体中心间距 (m)</p>
2	三相短路时导体的最大电力	<p>三相短路时以中间相导体所受的电力最大, 其电力为:</p> $F^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \mu_0 K_f i_{sh}^{(3)2} \frac{l}{2\pi a} \times 10^{-6} \text{ (N)}$ <p>或 <math>F^{(3)} = 0.173 K_f i_{sh}^{(3)2} \frac{l}{a} \text{ (N)}</math></p> <p>式中 <math>i_{sh}^{(3)}</math> 为三相短路电流 (kA), 其余符号含义同序号 1</p>
3	短路动稳定度及其校验要求	<p>短路动稳定度是电气设备和导体在通过最大的短路冲击电流时产生的最大电力作用下而不致损坏的性能</p> <p>在一般无限大容量系统中, 由于 <math>i_{sh}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sh}^{(3)}</math>, 将它代入序号 1 的 <math>F^{(2)}</math> 式得:</p> $F^{(2)} = 0.2 K_f \left( \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sh}^{(3)} \right)^2 \frac{l}{a}$ <p>将以上 <math>F^{(2)}</math> 式与序号的 <math>F^{(3)}</math> 式相比得:</p> $F^{(2)}/F^{(3)} = 0.866 \text{ 或 } F^{(2)} = 0.866 F^{(3)}$ <p>由此可见: <math>F^{(3)} &gt; F^{(2)}</math>, 因此一般情况下 (除靠近电源者外), 短路动稳定度的校验应按三相短路来考虑</p>

二、短路电流的热效应与热稳定度

如表 5-21 所示

表 5-21 短路电流的热效应与热稳定度

序号	项 目	说 明
1	导体在短路过程中发热特点	<p>(1) 导体在短路时由于短路电流通过而使其温度急剧升高。但电路中的短路保护装置随即动作，迅速切除短路故障，因此短路时间很短，可不考虑其间的导体的散热，即可认为短路时导体是在绝热状态下发热升温的</p> <p>(2) 短路故障被切除后，导体不再发热，而只向周围介质散热，直到导体温度与周围介质温度相等时为止</p>
2	短路发热与假想时间确定	<p>由于实际短路电流 <math>i_k</math> 是一个幅值变动并含有非周期分量的电流，要按此电流来计算其产生的热量是相当困难的，因此通常采用其恒定的短路稳态电流 <math>I_\infty</math> 来等效计算短路电流所产生的热量，这就引出一个“假想时间”<math>t_{ima}</math>，又称“热效时间”。在此假想时间 <math>t_{ima}</math> 内，导体通过 <math>I_\infty</math> 产生的热量恰与实际短路电流 <math>i_k</math> (有效值 <math>I_k</math>) 在实际短路时间 <math>t_k</math> 内产生的热量相等，如下图所示</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="327 638 678 974"> <p>(a) 无限大容量系统和不带自动调压装置的发电机供电的短路发热曲线和假想时间；</p> </div> <div data-bbox="710 638 1061 974"> <p>(b) 带自动调压装置的发电机供电的短路发热曲线和假想时间</p> </div> </div> <p>假设时间按下式确定：  <math display="block">t_{ima} = t_k + 0.05 \left( \frac{I_k^n}{I_\infty^n} \right)^2</math>         在无限大容量系统中：  <math display="block">t_{ima} = t_k + 0.05 \text{ (s)}</math>         当 <math>t_k &gt; 1\text{s}</math> 时，可认为 <math>t_{ima} \approx t_k</math>          短路时间 <math>t_k</math> 为短路保护装置最长的动作时间 <math>t_{op}</math> 与断路器的断路时间 <math>t_{oc}</math> 之和，即  <math display="block">t_k = t_{op} + t_{oc}</math>         式中 <math>t_{oc}</math> 为断路器的固有分闸时间与燃弧时间之和。对一般高压断路器（如油断路器），可取 <math>t_{oc} = 0.2\text{s}</math>；对高速断路器（如真空断路器），可取 <math>t_{oc} = 0.1 \sim 0.15\text{s}</math>。对低速断路器，其燃弧时间一般为 <math>0.01 \sim 0.02\text{s}</math>，再加上其固有分闸时间即得其 <math>t_{oc} \geq 0.2\text{s}</math></p>
3	导体短路最高温度的确定	<p>在工程设计中，通常利用导体在热温度曲线图所示曲线来近似地确定短路最高温度 <math>\theta_k</math>，确定的步骤如下（参看说明图）：</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="327 1097 837 1512"> <p>(a) 导体发热温度曲线；</p> </div> <div data-bbox="869 1209 1236 1512"> <p>(b) 确定短路最高温度的说明图</p> </div> </div> <p>(1) 先从纵坐标上找出导体在正常负荷时的温度 <math>\theta_L</math> 值；如果 <math>\theta_L</math> 值不知，可采用导体的正常最高允许温度（参看表 6-31）</p> <p>(2) 由 <math>\theta_L</math> 向右查得相应曲线上的 <math>a</math> 点，并由 <math>a</math> 点向下查得横坐标上的 <math>K_L</math></p> <p>(3) 利用公式计算：  <math display="block">K_k = K_L + \left( \frac{I_\infty}{A} \right)^2 t_{ima} \times 10^6</math>         式中 <math>A</math> 为导体截面积 (<math>\text{mm}^2</math>)；<math>I_\infty</math> 为三相短路稳态电流（如 <math>I_{\infty}^{(2)} &gt; I_{\infty}^{(3)}</math> 时，应采用 <math>I_{\infty}^{(2)}</math>，单位为 (A)；<math>t_{ima}</math> 为短路发热假想时间 (s)；<math>K_L</math> 和 <math>K_k</math> 的单位均为 <math>\text{A}^2 \cdot \text{s} / \text{mm}^2</math></p> <p>(4) 从横坐标轴上找出 <math>K_k</math>，再由 <math>K_k</math> 向上从相应曲线上找到 <math>b</math> 点，并由点 <math>b</math> 向左查得纵坐标轴上的短路最高温度 <math>\theta_k</math> 值</p>
4	短路热稳定校验	<p>短路热稳定度是电气设备和导体能承受短路电流产生的最大热量或最高温度而不致损坏的性能</p> <p>短路热稳定度的校验，可采用 <math>I_\infty t_{ima}</math> 或 <math>\theta_k</math> 分别与设备或导体的 <math>I^2 t</math> (<math>I_t</math> 为热稳定电流，<math>t</math> 为热稳定试验时间) 或 <math>\theta_{k, \max}</math> (短路时最高允许温度) 相比较。但对于导体（包括母线、电缆、绝缘导线）的热稳定校验，通常采用最小热稳定截面 <math>A_{\min}</math> 更方便：  <math display="block">A_{\min} = \frac{I_\infty}{C} \sqrt{t_{ima}} \times 10^3</math>         式中 <math>I_\infty</math> 一般采用三相短路稳态电流 <math>I_{\infty}^{(2)}</math> (A)，但 <math>I_{\infty}^{(2)} &gt; I_{\infty}^{(3)}</math> 时应采用 <math>I_{\infty}^{(3)}</math>；<math>t_{ima}</math> 为短路发热假想时间 (s)；<math>C</math> 为热稳定系数（参看表 6-31）。如导体的截面 <math>A \geq A_{\min}</math>，说明该导体是满足短路热稳定度要求的</p>

### 第五节 高低压电器的选择与校验

#### 一、高低压电器的选择校验项目和条件

如表5-22所示。

表 5-22 高低压电器的选择校验项目和条件

电器名称	电压 (V)	电流 (A)	断流能力 (kA)	短路电流校验	
				动稳定度	热稳定度
熔断器	✓	✓	✓	—	—
高压断路器	✓	✓	✓	✓	✓
高压负荷开关	✓	✓	✓	✓	✓
高压隔离开关	✓	✓	—	✓	✓
低压断路器	✓	✓	✓	✓	✓
低压负荷开关	✓	✓	✓	—	—
低压刀开关	✓	✓	✓	✓	✓
电流互感器①	✓	✓	—	✓	✓
电压互感器②	✓	—	—	—	—
并联电容器③	✓	—	—	—	—
电缆、绝缘导线	✓	✓	—	—	✓
母线	—	✓	—	✓	✓
支柱绝缘子	✓	—	—	✓	—
套管绝缘子	✓	✓	—	✓	✓
选择校验应满足的条件	电器的额定电压应不低于所在电路的额定电压	电器的额定电流应不小于所在电路的计算电流	电器的最大开断电流应不小于它可能开断的最大电流	按 $i_{sh}^{(3)}$ 或 $I_{sh}^{(3)}$ 校验, 电器的极限通过电流 (动稳定电流) $I_{max} \geq i_{sh}^{(3)}$ 或相应条件	按 $I_{\infty}^{(3)}$ 及 $t_{ima}$ 校验, 电器的 $I_t \geq I_{\infty}^{(3)} t_{ima}$ , 式中 $I_t$ 为电器的热稳定电流, $t$ 为热稳定试验时间

注 表中“✓”表示必须校验; “—”表示不要校验; “∨”表示一般可不校验。

- ① 电流互感器还须按准确度要求进行校验。
- ② 电压互感器也须按准确度要求进行校验。
- ③ 并联电容器还须按容量 (kvar) 进行选择。

#### 二、高低压开关的选择与校验

如表5-23所示。关于熔断器的选择与校验,将在第七章第一节中讲述,低压断路器的选择与校验,将在第七章第二节中讲述,因此这里不包括熔断器、低压断路器及低压负荷开关中熔断器等的选择与校验。

表 5-23 高低压开关的选择与校验

序号	项 目	说 明
1	按工作电压、及要装条件等选择	(1) 按工作电压选择: 开关(Q)的额定电压 $U_{N-Q}$ 应不低于所在电路的额定电压 $U_N$ , 即 $U_{N-Q} \geq U_N$ (2) 按工作电流选择: 开关(Q)的额定电流 $I_{N-Q}$ 应不小于所在电路的计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{N-Q} \geq I_{30}$ (3) 按操作要求及安装地点环境条件选择开关型式及其操动机构
2	按开断能力选择	(1) 高压断路器: 其最大开断电流 $I_{oc}$ 应不小于它实际可能开断的最大短路电流有效值 $I_k$ (此原则也适用于低压断路器): 1) 对低速断路器 (断路时间含灭弧时间在大于或等于0.2s者), 可按三相短路电流周期分量有效值 $I_k^{(3)}$ 来选择, 即 $I_{oc} \geq I_k^{(3)}$ 2) 对高速断路器 (断路时间含灭弧时间在小于0.2s者), 可按三相短路次暂态电流有效值 $I''^{(3)}$ 来选择, 即 $I_{oc} \geq I''^{(3)}$ (2) 高低压负荷开关及带灭弧罩的低压刀开关: 其额定开断电流 $I_{oc}$ 应不小于其可能开断的最大过负荷电流 $I_{oL,max}$ , 即 $I_{oc} \geq I_{oL,max}$ (3) 高低压隔离开关: 一般不允许带负荷操作, 但允许开断一定的小电流 (参看其产品样本规定)
3	短路动度的校验	开关电器的动稳定电流 (极限通过电流) 峰值 $i_{max}$ 应不小于电路的可能最大的三相短路冲击电流 $i_{sh}^{(3)}$ , 即 $i_{max} \geq i_{sh}^{(3)}$ 或 $I_{max} \geq I_{sh}^{(3)}$
4	短路热度的校验	开关电器的热稳定度校验条件为: $I_t \geq I_{\infty}^{(3)} t_{ima}$ 式中 $I_t$ 为开关电器的热稳定电流; $t$ 为热稳定试验时间; $I_{\infty}^{(3)}$ 为通过开关电器可能最大的三相短路稳态电流; $t_{ima}$ 为短路发热假想时间 (参看表5-21序号2)

#### 三、电流互感器和电压互感器的选择与校验

如表5-24所示。

表 5-24 电流互感器和电压互感器的选择与校验

序号	项 目	说 明
1		电流互感器的选择与校验
1.1	按电压电流选择	(1) 其额定电压应不低于装设地点电路的额定电压 (2) 其额定一次电流应不小于电路的计算电流; 其额定二次电流按其二次设备的电流负荷而定, 一般为5A

续表

续表

序号	项 目	说 明
1.2	按准确级要求选择	<p>电流互感器满足准确级要求的条件, 是其二次负荷 <math>S_2</math> 不得大于额定准确级所要求的额定二次负荷 <math>S_{2N}</math>, 即</p> $S_{2N} \geq S_2$ <p>式中 <math>S_2</math> 由互感器二次侧的阻抗 <math> Z_2 </math> 来决定, 而 <math> Z_2 </math> 为其二次回路所有串联的仪表、继电器电流线圈的阻抗 <math>\Sigma Z_L </math>、连接导线阻抗 <math> Z_{WL} </math> 与二次回路接头的接触电阻 <math>R_{XC}</math> (可近似地取为 <math>0.1\Omega</math>) 之和, 即</p> $S_2 = I_{2N}^2  Z_2  \approx I_{2N}^2 (\Sigma Z_L  +  Z_{WL}  + R_{XC})$ <p>或 <math>S_2 \approx \Sigma S_L + I_{2N}^2 (R_{WL} + R_{XC})</math></p>
1.3	短路稳定度的校验	<p>电流互感器的动稳定度应满足下列条件:</p> $i_{max} \geq i_{sh}^{(3)}$ <p>或</p> $I_{max} \geq I_{sh}^{(3)}$ <p>式中 <math>i_{max}</math> 和 <math>I_{max}</math> 为互感器的动稳定电流峰值和有效值; <math>i_{sh}^{(3)}</math> 和 <math>I_{sh}^{(3)}</math> 为通过互感器的三相短路冲击电流瞬时值和有效值</p> <p>也有的互感器产品给出的是动稳定倍数 <math>K_{st}</math>, 因此其动稳定度校验公式为:</p> $K_{st} \sqrt{2} I_{IN} \geq i_{sh}^{(3)}$

序号	项 目	说 明
1.4	短路稳定的热稳定校验	<p>电流互感器的热稳定度应满足下列条件:</p> $I_t \geq I^{(3)} \sqrt{t_{ima}}$ <p>式中 <math>I_t</math> 为互感器的热稳定电流; <math>t</math> 为热稳定试验时间; <math>I^{(3)}</math> 为通过互感器的三相短路稳态电流有效值; <math>t_{ima}</math> 为短路发热假想时间</p> <p>也有的互感器产品给出的是热稳定倍数 <math>K_t</math>, 因此其热稳定度校验公式为:</p> $(K_t I_{IN})^2 t \geq I^{(3)2} t_{ima}$ <p>或</p> $K_t I_{IN} \geq I^{(3)} \sqrt{\frac{t_{ima}}{t}}$ <p>大多数电流互感器的热稳定试验时间取为 <math>1s</math>, 因此其热稳定度校验公式为:</p> $K_t I_{IN} \geq I^{(3)} \sqrt{t_{ima}}$
2		电压互感器的选择与校验
2.1	按电压选择	<p>其额定一次电压, 应与安装地点电网的额定电压相适应; 其额定二次电压一般为 <math>100V</math></p>
2.2	按准确级要求选择	<p>电压互感器满足准确级要求的条件, 也是其二次负荷 <math>S_2</math> 不得大于额定准确级所要求的额定二次负荷 <math>S_{2N}</math>, 即</p> $S_{2N} \geq S_2$ <p>式中 <math>S_2</math> 只计二次回路中所有仪表、继电器电压线圈所消耗的视在功率, 即</p> $S_2 \approx \sqrt{(\Sigma P_u)^2 + (\Sigma Q_u)^2}$ <p>式中 <math>\Sigma P_u = \Sigma (S_u \cos \phi_u)</math> 和 <math>\Sigma Q_u = \Sigma (S_u \sin \phi_u)</math> 分别为仪表、继电器电压线圈所消耗的总的有功功率和无功功率</p> <p>说明: 电压互感器由于有熔断器保护, 因此不需进行短路动、热稳定度的校验</p>

# 第六章 供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择

## 第一节 变配电所的主接线方案

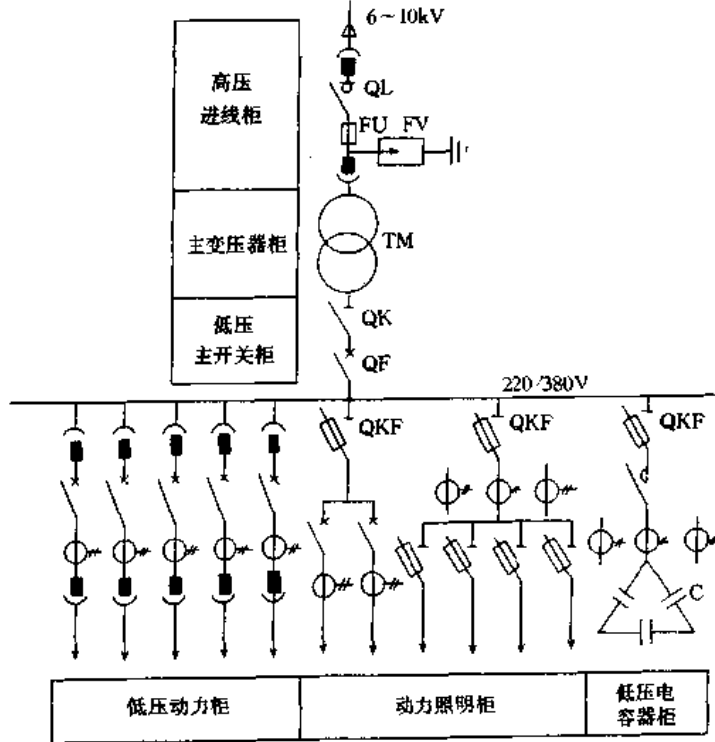
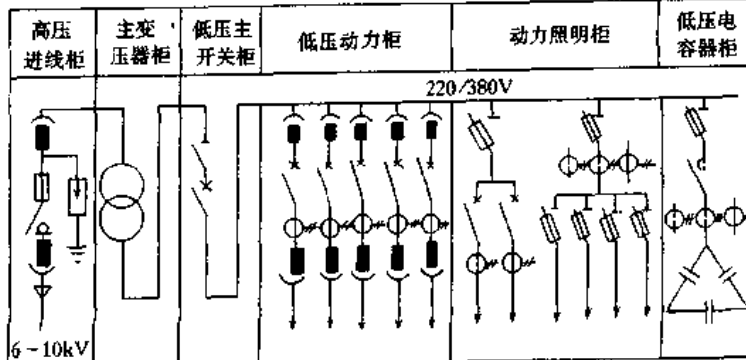
### 一、主接线的基本要求及其绘制方式

主接线的基本要求及其绘制方式，如表 6-1 所示。

表 6-1 主接线的基本要求及其绘制方式

序号	项 目	说 明
1		主 接 线 方 案 的 基 本 要 求
1.1	安全性	<p>主接线方案应符合有关技术规范标准的要求，能充分保证人身和设备的安全。例如：</p> <p>(1) 在高低压断路器的电源侧及可能反馈电能的另一侧，必须装设隔离开关（含低压刀开关）或隔离插头</p> <p>(2) 35kV 及以上的线路末端，应装设与隔离开关联锁的接地开关</p> <p>(3) 变配电所高压母线上及架空线路末端，必须装设避雷器。装于母线上的避雷器宜与电压互感器共用一组隔离开关。线路上的避雷器前不必装设隔离开关</p>
1.2	可靠性	<p>主接线方案应满足电力负荷对供电可靠性的要求，亦即主接线方案应与其电力负荷的级别相适应。例如：</p> <p>(1) 对一级负荷，应考虑两个电源供电；且当一个电源发生故障时，另一个电源不致同时受到损坏。对一级负荷中特别重要的负荷，还必须增设应急电源</p> <p>(2) 对二级负荷，应考虑双回路供电；在负荷较小或供电条件困难时，可由一回 6kV 及以上专用的架空线或电缆供电。当采用电缆线路时，应采用两根电缆组成的线路供电，其每根电缆应能承受 100% 的二级负荷</p> <p>(3) 接于公共干线上的变配电所，其电源进线首端应装设带有短路保护的开关设备</p> <p>(4) 对重要用户及重要的配电变电所，宜由上一级的变配电所以放射式线路直接供电；而对不重要用户及一般配电变电所，可采用树干式分支配电</p>
1.3	灵活性	<p>能适应电力系统所需的各种运行方式，操作维护简便，并能适应负荷的发展，有扩充改建的可能。例如：</p> <p>(1) 6~35kV 变配电所的母线，一般宜采用单母线或单母线分段接线</p> <p>(2) 两路电源进线，装有两台主变压器的变电所，当两路电源同时供电时，宜两台主变并列运行；当只采用一路电源供电、另一路电源备用时，则两台主变并列运行</p> <p>(3) 主接线方案应与系统所要求的经济运行方式相适应</p> <p>(4) 主接线方案应考虑 5~10 年的负荷发展，特别是高压配电主干线宜按长期规划一次选定，多年不变</p>
1.4	经济性	<p>在满足上列要求的前提下，尽量使主接线简单，投资少，运行费用低，并节约电能和有色金属消耗量。例如：</p> <p>(1) 应尽可能采用技术先进、经济实用的节能产品</p> <p>(2) 尽量采用开关设备较少的主接线方案，且尽量采用安全可靠和经济美观的成套配电装置。在供电可靠性要求不是很高时，宜采用较廉价的固定式开关柜</p> <p>(3) 应按《供电营业规则》及有关规范的要求，在电源进线上装设专用的电能计量柜</p> <p>(4) 应在优先提高自然功率因数的基础上，采取无功功率的人工补偿措施，使功率因数达到规定的要求</p>

续表

序号	项目	说明
2		主接线图的绘制方式
2.1	系统式主接线图	系统式主接线图是按照电能输送的顺序来安排其中主要电气设备的相互连接关系的。这种绘制方式的主接线图全面系统地反映出主接线中电力电能的传输过程，但并不反映其中各成套装置之间的相互排列位置。这种图多在运行中使用，变配电所运行值班用的模拟电路盘上绘制的一般就是这种主接线图
2.2	装置式主接线图	装置式主接线图是按照高压或低压成套配电装置之间的相互连接和排列位置而绘制的。这种主接线图一般按不同电压等级分别绘制，因此当有不同电压等级的主接线时，就很难通过一张装置式主接线图看出整个系统的主接线情况，但对各电压级的所有成套配电装置的内部设备和连接关系以及各成套配电装置之间的相互连接和排列位置一目了然。这种图多在供配电设计的施工图中使用，以做为安装施工的依据
2.3	户外成套变配电所主接线图示例 [1, 6]	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">系统式接线图</div>  </div> <div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> <p>TM—主变压器；QL—负荷开关；FU—熔断器；FV—阀式避雷器；QK—刀开关；QF—断路器；QKF—刀熔断开关</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">装置式接线图</div>  </div> </div>



二、6~10kV 变配电所常见的主接线方案

如表 6-2 所示。

表 6-2 6~10kV 变配电所常见的主接线方案

序号	项目	接线图	说明	序号	项目	接线图	说明
1 由企业总变配电所供电的 6~10kV 变配电所				2 由电力系统直接供电的 6~10kV 变配电所			
1.1	户内式变配电所主接线 (一)	架空进线	<p>(1) 这类变配电所高压侧的主开关及其保护装置、监测仪表等通常装在总变配电室内, 因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器, 如隔离开关、负荷开关等</p> <p>(2) 跌落式熔断器和避雷器通常装在变压器室外墙上或进线杆上</p> <p>(3) 高压侧装有跌落式熔断器或只装隔离开关的变配电所, 其变压器容量不宜大于 630kVA, 其他接线变压器容量可达 1250kVA</p> <p>(4) 低压侧不带负荷操作时, 低压主开关可采用刀开关或高压隔离开关</p>	2.1	高压侧为隔离开关-断路器的主接线	架空进线	<p>(1) 此方案适用于供电可靠性较高、要求快速停电和送电及主变压器容量较大的变配电所</p> <p>(2) 当变配电所为户外式时, 高压侧宜采用括号内方案, 断路器采用户外式如 LW1-10 型或 DW5-10G 型</p> <p>(3) 当无继电保护要求且不需带负荷操作时, 低压侧主开关可采用刀开关或高压隔离开关</p>
		电缆进线				电缆进线	
1.2	户内式变配电所主接线 (二)	架空进线	<p>(1) 此方案适用于供电可靠性较低、但要求带负荷操作的变配电所</p> <p>(2) 跌落式熔断器装于户外墙上或电杆上</p> <p>(3) 低压侧主开关亦可采用刀开关或高压隔离开关</p>	2.2	高压侧为负荷开关-熔断器的主接线	架空进线	<p>(1) 当供电可靠性要求不高、主变压器容量不大于 630kVA、不需频繁操作时可采用此方案</p> <p>(2) 低压侧主开关应采用低压断路器以便带负荷停电和送电</p>
		电缆进线				电缆进线	
1.3	户外式变配电所主接线 (一)	架空进线	<p>(1) 这类变配电所高压侧的主开关及其保护装置、监测仪表等都装在变配电室外, 因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器</p> <p>(2) 在变配电所较远时, 为了带负荷切换变压器, 变配电所高压侧可装设户外式断路器 (如 LW1-10 型或 DW5-10G 型)</p> <p>(3) 高压侧装有跌落式熔断器或只装隔离开关的变配电所, 其变压器容量不宜大于 630kVA, 其他接线变压器容量可达 1250kVA</p> <p>(4) 低压侧不带负荷操作时, 低压侧主开关可采用刀开关或高压隔离开关</p>	2.3	高压侧为隔离开关-熔断器-断路器的主接线	架空进线	<p>(1) 此方案适用于有两路电源、负荷为一、二级的重要变配电所</p> <p>(2) 高压侧断路器两侧均需装设隔离开关, 而低压侧断路器必须装设刀开关或隔离开关, 以保证断路器检修的安全</p> <p>(3) 低压母线分段 (联络) 开关, 如无自动切换要求, 可采用刀开关或隔离开关</p>
1.4	户外式变配电所主接线 (二)	电缆进线				电缆进线	
1.4	户外式变配电所主接线 (二)	架空进线	<p>(1) 这类变配电所高压侧的主开关及其保护装置、监测仪表等都装在变配电室外, 因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器</p> <p>(2) 在变配电所较远时, 为了带负荷切换变压器, 变配电所高压侧可装设户外式断路器 (如 LW1-10 型或 DW5-10G 型)</p> <p>(3) 高压侧装有跌落式熔断器或只装隔离开关的变配电所, 其变压器容量不宜大于 630kVA, 其他接线变压器容量可达 1250kVA</p> <p>(4) 低压侧不带负荷操作时, 低压侧主开关可采用刀开关或高压隔离开关</p>	2.4	高压侧两路电源进线、均为隔离开关-断路器的主接线	架空进线	<p>(1) 此方案适用于有两路电源、负荷为一、二级的重要变配电所</p> <p>(2) 高压侧断路器两侧均需装设隔离开关, 而低压侧断路器必须装设刀开关或隔离开关, 以保证断路器检修的安全</p> <p>(3) 低压母线分段 (联络) 开关, 如无自动切换要求, 可采用刀开关或隔离开关</p>
		电缆进线				电缆进线	

续表

序号	项目	接线图	说明	序号	项目	接线图	说明
3	6~10kV 高压配电所						
3.1	单电源的主接线		此方案适于对三级负荷供电。如有备用电源时，亦可对二级负荷供电	3.2	双电源的主接线		(1) 此方案适于对一、二级负荷供电 (2) 母线分段(联络)开关采用断路器时，可带负荷操作，并可实现双电源自动互投；如不要求带负荷操作或自动互投，则可采用隔离开关来分段(联络)

注 本表所示接线图中只示出了主要的开关电器，而未示出电流互感器、电压互感器（包括专用的电能计量柜）及母线上的避雷器、电容器等；对变电所，也略去了低压出线的接线。

### 三、35kV 及以上总降压变电所常见的主接线方案

如表 6-3 所示。

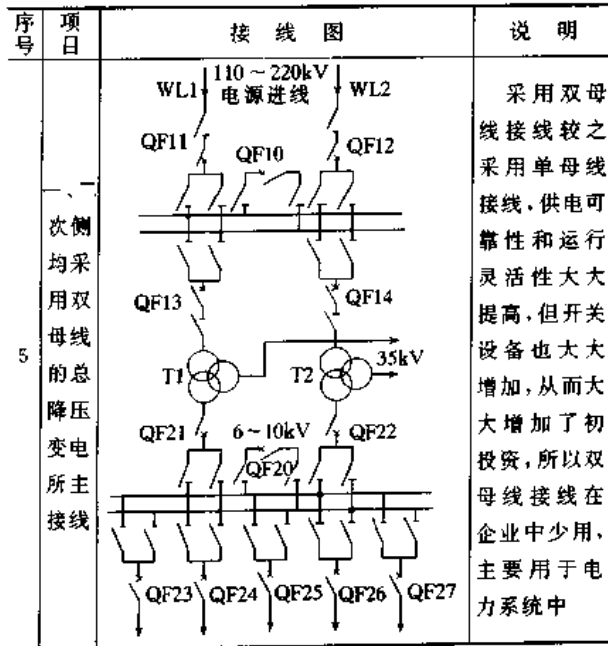
表 6-3 35kV 及以上总降压变电所的主接线方案<sup>[注]</sup>

序号	项目	接线图	说明
1	只装有一台主变压器的总降压变电所主接线		通常采用一次侧无母线、二次侧为单母线的主接线。一次侧采用断路器为主开关。其特点是简单经济，但供电可靠性不高，只适于三级负荷
2	一次侧为内桥式接线的总降压变电所主接线		这种主接线的运行灵活性较好，供电可靠性较高，适用于一、二级负荷。这种内桥式接线多用于电源线路较长而主变压器不需经常切换的总降压变电所
3	一次侧为外桥式接线的总降压变电所主接线		这种主接线也适用于一、二级负荷。这种外桥式接线多用于电源线路不长而主变压器需经常切换以适应经济运行的总降压变电所
4	一、二次侧均采用单母线分段的主接线		这种主接线兼有上述内桥式和外桥式两种接线的运行灵活性的优点，但所用高压开关设备较多，投资较大。可供一、二级负荷，适用于一、二次侧进出线较多的情况

续表

续表

续表



注 同上表注。

## 第二节 变配电所的类型、所址及其布置与结构

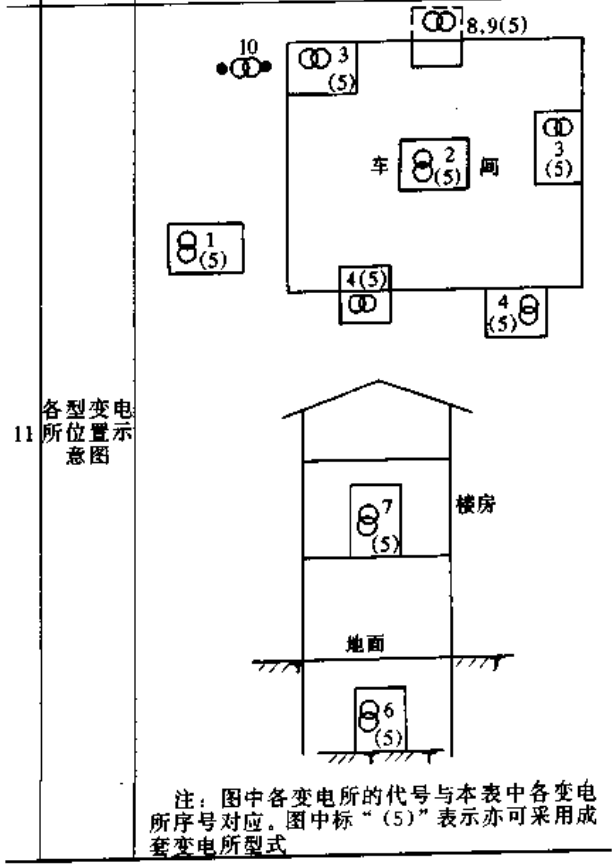
### 一、变配电所的类型及其特点和适用范围

如表 6-4 所示。

表 6-4 变配电所的类型及其特点和适用范围

序号	类型	特点	适用范围
1	独立变、配电所	①与其他建筑有一定间距,因此不受其他建筑及生产的影响;②建筑费用较大,占地面积较宽;③运行维护条件较好,安全可靠较高	适于电力系统中的大型变电站及企业的总降压变电所及需远离有易燃易爆危险或腐蚀性物质场所的变配电所
2	车间内变电所	①变电所在车间内部,处于负荷中心,因此低压线路最短,降低线路损耗;②防火安全要求提高,投资增大	适于车间建筑面积大、负荷重、且车间内的设备布置相当稳定的车间变电所
3	内附式	①整个变电所位于建筑物内侧,建筑费用较低;②不妨碍整个建筑的外观整齐;③安全可靠较好;④便于运行维护;⑤要占用车间的一定生产面积;⑥大多数远离负荷中心	适于车间建筑面积不太大、且车间内的设备布置不甚稳定(即可能调整)的一些小型变电所(如车间变电所),这种型式在工业和民用建筑中应用比较普遍
4	外附式	①变电所位于建筑物外侧或外墙的两侧,其主变压器装于外侧的变压器室内,建筑费用也较低;②对建筑的整体外观有一定影响;③~⑥同内附式	其适用范围与内附式变电所基本相同,但在工业和民用建筑中不及内附式应用普遍

序号	类型	特点	适用范围
5	成套变电所	①利用成套设备(包括高低压开关柜、主变压器柜等)现场组装,安装方便;②运行维护方便,安全可靠;③初期投资较大	适于各类工业和民用供电的变电所,户内户外均可,特别适用于高层建筑供电
6	地下变电所	①整个变电所位于建筑或其他设施的地下层,建设投资较大;②通风散热条件较差,为改善通风散热条件,因而增加投资和运行费用;③对电气设备防火防潮的要求也较高;④所址隐蔽安全	适于高层建筑、地下设施及有防空要求的变电所
7	楼层变电所	①变电所位于楼层之中,对电气设备的重量及防火要求更严,对楼层的承重负荷中心,因此技术经济性好	适于高层建筑及地面积有限的场所
8	露天变电所	①变压器露天装设,建筑费用较低;②受户外环境及气候条件影响,运行维护条件较差;③安全可靠较差	适于环境正常、无腐蚀性气体且负荷重要的变电所
9	半露天变电所	其特点与上述露天式基本相同,但由于半露天式是电力变压器上方装有顶板或挑檐遮雨蔽日,因此变压器的运行维护条件有所改善	与露天式相同
10	杆上交电所(杆上交压器台)	①变压器安装在电杆上,最为简单经济;②受户外环境及气候条件影响,运行维护的条件较差	适于变压器容量在 315kVA 及以下、负荷不甚重要的变电所,主要供居民生活用电



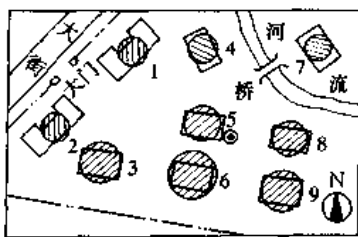
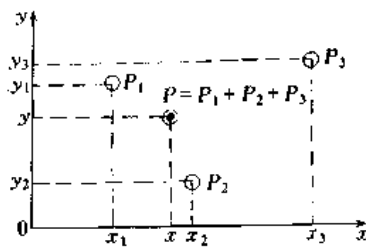
续表

二、变配电所所址的选择及负荷中心的确定

如表 6-5 所示。

表 6-5 变配电所所址的选择及负荷中心的确定

序号	项 目	说 明
1		变配电所所址的选择原则
1.1	尽量靠近负荷中心	这可缩短低压配电线路,降低线路的电能损耗、电压损耗和有色金属消耗量
1.2	进出线方便	特别是采用架空进出线时要考虑到这一点
1.3	接近电源侧	这对总降压变电所和高压配电所尤为重要
1.4	设备运输方便	需考虑电力变压器和高压配电装置等大件的运输通道
1.5	避开剧烈振动和高温的场所	剧烈振动和高温对电气设备的安全运行十分不利,因此变配电所的所址不应设在有剧烈振动和高温的场所
1.6	避开多尘和有腐蚀性气体的场所,或在风侧	尘埃特别是导电性粉尘将大大降低电气设备外部的绝缘水平,腐蚀性气体将严重腐蚀电气设备,因此变配电所所址不宜设在多尘和有腐蚀性气体的场所。当无法远离时,不应设在污染源的下风侧
1.7	不应设在厕所、浴室及其他潮湿、地下室、地下车库等场所下方,且不宜与相邻	变配电所的电气设备不能浸水或受潮,而且变配电所有些管线、电缆是埋地或敷设在电缆沟内的,也不允许浸水。因此变配电所所址不应设在厕所、浴室及其他地势低洼积水的场所,也不宜与之相邻
1.8	不应设在有爆炸危险的场所的正上方或正下方	变配电所的很多电气设备也是易燃易爆物品,如果引发火灾或爆炸,其后果将极其严重。因此所址选择不宜设在爆炸环境的正上方或正下方,且不宜设在有火灾危险环境的正上方或正下方。当变配电所不得不毗连有爆炸和火灾危险的场所时,应符合 GB50058-1992《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》的规定
1.9	高压配电所宜与车间变电所合建	高压配电所与邻近的车间变电所合建,可以大大降低建筑费用,并可减少系统的运行维护费用
1.10	要不妨碍企业的发展,且有扩建的可能	变配电所所址的选择,应考虑到工矿企业的发展规划(一般应考虑 10~20 年),既不致妨碍企业或车间的发展,也使变配电所有扩建的可能。对独立的变配电所所址更应考虑到这一点
2		电力负荷中心的确定
2.1	按负荷指示图确定中心	负荷指示图是将电力负荷按一定比例用负荷圆形式标示在变配电所供电的企业单位平面图上,各建筑的负荷圆心应与该建筑的负荷中心大致相符。对于负荷大致均衡的建筑,负荷圆心就是建筑平面的中心。负荷圆的半径 $r$ 可由该建筑的计算负荷 $P_{30} = K\pi r^2$ 求得,即: $r = \sqrt{\frac{P_{30}}{K\pi}}$ 式中 $K$ 为负荷圆的比例,单位为 $\text{kW}/\text{mm}^2$ 下图为一单位的负荷指示图(示例)

序号	项 目	说 明
2.1	按负荷指示图确定中心	 <p>注: 负荷圆比例: <math>1\text{mm}^2 \square \text{kW}</math> 由负荷指示图可以直观地概略地判定该单位的负荷中心,图中符号 <math>\odot</math> 处即该单位大致的负荷中心处</p>
2.2	按功率矩法确定负荷中心(静态负荷中心计算方法)	<p>设某单位负荷 <math>P_1, P_2, P_3</math> 分布如右图所示。它们在任意选取的直角坐标系中的坐标分别标示如图。现假设总的负荷 <math>P = \Sigma P_i = P_1 + P_2 + P_3</math> 的负荷中心位于坐标 <math>(x, y)</math> 处,因此仿照《力学》中求重心的力矩方程可得:</p> $x \Sigma P_i = P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 = \Sigma (P_i x_i)$ $y \Sigma P_i = P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 = \Sigma (P_i y_i)$ <p>因此可求得负荷中心的坐标为:</p> $x = \frac{\Sigma (P_i x_i)}{\Sigma P_i}$ $y = \frac{\Sigma (P_i y_i)}{\Sigma P_i}$ 
2.3	按负荷电能矩法确定负荷中心(动态负荷中心计算方法)	<p>由于各建筑物(负荷点)的用电时间不一定相同,因此负荷中心也不是固定不变的。负荷中心不只是与各负荷点的功率大小有关,而且与各个负荷的工作时间有关。所以提出了按负荷电能矩来确定负荷中心的动态负荷中心计算方法,其负荷中心坐标 <math>(x, y)</math> 的计算公式为:</p> $x = \frac{\Sigma (P_i t_i x_i)}{\Sigma (P_i t_i)} = \frac{\Sigma (A_i x_i)}{\Sigma A_i}$ $y = \frac{\Sigma (P_i t_i y_i)}{\Sigma (P_i t_i)} = \frac{\Sigma (A_i y_i)}{\Sigma A_i}$ <p>式中 <math>P_i</math> 为各负荷点的有功计算负荷; <math>A_i</math> 为各负荷点的年电能消耗量; <math>t_i</math> 为各负荷的年最大有功负荷利用小时数</p>

三、变配电所的总体布置要求及方案示例

(1) 变配电所的总体布置要求。如表 6-6 所示。

表 6-6 变配电所的总体布置要求  
(据 GB 50053—1994 等)

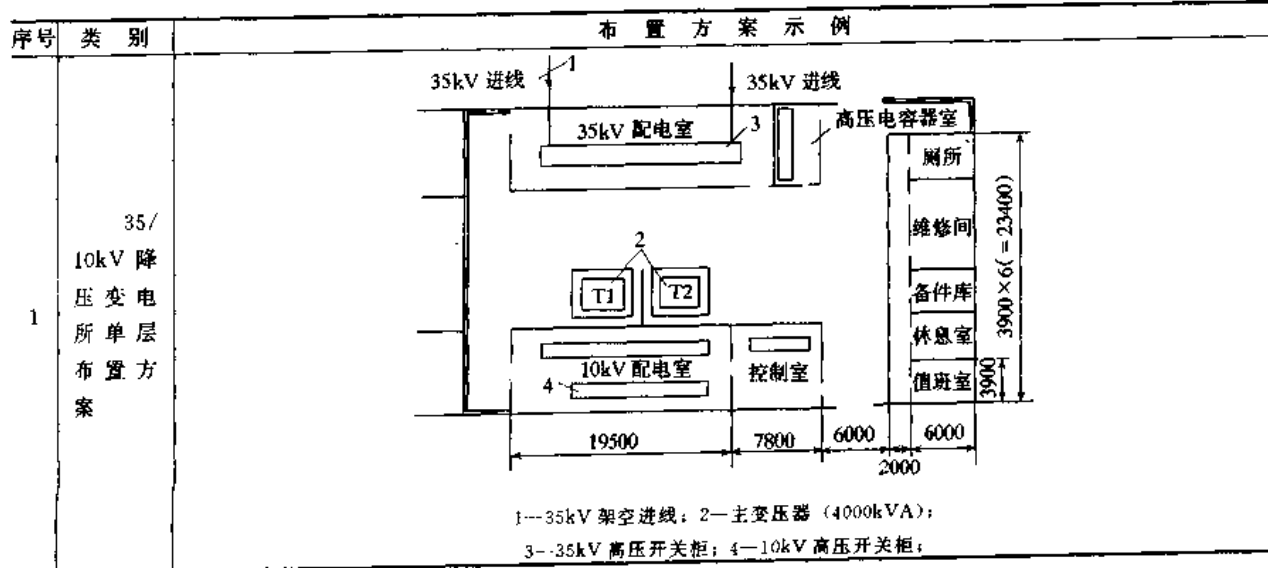
续表

序号	布置原则	具体要求
1	便于运行维护	(1) 有人值班的变配电所, 一般应设单独的值班室 (2) 值班室应尽量靠近高低压配电室, 且有门直通 (3) 如值班室靠近高压配电室有困难时, 值班室可经走廊与高压配电室相通 (4) 值班室亦可与低压配电室合并, 但低压配电室面积应适当增大, 其放置值班桌的一面或一端, 低压配电装置至墙的距离不应小于 3m (5) 主变压器室应靠交通运输方便的马路侧 (6) 昼夜值班的变配电所, 宜设休息室。有人值班的独立变配电所, 宜设有厕所和给排水设施; 条件许可时, 可单设工具室或维修室
2	保证运行安全	(1) 值班室内不得有高压配电装置 (2) 值班室的门应朝外开, 高低压配电室和电容器室的门应朝值班室开或朝外开, 或双向开启 (3) 户内式变电所的每台油量为 100kg 及以上的三相变压器, 应设在单独的变压器室内 (4) 变电所宜单层布置。当采用双层布置时, 变压器应设在底层 (5) 带可燃性油的高压配电装置, 宜装设在单独的高压配电室内。当高压开关柜的数量为 6 台及以下时, 可与低压配电屏设置在同一房间内 (6) 不带可燃性油的高、低压配电装置和非油浸的电力变压器, 可设置在同一房间内。具有符合 IP5X 防护等级外壳的不带可燃性油的高、低压配电装置和非油浸的电力变压器, 当环境允许时, 可相互靠近布置在车间内 (7) 户内高压电容器装置宜设置在单独的高压电容器室内。当电容器组容量较小时, 可设置在高压配电室内, 但与高压配电装置的距离不应小于 1.5m。低压电容器装置可设置在低压配电室内; 当电容器总容量较大时, 宜设置在单独房间内 (8) 所有带电部分离墙或离地的距离以及各室的维护操作通道的宽度等, 均应符合现行有关规范的要求 (参看表 6-9~表 6-13)

序号	布置原则	具体要求
3	便于进出线	(1) 高压配电室一般位于高压进线侧, 特别是采用高压架空进线时 (2) 低压配电室宜靠近变压器室, 这是考虑到变压器低压出线一般为架空裸母线 (3) 低压配电室的位置应便于低压架空出线 (4) 高压电容器室宜靠近高压配电室, 低压电容器室宜靠近低压配电室, 以便高低压配电室向相应的电容器组配线
4	节约土地和建筑费用	(1) 在保证安全运行的前提下, 尽量选用节约土地和建筑费用的布置方案 (2) 高压配电所应尽量与邻近的车间变电所合建在一起 (3) 值班室可与低压配电室合并, 但值班室面积应适当增大, 如本表序号 1 中 (4) 所述 (4) 为节约土地面积, 可优先选用不带可燃性油的高低压配电装置和非油浸电力变压器, 从而可将它们设置在同一房间内, 或采用成套变电所 (5) 周围环境正常、满足安全可靠要求的情况下, 宜优先选用露天或半露天变电所; 变压器容量为 315kVA 及以下时, 可考虑选用杆上变电所型式 (6) 高低压电容器在容量较小、电容器柜不多时, 可分别与高低压配电装置设置在同一房间内, 如本表序号 2 中 (7) 所述
5	留有发展余地	(1) 变压器室应考虑到扩建时有更换容量大一级变压器的可能 (2) 高低压配电室内均应留有适当数量的开关柜 (屏) 的备用位置 (3) 既要考虑到变配电所留有扩建的余地, 又要不妨碍企业单位今后 10~20 年的发展

(2) 变配电所的布置方案示例。如表 6-7 所示。

表 6-7 变配电所的布置方案示例



续表

序号	类别	布置方案示例
2	35/ 10kV 降压变电所 双层布置方案	<p>1—35kV 架空进线；2—主变压器 (6300kVA)； 3—35kV 高压开关柜；4—10kV 高压开关柜</p>
3	10kV 配电所 及附设车间变电所 布置方案	<p>1—10kV 电缆进线；2—10kV 高压开关柜；3—10/0.4kV 变压器； 4—380V 低压配电屏</p>
4	独立式	<p>变压器在室内                      变压器在室外</p>
	6~10/ 0.4kV 变电所 布置方案	<p>内附式                      内附式                      外附式</p>
露天或半露天式	<p>有高、低压配电室                      只有低压配电室</p>	
备注	<p>1—变压器室，或露天、半露天变压器装置；2—高压配电室；3—低压配电室；4—值班室；5—高压电容器室；6—维修间或工具间；7—休息室、生活间</p>	

续表

序号	类别	布置方案示例																																																												
5 6 ~ 10/ 0.4kV 变 压器室布 置(据 88D264-33 页)	<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">变压器室平、剖面图及其主接线图</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="486 324 885 795"> <p style="text-align: center;">1-1</p> </div> <div data-bbox="1037 324 1372 795"> <p style="text-align: center;">2-2</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="486 828 885 1198"> <p style="text-align: center;">平面</p> </div> <div data-bbox="1085 817 1308 1198"> <p style="text-align: center;">主接线图</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><b>变压器室布置图</b> (附设式, 宽面推进, 低式安装)</p>																																																													
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">备注</p>	<p>(1) 布置图上方括号“[]”内数字适用于变压器容量<math>\leq 630\text{kVA}</math></p> <p>(2) 侧墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸</p>																																																													
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">高压熔断器规格及低压母线尺寸表</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="2">熔断器电流 (A)</th> <th colspan="2">低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">熔管/熔丝</th> <th rowspan="2">相母线</th> <th rowspan="2">中性母线</th> </tr> <tr> <th>6kV</th> <th>10kV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>75/40</td> <td>20/20</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>75/50</td> <td>50/30</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>75/50</td> <td>50/40</td> <td>50×5</td> <td>40×4</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>75/75</td> <td>50/50</td> <td>60×6</td> <td>40×4</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>75/75</td> <td>50/50</td> <td>80×6</td> <td>50×5</td> </tr> <tr> <td>630</td> <td>100/100</td> <td>100/75</td> <td>80×8</td> <td>50×5</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>200/150</td> <td>100/75</td> <td>100×8</td> <td>60×6</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>200/150</td> <td>100/100</td> <td>120×10</td> <td>80×6</td> </tr> <tr> <td>1250</td> <td>200/200</td> <td>150×150</td> <td>2 (100×10)</td> <td>80×8</td> </tr> <tr> <td>1600</td> <td>200/200</td> <td>150/150</td> <td>2 (120×10)</td> <td>80×10</td> </tr> </tbody> </table>	变压器容量 (kVA)	熔断器电流 (A)		低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)		熔管/熔丝		相母线	中性母线	6kV	10kV	200	75/40	20/20	40×4	40×4	250	75/50	50/30	40×4	40×4	315	75/50	50/40	50×5	40×4	400	75/75	50/50	60×6	40×4	500	75/75	50/50	80×6	50×5	630	100/100	100/75	80×8	50×5	800	200/150	100/75	100×8	60×6	1000	200/150	100/100	120×10	80×6	1250	200/200	150×150	2 (100×10)	80×8	1600	200/200	150/150	2 (120×10)	80×10
变压器容量 (kVA)	熔断器电流 (A)		低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)																																																											
	熔管/熔丝		相母线	中性母线																																																										
	6kV	10kV																																																												
200	75/40	20/20	40×4	40×4																																																										
250	75/50	50/30	40×4	40×4																																																										
315	75/50	50/40	50×5	40×4																																																										
400	75/75	50/50	60×6	40×4																																																										
500	75/75	50/50	80×6	50×5																																																										
630	100/100	100/75	80×8	50×5																																																										
800	200/150	100/75	100×8	60×6																																																										
1000	200/150	100/100	120×10	80×6																																																										
1250	200/200	150×150	2 (100×10)	80×8																																																										
1600	200/200	150/150	2 (120×10)	80×10																																																										

序号 类别 布置方案示例

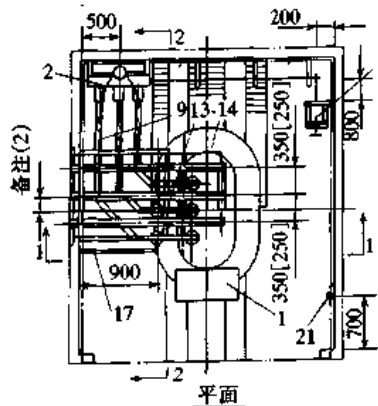
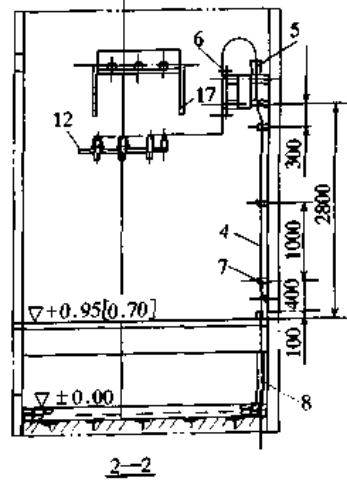
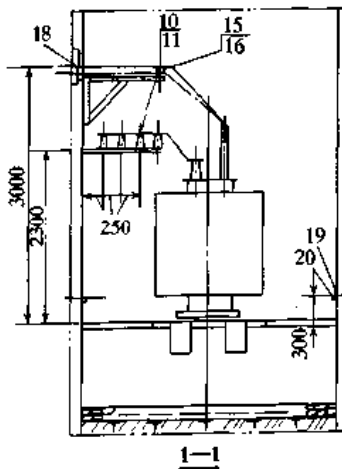
编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263-96
2	隔离开关	GN6-10 (6) T/400	台	1	15	用于 ≤ 630kVA
	熔断器	RN1-10 (6), 见上表	个	3	42	
	负荷开关带熔断器	FN2-10R FN3-10R	台	1	21 23	用于 ≥ 800kVA
3	隔离开关操动机构	CS6-1T	台	1	36	
	负荷开关操动机构	CS4, CS4-T CS3, CS3-T	台	1	39 38	
4	电缆	工程设计选定	m	—	—	
5	电缆头	10 (6) kV	个	1	—	
6	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	1	95	
7	电缆支架	型式 3	个	3	91	
8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
9	高压母线	LMY-40×4	m	~5	—	
10	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
11	高压支柱绝缘子	ZA-10 (6) Y	个	3	56	
12	高压母线支架		个	1	78	
13	低压相母线	见上表	m	~15	—	
14	低压中性母线	见上表	m	~5	—	
15	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	65	
16	电车线绝缘端子	WX-01	个	9	56	按 88D263-55 装配
17	低压母线桥架	型式 3 (2)	个	1	84	[2]用于变压器容量 ≤ 630kVA
18	低压母线穿墙板	型式 3 (2)	套	1	70	
19	低压母线夹板		副	1	69	
20	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D	
21	固定钩		个	10	563-18	
22	临时接地接线柱		个	1	88D 563-25	

6 ~ 10/  
0.4kV 变 压  
器室布置(据  
88D264-33  
页)

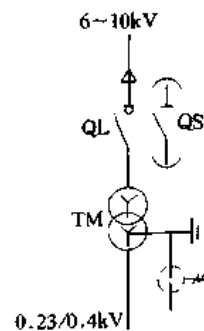
设备材料表

6 ~ 10/  
0.4kV 变 压  
器室布置(据  
88D264-46  
页)

变压器室平、剖面图及其主接线图



变压器布置图  
(附设式, 窄面推进, 高式安装)



主接线图



续表

布置方案示例

- (1) 布置图上方括号“[]”内数字适用于变压器容量≤630kVA
- (2) 侧墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸

备注  
低压  
母线  
尺寸  
表

变压器容量 (kVA)	低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)		变压器容量 (kVA)	低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)	
	相母线	中性母线		相母线	中性母线
200	40×4	40×4	630	80×8	50×5
250	40×4	40×4	800	100×8	60×6
315	50×5	40×4	1000	120×10	80×6
400	60×6	40×4	1250	2 (100×10)	80×8
500	80×6	50×5	1600	2 (120×10)	80×10

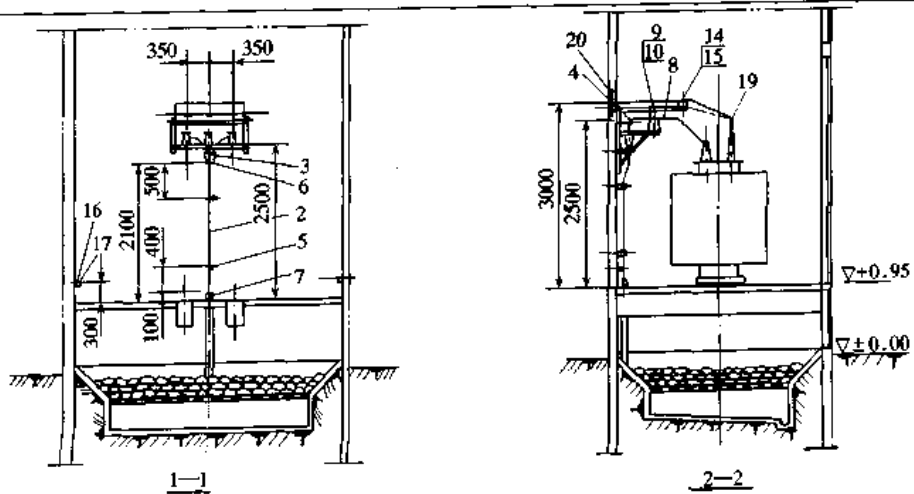
6 ~ 10/  
0.4kV 变  
压器室布  
置(据  
88D264-46  
页)

设备  
材料  
表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注		
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263-96		
2	负荷开关	FN2-10	台	1	19			
		FN3-10			22			
3	隔离开关	GN6-10 (6) /T400	台	1	15			
					负荷开关操动机构		CS4、CS4-T	39
							CS3、CS3-T	38
	隔离开关操动机构	CS6-1T		36				
4	电缆	工程设计选定	m	—	—			
5	电缆头	10 (6) kV	个	1	—			
6	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95			
7	电缆支架	型式 3	个	3	91			
8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—			
9	高压母线	LMY-40×4	m	~9	—			
10	高压母线夹具	按母线截面选定	副	5	65			
11	高压支柱绝缘子	ZA-10 (6) Y	个	5	56			
12	高压母线支架		个	1	81			
13	低压相母线	见上表	m	~12	—			
14	低压中性母线	见上表	m	~4	—			
15	低压母线夹具	按母线截面选定	副	6	65			
16	电半线路绝缘子	WX-01	个	6	56	按 88D263-55 装配		
17	低压母线支架	型式 3 (2)	个	1	73	[2]用于变压器容量 ≤630kVA		
18	低压母线穿墙板	型式 3 (2)	套	1	70			
19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D			
20	固定钩		个	10	563-18			
21	临时接地接线柱		个	1	88D 563-25			

6 ~ 10/  
0.4kV 变  
压器室布  
置(据  
88D264-95  
页)

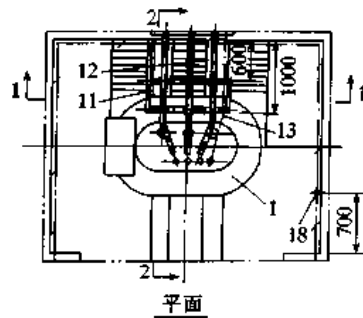
变  
压  
器  
室  
平  
、  
剖  
面  
图  
及  
其  
主  
接  
线  
图



续表

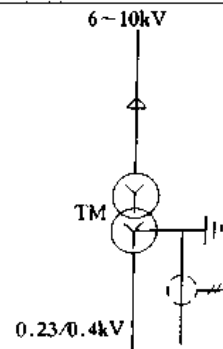
序号 类别 布置方案示例

变压器室平、剖面图及其主接线图



变压器室布置图

(宽面推进, 车间内式, 有储油池, 无风坑)



主接线图

备注

布置图上方括号“[]”内数字适用于变压器容量≤630kVA

低压母线尺寸表

变压器容量 (kVA)	低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)	
	相母线	中性母线
200	40×4	40×4
250	40×4	40×4
315	50×5	40×4
400	60×6	40×4
500	80×6	50×5
630	80×8	50×5
800	100×8	60×6
1000	120×10	60×6
1250	2 (100×10)	80×8
1600	2 (120×10)	80×10

6~10/0.4kV 变压器室布置 (据 88D264-95 页)

设备材料表

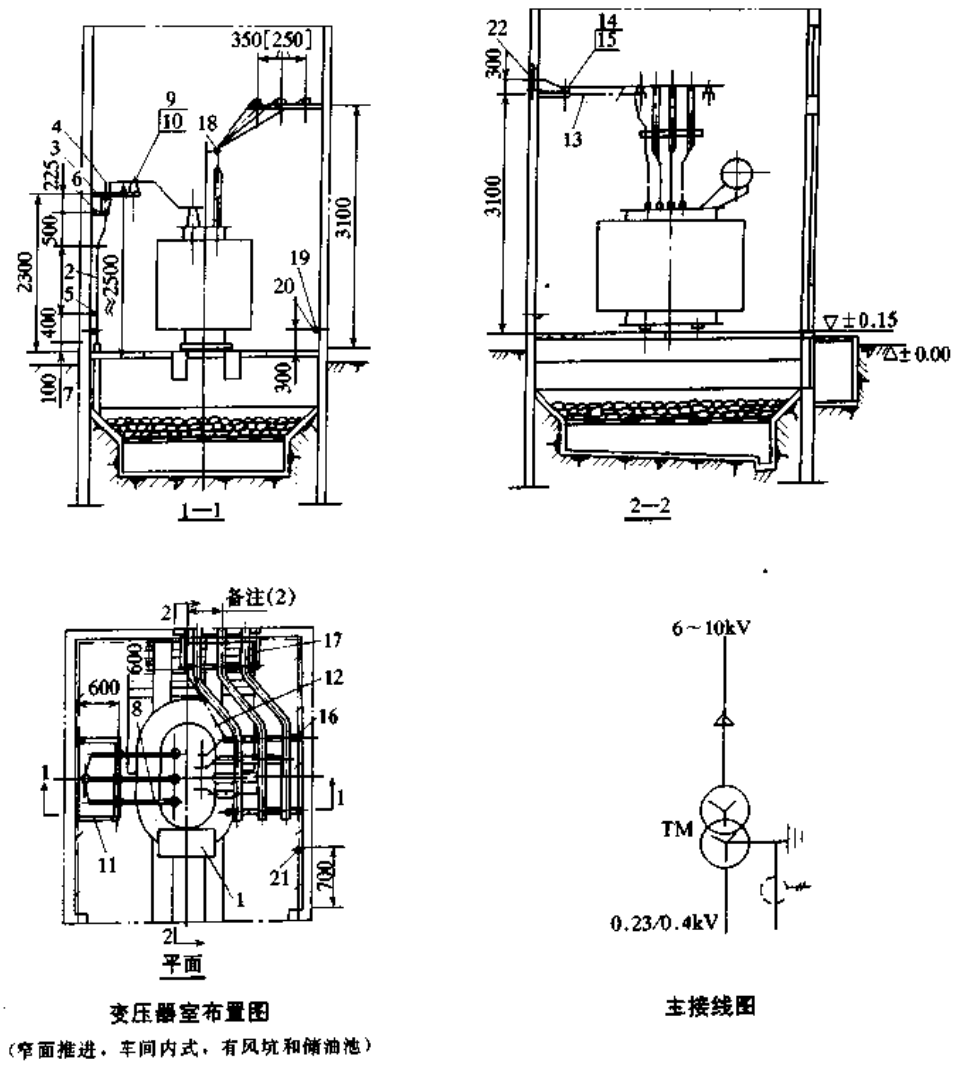
编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263-96
2	电缆	工程设计选定	m	—	—	
3	电缆头	10 (6) kV	个	1	—	
4	电缆头端接头	按缆芯截面选定	个	3	95	
5	电缆支架	型式 3	个	2	91	
6	电缆头支架		个	1	90	
7	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
8	高压母线	LMY-40×4	m	~6	—	
9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
10	高压支柱绝缘子	ZA-10 (6) Y	个	3	56	
11	高低压母线支架		套	1	74	
12	低压相母线	见上表	m	~9	—	
13	低压中性母线	见上表	m	~3	—	
14	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
15	电车线路绝缘子	WX-01	个	3	56	按 88D263-55 装配
16	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D	
17	固定物		个	10	563-18	
18	临时接地接线柱		个	1	88D 563-25	
19	低压母线夹板		副	1	69	
20	低压母线穿墙板	型式 3 (2)	个	1	70	

注: 编号 20 中“(2)”用于变压器容量≤630kVA

续表

序号 类别 布置方案示例

变压器室平、剖面图及其主接线图  
 6 ~ 10/  
 0.4kV 变  
 压器室布置(据  
 88D264-82  
 页)



备注  
 (1) 布置图上方括号“[]”内数字适用变压器容量≤630kVA  
 (2) 后墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸

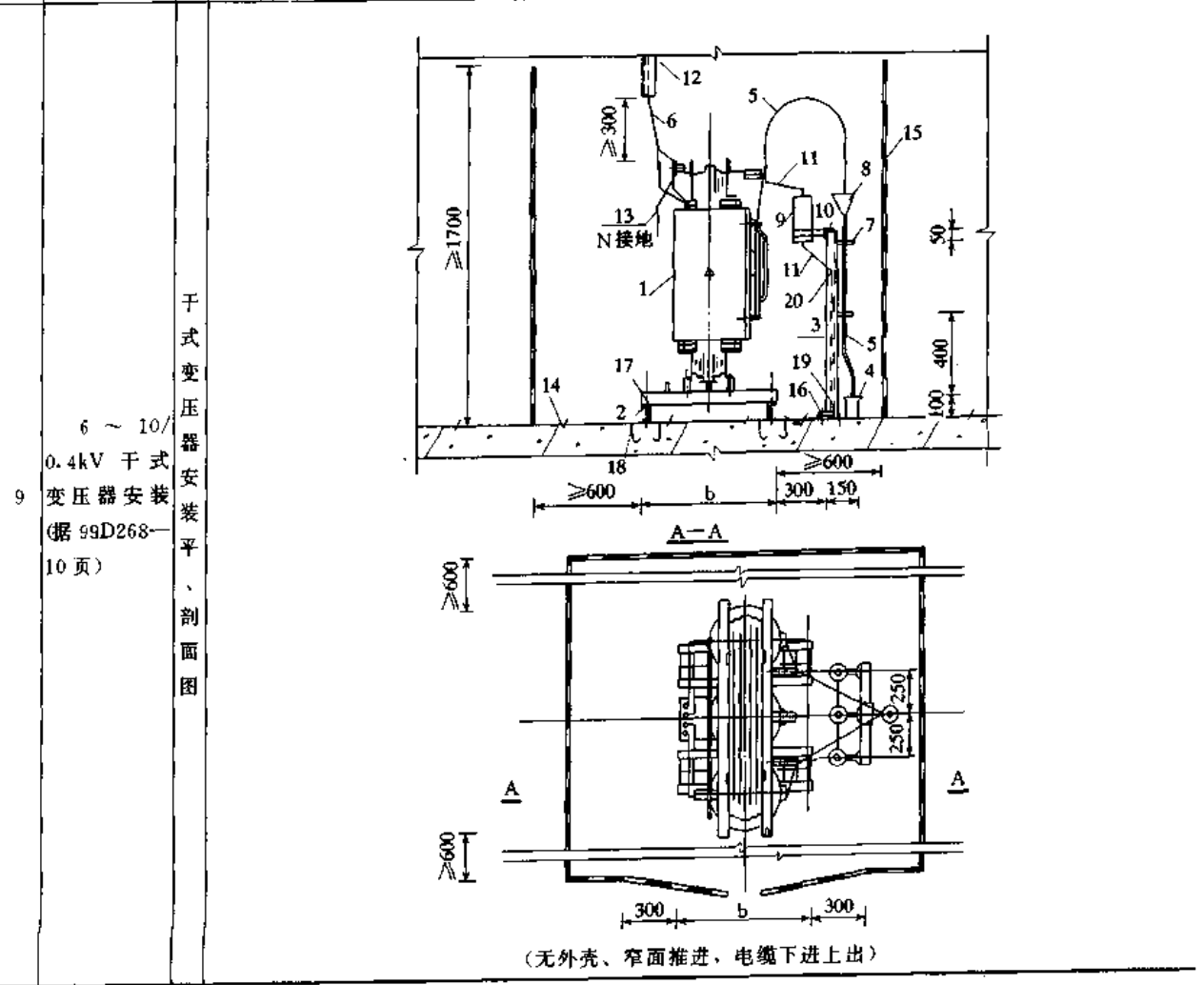
低压  
 母线  
 尺寸  
 表

变压器容量 (kVA)	低压母线 (LMY) 尺寸 (mm)	
	相母线	中性母线
200	40×4	40×4
250	40×4	40×4
315	50×5	40×4
400	60×6	40×4
500	80×6	50×5
630	80×8	50×5
800	100×8	60×6
1000	120×10	80×6
1250	2 (100×10)	80×8
1600	2 (120×10)	80×10

续表

序号	类别	布置方案示例							
8	6 ~ 10/ 0.4kV 变 压器布置(据 88D264—82 页)	设备 材料 表	编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
			1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263—96
			2	电缆	工程设计选定	m	—	—	
			3	电缆头	10 (6) kV	个	1	—	
			4	电缆芯端接头	按缆芯截面选定	个	3	95	
			5	电缆支架	型式 3	个	2	91	
			6	电缆头支架		个	1	90	
			7	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
			8	高压母线	LMY-40×4	m	~5	—	
			9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
			10	高压支柱绝缘子	ZA-10 (6) Y	个	3	56	
			11	高压母线支架		个	1	78	
			12	低压相母线	见上表	m	~15	—	
			13	低压中性母线	见上表	m	~5	—	
			14	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	65	
			15	电车线路绝缘子	WX-01	个	9	56	按 88D263—55 装配
			16	低压母线支架	型式 3 [5]	个	2	76	
			17	低压母线支架	型式 3 [2]	套	1	78	
			18	低压母线夹板		副	1	69	
			19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
			20	固定钩		个	10	—18	
			21	临时接地接线柱		个	1	88D 563—25	
22	低压母线穿墙板	型式 3 [2]	个	1	70				

注：表中“[]”内数字用于变压器≤630kVA

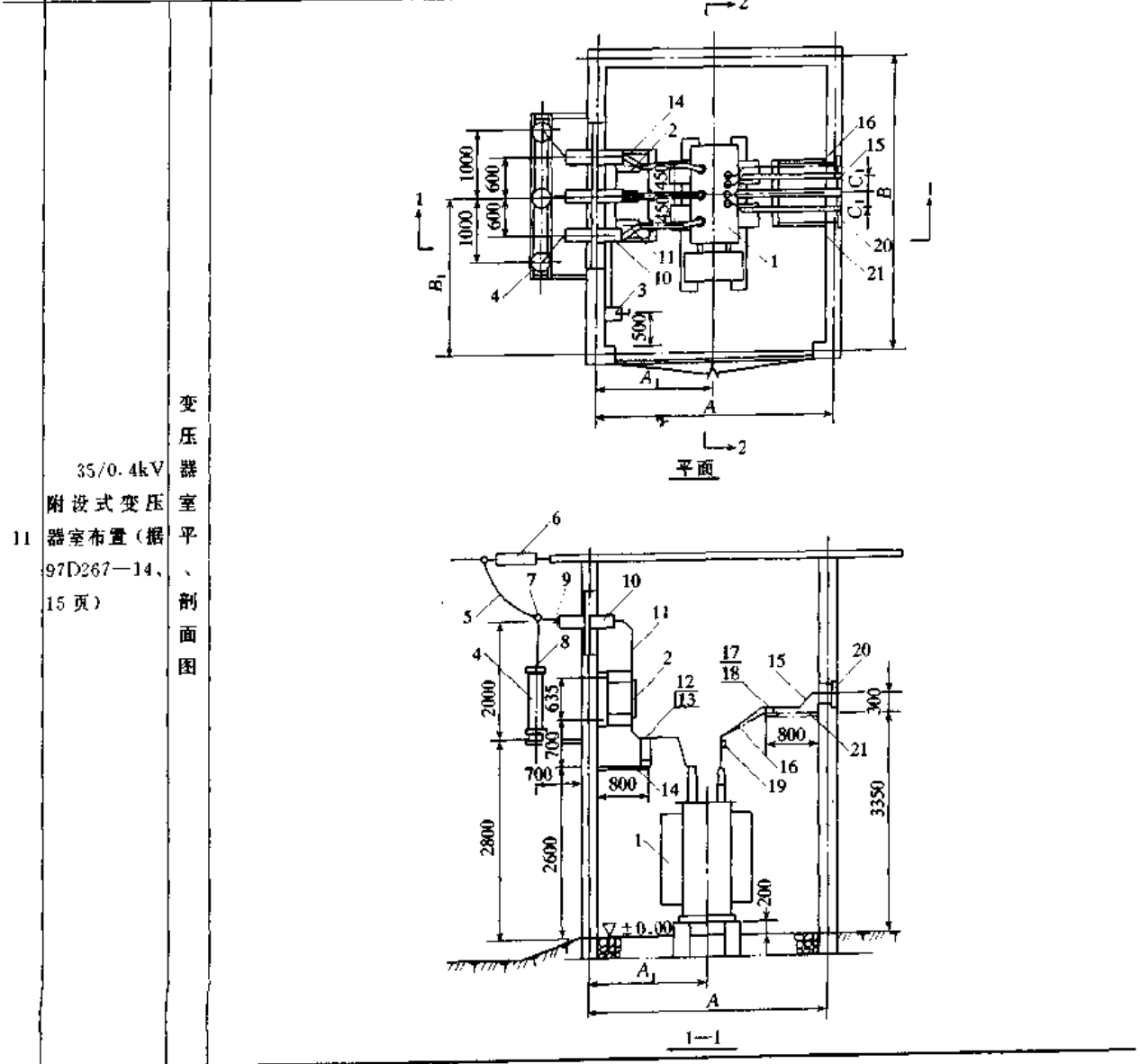


续表

序号	类别	布置方案示例																																																																																																																																																		
9	6 ~ 10/ 0.4kV 干式 变压器安装 (据 99D268— 10 页)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>编号</th> <th>名称</th> <th>型号及规格</th> <th>单位</th> <th>数量</th> <th>页次</th> <th>备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>干式变压器</td><td>由工程设计确定</td><td>台</td><td>1</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>干式变压器底座</td><td>由工程设计确定</td><td>组</td><td>1</td><td>30</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>电缆支架</td><td>由工程设计确定</td><td>个</td><td>1</td><td>30</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>电缆保护管</td><td>由工程设计确定</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>高压电缆</td><td>由工程设计确定</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>低压电缆</td><td></td><td>m</td><td>—</td><td>33</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>电缆支架</td><td>型式 3</td><td>个</td><td>—</td><td>88D 263—91</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>电缆头</td><td>10 (6) kV</td><td>个</td><td>1</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>避雷器</td><td>由工程设计确定</td><td>台</td><td>3</td><td>—</td><td rowspan="2">不设避雷 器时则取消</td></tr> <tr><td>10</td><td>避雷器固定支架</td><td>角钢 50×4, 长 900mm</td><td>个</td><td>1</td><td>30</td></tr> <tr><td>11</td><td>电线</td><td>1×25mm<sup>2</sup></td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>电缆托盘</td><td>由工程设计确定</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>变压器工作接地 线</td><td>规格见 99D268—33 页</td><td>m</td><td>—</td><td>32</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>PE 接地干线</td><td>扁钢 40×4</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td>暗敷时规格</td></tr> <tr><td>15</td><td>遮栏</td><td>由工程设计确定</td><td>组</td><td>1</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>膨胀螺栓固定</td><td>M12</td><td>套</td><td>4</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>螺栓固定</td><td>M12</td><td>套</td><td>4</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>预埋钢板</td><td>钢板 150mm×150mm</td><td>块</td><td>4</td><td>31</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>接地螺栓、垫圈</td><td>M8</td><td>个</td><td>1</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>电线卡</td><td>按电线规格确定</td><td>个</td><td>2</td><td>—</td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>(1) 变压器下方为电缆夹层时, 电缆保护管处改为预留楼板洞                  (2) 安装图上“b”为变压器窄面宽度                  (3) 变压器温控箱、温显仪安装位置由工程设计确定, 安装图上不另表示                  (4) 变压器落地安装不用安装底座时作法见 99D268—31 页                  (5) 变压器工作接地线由工程设计确定接地型式及选择接地线, 因变压器中性点接取位置各变压器                  厂不同, 本安装图仅在变压器上部接取示意                  (6) 表中页次指 99D268 页次</p>	编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注	1	干式变压器	由工程设计确定	台	1	—		2	干式变压器底座	由工程设计确定	组	1	30		3	电缆支架	由工程设计确定	个	1	30		4	电缆保护管	由工程设计确定	m	—	—		5	高压电缆	由工程设计确定	m	—	—		6	低压电缆		m	—	33		7	电缆支架	型式 3	个	—	88D 263—91		8	电缆头	10 (6) kV	个	1	—		9	避雷器	由工程设计确定	台	3	—	不设避雷 器时则取消	10	避雷器固定支架	角钢 50×4, 长 900mm	个	1	30	11	电线	1×25mm <sup>2</sup>	m	—	—		12	电缆托盘	由工程设计确定	m	—	—		13	变压器工作接地 线	规格见 99D268—33 页	m	—	32		14	PE 接地干线	扁钢 40×4	m	—	—	暗敷时规格	15	遮栏	由工程设计确定	组	1	—		16	膨胀螺栓固定	M12	套	4	—		17	螺栓固定	M12	套	4	—		18	预埋钢板	钢板 150mm×150mm	块	4	31		19	接地螺栓、垫圈	M8	个	1	—		20	电线卡	按电线规格确定	个	2	—	
编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注																																																																																																																																														
1	干式变压器	由工程设计确定	台	1	—																																																																																																																																															
2	干式变压器底座	由工程设计确定	组	1	30																																																																																																																																															
3	电缆支架	由工程设计确定	个	1	30																																																																																																																																															
4	电缆保护管	由工程设计确定	m	—	—																																																																																																																																															
5	高压电缆	由工程设计确定	m	—	—																																																																																																																																															
6	低压电缆		m	—	33																																																																																																																																															
7	电缆支架	型式 3	个	—	88D 263—91																																																																																																																																															
8	电缆头	10 (6) kV	个	1	—																																																																																																																																															
9	避雷器	由工程设计确定	台	3	—	不设避雷 器时则取消																																																																																																																																														
10	避雷器固定支架	角钢 50×4, 长 900mm	个	1	30																																																																																																																																															
11	电线	1×25mm <sup>2</sup>	m	—	—																																																																																																																																															
12	电缆托盘	由工程设计确定	m	—	—																																																																																																																																															
13	变压器工作接地 线	规格见 99D268—33 页	m	—	32																																																																																																																																															
14	PE 接地干线	扁钢 40×4	m	—	—	暗敷时规格																																																																																																																																														
15	遮栏	由工程设计确定	组	1	—																																																																																																																																															
16	膨胀螺栓固定	M12	套	4	—																																																																																																																																															
17	螺栓固定	M12	套	4	—																																																																																																																																															
18	预埋钢板	钢板 150mm×150mm	块	4	31																																																																																																																																															
19	接地螺栓、垫圈	M8	个	1	—																																																																																																																																															
20	电线卡	按电线规格确定	个	2	—																																																																																																																																															
10	6 ~ 10/ 0.4kV 干式 变压器安装 (据 99D268— 16 页)	<p>干式变压器安装平、剖面图</p> <p>(有外壳、电缆下进、母线上出)</p>																																																																																																																																																		

续表

序号	类别	布置方案示例							
10	6 ~ 10/ 0.4kV 干式 变压器安装 (据 99D268- 16 页)	设备 材料 表	编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
			1	干式变压器	由工程设计确定	台	1	—	
			2	干式变压器底座	由工程设计确定	组	1	30	
			3	电缆保护管	由工程设计确定	m	—	—	
			4	高压电缆	由工程设计确定	m	—	—	
			5	低压电缆	—	m	—	33	
			6	变压器工作接地线	规格见 99D268-33 页	m	—	32	
			7	PE 接地干线	扁钢 40×4	m	—	—	暗敷时规格
			8	螺栓固定	M12	套	4	—	
			9	预埋钢板	钢板 150mm×150mm	块	4	31	
			10	法兰	—	组	1	—	
			11	接线盒	由工程设计确定	个	1	—	
			12	电缆桥架	由工程设计确定	个	2	—	
			13	电缆接线盒封板	由工程设计确定	个	2	—	
			14	法兰固定螺栓	M12	套	12	—	
15	封板固定螺栓	M8	套	6	—				
		有关 安装 图说 明	(1) 安装图上“d1”为变压器固定孔相对位置尺寸 (2) 变压器装设避雷器, 订货时需说明 (3) 其他说明参看序号 9 “有关安装图说明”中的 (1)、(2)、(4)、(5)、(6) 等项						



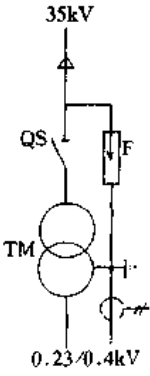
续表

序号	类别	布置方案示例																																																																																																																																																									
11	变压器室平、剖面图																																																																																																																																																										
	安装图推荐尺寸	<table border="1"> <thead> <tr> <th>变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="5">推荐尺寸 (mm)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>A<sub>1</sub></th> <th>B</th> <th>B<sub>1</sub></th> <th>C<sub>1</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200~630</td> <td>3600</td> <td>1800</td> <td>4500</td> <td>2400</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>800~1000</td> <td>3900</td> <td>1950</td> <td>4800</td> <td>2600</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>1250~1600</td> <td>3500</td> <td>1950</td> <td>5100</td> <td>2700</td> <td>350</td> </tr> </tbody> </table>	变压器容量 (kVA)	推荐尺寸 (mm)						A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	200~630	3600	1800	4500	2400	250	800~1000	3900	1950	4800	2600	350	1250~1600	3500	1950	5100	2700	350																																																																																																																											
	变压器容量 (kVA)	推荐尺寸 (mm)																																																																																																																																																									
		A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>																																																																																																																																																					
200~630	3600	1800	4500	2400	250																																																																																																																																																						
800~1000	3900	1950	4800	2600	350																																																																																																																																																						
1250~1600	3500	1950	5100	2700	350																																																																																																																																																						
主接线图及说明	<p>35kV</p> <p>0.23/0.4kV 主接线</p> <p>说明：                      (1) 变压器由 35kV 配电所直接配电。变压器的保护装置装设在 35kV 配电所内                      (2) 35kV 配电为放射式，变压器为 35kV 架空进线                      (3) 变压器低压侧可根据需要装设零序电流互感器或避雷器                      (4) 设备材料表中页次指 97D267 页次</p>																																																																																																																																																										
低压母线尺寸表	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="2">低压母线 LMY 尺寸 (mm)</th> <th rowspan="2">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="2">低压母线 LMY 尺寸 (mm)</th> </tr> <tr> <th>相母线</th> <th>中性母线</th> <th>相母线</th> <th>中性母线</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> <td>630</td> <td>80×8</td> <td>50×5</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> <td>800</td> <td>100×8</td> <td>60×6</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>50×5</td> <td>40×4</td> <td>1000</td> <td>120×10</td> <td>80×6</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>60×6</td> <td>40×4</td> <td>1250</td> <td>2 (100×10)</td> <td>80×8</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>80×6</td> <td>50×5</td> <td>1600</td> <td>2 (120×10)</td> <td>80×10</td> </tr> </tbody> </table>	变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		相母线	中性母线	相母线	中性母线	200	40×4	40×4	630	80×8	50×5	250	40×4	40×4	800	100×8	60×6	315	50×5	40×4	1000	120×10	80×6	400	60×6	40×4	1250	2 (100×10)	80×8	500	80×6	50×5	1600	2 (120×10)	80×10																																																																																																																		
变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)																																																																																																																																																							
	相母线	中性母线		相母线	中性母线																																																																																																																																																						
200	40×4	40×4	630	80×8	50×5																																																																																																																																																						
250	40×4	40×4	800	100×8	60×6																																																																																																																																																						
315	50×5	40×4	1000	120×10	80×6																																																																																																																																																						
400	60×6	40×4	1250	2 (100×10)	80×8																																																																																																																																																						
500	80×6	50×5	1600	2 (120×10)	80×10																																																																																																																																																						
设备材料表	<table border="1"> <thead> <tr> <th>编号</th> <th>名称</th> <th>型号及规格</th> <th>单位</th> <th>数量</th> <th>页次</th> <th>备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>电力变压器</td> <td>工程设计选定</td> <td>台</td> <td>1</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35kV 隔离开关</td> <td>GN2-35/400</td> <td>台</td> <td>1</td> <td>128、129</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>手力操动机构</td> <td>CS6-2</td> <td>台</td> <td>1</td> <td>128、129</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>35kV 避雷器</td> <td>YSC-41</td> <td>台</td> <td>3</td> <td>140</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>钢芯铝绞线</td> <td>LGJ-35</td> <td>m</td> <td>90</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>悬式绝缘子串</td> <td></td> <td>串</td> <td>3</td> <td>149</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>T形线夹</td> <td>TL-1</td> <td>副</td> <td>3</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>设备线夹</td> <td>SL1-TU-1</td> <td>副</td> <td>3</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>设备线夹</td> <td>SL2-1</td> <td>副</td> <td>3</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>户外式穿墙套管</td> <td>CWL-35/400</td> <td>个</td> <td>3</td> <td>144</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>高压母线</td> <td>LMY-40×4</td> <td>m</td> <td>10</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>高压母线夹具</td> <td>按母线截面选定</td> <td>副</td> <td>3</td> <td>—</td> <td>88D263--65</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>高压支柱绝缘子</td> <td>ZA-35</td> <td>个</td> <td>3</td> <td>—</td> <td>88D263--56</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>高压母线支架</td> <td></td> <td>个</td> <td>1</td> <td>148</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>低压相母线</td> <td>见上表</td> <td>m</td> <td>9</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>低压中性母线</td> <td>见上表</td> <td>m</td> <td>3</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>低压母线夹具</td> <td>按母线截面选定</td> <td>副</td> <td>3</td> <td>—</td> <td>88D263--65</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>电车线路绝缘子</td> <td>WX-01</td> <td>个</td> <td>3</td> <td>—</td> <td>88D263--55、56</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>低压母线夹板</td> <td></td> <td>副</td> <td>1</td> <td>—</td> <td>88D263--69</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>低压母线穿墙板</td> <td></td> <td>套</td> <td>1</td> <td>—</td> <td>88D263--70、71</td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>低压母线支架</td> <td></td> <td>个</td> <td>1</td> <td>—</td> <td>88D263--78</td> </tr> </tbody> </table>	编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注	1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—		2	35kV 隔离开关	GN2-35/400	台	1	128、129		3	手力操动机构	CS6-2	台	1	128、129		4	35kV 避雷器	YSC-41	台	3	140		5	钢芯铝绞线	LGJ-35	m	90	—		6	悬式绝缘子串		串	3	149		7	T形线夹	TL-1	副	3	—		8	设备线夹	SL1-TU-1	副	3	—		9	设备线夹	SL2-1	副	3	—		10	户外式穿墙套管	CWL-35/400	个	3	144		11	高压母线	LMY-40×4	m	10	—		12	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263--65	13	高压支柱绝缘子	ZA-35	个	3	—	88D263--56	14	高压母线支架		个	1	148		15	低压相母线	见上表	m	9	—		16	低压中性母线	见上表	m	3	—		17	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263--65	18	电车线路绝缘子	WX-01	个	3	—	88D263--55、56	19	低压母线夹板		副	1	—	88D263--69	20	低压母线穿墙板		套	1	—	88D263--70、71	21	低压母线支架		个	1	—	88D263--78
编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注																																																																																																																																																					
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—																																																																																																																																																						
2	35kV 隔离开关	GN2-35/400	台	1	128、129																																																																																																																																																						
3	手力操动机构	CS6-2	台	1	128、129																																																																																																																																																						
4	35kV 避雷器	YSC-41	台	3	140																																																																																																																																																						
5	钢芯铝绞线	LGJ-35	m	90	—																																																																																																																																																						
6	悬式绝缘子串		串	3	149																																																																																																																																																						
7	T形线夹	TL-1	副	3	—																																																																																																																																																						
8	设备线夹	SL1-TU-1	副	3	—																																																																																																																																																						
9	设备线夹	SL2-1	副	3	—																																																																																																																																																						
10	户外式穿墙套管	CWL-35/400	个	3	144																																																																																																																																																						
11	高压母线	LMY-40×4	m	10	—																																																																																																																																																						
12	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263--65																																																																																																																																																					
13	高压支柱绝缘子	ZA-35	个	3	—	88D263--56																																																																																																																																																					
14	高压母线支架		个	1	148																																																																																																																																																						
15	低压相母线	见上表	m	9	—																																																																																																																																																						
16	低压中性母线	见上表	m	3	—																																																																																																																																																						
17	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263--65																																																																																																																																																					
18	电车线路绝缘子	WX-01	个	3	—	88D263--55、56																																																																																																																																																					
19	低压母线夹板		副	1	—	88D263--69																																																																																																																																																					
20	低压母线穿墙板		套	1	—	88D263--70、71																																																																																																																																																					
21	低压母线支架		个	1	—	88D263--78																																																																																																																																																					

序号	类别	布置方案示例
12	35/0.4kV 附设式变 压器室布 置(据 97D267—56、 57页) 变 压 器 室 平 面 剖 面 图	<p style="text-align: center;">平面</p> <p style="text-align: center;">1-1</p> <p style="text-align: center;">2-2</p> <p style="text-align: center;">注: 图中加括号内数字用于变压器容量 <math>\geq 1250\text{kVA}</math></p>



续表

序号	类别	布置方案示例																																																																																																																																																									
12	安装图推荐尺寸	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="5">推荐尺寸 (mm)</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>A<sub>1</sub></th> <th>B</th> <th>B<sub>1</sub></th> <th>C<sub>1</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200~630</td> <td>3600</td> <td>1800</td> <td>4500</td> <td>2400</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>800~1000</td> <td>3900</td> <td>1950</td> <td>4800</td> <td>2600</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>1250~1600</td> <td>3900</td> <td>1950</td> <td>5100</td> <td>2700</td> <td>350</td> </tr> </tbody> </table>	变压器容量 (kVA)	推荐尺寸 (mm)					A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	200~630	3600	1800	4500	2400	250	800~1000	3900	1950	4800	2600	350	1250~1600	3900	1950	5100	2700	350																																																																																																																												
	变压器容量 (kVA)	推荐尺寸 (mm)																																																																																																																																																									
		A	A <sub>1</sub>	B	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>																																																																																																																																																					
200~630	3600	1800	4500	2400	250																																																																																																																																																						
800~1000	3900	1950	4800	2600	350																																																																																																																																																						
1250~1600	3900	1950	5100	2700	350																																																																																																																																																						
主接线图及说明	 <p>说明:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 变压器由 35kV 配电所直接配电。变压器的保护装置装设在 35kV 配电所内</li> <li>(2) 35kV 配电为放射式, 变压器为 35kV 电缆进线</li> <li>(3) 变压器低压侧可根据需要装设零序电流互感器或避雷器</li> <li>(4) 设备材料表中页次指 97D267 页次</li> </ol> <p>主接线图</p>																																																																																																																																																										
低压母线尺寸表	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="2">低压母线 LMY 尺寸 (mm)</th> <th rowspan="2">变压器容量 (kVA)</th> <th colspan="2">低压母线 LMY 尺寸 (mm)</th> </tr> <tr> <th>相母线</th> <th>中性母线</th> <th>相母线</th> <th>中性母线</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> <td>630</td> <td>80×8</td> <td>50×5</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>40×4</td> <td>40×4</td> <td>800</td> <td>100×8</td> <td>60×6</td> </tr> <tr> <td>315</td> <td>50×5</td> <td>40×4</td> <td>1000</td> <td>100×10</td> <td>80×6</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>60×6</td> <td>40×4</td> <td>1250</td> <td>2 (100×10)</td> <td>80×8</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>80×6</td> <td>50×5</td> <td>1600</td> <td>2 (120×10)</td> <td>80×10</td> </tr> </tbody> </table>	变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		相母线	中性母线	相母线	中性母线	200	40×4	40×4	630	80×8	50×5	250	40×4	40×4	800	100×8	60×6	315	50×5	40×4	1000	100×10	80×6	400	60×6	40×4	1250	2 (100×10)	80×8	500	80×6	50×5	1600	2 (120×10)	80×10																																																																																																																		
变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)		变压器容量 (kVA)	低压母线 LMY 尺寸 (mm)																																																																																																																																																							
	相母线	中性母线		相母线	中性母线																																																																																																																																																						
200	40×4	40×4	630	80×8	50×5																																																																																																																																																						
250	40×4	40×4	800	100×8	60×6																																																																																																																																																						
315	50×5	40×4	1000	100×10	80×6																																																																																																																																																						
400	60×6	40×4	1250	2 (100×10)	80×8																																																																																																																																																						
500	80×6	50×5	1600	2 (120×10)	80×10																																																																																																																																																						
设备材料表	<table border="1"> <thead> <tr> <th>编号</th> <th>名称</th> <th>型号及规格</th> <th>单位</th> <th>数量</th> <th>页次</th> <th>备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>电力变压器</td><td>工程设计选定</td><td>台</td><td>1</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>35kV 隔离开关</td><td>GN2-35/400</td><td>台</td><td>1</td><td>132</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>手力操动机构</td><td>CS6-2</td><td>台</td><td>1</td><td>132</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>35kV 避雷器</td><td>YSC-4</td><td>台</td><td>3</td><td>142</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>电力电缆</td><td>工程设计选定</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>电缆终端</td><td>35kV 558 型</td><td>个</td><td>3</td><td>150</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>电缆支架</td><td></td><td>个</td><td>3</td><td>—</td><td>88D263-91</td></tr> <tr><td>8</td><td>电缆保护管</td><td>工程设计选定</td><td>m</td><td>—</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>穿墙套管</td><td>CWL-35/400</td><td>个</td><td>3</td><td>146</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>高压母线</td><td>LMY-40×4</td><td>m</td><td>16</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>高压母线夹具</td><td>按母线截面选定</td><td>副</td><td>3</td><td>—</td><td>88D263-65</td></tr> <tr><td>12</td><td>高压支柱绝缘子</td><td>ZA-35</td><td>个</td><td>3</td><td>—</td><td>88D263-56</td></tr> <tr><td>13</td><td>高压母线支架</td><td></td><td>个</td><td>1</td><td>148</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>低压相母线</td><td>见上表</td><td>m</td><td>15</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>低压中性母线</td><td>见上表</td><td>m</td><td>5</td><td>—</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>低压母线夹具</td><td>按母线截面选定</td><td>副</td><td>9</td><td>—</td><td>88D263-65</td></tr> <tr><td>17</td><td>电车线路绝缘子</td><td>WX-01</td><td>个</td><td>9</td><td>—</td><td>88D263-55, 56</td></tr> <tr><td>18</td><td>低压母线夹板</td><td></td><td>副</td><td>1</td><td>—</td><td>88D263-69</td></tr> <tr><td>19</td><td>低压母线穿墙板</td><td></td><td>套</td><td>1</td><td>—</td><td>88D263-70, 71</td></tr> <tr><td>20</td><td>低压母线支架</td><td></td><td>个</td><td>2</td><td>—</td><td>88D263-75</td></tr> <tr><td>21</td><td>低压母线支架</td><td></td><td>个</td><td>1</td><td>—</td><td>88D263-78</td></tr> </tbody> </table>	编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注	1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—		2	35kV 隔离开关	GN2-35/400	台	1	132		3	手力操动机构	CS6-2	台	1	132		4	35kV 避雷器	YSC-4	台	3	142		5	电力电缆	工程设计选定	m	—	—		6	电缆终端	35kV 558 型	个	3	150		7	电缆支架		个	3	—	88D263-91	8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—		9	穿墙套管	CWL-35/400	个	3	146		10	高压母线	LMY-40×4	m	16	—		11	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263-65	12	高压支柱绝缘子	ZA-35	个	3	—	88D263-56	13	高压母线支架		个	1	148		14	低压相母线	见上表	m	15	—		15	低压中性母线	见上表	m	5	—		16	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	—	88D263-65	17	电车线路绝缘子	WX-01	个	9	—	88D263-55, 56	18	低压母线夹板		副	1	—	88D263-69	19	低压母线穿墙板		套	1	—	88D263-70, 71	20	低压母线支架		个	2	—	88D263-75	21	低压母线支架		个	1	—	88D263-78
编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注																																																																																																																																																					
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—																																																																																																																																																						
2	35kV 隔离开关	GN2-35/400	台	1	132																																																																																																																																																						
3	手力操动机构	CS6-2	台	1	132																																																																																																																																																						
4	35kV 避雷器	YSC-4	台	3	142																																																																																																																																																						
5	电力电缆	工程设计选定	m	—	—																																																																																																																																																						
6	电缆终端	35kV 558 型	个	3	150																																																																																																																																																						
7	电缆支架		个	3	—	88D263-91																																																																																																																																																					
8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—																																																																																																																																																						
9	穿墙套管	CWL-35/400	个	3	146																																																																																																																																																						
10	高压母线	LMY-40×4	m	16	—																																																																																																																																																						
11	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	—	88D263-65																																																																																																																																																					
12	高压支柱绝缘子	ZA-35	个	3	—	88D263-56																																																																																																																																																					
13	高压母线支架		个	1	148																																																																																																																																																						
14	低压相母线	见上表	m	15	—																																																																																																																																																						
15	低压中性母线	见上表	m	5	—																																																																																																																																																						
16	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	—	88D263-65																																																																																																																																																					
17	电车线路绝缘子	WX-01	个	9	—	88D263-55, 56																																																																																																																																																					
18	低压母线夹板		副	1	—	88D263-69																																																																																																																																																					
19	低压母线穿墙板		套	1	—	88D263-70, 71																																																																																																																																																					
20	低压母线支架		个	2	—	88D263-75																																																																																																																																																					
21	低压母线支架		个	1	—	88D263-78																																																																																																																																																					

35/0.4kV  
附设式变压器  
室布置(据  
97D267—56、  
57页)

续表

四、变配电所的建筑结构要求及有关尺寸

(1) 变配电所的建筑结构要求。如表 6-8 所示。

表 6-8 变配电所的建筑结构要求  
(据 GB 50053—1994)

序号	项目	说明
1	防火要求	<p>(1) 可燃油油浸电力变压器室的耐火等级应为一级。高压配电室、高压电容器室和非燃(或难燃)介质的电力变压器室的耐火等级不应低于二级。低压配电室和低压电容器室的耐火等级不应低于三级。屋顶承重构件应为二级</p> <p>(2) 有下列情况之一时,可燃油油浸变压器室的门应为甲级防火门:①变压器室位于车间内;②变压器室位于容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所;③变压器室附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天堆场;④变压器室位于建筑物内;⑤变压器室下面有地下室</p> <p>(3) 变压器室的通风窗,应采用非燃烧材料</p> <p>(4) 当露天或半露天变电所采用可燃油油浸变压器时,其变压器外廓与建筑物外墙的距离应大于或等于 5m。当小于 5m 时,建筑物外墙在下列范围内不应有门、窗或通风孔:①油量大于 1000kg 时,变压器总高度加 3m 及外廓两侧各加 3m;②油量在 1000kg 及以下时,变压器总高度加 3m 及外廓两侧各加 1.5m</p> <p>(5) 民用主体建筑内的附设变电所和车间内变电所的可燃油油浸变压器室,应设置容量为 100% 变压器油量的储油池</p> <p>(6) 有下列情况之一时,可燃油油浸变压器室应设置容量为 100% 变压器油量的挡油设施,或设置容量为 20% 变压器油量的挡油池并能将油排到安全处所的设施:①变压器室位于容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所;②变压器附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天场所;③变压器室下面有地下室</p> <p>(7) 附设变电所、露天或半露天变电所中,油量为 1000kg 及以上的变压器,应设置容量为 100% 油量的挡油设施</p> <p>(8) 在多层和高层主体建筑物的底层布置装有可燃性油的电气设备时,其底层外墙开口部位的上方应设置宽度不小于 1.0m 的防火挑檐。多油开关室和高压电容器室均应设有防止油品流散的设施</p> <p>(9) 变配电所与邻近建筑物、堆场、储罐之间的防火净距,应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》的规定</p>
2	通风及采暖要求	<p>(1) 变压器室宜采用自然通风。夏季的排风温度不宜高于 45℃, 进风与排风的温差宜大于 15℃</p> <p>(2) 电容器室应有良好的自然通风,通风量应根据电容器允许温度,按夏季排风温度不超过电容器所允许的最高环境空气温度计算。当自然通风不能满足排热要求时,可增设机械排风。电容器室应设温度指示装置</p> <p>(3) 变压器室、电容器室当采用机械通风时,其通风管道应采用非燃烧材料制作。当周围环境污秽时,宜加空气过滤器</p> <p>(4) 配电室宜采用自然通风。高压配电室装有较多油断路器时,应装设事故排烟装置</p> <p>(5) 在采暖地区,控制室和值班室应设采暖装置。在严寒地区,当配电室内温度影响电气设备元件和仪表正常运行时,应设采暖装置。控制室和配电室内的采暖装置,宜采用钢管焊接,且不应有法兰、螺纹接头和阀门等</p>

序号	项目	说明
3	采光要求	<p>(1) 高压配电室宜设不能开启的自然采光窗,窗台距室外地坪不宜低于 1.8m; 临街的一面不宜开窗</p> <p>(2) 低压配电室可设能开启的自然采光窗,但临街的一面也不宜开窗</p> <p>(3) 油浸变压器室不设采光窗,只设通风窗(编者补充)</p> <p>(4) 控制室和值班室宜有良好的自然采光。能开启的采光窗宜设置纱窗。在寒冷及风沙大的地区,宜采用双层玻璃窗(编者补充)</p>
4	门、窗及其他要求	<p>(1) 变压器室、配电室、电容器室的门应向外开启。相邻配电室之间有门时,其门应能双向开启</p> <p>(2) 配电所各房间经常开启的门、窗,不宜直通相邻的酸、碱、蒸汽、粉尘和噪声严重的场所</p> <p>(3) 变压器室、配电室、电容器室等应设置防止雨、雪和蛇、鼠类小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入室内的设施</p> <p>(4) 配电室、电容器室和各辅助房间的内墙表面应抹灰刷白。地(楼)面宜采用高标号水泥抹面压光。配电室、变压器室、电容器室的顶棚以及变压器室的内墙面应刷白</p> <p>(5) 长度大于 7m 的配电室应设两个出口,并宜布置在配电室的两端。长度大于 60m 时,宜增加一个出口</p> <p>(6) 当变电所采用双层布置时,位于楼上的配电室应至少设一个通向室外的平台或通道的出口</p> <p>(7) 配电室、变压器室、电容器室、控制室内,不应有与无关的管道和线路通过</p> <p>(8) 在配电室内裸导体正上方,不应布置灯具和明敷线路。当在配电室内裸导体上方布置灯具时,灯具与裸导体的水平净距不应小于 1.0m,灯具不得采用吊链和软线吊装</p> <p>(9) 有人值班的独立变配电所,宜设有厕所和给排水设施。</p> <p>(10) 配电所、变电所的电缆夹层、电缆沟和电缆室,应采取防水、排水措施</p>

(2) 变配电所有关结构尺寸要求。如表 6-9~表 6-13 所示。

表 6-9 室内、外配电装置的最小电气安全净距 (mm) (据 GB50053—1994)

序号	适用范围	场所	额定电压 (kV)				
			<0.5	3	6	10	35*
1	部分全地(楼)面之间	室内	屏前 2500	2500	2500	2500	2600
		室外	2500	2700	2700	2700	2900

续表

序号	适用范围	场所	额定电压 (kV)				
			<0.5	3	6	10	35
2	有 IP2X 防护等级遮栏的通道净高	室内	1900	1900	1900	1900	—
3	裸带电部分至接地部分和不同相的裸带电部分之间 <sup>①</sup>	室内	20	75	100	125	300
		室外	75	200	200	200	400
4	距地(楼)面 2.5m 以下裸带电部分的遮栏防护等级为 IP2X 时,裸带电部分与遮护物间水平净距	室内	100	175	200	225	400
		室外	175	300	300	300	500
5	不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平距离	室内	1875	1875	1900	1925	2100
		室外	2000	2200	2200	2200	2400
6	裸带电部分至无孔固定遮栏	室内	50	105	130	155	—
7	裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的栅栏	室内	800	825	850	875	1050
		室外	825	950	950	950	1150
8	低压母线引出线或高压引出线的套管至室外人行通道地面	室外	3650	4000	4000	4000	4000

①海拔高度超过 1000m 时,表中序号 3 的数值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正。序号 4 和序号 7 的数值应相应加上序号 3 的修正值。

\* 表中 35kV 时数值系按 GB 50060—1992 补充。

表 6-10 变压器外廊与变压器室  
墙壁和门的最小净距 (mm)

(据 GB 50053—1994 和 JGJ/T 16—1992)

序号	项 目	变压器容量 (kVA)	
		100~1000	1250 及以上
1	可燃油浸变压器外廊与后壁、侧壁净距	600	800
2	可燃油浸变压器外廊与门的净距	800	1000
3	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与后壁、侧壁净距	600	800
4	干式变压器有金属网状遮栏与后壁、侧壁净距	600	800
5	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与门净距	800	1000
6	干式变压器有金属网状遮栏与门净距	800	1000

注 1. 序号 1、2 为 GB 50053—1994 规定; 序号 3~6 为 JGJ/T 16—1992 规定,但其“条文说明”中指出,这些净距“尚须实践中总结、验证”。

2. 表中各值不适于制造厂的成套产品。

3. 设置于变电所内的非封闭式干式变压器,应装设高度不低于 1.7m 的固定遮栏,遮栏网孔不应大于 40mm×40mm,变压器外廊与遮栏的净距不宜小于 0.6m,变压器之间净距不应小于 1m。

表 6-11 露天或半露天变电所的变压器  
围栏及有关距离 (据 GB 50053—1994)

序号	项 目	最小尺寸 (mm)
1	变压器四周应设固定围栏(墙)高度	1700
2	变压器外廓与围栏(墙)的净距	800
3	变压器底部距地面高度	300
4	相邻变压器外廓之间的净距	1500

表 6-12 高压配电室内各种通道最小宽度 (mm)  
(据 GB 50053—1994)

序号	开关柜布置方式	柜后维护通道	柜前操作通道	
			固定式	手车式
1	单排布置	800	1500	单车长度+1200
2	双排面对面布置	800	2000	双车长度+900
3	双排背对背布置	1000	1500	单车长度+1200

注 1. 固定式开关柜为靠墙布置时,柜后与墙的净距应大于 50mm,侧面与墙的净距应大于 200mm。

2. 通道宽度在建筑物的墙面遇有柱类局部凸出时,凸出部位的通道宽度可减少 20mm。

表 6-13 低压配电室内各种通道的最小宽度  
(mm) (据 GB 50053—1994)

序号	配电屏型式	配电屏布置方式	屏前通道	屏后通道
1	固定式	单排布置	1500	1000
2		双排面对面布置	2000	1000
3		双排背对背布置	1500	1500
4	抽屉式	单排布置	1800	1000
5		双排面对面布置	2300	1000
6		双排背对背布置	1800	1000

注 当建筑物墙面遇有柱类局部凸出时,凸出部位的通道宽度可减少 200mm。

### 第三节 变电所主变压器的选择

#### 一、变压器的实际容量与过负荷能力

如表 6-14 所示。

表 6-14 变压器的实际容量与过负荷能力

序号	项 目	说 明												
1	变压器实际容量(出力)的计算													
1.1	户外变压器的容量计算	<p>设变压器安装地点的年平均气温 <math>\theta_{0.av} \neq 20^\circ</math>, 则 <math>\theta_{0.av}</math> 每升高 <math>1^\circ\text{C}</math>, 变压器出力应减少 1%, 因此变压器的实际出力为:</p> $S_T = K_\theta S_{N.T} = \left(1 - \frac{\theta_{0.av} - 20}{100}\right) S_{N.T}$ <p>式中 <math>S_{N.T}</math> 为变压器额定容量; <math>K_\theta</math> 为户外变压器容量的温度校正系数</p>												
1.2	户内变压器的容量计算	<p>由于变压器室内温度较户外温度可高 <math>8^\circ\text{C}</math> 左右, 因此户内变压器的实际出力要比户外变压器的实际出力又要减少 8%, 即户内变压器的实际出力为:</p> $S'_T = K'_\theta S_{N.T} = \left(0.92 - \frac{\theta_{0.av} - 20}{100}\right) S_{N.T}$ <p>式中 <math>K'_\theta</math> 为户内变压器容量的温度校正系数</p>												
2	变压器的正常过负荷能力													
2.1	由于昼夜负荷不均匀而考虑的过负荷	<p>根据日负荷率 <math>\beta</math> 和最大负荷持续时间 <math>t</math> 去查右图所示曲线, 得其允许过负荷系数 <math>K_{OL(1)}</math></p>												
2.2	由于季节性欠负荷而考虑的过负荷	<p>设在一年中某季节(例如夏季)变压器处于欠负荷下运行, 则该季节的最大负荷 <math>S_{30}</math> 每低变压器额定容量 <math>S_{N.T}</math> 1%, 可在另一季节(例如冬季)可过负荷 1%, 但此项过负荷不得超过 15%, 即允许过负荷系数为:</p> $K_{OL(2)} = 1 + \frac{S_{N.T} - S_{30}}{S_{N.T}} \leq 1.15$												
2.3	变压器的正常过负荷能力	<p>总的过负荷系数为:</p> $K_{OL} = K_{OL(1)} + K_{OL(2)} - 1$ <p>总的正常过负荷能力为:</p> <p>① 户外变压器 <math>S_{T(OL)} = K_{OL} S_{N.T} \leq 1.3 S_{N.T}</math>; ② 户内变压器 <math>S_{T(OL)} = K_{OL} S_{N.T} \leq 1.2 S_{N.T}</math></p>												
3	变压器事故过负荷能力													
3.1	油浸变压器	<table border="1"> <tr> <td>事故过负荷 (%)</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>75</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>允许运行时间 (min)</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>45</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> </table>	事故过负荷 (%)	30	45	60	75	100	允许运行时间 (min)	120	80	45	20	10
事故过负荷 (%)	30	45	60	75	100									
允许运行时间 (min)	120	80	45	20	10									

续表

序号	项 目	说 明					
3.2	干式变压器	事故过负荷 (%)	20	30	40	50	60
		允许运行时间 (min)	60	45	32	18	5

## 二、变电所主变压器台数、容量及联结组别的选择

如表 6-15 所示。

表 6-15 变电所主变压器台数、容量及联结组别的选择

序号	项 目	说 明
1	变压器主变压器台数的选择	
1.1	根据负荷性质选择	当变电所有大量一、二级负荷时, 宜装设两台主变压器, 但变电所如能另外取得足够容量的备用电源时, 亦可只装设一台主变压器
1.2	考虑经济运行方式	当季节性负荷变化较大, 宜于采取经济运行方式时, 可装设两台主变压器
1.3	对三级负荷的考虑	三级负荷变电所一般只装一台主变压器, 但集中负荷较大时, 可装设两台主变压器
1.4	考虑今后发展	根据负荷发展远景, 可以当前只用一台主变压器, 但变电所按以后装设两台主变压器来设计
2	变电所主变压器容量的选择	
2.1	只装一台主变压器时	主变压器容量 $S_T$ (设计时可近似地认为是其额定容量 $S_{N.T}$ ) 应满足变电所所供全部用电设备计算负荷 $S_{30}$ 的需要, 即 $S_T \geq S_{30}$
2.2	装有两台主变压器时	装有两台主变压器的变电所, 每台主变压器的容量应满足至少 60% 全部负荷 $S_{30}$ 的需要, 并应满足全部一、二级负荷 $S_{30(1+2)}$ 的需要, 即 (1) $S_T \geq 0.6 S_{30}$ (2) $S_T \geq S_{30(1+2)}$
3	配电变压器联结组别的选择	
3.1	宜于选用 Dyn11 联结组别	<p>(1) 由单相负荷引起三相四线制系统中性线电流超过变压器低压绕组额定电流 25% 时</p> <p>(2) 供电系统中存在较大时“谐波源”, 3 次及以上高次谐波电流比较突出时</p> <p>(3) 需要增大单相短路电流值, 以确保低压单相接地短路保护的灵敏度时</p> <p>[编者注] 低压单相接地短路保护的灵敏度, 取决于单相短路电流值的大小, Dyn11 联结的变压器零序电抗远小于 Yyn0 联结的变压器, 因此 Dyn11 联结的变压器的单相接地短路电流远比 Yyn0 联结的变压器的大, 从而可提高单相接地短路保护的灵敏度</p>

续表

序号	项目	说明
3.2	宜于选用 Yyn0 联结组别	(1)三相负荷基本平衡,其低压中性线电流不致超过低压绕组额定电流 25%时 (2)供电系统中高次谐波电流不突出时 (3)低压单相接地短路保护的灵敏度达到要求时
3.3	宜于选用 Yzn11 联结组别	在多雷区及易遭雷击的土壤电阻率较高的山区宜于采用 Yzn11 联结的防雷变压器 注:多雷区的划分标准参看表 7-23 序号 2.2; Yzn11 联结变压器的防雷性能说明参看表 4-10 序号 3

### 第四节 供配电线路的接线及其结构与敷设

#### 一、高低压配电线路的接线方式

(1) 高压配电线路的接线方式。如表 6-16 所示。

表 6-16 高压配电线路的接线方式

序号	类别	接线图	说明	序号	类别	接线图	说明
1 放射式线路							
1.1	单放射式		(1)各用户由单独线路供电 (2)各线路互不影响,可靠性高 (3)高压设备多,投资大 (4)适于供较重要的和容量较大的负荷	2.2	单树干式(电缆)		多个用户由一条公用干线供电,但此干线由多段电缆组成,各段电缆两端装有隔离开关,因此当干线中某一段故障或检修时,干线上的用户供电中断,但其前边的用户在断开隔离开关后可迅速恢复供电。其余同序号 2.1
1.2	有公共备用线的放射式		(1)增设公共备用线路,进一步提高了供电可靠性 (2)相应地增加了开关设备和导线材料的消耗量,进一步增大了投资	2.3	有公共备用线的树干式		(1)增设公共备用线可提高供电可靠性 (2)相应地增加了开关设备和导线材料消耗量,增加了投资
1.3	利用低压联络线作备用的放射式		(1)利用低压联络线作备用的方式比较经济灵活,除了提高供电可靠性外,还可实现变压器的经济运行,轻负荷时可切除,由联络线供电 (2)在工矿企业中应用较广	2.4	单侧供电双树干式		(1)可进一步提高供电可靠性,可供二级负荷 (2)投资相应增加
1.4	双电源的放射式		(1)供电可靠性更高,可供一、二级重要负荷 (2)投资相应增大	2 树干式线路			
2.1	单树干式(架空线)		(1)多个用户由一条公用干线供电 (2)各个用户之间互有影响,当干线故障或检修时,所有用户供电中断,因此可靠性不高 (3)高压开关设备和导线材料耗用少,投资节省 (4)适于负荷容量较小,不重要的用户供电	2.5	双侧供电双树干式		(1)与单侧供电双树干式相比,供电可靠性又有提高,主要用于二级负荷。当供电电源足够可靠时,亦可供一级负荷 (2)投资不一定比单侧供电双树干式增加很多,关键在于要具有双电源供电的条件
3 环形接线							

续表

序号	类别	接线图	说明	序号	类别	接线图	说明
3.1	单侧供电环形		<p>(1) 一般是双电源同时工作, 开环运行; 也可以一用一备, 闭环运行</p> <p>(2) 供电可靠性较高。线路检修时可以切换电源; 故障时可以切除故障线段, 缩短停电时间。可供二级负荷</p> <p>(3) 继电保护比较复杂, 整定配合也较困难</p> <p>(4) 通常采用以负荷开关为主开关的高压环网柜组成, 特别广泛地应用于现代城市电网</p>	3.2	双侧供电环形		<p>(1) 这种接线实际上就是双侧供电树干式接线。通常也采用以负荷开关为主开关的高压环网柜, 供电可靠性也较高, 可供二级负荷</p> <p>(2) 运行方式可以是一侧供电、另一侧备用, 也可以是在线路中间负荷分界处断开, 两侧同时供电, 互为备用</p>

(2) 低压配电线路的接线方式。如表 6-17 所示。

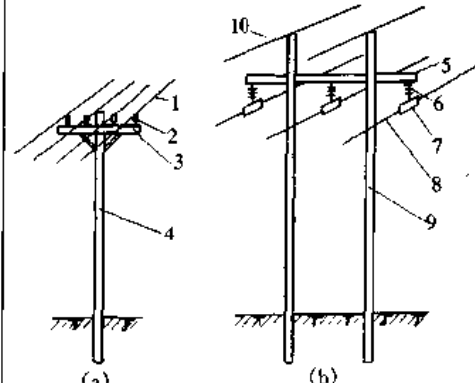
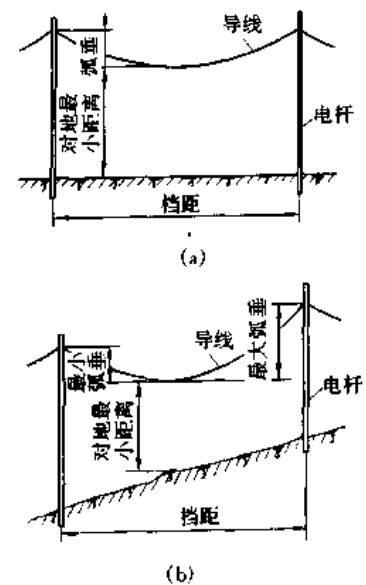
表 6-17 低压配电线路的接线方式

序号	类别	接线图	说明	序号	类别	接线图	说明
1	放射式接线		<p>(1) 配电线路互不影响, 供电可靠性较高, 但配电设备和导线材料耗用较多, 且运行不够灵活</p> <p>(2) 主要用于容量大、负荷集中或重要的用电设备, 或者需要集中联锁启动、停车的用电设备</p>	4	变压器干线式接线		<p>(1) 它除了具有树干式接线的优点外, 其接线更简单, 更能减少低压配电设备</p> <p>(2) 为了提高母线的供电可靠性, 应当适当减少接出的分支回路数, 一般不宜超过 10 条</p> <p>(3) 不适用于频繁启动、容量较大的冲击负荷及对电压质量要求严格的用电设备</p>
2	树干式接线		<p>(1) 配电设备和导线材料耗用较少, 运行灵活性好, 特别是采用封闭式母线槽时; 但干线故障时影响范围大, 供电可靠性较低</p> <p>(2) 一般用于用电设备容量不很大、布置较均匀的场所, 例如对机械加工车间的中小机床设备供电以及对照明灯具供电等, 均采用树干式接线</p>	5	环形接线		<p>(1) 供电可靠性较高, 任一段线路故障均不致造成停电, 或只短时停电</p> <p>(2) 保护装置及其整定配合比较复杂</p> <p>(3) 一般采用“开口”运行方式</p>
3	链式接线		<p>它实质上是一种树干式接线, 适用范围与树干式相似, 但链式相连的用电设备一般不宜多于 5 台, 链式相连的配电箱不宜多于 3 台, 且总容量不宜超过 10kW</p>	6	采用柴油发电机组作备用电源的接线		<p>(1) 一般以 6~10kV 专用架空线为主电源, 以快速启动型柴油发电机组为备用电源</p> <p>(2) 适用于从公用电网取得第二个电源有困难或取得不经济合理的重要负荷</p> <p>(3) 柴油发电机组不得与公用电网并列运行</p>

二、架空线路的结构与敷设

(1) 架空线路的结构。如表 6-18 所示。

表 6-18 架空线路的结构

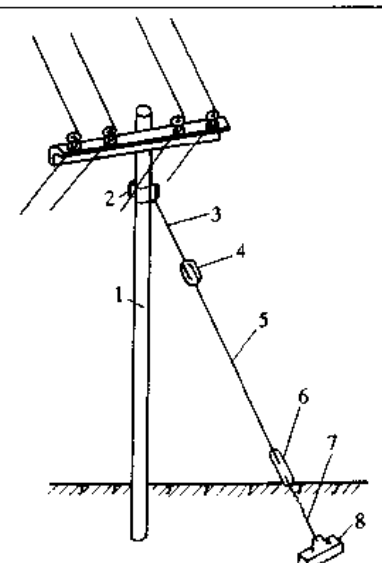
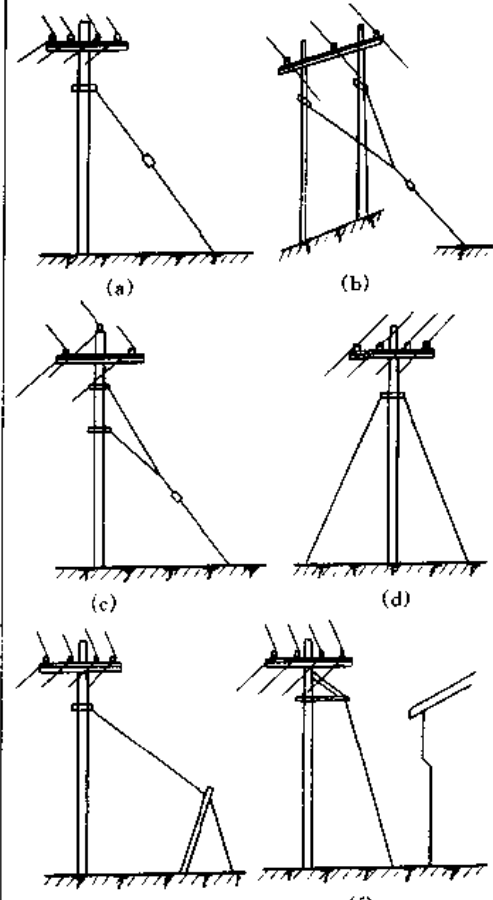
序号	项目	说明
1	架空线路电杆	 <p>(a) 低压电杆; (b) 高压电杆                      1—低压导线; 2—针式绝缘子; 3—横担;                      4—低压电杆; 5—横担; 6—总式绝缘子串;                      7—线夹; 8—高压导线; 9—高压电杆;                      10—避雷线(架空地线)</p>
2	架空线路的档距、弧垂及对地距离	 <p>(a) 平地架空线路; (b) 坡地架空线路</p>
3	架空线路的导线	<p><b>功能</b> 用来输送电力(载流用)</p> <p><b>要求</b> 具有良好的导电性能、足够的机械强度和一定的抗腐蚀性能,力求质轻</p> <p><b>钢绞线</b> 铜的导电性能好(电导率为 53MS/m),机械强度也相当高(抗拉强度约为 380MPa),但铜为较贵重的有色金属,一般情况下不用</p> <p><b>铝绞线</b> 铝的导电性能也较好(电导率为 32MS/m),稍次于铜,且具有质轻、价廉的优点,因此一般架空线路中应优先采用,但其机械强度较差(抗拉强度约为 160MPa)</p>

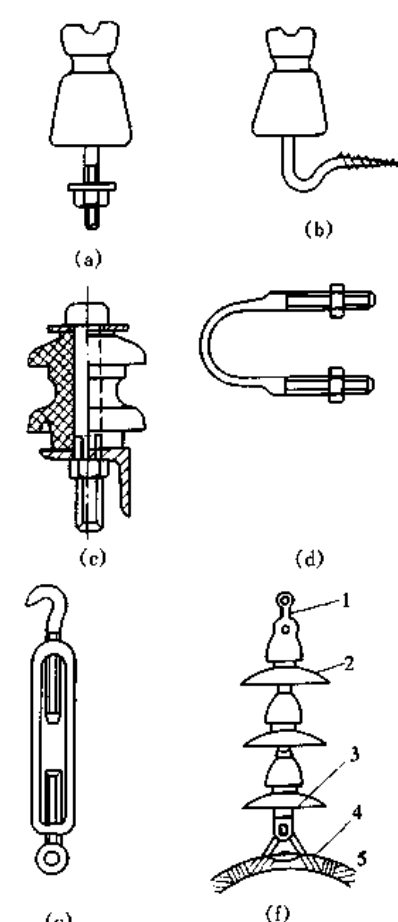
续表

序号	项目	说明
3	钢绞线	钢的机械强度相当高(抗拉强度达 1200MPa),而且价廉,但其导电性能较差(电导率仅为 7.52MS/m),且对交流电流有较大的铁损耗(涡流和磁滞损耗),又在空气中容易锈蚀。因此钢(绞)线一般不作架空电力导线使用,只作架空地线(避雷线)使用,而且钢线必须镀锌,以加强其抗腐蚀性
	钢芯铝(绞)线	其线芯采用钢线;外层为铝线,作为载流部分,因此其机械强度和导电性能均较好,在高压线路上应用很广泛,特别是要求机械强度较高的场合
	绝缘铝绞线	市区和企业内的 10kV 及以下架空线路,当安全距离难以满足要求、邻近高层建筑及在繁华街道或人口密集地区、空气严重污秽地段和建筑施工现场,可采用绝缘铝绞线(据 GB 50061—1997 规定)
4	功能	用来架设导线,有的还架设架空地线
	要求	有足够的机械强度,经久耐用,且便于搬运和安装
	木杆	便于加工和搬运,但易腐朽,使用寿命短,而且木材为重要的建材,特别是为了保护森林资源,国家严格控制砍伐量,因此现基本上不再用作电杆
4	钢筋混凝土电杆(水泥杆)	经久耐用,不易腐蚀,维护简单,而且成本较低廉,可节约大量的木材和钢材,是高低压架空线路中应用最广的一种电杆
	铁塔	经久耐用,但需定期涂漆防锈,维护费用较高,而且要耗用大量钢材,所以只宜在 110kV 以上线路中应用
5	功能	用来安装绝缘子以架设导线,并使不同相的导线之间保持一定的间距
	要求	有足够的机械强度,且便于安装
	木横担	加工容易,具有较好的绝缘性能,但易腐朽,且木材应大力节约,因此现少用
	铁横担	具有很好的机械强度,但需定期涂漆防锈,现应用较广
	瓷横担	具有良好的绝缘性能,兼有横担和绝缘子的作用,在 10kV 及以下高压架空线路中广泛使用
6	功能	用来平衡电杆各方面的作用力,以防电杆倒塌。终端杆、转角杆及分段杆等往往都装有拉线
	要求	具有足够的机械强度,并要求确实拉紧;为防止架空线路对拉线的感应电压,特别是防止架空线路断线故障时使拉线带上电压而造成触电的危险,在拉线中应安装拉线绝缘子,以将拉线的腰把、底把与靠近架空线路的上把进行电气绝缘

续表

续表

序号	项目	说明
	结构	 <p>1--电杆; 2--拉线抱箍; 3--拉线上把; 4--拉线绝缘子; 5--拉线腰把; 6--花篮螺丝(拉紧用); 7--拉线底把; 8--拉线底盘</p>
6	架空线路的拉线	 <p>(a) 普通拉线; (b) Y型水平拉线; (c) Y型垂直拉线; (d) 人字拉线; (e) 高杆拉线; (f) 自身拉线</p>
	类型	

序号	项目	说明
7	架空线路的绝缘子	<p>功能 用来将导线固定在电杆上, 并使导线与电杆绝缘</p> <p>要求 具有与线路电压相适应的电气绝缘强度, 且具有足够的机械强度</p> <p>类别 按电压分, 有低压绝缘子和高压绝缘子; 按用途分, 有电器绝缘子、装置绝缘子和线路绝缘子等。其中线路绝缘子, 有针式绝缘子、蝴蝶式绝缘子、悬式绝缘子及瓷横担等等</p>
8	架空线路的金属附件	<p>功能 用来连接导线, 安装横担、拉线及绝缘子等的金属附件</p> <p>要求 具有一定的机械强度, 符合安装的技术要求</p> <p>类别 有安装针式绝缘子的直脚(图a)和弯脚(图b), 安装蝴蝶式绝缘子的穿芯螺栓(图c), 将横担固定在电杆上的U形抱箍(图d), 调节拉线松紧的花篮螺丝(图e)以及悬式绝缘子上的挂环(图f中1)、线夹(图f中4)等</p>
	结构	 <p>(a) 直脚及针式绝缘子; (b) 弯脚及针式绝缘子; (c) 穿芯螺栓及蝴蝶式绝缘子; (d) U形抱箍; (e) 花篮螺丝; (f) 悬式绝缘子串及金具 1--球头挂环; 2--悬式绝缘子; 3--碗头挂环; 4--悬垂线夹; 5--架空导线</p>



续表

序号	项 目	说 明
9	架空线路(避雷线)功能	用来防护架空线路免遭雷击,广泛用于35kV及以上的架空线路上
	要求	具有一定的导电性能,且有足够的机械强度。通常采用截面不小于25mm <sup>2</sup> 的钢绞线

(2) 架空线路敷设的一般要求。如表 6-19 所示。

表 6-19 架空线路敷设的一般要求

序号	项 目	说 明
1	遵循有关规程	为确保架空线路的施工质量,确保线路安全运行,在施工和竣工验收中必须遵循有关规程的规定,例如 GB 50173--1992《电气装置安装工程·35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》等
2	合理选择路径	①路径要短,转角要少;②交通运输方便,便于施工架线和维护;③尽量避开河洼和雨水冲刷地带及易燃、易爆等危险场所;④不应引起行人、交通及机耕等困难;⑤应与建筑物保持一定的安全距离;⑥应与企业及城镇的建设规划协调配合,并适当考虑今后的发展
3	保证安全距离	应按有关规程的规定,保证架空线路对地及其他设施的安全距离,其中主要的要求如表 6-20 所示。

(3) 架空线路档距及与地、与其他设施距离的要求。如表 6-20 所示。

表 6-20 架空线路档距及与地、与其他设施距离的要求(据 GB 50061--1997)

序号	项 目	条 件	线路电压		
			3kV 及以下	3~10kV	35kV
1	架空线路的档距(m)	市 区	40~50	40~50	—
		郊 区	40~60	50~100	—
2	架空线路导线与地面的最小距离(m)	人口密集地区	6.0	6.5	7.0
		人口稀少地区	5.0	5.5	6.0
		交通困难地区	4.0	4.5	5.0
3	导线与山坡、峭壁、岩石间的最小距离(m)	步行可到达的山坡	3.0	4.5	5.0
		步行不能到达的山坡、峭壁、岩石	1.0	1.5	3.0
4	导线与建筑物间的最小垂直距离(m)	在最大计算弧垂情况下	2.5	3.0	4.0
5	边导线与建筑物间的最小水平距离(m)	在无风偏情况下	1.0	1.5	3.0

续表

序号	项 目	条 件	线路电压		
			3kV 及以下	3~10kV	35kV
6	导线与树木之间的最小垂直距离(m)	考虑树木自然生长高度	3.0	3.0	4.0
7	导线与公园、绿化区或防护林带的树木之间的最小距离(m)	在最大计算风偏情况下	3.0	3.0	3.5
8	导线与果树、经济作物或城市绿化灌木之间最小垂直距离(m)	在最大计算弧垂情况下	1.5	1.5	3.0
9	导线与街道行道树之间的最小距离(m)	最大计算弧垂情况下的垂直距离	1.0	1.5	3.0
		最大计算风偏情况下的水平距离	1.0	2.0	3.5
10	导线至铁路的最小垂直距离(m)	至标准轨顶	7.5	7.5	7.5
		至窄轨轨顶	6.0	6.0	7.5
		至承力索或接触线	—	—	3.0
11	架空线路杆塔外缘至铁路轨道中心最小水平距离(m)	线路与铁路交叉	5	5	30
		线路与铁路平行	最高杆塔高加 3m		
12	架空线路至公路路面最小垂直距离(m)	—	6.0	7.0	7.0
13	架空线路杆塔外缘至公路路基边缘的最小水平距离(m)	开阔地区	0.5	0.5	交叉: 8.0 平行: 最高杆塔高
		路径受限制地区	0.5	0.5	5.0
		市区内	0.5	0.5	0.5
14	架空线路至电车道的最小垂直距离(m)	至路面	9.0	9.0	10.0
		至承力杆或接触线	3.0	3.0	3.0
15	架空线路杆塔外缘至电车道路基边缘的最小水平距离(m)	开阔地区	0.5	0.5	交叉: 8.0 平行: 最高杆塔高
		路径受限制地区	0.5	0.5	5.0
16	架空线路至通航河流的最小垂直距离(m)	至常年高水位	6.0	6.0	6.0
		至最高航行水位的最高船桅顶	1.0	1.5	2.0
17	架空线路至不通航河流的最小垂直距离(m)	至最高洪水位	3.0	3.0	3.0
		冬季至冰面	5.0	5.0	6.0

续表

续表

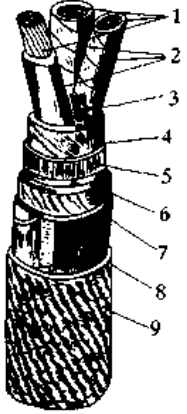
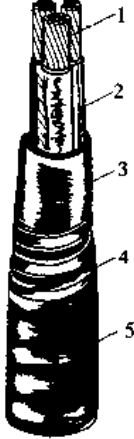
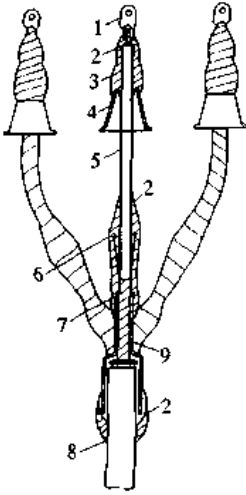
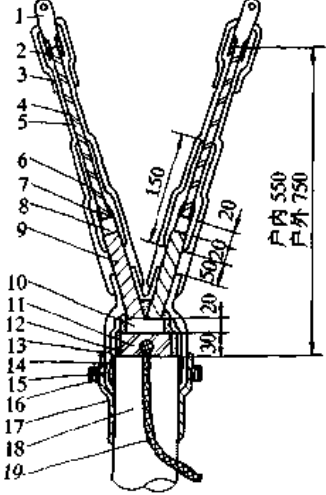
序号	项 目	条 件	线路电压		
			3kV 及以下	3~10kV	35kV
18	架空线路至被跨越弱电线路的最小垂直距离 (m)	至被跨越线	1.0	2.0	3.0
19	架空线路至被跨越电力线路的最小垂直距离 (m)	至被跨越线	1.0	2.0	3.0

序号	项 目	条 件	线路电压		
			3kV 及以下	3~10kV	35kV
20	架空线路至管道的最小垂直距离 (m)	至特殊管道	1.5	3.0	4.0
		至一般管道、索道	1.5	2.0	3.0

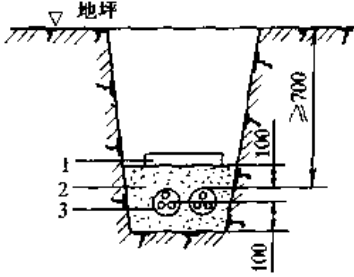
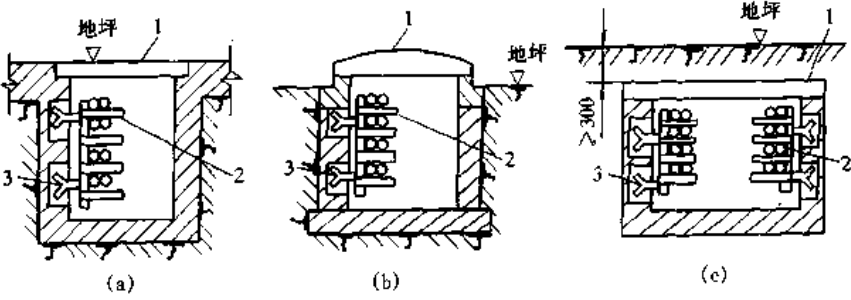
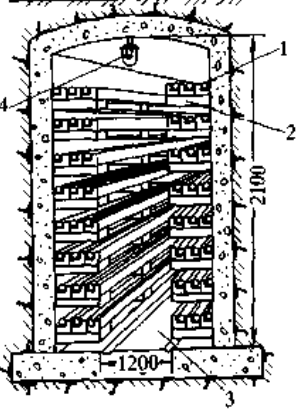
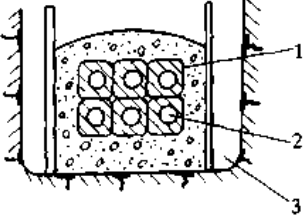
### 三、电缆线路的结构与敷设

(1) 电缆线路的结构。如表 6-21 所示。

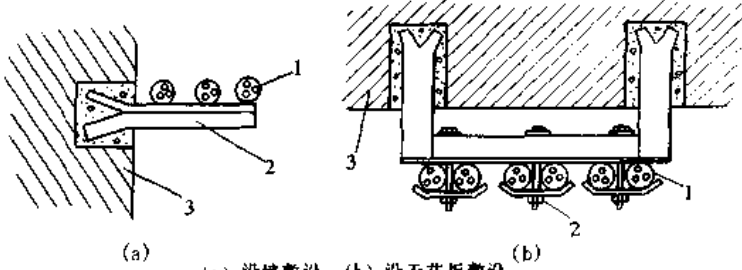
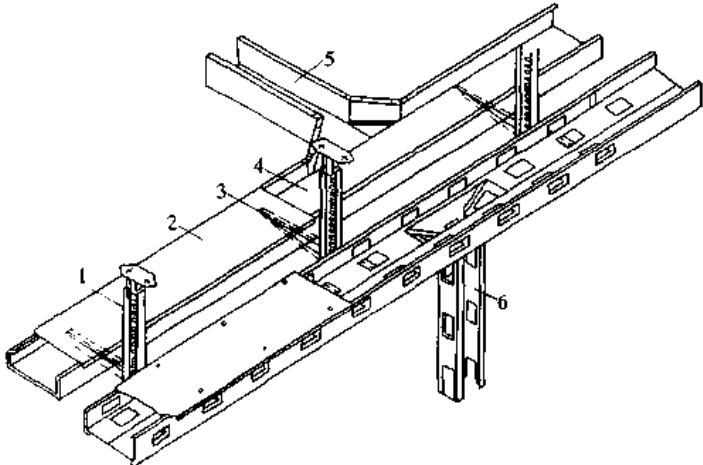
表 6-21 电缆线路的结构

序号	项 目	说 明
1	电力电缆的类型	<p>①按缆芯材质分,有铜芯和铝芯两大类;②按绝缘介质分,有油浸纸绝缘的和塑料绝缘的两大类。塑料绝缘电缆又有聚氯乙烯绝缘及护套电缆和交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆两种。油浸纸绝缘电缆具有耐压强度高、耐热性能好和使用寿命较长等优点,但它工作时其中的浸渍油会流动,因此不适于两端安装高度差较大的场所。塑料绝缘电缆具有结构简单、制造成本较低、不受敷设高度差的限制及能耐酸碱腐蚀等优点,特别是交联聚乙烯绝缘电缆,其电气性能更优异,因此应用越来越广泛</p>
2	电力电缆的结构示例	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>油浸纸绝缘电力电缆</b></p> <p>1—缆芯(铜芯或铝芯); 2—油浸纸绝缘层; 3—填料(麻筋); 4—油浸纸绕包绝缘; 5—铅包; 6—涂沥青的纸带(内护层); 7—浸沥青的麻被(内护层); 8—铜铠(外护层); 9—麻被(外护层)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>交联聚乙烯绝缘电力电缆</b></p> <p>1—缆芯(铜芯或铝芯); 2—交联聚乙烯绝缘层; 3—聚氯乙烯护套(内护层); 4—铜铠或铝铠(外护层); 5—聚氯乙烯外套(外护层)</p> </div> </div>
3	电力电缆头的类型	<p>①电缆头按使用场所分,有户内电缆头和户外电缆头;②按用途分,有中接头和终端头;③按使用的绝缘材料或充填材料分,有充填电缆胶的、环氧树脂浇注的、罐包式的和热缩材料的等。由于热缩材料的电缆头具有施工简便、价廉和性能良好等优点而在电缆工程中得到了推广应用</p>
4	电缆终端头示例	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>交联聚乙烯电缆罐包式户外终端头</b></p> <p>1—接线端子; 2—自粘性橡胶带; 3—两层半搭接塑料胶粘带; 4—防雨罩(户外用); 5—电缆线芯绝缘; 6—软铅丝屏蔽环; 7—电缆屏蔽层; 8—接地铜线; 9—三芯分叉手套</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>交联聚乙烯电缆热缩终端头</b></p> <p>1—接线端子; 2—密封胶; 3—热缩密封管; 4—热缩绝缘管; 5—缆芯绝缘; 6—热缩应力控制管; 7—应力硫磺散; 8—半导体层; 9—铜屏蔽层; 10—内护层; 11—铜铠; 12—填充胶; 13—热缩环; 14—密封胶; 15—热缩三芯手套; 16—喉箍; 17—热缩密封套; 18—外护套; 19—铜铠接地线</p> <p>(注:铜屏蔽接地线在后侧。户外电缆头每相套入热缩伞裙)</p> </div> </div>

续表

序号	项目	说明
5		电力电缆沟道结构
5.1	直埋电缆的壕沟	 <p>1—保护板；2—细砂；3—电缆</p>
5.2	电缆沟	 <p>(a) 户内电缆沟；(b) 户外电缆沟；(c) 厂区电缆沟 1—盖板；2—电缆支架；3—预埋铁件</p>
5.3	电缆隧道	 <p>1—电缆；2—电缆支架；3—维护走廊；4—灯具</p>
5.4	电缆排管	 <p>1—水泥排管；2—电缆孔（穿电缆）；3—电缆沟</p>

续表

序号	项目	说明
5.5	沿墙和天花板安装的电缆支架	 <p>(a) 沿墙敷设; (b) 沿天花板敷设 1—电缆; 2—角铁支架; 3—墙或天花板</p>
5.6	电缆桥架	 <p>1—支架; 2—盖板; 3—支臂; 4—线槽(内置电缆); 5—水平分支线槽; 6—垂直分支线槽</p>

(2) 电缆敷设的一般要求。如表 6-22 所示。

表 6-22 电缆敷设的一般要求<sup>[2]</sup>

序号	项目	说明
1	遵循有关规程	在电缆线路的施工和竣工验收中应遵循有关规程的规定,其中重要的规程有 GB50217-1994《电力工程电缆设计规范》和 GB50168-1992《电气装置安装工程·电缆线路施工及验收规范》
2	电缆线路选择原则	(1) 避免电缆遭受机械性外力、过热、腐蚀等危害 (2) 满足安全要求条件下使电缆较短 (3) 便于敷设、维护 (4) 避开将要挖掘施工的地方 (5) 充油电缆线路通过起伏地形时,使供油装置较合理地配置
3	电缆敷设方式的选择原则	电缆线路敷设方式的选择,应视工程条件、环境特点和电缆类型、数量等因素,且按满足运行可靠、便于维护的要求和技术经济合理的原则来选择
4	电缆直埋敷设方式的选择	(1) 同一通路少于 6 根的 35kV 及以下电力电缆,在厂区通往远距离辅助设施或城郊等不易有经常性开挖的地段,宜用直埋;在城镇人行道下较易翻修地段或道路边缘,也可用直埋 (2) 厂区内地下管网较多的地段,可能有熔化金属、高温液体溢出的场所,待开发将有较频繁开挖的地方,不宜用直埋 (3) 在化学腐蚀或有杂散电流腐蚀的土壤范围,不得采用直埋

续表

序号	项目	说明
5	电缆穿管敷设方式的选择	(1) 在有爆炸危险场所明敷的电缆,露出地坪上需加以保护的电缆,地下电缆与公路、铁道交叉时,应采用穿管 (2) 地下电缆通过房屋、广场的区段,电缆敷设在规划将作为道路的地段,宜用穿管 (3) 在地下管网较密的工厂区、城市道路狭窄且交通繁忙或道路挖掘困难的通道等电缆数量较多的情况下,可用穿管敷设
6	电缆沟敷设方式的选择	(1) 有化学腐蚀性液体或高温熔化金属溢流的场所,或在载重车辆频繁经过的地段,不得用电缆沟 (2) 经常有工业水溢流、可燃粉尘弥漫的厂房内,不宜用电缆沟 (3) 在厂区、建筑物内地下电缆数量较多但不需采用隧道时,城镇人行道开挖不便且电缆需分期敷设时,又不属于上述(1)、(2)情况下,宜用电缆沟 (4) 有防爆、防火要求的明敷电缆,应采用埋砂敷设的电缆沟
7	电缆隧道敷设方式的选择	(1) 同一通道的地下电缆数量众多,电缆沟不足以容纳时应采用隧道 (2) 同一通道的地下电缆数量众多,且位于有腐蚀性液体或经常有地面水流溢的场所,或含有 35kV 以上高压电缆,或穿越公路、铁道等地段,宜用隧道 (3) 受城镇地下通道条件限制或交通流量较大的道路下,与较多电缆沿同一路经有非高温的水、气和通信电缆管线共同配置时,可在公用性隧道中敷设电缆

续表

续表

序号	项 目	说 明															
8	其他敷设的方式	<p>(1)垂直敷设,垂直走向的电缆,宜沿墙、柱敷设;当电缆数量较多,或含有35kV以上高压电缆时,应采用竖井</p> <p>(2)电缆夹层敷设:在控制室、继电保护室等有多根电缆汇聚的下部,应设有电缆夹层。电缆数量较少的情况,也可采用有活动盖板的电缆层</p> <p>(3)架空敷设:在地下水水位较高的地方,化学腐蚀液体溢流的场所,厂房内应采用支持式架空敷设;建筑物或厂区不适于地下敷设时,可用架空敷设。明敷又不宜用支持式架空敷设的地方,可采用悬挂式架空敷设</p> <p>(4)水下敷设:通过河流、水库的电缆,没有条件利用桥梁、堤坝敷设时,可采取水下敷设</p>															
9	电缆同多架配置的要求	<p>(1)应按电压等级由高至低的电力电缆、强电至弱电的控制和信号电缆、通信电缆的顺序排列。当水平通道中含有35kV以上高压电缆,或为满足引入柜盘的电缆符合允许弯曲半径要求时,宜按“由下而上”的顺序排列。在同一工程中或电缆通道延伸于不同工程的情况,均应按相同的上下排列顺序原则来配置</p> <p>(2)支架层数受空间限制时,35kV及以下的相邻电压级电力电缆,可排列于同一层支架,1kV及以下电力电缆也可与强电控制和信号电缆配置在同一层支架上</p> <p>(3)同一回路的工作与备用电缆需实行耐火分隔时,宜适当配置在不同层次的支架上</p>															
10	同一层支架上电缆排列配置的要求	<p>(1)控制和信号电缆可紧靠或多层迭置</p> <p>(2)除交流系统用单芯电力电缆的同一回路可采取品字形(三叶形)配置外,对重要的同一回路多根电力电缆,不宜迭置</p> <p>(3)除交流系统用单芯电缆情况外,电力电缆相互间宜有35mm空隙</p>															
11	明敷电缆与管道的要求	<p>(1)明敷电缆不宜平行敷设于热力管道上部</p> <p>(2)电缆与管道之间无隔板防护时,相互间允许距离应符合附表的规定:</p> <table border="1"> <caption>附表 电缆与管道相互间允许距离(mm)</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">电缆与管道之间走向</th> <th colspan="2">电力电缆</th> <th>控制和信号电缆</th> </tr> <tr> <th>平 行</th> <th>交 叉</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>热力管道</td> <td>1000</td> <td>500</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>其他管道</td> <td>150</td> <td>250</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	电缆与管道之间走向	电力电缆		控制和信号电缆	平 行	交 叉		热力管道	1000	500	500	其他管道	150	250	100
电缆与管道之间走向	电力电缆			控制和信号电缆													
	平 行	交 叉															
热力管道	1000	500	500														
其他管道	150	250	100														
12	爆炸危险场所电缆的要求	<p>(1)在可能范围应使电缆距爆炸释放源较远,敷设在爆炸危险较小的场所,并应符合下列规定:</p> <p>1)易燃气体比空气重时,电缆应在较高处架空敷设,且对非铠装电缆采取穿管或置于托盘、槽盒中等机械性保护;</p> <p>2)易燃气体比空气轻时,电缆应敷设在较低处的管、沟内,沟内非铠装电缆应埋砂</p> <p>(2)电缆沿输送易燃气体的管道敷设时,应配置在危险程度较低的管道一侧,且应符合下列规定:</p> <p>1)易燃气体比空气重时,电缆宜在管道上方;</p> <p>2)易燃气体比空气轻时,电缆宜在管道下方</p> <p>(3)电缆及其管、沟穿过不同区域之间的墙、板孔洞处,应以非燃性材料严密堵塞</p> <p>(4)电缆线路中间不应有接头</p>															

序号	项 目	说 明
13	非铠装电缆加机械保护的要求	<p>非铠装电缆用于下列场所、部位时,应采用具有机械强度的管或罩加以保护:</p> <p>(1)非电气人员经常活动场所的地坪以上2m范围、地中引出的地坪下0.3m深电缆区段</p> <p>(2)可能有载重设备移经电缆上面的区段</p>
14	电缆易于场所防护措施	<p>电缆敷设在有周期性振动的易振场所,应采用能减少电缆承受附加应力或避免金属疲劳断裂的措施,可采取下列方法:</p> <p>(1)在支持电缆部位设置由橡胶等弹性材料制成的衬垫</p> <p>(2)使电缆敷设成波浪状,且留有伸缩节</p>
15	为订货长度计算的长度确定	<p>电缆的订货长度,一般按计算长度计。而其计算长度,应包括实际路径长度与附加长度。附加长度宜计入下列因素:</p> <p>(1)电缆敷设路径地形等高差变化、伸缩节或迂回备用裕量</p> <p>(2)35kV及以上电压电缆蛇形敷设时的弯曲影响增加量</p> <p>(3)终端或接头制作所需剥截电缆的预留段、电缆引至设备或装置所需的长度</p>

注 本表除序号1外,均据GB 50217—1994《电力工程电缆设计规范》。

(3) 电缆敷设的一些具体规定。如表6-23~表6-27所示。

表 6-23 电缆各支持点间的最大距离 (mm) (据 GB 50168—1992)

序号	电 缆 种 类	敷 设 方 式		
		水 平	垂 直	
1	电 力 电 缆	全塑型	400	1000
		除全塑型外的中低压电缆	800	1500
		35kV及以上高压电缆	1500	2000
2	控 制 电 缆	800	1000	

注 全塑型电力电缆水平敷设沿支架能把电缆固定时,支持点间的距离允许为800mm。

表 6-24 电缆的最小弯曲半径 (据 GB 50168—1992)

序号	电 缆 类 型	多 芯	单 芯		
1	控 制 电 缆	10D	—		
2	橡 皮 绝 缘 电 力 电 缆	无铅包、钢铠护套	10D		
		裸铅包护套	15D		
		钢铠护套	20D		
3	聚 氯 乙 烯 绝 缘 电 力 电 缆	10D			
4	交 联 聚 乙 烯 绝 缘 电 力 电 缆	15D	20D		
5	油 浸 纸 绝 缘 电 力 电 缆	铝包 <sup>①</sup>			
		铅 包	有铠装	15D	20D
			无铠装	20D	—

① 此处“铝包”在GB 50168—1992中印为“铅包”,此为编者改。

\* 表中D均表示电缆外径。

表 6-25 粘性油浸纸绝缘铅包电力电缆  
的最大允许敷设位差 (据 GB 50168—1992)

序号	电压 (kV)	电缆护层结构	最大允许敷设位差 (m)
1	1	无铠装	20
		铠装	25
2	6~10	铠装或无铠装	15
3	35	铠装或无铠装	5

表 6-26 直埋电缆之间及直埋电缆与管道、  
道路、建筑物之间的最小净距  
(据 GB 50168—1992) (m)

序号	项 目		平行时	交叉时
	1	电力电缆间及其与控制电缆间	10kV 及以下	0.10
10kV 以上			0.25	0.50
2	控制电缆间		—	0.50
3	不同使用部门的电缆间		0.50	0.50
4	热管道 (管沟) 及热力设备		2.00	0.50
5	油管道 (管沟)		1.00	0.50
6	可燃气体及易燃液体管道 (沟)		1.00	0.50
7	其他管道 (管沟)		0.50	0.50
8	铁路路轨		3.00	1.00
9	电气化铁路路轨	交流	3.00	1.00
		直流	10.00	1.00
10	公路		1.50	1.00
11	城市街道路面		1.00	0.70
12	杆基础 (边线)		1.00	—
13	建筑物基础 (边线)		0.60	—
14	排水沟		1.00	0.50

注 1. 电缆与公路平行时的净距, 当情况特殊时可酌减。  
2. 当电缆穿管或者其他管道有保温层等防护设施时, 表中净距应从管壁或防护设施的外壁算起。

表 6-27 室内及电缆沟或隧道内电缆敷设  
的要求 (据 GB 50054—1995)

序号	项 目	要 求	
		水平敷设时	垂直敷设时
1	无铠装电缆在室内明敷时至地面的最小净距	2.5m	1.8m
		注: (1) 不满足以上要求时, 应有防止机械损伤的措施 (2) 当明敷在配电室、电机室、设备层等专用房间内时, 不受此限制	
2	相同电压的电缆并列明敷时的最小净距	(1) 不应小于 35mm, 且不应小于电缆外径 (2) 当在桥架、托盘和线槽内敷设时, 不受此限制	
		(1) 不应小于 150mm (2) 一般情况下宜分开敷设	
3	1kV 及以下电缆与 1kV 以上电缆并列明敷时的最小净距	(1) 不应小于 150mm (2) 一般情况下宜分开敷设	

续表

序号	项 目	要 求				
		与热力管道	与非热力管道			
4	架空明敷的电缆与管道的最小净距	1.0m	0.5m			
		注: 不能满足上述要求时, 应在与管道接近的电缆段上以及由该段两端向外延伸不小于 0.5m 以内的电缆段上, 采取防止电缆受机械损伤的措施				
5	吊装于钢索上的电缆固定点间的最大间距	电力电缆	控制电缆			
		0.75m	0.60m			
6	电缆穿管敷设时穿管内径与电缆外径之比	不应小于 1.5				
7	电缆桥架水平敷设时离地面的高度	不宜小于 2.5m				
8	电缆在电缆桥架上敷设的间距及填充率 (电缆总截面与桥架横断面面积之比)	电缆之间的间距	可无间距			
		电缆在桥架内面填充率	电力电缆 不大于 40% 控制电缆 不大于 50%			
9	电缆桥架内电缆的固定部位	垂直敷设时	(1) 电缆的上端 (2) 每隔 1.5~2m 处			
		水平敷设时	(1) 电缆的首端和末端 (2) 电缆转弯处 (3) 电缆其他部位每隔 5~10m 处			
10	室内电缆支架上电缆的固定部位	垂直敷设和水平敷设时	(1) 电缆的首端和末端 (2) 电缆与每个支架的接触处			
11	电缆在电缆沟内和隧道内敷设时的最小净距	电 缆 沟		电 缆 隧道		
		沟深 0.6m 及以下	沟深 0.6m 以上			
		两侧支架	0.3m		0.5m	1.0m
		一侧支架	0.3m		0.45m	0.9m
12	电缆沟内或隧道内电缆支架间或固定点间的最大间距	支架层间垂直距离	电力电缆	0.15m	0.15m	0.2m
		控制电缆	0.1m	0.1m	0.12m	
12	塑料护套、铅包、钢带铠装	电力电缆	控制电缆	钢丝铠装		
		水平敷设时	1.0m		0.8m	3.0m
		垂直敷设时	1.5m		1.0m	6.0m
13	电缆沟和隧道的防火设施	(1) 电缆沟进入建筑物处, 应设防火墙 (2) 电缆隧道进入建筑物处及变电所围墙处, 应设带门的防火墙				

续表

序号	项 目	要 求
14	电缆沟和隧道的防水设施	(1) 电缆沟和隧道应采取防水措施, 其底部排水沟的坡度不应小于0.5%, 并应设集水坑 (2) 积水可经集水坑用泵排出; 当有条件时, 积水可直接排入下水道
15	电缆隧道内的净高和通风	(1) 电缆隧道内的净高不应低于1.9m; 局部或与管道交叉处净高不宜小于1.4m (2) 隧道内应采取通风措施, 有条件时宜采用自然通风
16	电缆隧道内的照明	(1) 电缆隧道内应设照明, 其电压不应超过36V (2) 当照明电压超过36V时, 应采取安全措施
17	电缆隧道出口和人孔井	①隧道长度大于7m时, 两端应设出口; ②两个出口间距离超过75m时, 应增加出口; ③人孔井可作为出口, 人孔井直径不应小于0.7m

#### 四、低压配电线路的结构与敷设

如表 6-28 所示。

表 6-28 低压配电线路的结构与敷设  
(据 GB 50054—1995 和 JGJ/T 16—1992 等)

序号	项 目	说 明
1		一 般 规 定
1.1	低压配电线路导线的选择要求	(1) 绝缘导线的型号应按工作电压、敷设方式及使用环境等要求选择 (2) 裸导体的型号应按敷设方式及使用环境等要求选择 注: 低压配电线路中的电缆结构和敷设, 参看表 6-21~表 6-27, 本表不再赘述
1.2	低压配电线路敷设应符合的条件	(1) 符合场所环境的特征 (2) 符合建筑物和构筑物的特征 (3) 考虑人与布线之间可接近的程度 (4) 应满足短路的动稳定和热稳定要求 (5) 应考虑在安装期间及运行中布线可能遭受的其他应力和导线的自重
1.3	低压配电线路敷设应避免的外部环境影响	(1) 应避免由外部热源产生热效应的影响 (2) 应防止在使用过程中因水的侵入或因进入固体物而带来的损害 (3) 应防止外部的机械性损害而带来的影响 (4) 在有大量灰尘的场所, 应避免由于灰尘聚集在布线上所带来的影响 (5) 应避免由于强烈日光辐射而带来的损害
2		绝 缘 导 线 布 线

续表

序号	项 目	说 明				
2.1	直敷布线	适用范围	一般适用于正常环境的室内场所及挑檐下室外场所, 但建筑物顶棚内不得采用			
		采用导线	应采用护套绝缘导线, 其截面不宜大于5mm <sup>2</sup>			
		敷设要求	应采用线卡沿墙壁、顶棚或建筑物构件表面直接敷设。固定点间距不应大于0.3m			
		导线至地面的最小距离	水平敷设时	室内	2.5m	
		室外	2.7m			
		垂直敷设时	室内	1.8m		
			室外	2.7m		
		注: 垂直敷设至地面低于1.8m时, 应穿管保护				
2.2	瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线	适用范围	(1) 瓷夹或塑料夹布线一般适用于正常环境的室内场所及挑檐下的室外场所 (2) 鼓形绝缘子和针式绝缘子布线一般适用于室内、外场所 (3) 建筑物顶棚内, 不得采用瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线			
		室内沿墙、顶棚布线的导线固定点最大间距	布线方式	导线截面	固定点最大间距	
			瓷(塑料)夹布线	1~4mm <sup>2</sup>	0.6m	
				6~10mm <sup>2</sup>	0.8m	
			鼓形绝缘子布线	1~4mm <sup>2</sup>	1.5m	
		6~10mm <sup>2</sup>		2.0m		
				16~25mm <sup>2</sup>	3.0m	
		室内、外布线的导线最小间距	绝缘子类型	固定点间距 l	导线最小间距	
			鼓形绝缘子	l ≤ 1.5m	室内	50mm
					室外	100mm
鼓形或针式绝缘子	1.5m < l ≤ 3m		室内	75mm		
		室外	100mm			
针式绝缘子	3m < l ≤ 6m	室内	100mm			
		室外	150mm			
		6m < l ≤ 10m	150mm	200mm		
明敷在高温辐射或对绝缘有腐蚀的场所时, 导线间及导线至建筑表面的最小净距		导线固定点间距 l	最小净距			
		l ≤ 2m	50 (75) mm			
		2m < l ≤ 4m	100mm			
		4m < l ≤ 6m	150mm			
		l > 6m	200mm			
		注: 加括号数据为 JGJ/T 16—1992 规定				

续表

序号	项 目	说 明									
2.2	瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线	室外布 线导线至 建筑物的 最小间距	布 线 方 式		最小净距						
			水平 敷 设 时 的 垂 直 间 距	在阳台、平台上和 跨越屋顶		2.5m					
				在窗台上	0.2m						
				在窗户下	0.8m						
			垂直敷设时至阳台、窗户的 水平间距			0.6m					
		导线至墙壁和构架的间距 (挑檐下除外)			35mm						
导线至 地面的最 小距离	水平敷设时	室内	2.5m								
		室外	2.7m								
	垂直敷设时	室内	1.8m								
		室外	2.7m								
适用范围	一般适用于无严重腐蚀的室内、外场所,对金属管有严重腐蚀的场所不宜采用										
	金属管要求 (1)明敷或暗敷于干燥场所的金属管布线应采用管壁厚度不小于1.5mm的电线管 (2)直接埋于素土内的金属管布线,应采用水煤气钢管(或焊接钢管)										
	管内导线的填充率要求 (1)三根及以上绝缘导线穿于同一根管时,其总截面积(含导线外护层)不应超过穿线管内截面积的40% (2)两根绝缘导线穿于同一根管时,穿线管内径不应小于两根导线外径之和的1.35倍(立管可取1.25倍)										
穿管的 导线回路 要求	(1)穿金属管的交流线路,应将同一回路的所有相线和中性线穿于同一根管内 (2)不同回路的线路不应穿于同一管内;但下列情况除外: 1)额定电压为50V以下的回路; 2)同一设备或同一流水作业线设备的电力回路及无干扰要求的控制回路; 3)同一照明灯具的几个回路; 4)同类照明的几个回路,但管内绝缘导线总数不应多于6根										
	明敷时 金属管的 固定点最 大间距	金属管内径(mm)									
类别		15~20	25~32	40~50	70~100						
电线管 路与其他 管道同敷 的要求	固定点最大间距(m)										
	钢管	1.5	2.0	2.5	3.5						
	电线管	1.0	1.5	2.0	—						
2.3	金属管 布 线	适用范围 一般适用于室内场所及有酸碱腐蚀性介质的场所,但在易受机械损伤的场所不宜采用明敷方式									
		穿线管要求 应采用难燃型管材,氧指数在27以上									
2.4	塑料管 布 线	敷设要求 (1)硬塑管暗敷或埋地敷设时,引出地(楼)面不低于0.5m的一段管路,应采取防止机械损伤的措施 (2)采用硬塑管布线时,导线在管内的填充率要求与金属管布线相同 (3)不同回路的线路穿硬塑管的要求也与金属管布线相同 (4)硬塑管布线的管路与热水管、蒸汽管同侧敷设时的要求,也与金属管布线相同 (5)硬塑管布线,当管路较长或有弯时,考虑穿管拉线的要求,也与金属管布线相同 (6)硬塑管明敷时固定点的最大间距如下:									
		<table border="1"> <tr> <td>塑管内径(mm)</td> <td>≤20</td> <td>25~40</td> <td>≥50</td> </tr> <tr> <td>最大间距(m)</td> <td>1.0</td> <td>1.5</td> <td>2.0</td> </tr> </table>				塑管内径(mm)	≤20	25~40	≥50	最大间距(m)	1.0
塑管内径(mm)	≤20	25~40	≥50								
最大间距(m)	1.0	1.5	2.0								
2.5	金属线槽 布 线(明敷)	适用范围 一般适用于无严重腐蚀的正常室内场所明敷。具有槽盖的封闭式金属线槽,可在建筑物顶棚内敷设									
		敷设要求 (1)导线或电缆在金属线槽内不宜有接头;但在易于检查的场所,可允许有分支接头,导线、电缆和分支接头的总截面(包括外护层)不应超过该点线槽内截面的75% (2)金属线槽布线,在线路连接、转角、分支及终端处应采用相应的附件									

续表

序号	项 目	说 明			
2.3	金属管 布 线	考虑穿管拉线的要求 金属管布线的管路较长或有弯时,宜适当加装拉线盒。两个拉线点之间的距离应符合以下要求: (1)对无弯的管路,不超过30m (2)两拉线点间有一个弯时,不超过20m (3)两拉线点间有两个弯时,不超过15m (4)两拉线点间有三个弯时,不超过8m 如果加装拉线盒有困难时,可适当加大管径			
		暗敷金属管路的要求 (1)暗敷于地下的管路不宜穿过设备基础 (2)暗敷管路穿过建筑物基础时,应加保护管保护 (3)暗敷管路穿过建筑物伸缩、沉降缝时,应采取保护措施 (4)绝缘导线不宜穿金属管在室外直接埋地敷设。必要时对于次要用电负荷且线路较短(15m以下)的,可穿金属管埋地敷设,但应采取可靠的防水、防腐蚀措施			
2.4	塑料管 布 线	适用范围 一般适用于室内场所及有酸碱腐蚀性介质的场所,但在易受机械损伤的场所不宜采用明敷方式			
		穿线管要求 应采用难燃型管材,氧指数在27以上			
2.5	金属线槽 布 线(明敷)	敷设要求 (1)导线或电缆在金属线槽内不宜有接头;但在易于检查的场所,可允许有分支接头,导线、电缆和分支接头的总截面(包括外护层)不应超过该点线槽内截面的75% (2)金属线槽布线,在线路连接、转角、分支及终端处应采用相应的附件			
		适用范围 一般适用于无严重腐蚀的正常室内场所明敷。具有槽盖的封闭式金属线槽,可在建筑物顶棚内敷设			



续表

序号	项 目	说 明
2.5	金属线槽布线(明敷)	敷设要求
		敷设要求
2.6	地面内暗装金属线槽布线	适用范围
		敷设要求
2.7	塑料线槽布线	适用范围
		敷设要求

续表

序号	项 目	说 明
2.7	塑料线槽布线	敷设要求
		敷设要求
		敷设要求
3	裸导线和母线布线	
3.1	裸导线	适用范围
		裸导体至地面的距离
		裸导体与管道间的敷设要求
		裸导体的最小净距及档距
		起重行车上的裸导体敷设要求
3.2	封闭式母线布线	适用范围
		距地高度

(3) 金属线槽垂直或倾斜敷设时, 应采取措施防止导线、电缆、在线槽内移动

(4) 金属线槽敷设时, 吊点及支持点的距离, 应根据工程具体条件确定, 一般应在下列部位设置吊架或支架:

- 1) 直线段不大于 3m 或线槽接头处;
- 2) 线槽首端、终端及进出接线盒 0.5m 处;
- 3) 线槽转角处

(5) 金属线槽布线, 不得在穿过楼板或墙壁等处进行连接

(6) 同一回路的所有相线和中性线, 应敷设在同一金属线槽内

(7) 同一路径无防干扰要求的线路, 可敷设在同一金属线槽内。线槽内导线或电缆的总截面(包括外护层)不应超过线槽内截面的 20%, 截流导线不宜超过 30 根。控制、信号、线路或与其类似的线路, 导线或电缆的总截面不应超过线槽内截面的 50%, 导线或电缆根数不限

适用于正常环境下大空间且隔间变化多、用电设备移动性大或敷有多种功能线路的场所, 暗敷于现浇混凝土地面、楼板或楼板垫层内

(1) 地面内暗装金属线槽内, 导线或电缆不得有接头, 接头应在分线盒或线槽出线盒内进行

(2) 线槽在交叉、转弯或分支处应设置分线盒; 线槽的直线长度超过 6m 时, 宜加装分线盒

(3) 由配电箱和接线端子箱等设备引至线槽的线路, 宜采用金属管布线方式引入分线盒, 或以终端连接器直接引入线槽

(4) 线槽出口和分线盒不得突出地面, 且应做好防水密封处理

(5) 同一回路的所有导线应敷设在同一线槽内。同一路径无防干扰要求的线路也可敷设在同一线槽内。线槽内导线或电缆的总截面(包括外护层)不应超过线槽内截面的 40%

(6) 强、弱电线路应分槽敷设, 两种线路交叉处应设置屏蔽分线板的分线盒

(7) 地面内暗装金属线槽布线, 在设计时应与土建专业密切配合, 以便根据不同的结构型式和建筑布局, 合理确定线路路径和设备选型

(1) 一般适用于正常环境的室内场所; 在高温和易受机械损伤的场所不宜采用

(2) 弱电线路可采用难燃型带盖塑料线槽在建筑物顶棚内敷设

(1) 导线和电缆在线槽内不得有接头; 分支接头应在接线盒内进行

(2) 塑料线槽敷设时, 槽底固定点间距应根据线槽规格而定, 一般不应大于下列数值:

线槽宽度 (mm)	20~40	60	80~120
固定点最大间距(m)	0.8	1.0	0.8

(3) 塑料线槽布线, 在线路连接、转角、分支及终端处应采用相应附件

(4) 强、弱电路不应同敷于一根线槽内。线槽内导线或电缆的总截面及根数应符合本表序号 2.5 中 (7) 条规定

裸导体布线应用于工业企业厂房; 不得用于低压配电室

(1) 无遮护的裸导体至地面的距离, 一般不应小于 3.5m

(2) 采用防护等级不低于 IP2X 的网孔遮栏时, 不应小于 2.5m。遮栏与裸导体间的净距不应小于 0.1m; 采用板状遮栏时, 其净距不应小于 50mm

(1) 裸导体与需经常维护的管道同侧敷设时, 裸导体应敷设在管道的上面

(2) 裸导体与需经常维护的管道(不包括可燃气体及易燃、可燃液体管道)以及生产设备最凸出部位的净距不应小于 1.8m; 当其净距小于或等于 1.8m 时, 应加遮护

(1) 裸导体的线间及裸导体至建筑物表面的最小净距应符合下表规定:

固定点间距 l	最小净距 (mm)
$l \leq 2m$	50
$2m < l \leq 4m$	100
$4m < l \leq 6m$	150
$l > 6m$	200

(2) 硬裸导线固定点的间距(档距), 应符合在通过最大短路电流时的动稳定要求

(1) 起重行车上方的裸导体至起重行车平台铺板的净距不应小于 2.3m; 当其净距小于 2.3m 时, 起重行车上方或裸导体下方应装设遮护

(2) 除滑触线本身的辅助导线外, 裸导体不宜与起重行车滑触线敷设在同一支架上

适用于干燥和无腐蚀性气体的室内场所

(1) 水平敷设时, 至地面距离不应小于 2.2m

(2) 垂直敷设时, 距地面 1.8m 以下部分应采取防止机械损伤措施; 但在电气专用房间内(如配电室、电机室内)除外

续表

序号	项 目	说 明
3.2	封闭式母线布线的敷设要求	<p>(1) 封闭式母线水平敷设时, 支持点间距不宜大于 2m; 垂直敷设时, 应在通过楼板处采用专用附件支承</p> <p>(2) 垂直敷设的封闭式母线, 当进线盒及末端悬空时, 应采用支架固定</p> <p>(3) 封闭式母线终端无引出、引入线时, 端头应封闭</p> <p>(4) 当封闭式母线直线敷设长度超过制造厂给定的数值时, 宜设置伸缩节。在封闭式母线水平跨越建筑物的伸缩缝或沉降缝处, 也宜采用适当措施</p> <p>(5) 封闭式母线的插接分支点应设在安全及安装维护方便的地方</p> <p>(6) 封闭式母线的连接不应在穿过楼板或墙壁处进行</p> <p>(7) 封闭式母线在穿过防火墙及防火楼板时, 应采取防火隔离措施</p>
4	竖井内布线	
4.1	适用范围	竖井内布线适用于多层和高层建筑物内垂直配电干线的敷设
4.2	竖井位置的选择	<p>竖井的位置和数量应根据建筑物规模、用电负荷性质、供电半径、建筑物的沉降缝设置和防火分区等因素确定</p> <p>选择竖井位置时, 应考虑下列因素:</p> <p>(1) 宜靠近用电负荷中心, 减少干线电缆沟道的长度</p> <p>(2) 不得与电梯井、管道井共用同一竖井</p> <p>(3) 避免邻近烟道、热力管道及其他散热量大或潮湿的设施</p> <p>(4) 在条件允许时, 宜避免与电梯井及楼梯间相邻</p>
4.3	竖井的防火要求	<p>(1) 竖井的井壁应是耐火极限不低于 1h 的非燃烧体</p> <p>(2) 竖井在每层楼应设维护检修门并应开向公共走廊, 其耐火等级不应低于三级</p> <p>(3) 楼层间应采用防火密封隔离, 隔离措施如下:</p> <p>1) 封闭式母线、电缆桥架及金属线槽在穿过楼板处采用防火隔板及防火堵料隔离;</p> <p>2) 电缆和绝缘导线穿钢管布线时, 应在楼层间预埋钢管, 布线后两端管口空隙应做密封隔离</p>
4.4	敷设要求	<p>(1) 竖井内的同一配电干线, 宜采用等截面导体; 当需变截面时, 不宜超过二级, 并应符合保护规定</p> <p>(2) 竖井内的高压、低压和应急电源的电气线路, 相互之间的距离应等于或大于 0.3m, 或采取隔离措施, 并且高压线路应设有明显标志, 当强、弱电线路在同一竖井内敷设时, 应分别在竖井的两侧敷设或采取隔离措施以防止强电对弱电的干扰。对于回路线数及种类较多的强、弱电线路, 应分别设置在不同竖井内</p>

续表

序号	项 目	说 明
4.4	敷设要求	<p>(3) 管路垂直敷设时, 为保证管内导线不因自重而折断, 应按下列规定装设导线固定盒, 在盒内用线夹将导线固定:</p> <p>1) 导线截面在 50mm<sup>2</sup> 及以下, 长度大于 30m 时;</p> <p>2) 导线截面在 50mm<sup>2</sup> 以上, 长度大于 20m 时</p> <p>(4) 竖井内应敷设有接地干线和接地端子</p> <p>(5) 竖井内不应有与其无关的其他管道通过</p> <p>(6) 竖井内各种布线应符合相应的有关规定</p>

## 第五节 导线、电缆及其选择

### 一、导线和电缆选择的一般规定及有关资料

(1) 导线和电缆选择的一般规定, 如表 6-29 所示。

表 6-29 导线和电缆选择的一般规定  
(据 JBJ 6—1996 等)

序号	项 目	说 明
1	架空线路导线的选择	<p>(1) 架空线路导线宜采用铝导线, 但不得采用单股的铝线及铝合金线</p> <p>(2) 在对导线有腐蚀使用的地段, 宜采用防腐型导线</p> <p>(3) 越过树林以及通道拥挤场所的 1kV 及以下线路, 宜采用架空绝缘线。按 GB 50061—1997 规定, 市区 10kV 及以下架空电力线路, 遇下列情况可采用绝缘铝绞线: ①线路走廊狭窄, 与建筑物之间的距离不能满足安全要求的地段; ②高层建筑邻近地段; ③繁华街道或人口密集地区; ④游览区和绿化区; ⑤空气严重污秽地段; ⑥建筑施工现场</p> <p>(4) 架空导线连续允许的载流量, 应按周围空气温度进行校正。周围空气温度应采用当地 10 年或 10 年以上的最热月的每日最高温度的月平均值</p> <p>(5) 从供电变电所二次侧出口至线路末端变压器一次侧入口的 6~10kV 架空线路电压损失, 不宜超过供电变电所二次侧额定电压的 5%</p> <p>(6) 架空线路导线的截面不应小于表 6-32 所列数值</p>
2	电缆的选择	<p>(1) 电缆型号应根据线路的额定电压、环境条件、敷设方式和用电设备的特殊要求等条件选择</p> <p>(2) 电缆连续允许的载流量, 应按敷设处的周围介质温度进行校正。①当周围介质为空气时, 空气温度应取敷设处 10 年或 10 年以上的最热月的每日最高温度的月平均值; ②在生产厂房、电缆隧道及电缆沟内, 所采用的周围空气温度尚应计入电缆发热、散热和通风等因素的影响。当缺乏计算资料时, 可按上述空气温度另加 5℃; ③当周围介质为土壤时, 土壤温度应取敷设处历年最热月的平均温度</p>

续表

续表

序号	项 目	说 明
2	电 缆 的 选 择	<p>(3) 电缆连续允许的载流量,尚应按敷设方式和土壤热阻率等因素进行校正</p> <p>(4) 沿不同冷却条件的路径敷设电缆时,当冷却条件最差段的长度超过10m时,应按该段冷却条件选择电缆截面,或只对该段采用大截面的电缆</p> <p>(5) 电缆应按短路条件验算其热稳定。电缆在短路时的最高允许温度应符合表6-31规定的数值</p>
3	低 压 配 电 线 路 导 线 的 选 择	<p>(1) 绝缘导线的型号应按工作电压、敷设方式及使用环境等要求选择;裸导体的型号应按敷设方式及使用环境条件等要求选择</p> <p>(2) 导线截面的选择,应符合下列要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>按敷设方式及使用环境确定的导线允许载流量,不应小于回路负荷的计算电流;</li> <li>线路电压损失应满足用电设备正常工作及起动时端电压的要求;</li> <li>根据机械强度的要求,导线线芯截面不应小于表6-32的规定;</li> <li>导线应满足短路条件下动稳定和热稳定的要求</li> </ol> <p>(3) 三相四线制配电系统中,中性线的允许载流量不应小于线路中最大的不平衡负荷电流,且应计及谐波电流的影响</p> <p>(4) 以气体放电灯为主要负荷的回路中,中性线截面不应小于相线截面</p> <p>(5) 导线的允许载流量,应根据敷设处的环境温度进行校正。温度校正系数应按下式确定:</p> $K_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta_0}{\theta_{al} - \theta'}}$ <p>式中 <math>\theta_{al}</math> 为导线最高允许工作温度 (C);  <math>\theta_0</math> 为导线载流量标准中采用的环境温度 (C);  <math>\theta'</math> 为导线敷设处的实际环境温度 (C)</p> <p>当数根导线并列敷设时,其允许载流量尚应根据导线并列敷设根数进行校正</p> <p>(6) 导线敷设处的环境温度,应采用下列数值:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>对于架空线,参看本表序号1中(4)条;</li> <li>对于电缆,参看本表序号2中(2)条;</li> <li>对于裸导体,按敷设处最热月每日最高温度月平均值的十年或以上总平均值;</li> <li>对于绝缘导线(明敷或室内穿管敷设),按敷设处最热月昼夜平均温度月平均值的十年或以上总平均值</li> </ol> <p>(7) 确定配电线路的导线截面时,宜计人工艺设计中已经明确需要发展的用电设备的负荷</p>
4	DL/T 599—1996 《城市中低压配电网改造技术导则》关于导线、电缆选择的规定	<p>(3) 中压架空线路宜采用铝绞线,主干线截面应为150~240mm<sup>2</sup>。考虑城市电网的发展,分支线截面不宜小于70mm<sup>2</sup>。化工污秽及沿海地区,宜采用绝缘导线、铜绞线或铜芯铝绞线。当采用绝缘导线时,绝缘子绝缘水平按15kV考虑。当采用铜绞线或铜芯铝绞线时,绝缘子绝缘水平按20kV考虑</p> <p>(4) 中压主干线电缆截面宜选用铜芯185mm<sup>2</sup>及以上或铝芯240mm<sup>2</sup>及以上。支线电缆截面的选择,应满足载流量及热稳定的要求</p> <p>(5) 低压配电网也应有较强的适应性。主干线宜一次建成,今后不需需要时,可插入新装变压器</p> <p>(6) 低压线路的供电半径不宜过大。为满足线路末端电压质量的要求,市区供电半径一般为250m,繁华地区为150m</p> <p>(7) 低压架空线宜采用铝芯绝缘线,主干线截面宜采用150mm<sup>2</sup>,次干线截面宜采用120mm<sup>2</sup>,分支线截面宜采用50mm<sup>2</sup></p>
5	DL/T 5118—2000 《农村电力网规划设计导则》关于导线选择的规定	<p>(1) 110kV 架空配电线路的导线截面不宜小于150~185mm<sup>2</sup>(铜芯铝绞线);35和66kV 架空配电线路的导线截面不宜小于70~95mm<sup>2</sup>(铜芯铝绞线)</p> <p>(2) 10kV 中压架空配电线路宜选用铜芯铝绞线或铝绞线。城镇内的线路也可选用架空绝缘导线。主干线截面应按中期规划一次选定,不宜小于70mm<sup>2</sup></p> <p>(3) 低压架空配电线路可采用铜芯铝绞线、铝芯绝缘线、集束导线。主干线宜一次建成</p> <p>(4) 农网中各级配电线路不宜采用电缆线路</p>
6	GB 50096—1999 《住宅设计规范》关于导线选择的规定	<p>住宅供电系统(220/380V)的电气线路应采用符合安全和防火要求的敷设方式配线,导线应采用铜线,每套住宅进户线截面不应小于10mm<sup>2</sup>,分支回路导线截面不应小于2.5mm<sup>2</sup></p>

序号	项 目	说 明
4	DL/T 599—1996 《城市中低压配电网改造技术导则》关于导线、电缆选择的规定	<p>(3) 中压架空线路宜采用铝绞线,主干线截面应为150~240mm<sup>2</sup>。考虑城市电网的发展,分支线截面不宜小于70mm<sup>2</sup>。化工污秽及沿海地区,宜采用绝缘导线、铜绞线或铜芯铝绞线。当采用绝缘导线时,绝缘子绝缘水平按15kV考虑。当采用铜绞线或铜芯铝绞线时,绝缘子绝缘水平按20kV考虑</p> <p>(4) 中压主干线电缆截面宜选用铜芯185mm<sup>2</sup>及以上或铝芯240mm<sup>2</sup>及以上。支线电缆截面的选择,应满足载流量及热稳定的要求</p> <p>(5) 低压配电网也应有较强的适应性。主干线宜一次建成,今后不需需要时,可插入新装变压器</p> <p>(6) 低压线路的供电半径不宜过大。为满足线路末端电压质量的要求,市区供电半径一般为250m,繁华地区为150m</p> <p>(7) 低压架空线宜采用铝芯绝缘线,主干线截面宜采用150mm<sup>2</sup>,次干线截面宜采用120mm<sup>2</sup>,分支线截面宜采用50mm<sup>2</sup></p>
5	DL/T 5118—2000 《农村电力网规划设计导则》关于导线选择的规定	<p>(1) 110kV 架空配电线路的导线截面不宜小于150~185mm<sup>2</sup>(铜芯铝绞线);35和66kV 架空配电线路的导线截面不宜小于70~95mm<sup>2</sup>(铜芯铝绞线)</p> <p>(2) 10kV 中压架空配电线路宜选用铜芯铝绞线或铝绞线。城镇内的线路也可选用架空绝缘导线。主干线截面应按中期规划一次选定,不宜小于70mm<sup>2</sup></p> <p>(3) 低压架空配电线路可采用铜芯铝绞线、铝芯绝缘线、集束导线。主干线宜一次建成</p> <p>(4) 农网中各级配电线路不宜采用电缆线路</p>
6	GB 50096—1999 《住宅设计规范》关于导线选择的规定	<p>住宅供电系统(220/380V)的电气线路应采用符合安全和防火要求的敷设方式配线,导线应采用铜线,每套住宅进户线截面不应小于10mm<sup>2</sup>,分支回路导线截面不应小于2.5mm<sup>2</sup></p>

(2) 选择导线和电缆的环境温度。如表6-30所示。

表 6-30 选择导线和电缆的环境温度  
(据 GB 50061—1992 和 GB 50217—1994)

类别	敷设场所	选取的环境温度	备 注
导线	室 外	最热月的日最高温度平均值	即最热月平均最高气温
	室 内	该处的通风计算温度	亦可取最热月的日最高温度平均值加5℃
电缆	土中直埋	埋深处的最热月平均地温	亦可取当地最热月平均气温
	室外空气中、电缆沟和隧道内	最热月的日最高温度平均值	

续表

类别	敷设场所	选取的环境温度	备注
电缆	有热源设备的厂房	通风设计温度	有机械通风时
		最热月的日最高温度平均值加5℃	无机械通风时
	室内一般性厂房	通风设计温度	有机械通风时
		最热月的日最高温度平均值	无机械通风时
	室内电缆沟	最热月的日最高温度平均值加5℃	

(3) 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数。如表 6-31 所示。

表 6-31 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数<sup>[1.6]</sup>

导体种类和材质		最高允许温度 (C)		热稳定系数 C (A√S/mm <sup>2</sup> )	
		额定负荷时	短路时		
母 线	铜	70	300	171	
	铝	70	200	87	
油浸纸绝缘电缆 (右边加括号数值适用于不滴流纸绝缘电缆)	铜芯	1~3kV	80	250	148
		6kV	65 (80)	250	150
		10kV	60 (65)	250	153
		35kV	50 (65)	175	
	铝芯	1~3kV	80	200	84
		6kV	65 (80)	200	87
		10kV	60 (65)	200	88
		35kV	50 (65)	175	
橡皮绝缘导线和电缆	铜芯	65	150	131	
	铝芯	65	150	87	
聚氯乙烯绝缘导线和电缆	铜芯	70	160	115	
	铝芯	70	160	76	
交联聚乙烯绝缘电缆 <sup>①</sup>	铜芯	90 (80)	250	137	
	铝芯	90 (80)	200	77	

注 ①表中“交联聚乙烯绝缘电缆”中加括号的数值适用于 10kV 以上的电压。

(4) 导体满足机械强度的最小截面。如表 6-32 所示。

表 6-32 导体满足机械强度的最小截面<sup>[18.21.22]</sup>

序号	线路类别		导体最小截面(mm <sup>2</sup> )			
			铝及铝合金线	铜芯铝线	铜绞线	
1	架空裸导线					
1.1	35kV 及以上线路		35	35	35	
1.2	3~10kV 线路	居民区	35	25	25	
		非居民区	25	16	16	
1.3	低压线路	一般	16	16	16	
		与铁路交叉跨越档	35	16	16	
2	绝缘导线		铜芯软线	铜芯线	铝芯线	
2.1	照明用灯头引下线	室内	民用建筑	0.4	0.5	2.5
			工业建筑	0.5	0.8	2.5
		室外	1.0	1.0	2.5	
2.2	移动式设备线路	生活用	0.4	—	—	
		生产用	1.0	—	—	
2.3	敷设在绝缘支持件上的绝缘导线 (l 为支持点间距)	室内	l ≤ 2m	—	1.0	2.5
			室外	l ≤ 2m	—	1.5
		室内外	2m < l ≤ 6m	—	2.5	4
			6m < l ≤ 15m	—	4	6
			15m < l ≤ 25m	—	6	10
2.4	穿管敷设的绝缘导线		1.0	1.0	2.5	
2.5	沿墙明敷的塑料护套线		—	1.0	2.5	
2.6	板孔穿线敷设的绝缘导线		—	1.0	2.5	
2.7	PE 线和 PEN 线	有机械保护时	—	1.5	2.5	
		无机保护时	多芯线	—	2.5	4
			单芯干线	—	10	16

## 二、导线和电缆的类型及其载流量

(1) 裸导线的类型及其载流量。如表 6-33、表 6-34 所示。

表 6-33 部分裸导线的类型及其适用范围

序号	型号	名称	适用范围	型号说明
				$\begin{matrix} L & J & - & \square \\   &   & &   \\ \text{铝} & \text{绞线} & & \text{额定截面(mm}^2\text{)} \end{matrix}$
1	LJ	铝绞线	用在受力不大、档距较小及环境正常的架空线路上	
2	LGJ	钢芯铝绞线	用在受力大、档距也较大及环境正常的高压和超高压架空线路上	$\begin{matrix} L & G & J & - & \square \\   &   &   & &   \\ \text{铝} & \text{钢芯} & \text{绞线} & \text{铝线部分} & \\ & & & \text{额定截面} & \\ & & & \text{(mm}^2\text{)} & \end{matrix}$

续表

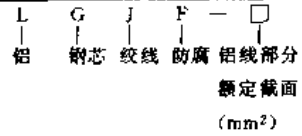

序号	型号	名称	适用范围	型号说明
3	LGJF	防腐钢芯铝绞线	主要用在沿海地区、咸水湖及有化学腐蚀性物质环境的高压和超高压架空线路上	
4	TJ	铜绞线	用在不宜采用铝线和钢芯铝线的架空线路上。根据“节约用铜、以铝代铜”的原则应严格控制使用	

表 6-34 TJ、LJ、LGJ 的允许载流量 (A)<sup>[1-6]</sup>

导线截面 (mm <sup>2</sup> )	TJ				LJ				LGJ			
	环境温度				环境温度				环境温度			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
4	50	47	44	41	—	—	—	—	—	—	—	—
6	70	66	62	57	—	—	—	—	—	—	—	—
10	95	89	84	77	75	70	66	61	—	—	—	—
16	130	122	114	105	105	99	92	85	105	98	92	85
25	180	169	158	146	135	127	119	109	135	127	119	109
35	220	207	194	178	170	160	150	138	170	159	149	137
50	270	254	238	219	215	202	189	174	220	207	193	178
70	340	320	300	276	265	249	233	215	275	259	228	222
95	415	390	365	336	325	305	286	247	335	315	295	272
120	485	456	426	393	375	352	330	304	380	357	335	307
150	570	536	501	461	440	414	387	356	445	418	391	360
185	645	606	567	522	500	470	440	405	515	484	453	416
240	770	724	678	624	610	574	536	494	610	574	536	494
300	890	835	783	720	680	640	597	550	700	658	615	566

注 1. 本表载流量按导线正常工作温度 70℃ 计。

2. 本表载流量按室外架设考虑，无日照，海拔高度 1000m 及以下。如果海拔高度不同、环境温度不同时，载流量应按表 6-54 进行校正。

(2) 绝缘导线的类型及其载流量。如表 6-35~表 6-38 所示。

表 6-35 部分绝缘导线的类型及其适用范围<sup>[24-28]</sup>

序号	类别	型号	名称	适用范围
1	橡皮绝缘导线	BX	铜芯橡皮绝缘导线	固定敷设用。由于它具有较好的耐气候老化性能，尤其适用于室外。但它不耐油和酸碱腐蚀，且较 BV、BLV 贵，因此室内、地下及腐蚀场所宜用 BV、BLV
		BLX	铝芯橡皮绝缘导线	
		BXF	铜芯氯丁橡皮绝缘线	固定敷设用。由于它具有较好的耐气候老化性能和不延燃性，并有一定的耐油、耐腐蚀性能，尤其适用于室外
		BLXF	铝芯氯丁橡皮绝缘线	
		BXR	铜芯橡皮软线	室内安装，要求导线较柔软的场所用
		BXE	铜芯双层橡皮绝缘导线	适用于交流 500V 及以下或直流 1000V 及以下的室外
		BLXE	铝芯双层橡皮绝缘导线	
		BXRE	铜芯双层橡皮绝缘软导线	架空及固定敷设的电器设备及照明装置
2	聚氯乙烯绝缘导线 (塑料导线)	BV	铜芯聚氯乙烯绝缘导线	固定敷设用。由于它耐油及酸碱腐蚀，凡不宜采用 BX、BLX 的场所宜优先选用
		BLV	铝芯聚氯乙烯绝缘导线	
		BVV	铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套导线	固定敷设用，且可直接埋地敷设
		BLVV	铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套导线	
		BV-105	铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘导线	高温场所固定敷设用
		BLV-105	铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘导线	
		BVR	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	室内安装，要求导线较柔软的场所用

续表

序号	类别	型号	名称	适用范围
3	聚氯乙烯绝缘软线 (塑料软线)	RV	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	供各种低压交流移动电器接线用
		RVV	铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套软线	
		RV-105	铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘软线	同 RV, 但用于高温场所
4	阻燃型绝缘导线 (软线)	ZR-BV	阻燃型铜芯聚氯乙烯绝缘导线	分别与 BV、BVR 和 RV 同, 但用于有阻燃要求的场所
		ZR-BVR	阻燃型铜芯聚氯乙烯绝缘软线	
		ZR-RV		
5	单芯绝缘导线全号的表示			
6	三相四线制(带 PE 线)线路的型号表示			

表 6-36 绝缘导线明敷时的允许载流量 (A)<sup>[10-11]</sup>

芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	BLX 型铝芯橡皮线				BLV 型铝芯塑料线			
	环境温度							
	25 C	30 C	35 C	40 C	25 C	30 C	35 C	40 C
2.5	27	25	23	21	25	23	21	19
4	35	32	30	27	32	29	27	25
6	45	42	38	35	42	39	36	33
10	65	60	56	51	59	55	51	46
16	85	79	73	67	80	74	69	63
25	110	102	95	87	105	98	90	83
35	138	129	119	109	130	121	112	102
50	175	163	151	138	165	154	142	130
70	220	206	190	174	205	191	177	162
95	265	247	229	209	250	233	216	197
120	310	280	268	245	283	266	246	225
150	360	336	311	284	325	303	281	257
185	420	392	363	332	380	355	328	300
240	510	476	441	403	—	—	—	—

- 注 1. 导线正常最高允许温度按 65℃ 计。  
 2. BX 型和 BV 型铜芯绝缘线的允许载流量, 可按对应的同截面 BLX 型和 BLV 型铝芯绝缘线允许载流量的 1.29 倍计。

表 6-37 绝缘导线穿钢管时的允许载流量 (A)<sup>[10-11]</sup>

导线型号	芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	2 根单芯线				2 根穿管管径 (mm)		3 根单芯线				3 根穿管管径 (mm)		4~5 根单芯线				4 根穿管管径 (mm)		5 根穿管管径 (mm)	
		环境温度						环境温度						环境温度							
		25 C	30 C	35 C	40 C	G	DG	25 C	30 C	35 C	40 C	G	DG	25 C	30 C	35 C	40 C	G	DG	G	DG
BLX	2.5	21	19	18	16	15	20	19	17	16	15	15	20	16	14	13	12	20	25	20	25
	4	28	26	24	22	20	25	25	23	21	19	20	25	23	21	19	18	20	25	20	25
	6	37	34	32	29	20	25	34	31	29	26	20	25	30	28	25	23	20	25	25	32
	10	52	48	44	41	25	32	46	43	39	36	25	32	40	37	34	31	25	32	32	40
	16	66	61	57	52	25	32	59	55	51	46	32	32	52	48	44	41	32	40	40	(50)
	25	86	80	74	68	32	40	76	71	65	60	32	40	68	63	58	53	40	(50)	40	(50)
	35	106	99	91	83	32	40	94	87	81	74	32	(50)	83	77	71	65	40	(50)	50	—

续表

导线型号	芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	2根单芯线				2根穿管管径 (mm)		3根单芯线				3根穿管管径 (mm)		4~5根单芯线				4根穿管管径 (mm)		5根穿管管径 (mm)	
		环境温度				G	DG	环境温度				G	DG	环境温度				G	DG	G	DG
		25℃	30℃	35℃	40℃			25℃	30℃	35℃	40℃			25℃	30℃	35℃	40℃				
BLX	50	133	124	115	105	40	(50)	118	110	102	93	50	(50)	105	98	90	83	50	—	70	—
	70	164	154	142	130	50	(50)	150	140	129	118	50	(50)	133	124	115	105	70	—	70	—
	95	200	187	173	158	70	—	180	168	155	142	70	—	160	149	138	126	70	—	80	—
	120	230	215	198	181	70	—	210	196	181	166	70	—	190	177	164	150	70	—	80	—
	150	260	243	224	205	70	—	240	224	207	189	70	—	220	205	190	174	80	—	100	—
	185	295	275	255	233	80	—	270	252	233	213	80	—	250	233	216	197	80	—	100	—
BLV	2.5	20	18	17	15	15	15	18	16	15	14	15	15	15	14	12	11	15	15	15	20
	4	27	25	23	21	15	15	24	22	20	18	15	15	22	20	19	17	15	20	20	20
	6	35	32	30	27	15	20	32	29	27	25	15	20	28	26	24	22	20	25	25	25
	10	49	45	42	38	20	25	44	41	38	34	20	25	38	35	32	30	25	25	25	32
	16	63	58	54	49	25	25	56	52	48	44	25	32	50	46	43	39	25	32	32	40
	25	80	74	69	63	25	32	70	65	60	55	32	32	65	60	56	51	32	40	32	(50)
	35	100	93	86	79	32	40	90	84	77	71	32	40	80	74	69	63	40	(50)	40	(50)
	50	125	116	108	98	40	50	110	102	95	87	40	(50)	100	93	86	79	50	(50)	50	—
	70	155	144	134	122	50	50	143	133	123	113	40	(50)	127	118	109	100	50	—	70	—
	95	190	177	164	150	50	(50)	170	158	147	134	50	—	152	142	131	120	70	—	70	—
	120	220	205	190	174	50	(50)	195	182	168	154	50	—	172	160	148	136	70	—	80	—
	150	250	233	216	197	70	—	225	210	194	177	70	—	200	187	173	158	70	—	80	—
185	285	266	246	225	70	—	255	238	220	201	70	—	230	215	198	181	80	—	100	—	

注 1. 导线正常最高允许温度按 65℃ 计。

2. BX 型和 BV 型铜芯绝缘线的允许载流量, 可按对应的同截面 BLX 型和 BLV 型铝芯绝缘线允许载流量的 1.29 倍计。

3. 表中的钢管 G—焊接钢管, 管径按内径计; DG—电线管, 管径按外径计。

4. 表中 4~5 根单芯线穿管的载流量, 是指三相四线制的 TN-C 系统、TN-S 系统和 TN-C-S 系统中的相线载流量, 其 N 线和 PEN 线中可有不平衡电流通过。如果线路是供电给平衡的三相负荷, 则虽有 4 根导线穿管 (其中一根 PE 线), 其允许载流量仍应按 3 根线穿管确定, 但管径则仍按 4 根线穿管选择。

5. 管径在工程中常用英制的英寸 (in) 表示。管径的国际单位制 (SI 制) 与英制的近似对照如下附表所列:

SI 制 (mm)	15	20	25	32	40	50	65	70	80	90	100
英制 (in)	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{2}$	4

表 6-38 绝缘导线穿硬塑料管时的允许载流量 (A)<sup>(10.11)</sup>

导线型号	芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	2根单芯线				2根穿管管径 (mm)	3根单芯线				3根穿管管径 (mm)	4~5根单芯线				4根穿管管径 (mm)	5根穿管管径 (mm)
		环境温度					环境温度					环境温度					
		25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		
BLX	2.5	19	17	16	15	15	17	15	14	13	15	15	14	12	11	20	25
	4	25	23	21	19	20	23	21	19	18	20	20	18	17	15	20	25
	6	33	30	28	26	20	29	27	25	22	20	26	24	22	20	25	32
	10	44	41	38	34	25	40	37	34	31	25	35	32	30	27	32	32
	16	58	54	50	45	32	52	48	44	41	32	46	43	39	36	32	40
	25	77	71	66	60	32	68	63	58	53	32	60	56	51	47	40	40
	35	95	88	82	75	40	84	78	72	66	40	74	69	64	58	40	50
	50	120	112	103	94	50	108	100	93	86	50	95	88	82	75	50	65
70	153	143	132	121	50	135	126	116	106	50	120	112	103	94	50	65	

续表

导线型号	芯线截面 (mm <sup>2</sup> )	2根单芯线				2根穿管管径 (mm)	3根单芯线				3根穿管管径 (mm)	4~5根单芯线				4根穿管管径 (mm)	5根穿管管径 (mm)
		环境温度					环境温度					环境温度					
		25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		25℃	30℃	35℃	40℃		
BLX	95	184	172	159	145	50	165	154	142	130	65	150	140	129	118	65	80
	120	210	196	181	166	65	190	177	164	150	65	170	158	147	134	80	80
	150	250	233	215	197	65	227	212	196	179	75	205	191	177	162	80	90
	185	282	263	243	223	80	255	238	220	201	80	232	216	200	183	100	100
BLV	2.5	18	16	15	14	15	16	14	13	12	15	14	13	12	11	20	25
	4	24	22	20	18	20	22	20	19	17	20	19	17	16	15	20	25
	6	31	28	26	24	20	27	25	23	21	20	25	23	21	19	25	32
	10	42	39	36	33	25	38	35	32	30	25	33	30	28	26	32	32
	16	55	51	47	43	32	49	45	42	38	32	44	41	38	34	32	40
	25	73	68	63	57	32	65	60	56	51	32	57	53	49	45	40	40
	35	90	84	77	71	40	80	74	69	63	40	70	65	60	55	50	50
	50	114	106	98	90	50	102	95	88	80	50	90	84	77	71	50	65
	70	145	135	125	114	50	130	121	112	102	50	115	107	99	90	65	75
	95	175	163	151	138	65	158	147	136	124	65	140	130	121	110	75	75
	120	206	187	173	158	65	180	168	155	142	65	160	149	138	126	75	80
	150	230	215	198	181	75	207	193	179	163	75	185	172	160	146	80	90
185	265	247	229	209	75	235	219	203	185	75	212	198	183	167	90	100	

注 参看上表注1、2、4、5。硬塑料管(VG)管径按内径计。

(3) 电力电缆的类型及其载流量。如表 6-39~表 6~51 所示。

表 6-39 部分电力电缆的类型及其适用范围

序号	类别	型号	名称	适用范围
1	粘性纸铅包油浸绝缘电力电缆	ZLQ20 (ZQ20)	铝(铜)芯纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、电缆沟或隧道中,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力
		ZLQ21 (ZQ21)	铝(铜)芯纸绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	敷设在土壤中,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力(不推荐使用)
		ZLQ30 (ZQ30)	铝(铜)芯纸绝缘铅包细钢丝铠装电力电缆	敷设在竖井和易燃场所,能承受一定的机械压力,并能承受较大的拉力
		ZLQ31 (ZQ31)	铝(铜)芯纸绝缘铅包细钢丝铠装纤维外被电力电缆	敷设在土壤中及需承受较大拉力的场所,能承受较大的机械压力和拉力(不推荐使用)
		ZLQ41 (ZQ41)	铝(铜)芯纸绝缘铅包粗钢丝铠装纤维外被电力电缆	敷设在水下,能承受较大的机械压力和拉力

续表

序号	类别	型号	名称	适用范围
2	油浸纸滴干绝缘铅包电力电缆	ZLQP20 (ZQP20)	铝(铜)芯油浸纸滴干绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在室内、电缆沟或隧道中,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力
		ZLQP21 (ZQP21)	铝(铜)芯油浸纸滴干绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在土壤中,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力(不推荐使用)
3	不滴流浸渍纸绝缘铅包电力电缆	ZLQD20 (ZQD20)	铝(铜)芯不滴流浸渍纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	与 ZLQP20 (ZQP20) 同
		ZLQD21 (ZQD21)	铝(铜)芯不滴流浸渍纸绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	与 ZLQP21 (ZQP21) 同



续表

续表

序号	类别	型号	名称	适用范围
4	聚乙烯绝缘电力电缆(简称塑料)	VLV(VV) VLY(VY)	铝(铜)芯聚氯乙 烯绝缘护套电力电 缆	敷设在室内、沟道中及管子内,耐腐蚀,不延燃,但不能承受机械外力
		VLV22 (VV22)	铝(铜)芯聚氯乙 烯绝缘护套内装电 力电缆	敷设在室内、沟道中、管子内及土壤中,耐腐蚀,不延燃,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力
		VLV32 (VV32)	铝(铜)芯聚氯乙 烯绝缘护套内装电 力电缆	可用于垂直及高落差处,敷设在水下或土壤中,耐腐蚀,不延燃,能承受一定的机械压力和拉力
		VLV42 (VV42)	铝(铜)芯聚氯乙 烯绝缘护套内装电 力电缆	可用于垂直及高落差处,敷设在水下、海底,能承受一定的机械压力和拉力(不推荐使用)
5	交联聚乙烯绝缘电力电缆(简称交联塑料)	YJLV (YJV)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套电力电 缆	敷设在室内、沟道中及管子内,亦可直埋土壤中,不能承受机械压力,但可承受一定拉力
		YJLV-FR (YJV-FR)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套阻燃型电 力电缆	同上,但要具有高阻燃要求的场所
		YJL22 (YJ22)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套内装电 力电缆	敷设在土壤中,能承受一定的机械压力,但不能承受大的拉力
		YJL22-FR (YJ22-FR)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套内装阻 燃型电力电缆	同上,但具有高阻燃要求的场所
		YJL32 (YJ32)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套内装电 力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在水下或土壤中,能承受一定的机械压力和拉力
		YJL32-FR (YJ32-FR)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘护套内装阻 燃型电力电缆	同上,但具有高阻燃要求的场所

序号	类别	型号	名称	适用范围
6	架空电力电缆	JKLYJ (JKYJ)	铝(铜)芯交联聚氯乙 烯绝缘架空电力电 缆	架空固定敷 设
		JKLY (JKY)	铝(铜)芯聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	
		JKLHYJ	铝合金芯交联聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	
		JKLHY	铝合金芯聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	
		JKLYJ/Q	铝芯轻型交联聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	用于电力变 压器架空引下 线
		JKLHYJ/Q	铝合金芯轻型交联聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	
		JKTRYJ	软铜芯交联聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	
		JKTRY	软铜芯聚氯乙 烯绝缘架空电 力电缆	

表 6-40 电力电缆型号的表示和含义

序号	项目	说明		
1	电缆全型号的组成格式			
		Z	油浸纸绝缘电力电缆	
		V	聚氯乙烯绝缘电力电缆	
		YJ	交联聚乙烯绝缘电力电缆	
		X	橡皮绝缘电力电缆	
		JK	架空电力电缆 (加在上述类别代号之前)	
		2	L	铝芯
			LH	铝合金芯
			T	铜芯 (一般不标)
			TR	软铜芯
3				

续表

序号	项目	说明	
4	内护套代号	Q	铅包
		L	铝包
		V	聚氯乙烯护套
5	特征代号	P	滴干式
		D	不滴流式
		F	分相铅包式
6	外护层代号	02	聚氯乙烯套
		03	聚乙烯套
		20	裸钢带铠装
		(21)	钢带铠装纤维外被
		22	钢带铠装聚氯乙烯套
		23	钢带铠装聚乙烯套
		30	裸细钢丝铠装
		(31)	细钢丝铠装纤维外被
		32	细钢丝铠装聚氯乙烯套
		33	细钢丝铠装聚乙烯套
		(40)	裸粗钢丝铠装
		41	粗钢丝铠装纤维外被
		(42)	粗钢丝铠装聚氯乙烯套
		(43)	粗钢丝铠装聚乙烯套
		441	双粗钢丝铠装纤维外被
241	钢带—粗钢丝铠装纤维外被		
2441	钢带—双粗钢丝铠装纤维外被		

注 1. 括号内代号的外护层不推荐采用。如用户需要，亦可生产（据 GB 2952—1982）。  
2. “阻燃型”电缆型号，在电缆型号的外护层代号后面加标“-FR”。

表 6-41 电力电缆的芯线材质、芯数及其适用范围（据 GB 50217—1994）

序号	类别	适用范围
1	电缆芯线材质	
1.1	铜芯	(1) 控制电缆应采用铜芯 (2) 用于下列情况的电力电缆应采用铜芯： 1) 电机励磁、重要电源、移动式电气设备等需要保持连接具有高可靠性的回路； 2) 振动剧烈、有爆炸危险或对铝有腐蚀等严酷的工作环境； 3) 耐火电缆 (3) 用于下列情况的电力电缆宜采用铜芯： 1) 紧靠高温设备配置； 2) 安全性要求高的重要公共设施中； 3) 水下敷设当工作电流较大需增多电缆根数时
1.2	铝芯	除序号 1.1 所述情况外的一般情况下，均应采用铝芯电缆
2	电力电缆芯数	
2.1	三芯	(1) 高压系统的三相电路 (2) 低压 IT 系统的三相电路 (3) 低压 TN-C 系统的两相三线电路 (4) 低压 TN-S 系统的单相电路（外加 PE 线）
2.2	四芯	(1) 低压 TN-C 系统的三相四线电路 (2) 低压 TT 系统的三相四线电路
2.3	五芯	低压 TN-S 系统的三相四线（外加 PE 线）电路
2.4	两芯	(1) 低压 TN-C 系统的单相电路 (2) 低压 TT 系统的单相电路 (3) 低压 IT 系统的单相电路 (4) 直流电路
2.5	单芯	(1) 工作电流较大的电路及水下敷设的电路，当技术经济比较合理时 (2) 直流电路（当需要时可采用）

表 6-42 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆空气中敷设时的允许载流量 (A)  
(据 GB 50217—1994)

电缆绝缘类型	粘性油浸纸、不滴流纸			聚氯乙烯			
	有钢铠护套			无钢铠护套			
	80℃			70℃			
护套	单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯	
缆芯最高工作温度 缆芯数 缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	2.5	—	—	—	—	18	15
	4	—	30	26	—	24	21
	6	—	40	35	—	31	27
	10	—	52	44	—	44	38
	16	—	69	59	—	60	52
	25	116	93	79	95	79	69
	35	142	111	98	115	95	82
	50	174	138	116	147	121	104
	70	218	174	151	179	147	129
	95	267	214	182	221	181	155
	120	312	245	214	257	211	181
	150	356	280	250	294	242	211

续表

电缆绝缘类型		粘性油浸纸、不滴流纸			聚氯乙烯		
护 套		有钢铠护套			无钢铠护套		
缆芯最高工作温度		80℃			70℃		
缆芯数		单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	185	414	—	285	340	—	246
	240	495	—	338	410	—	294
	300	570	—	383	473	—	328
环境温度		40℃					

注 1. 表中系铝芯电缆数值；铜芯电缆的允许载流量值可乘以 1.29。

2. 单芯只适用于直流。

表 6-43 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量 (A)

(据 GB 50217—1994)

电缆绝缘类型		粘性油浸纸、不滴流纸			聚氯乙烯			聚氯乙烯		
护 套		有钢铠护套			无钢铠护套			有钢铠护套		
缆芯最高工作温度		80℃			70℃			70℃		
缆芯数		单芯	二芯	三或四芯	单芯	二芯	三或四芯	单芯	二芯	三或四芯
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	4	—	34	29	47	36	31	—	34	30
	6	—	45	38	58	45	38	—	43	37
	10	—	58	50	81	62	53	77	59	50
	16	—	76	66	110	83	70	105	79	68
	25	143	105	88	138	105	90	134	100	87
	35	172	126	105	172	136	110	162	131	105
	50	198	146	126	203	157	134	194	152	129
	70	247	182	154	244	184	157	235	180	152
	95	300	219	186	295	226	189	281	217	180
	120	344	251	211	332	254	212	319	249	207
	150	389	284	240	374	287	242	365	273	237
	185	441	—	275	424	—	273	410	—	264
	240	512	—	320	502	—	319	483	—	310
	300	584	—	356	561	—	347	543	—	347
	400	676	—	—	639	—	—	625	—	—
500	776	—	—	729	—	—	715	—	—	
630	904	—	—	846	—	—	819	—	—	
800	1032	—	—	981	—	—	963	—	—	
土壤热阻系数		1.5℃·m/W			1.2℃·m/W					
环境温度		25℃								

注 同表 6-42 表注。

表 6-44 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆空气中敷设时的允许载流量 (A)

(据 GB 50217—1994)

电 缆 芯 数		三 芯		单 芯							
单芯电缆排列方式				品 字 形				水 平 形			
金属屏蔽层接地点				单 侧		两 侧		单 侧		两 侧	
缆芯材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	25	91	118	100	132	100	132	114	150	114	150
	35	114	150	127	164	127	164	146	182	141	178
	50	146	182	155	196	155	196	173	228	168	209

续表

电 缆 芯 数		三 芯		单 芯							
单芯电缆排列方式				品 字 形				水 平 形			
金属屏蔽层接地点				单 侧		两 侧		单 侧		两 侧	
缆芯材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	70	178	228	196	255	196	251	228	292	214	264
	95	214	273	241	310	241	305	278	356	260	310
	120	246	314	283	360	278	351	319	410	292	351
	150	278	360	328	419	319	401	365	479	337	392
	185	319	410	372	479	365	461	424	546	369	438
	240	378	483	442	565	424	546	502	643	424	502
	300	419	552	506	643	493	611	588	738	479	552
	400	—	—	611	771	579	716	707	908	546	625
	500	—	—	712	885	661	803	830	1026	611	693
630	—	—	826	1008	734	894	963	1177	680	757	
缆芯最高工作温度		90℃									
环 境 温 度		40℃									

注 1. 允许载流量的确定, 还应考虑较多这类缆芯温度大于 70℃ 的电缆敷设在未装设机械通风的隧道、竖井时对环境温度的影响。

2. 水平排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

表 6-45 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量 (A)  
(据 GB 50217—1994)

电 缆 芯 数		三 芯		单 芯			
单芯电缆排列方式				品 字 形		水 平 形	
金属屏蔽层接地点				单 侧		单 侧	
缆 芯 材 质		铝	铜	铝	铜	铝	铜
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	25	91	117	104	130	113	143
	35	113	143	117	169	134	169
	50	134	169	139	187	160	200
	70	165	208	174	226	195	247
	95	195	247	208	269	230	295
	120	221	282	239	300	261	334
	150	247	321	269	339	295	374
	185	278	356	300	382	330	426
	240	321	408	348	435	378	478
	300	365	469	391	495	430	543
	400	—	—	456	574	500	635
500	—	—	517	635	565	713	
630	—	—	582	704	635	796	
缆芯最高工作温度		90℃					
土壤热阻系数		2.0℃·m/W					
环境温度		25℃					

注 水平排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

表 6-46 6kV 三芯电力电缆的允许载流量 (A)  
(据 GB 50217—1994)

绝缘类型	粘性油浸纸		不滴流纸		聚氯乙烯			交联聚乙烯		
	有		有		无	有		无		有
钢铠护套	有		有		70℃			90℃		
缆芯最高工作温度	65℃		80℃		70℃			90℃		
敷设方式	空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋	直埋	空气中	直埋	直埋
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	10	—	—	—	40	51	50	—	—	—
	16	46	58	58	63	54	67	65	—	—

续表

绝缘类型 钢铠护套	粘性油浸纸		不滴流纸		聚氯乙烯			交联聚乙烯			
	有		有		无	有		无	有		
缆芯最高工作温度	65℃		80℃		70℃			90℃			
敷设方式	空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋	直埋	空气中	直埋	直埋	
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	25	62	79	79	84	71	86	83	—	87	87
	35	76	94	92	101	85	105	100	114	105	102
	50	92	114	116	119	108	126	126	141	123	118
	70	118	140	147	148	129	149	149	173	148	148
	95	143	167	183	180	160	181	177	209	178	178
	120	169	193	213	209	185	209	205	246	200	200
	150	194	215	245	232	212	232	228	277	232	222
	185	223	240	280	264	246	264	255	323	262	252
	240	265	288	334	308	293	309	300	378	300	295
	300	295	323	374	344	323	346	332	432	343	333
400	—	—	—	—	—	—	—	505	380	370	
500	—	—	—	—	—	—	—	584	432	422	
土壤热阻系数 (C·m/W)	—	1.2	—	1.5	—	1.2	1.2	—	2	2	
环境温度(℃)	40	25	40	25	40	25	25	40	25	25	

注 表中系铝芯电缆数值；铜芯电缆的允许载流量可乘 1.29。

表 6-47 10kV 三芯电力电缆的允许载流量 (A)  
(据 GB 50217—1994)

绝缘类型 钢铠护套	粘性油浸纸		不滴流纸		交联聚乙烯				
	有		有		无		有		
缆芯最高工作温度	60℃		65℃		90℃				
敷设方式	空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋	
缆芯截面 (mm <sup>2</sup> )	16	42	55	47	59	—	—	—	—
	25	56	75	63	79	100	90	100	90
	35	68	90	77	95	123	110	123	105
	50	81	107	92	111	146	125	141	120
	70	106	133	118	138	178	152	173	152
	95	126	160	143	169	219	182	214	182
	120	146	182	168	196	251	205	246	205
	150	171	206	189	220	283	223	278	219
	185	195	233	218	246	324	252	320	247
	240	232	272	261	290	378	292	373	292
	300	260	308	295	325	433	332	428	328
400	—	—	—	—	506	378	501	374	
500	—	—	—	—	579	428	574	424	
土壤热阻系数 (C·m/W)	—	1.2	—	1.2	—	2.0	—	2.0	
环境温度(℃)	40	25	40	25	40	25	40	25	

注 表中系铝芯电缆数值；铜芯电缆的允许载流量可乘 1.29。

表 6-48 电缆在不同环境温度时的载流量校正系数 (据 GB 50217—1994)

敷设环境 环境温度	空气中				土壤中				
	30℃	35℃	40℃	45℃	20℃	25℃	30℃	35℃	
缆芯最高 工作温度	60℃	1.22	1.11	1.0	0.86	1.07	1.0	0.93	0.85
	65℃	1.18	1.09	1.0	0.89	1.06	1.0	0.94	0.87
	70℃	1.15	1.08	1.0	0.91	1.05	1.0	0.94	0.88
	80℃	1.11	1.06	1.0	0.93	1.04	1.0	0.95	0.90
	90℃	1.09	1.05	1.0	0.94	1.04	1.0	0.96	0.92

注 其他环境温度下载流量的校正系数  $K_{\theta}$  可按下式计算：

$$K_{\theta} = \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_2}{\theta_m - \theta_1}}$$

式中  $\theta_m$  为缆芯最高工作温度 (℃)； $\theta_1$  为对应于额定载流量的基准环境温度 (℃)； $\theta_2$  为实际环境温度 (℃)。

表 6-49 电缆在不同土壤热阻系数时的载流量校正系数 (据 GB 50217-1994)

土壤热阻系数 (C·m/W)	土壤特性和雨量	校正系数
0.8	土壤很潮湿,经常下雨。如湿度大于9%的沙土;湿度大于14%的沙-泥土等	1.05
1.2	土壤潮湿,规律性下雨。如湿度大于7%但小于9%的沙土;湿度为12%~14%的沙-泥土等	1.0
1.5	土壤较干燥,雨量不大。如湿度为8%~12%的沙-泥土等	0.93
2.0	土壤干燥,少雨。如湿度大于4%但小于7%的沙土;湿度为4%~8%的沙-泥土等	0.87
3.0	多石地层,非常干燥。如湿度小于4%的沙土等	0.75

注 1. 本表适用于缺乏实测土壤热阻系数时的粗略分类。对 110kV 及以上电缆线路工程,宜以实测方式确定土壤热阻系数。  
2. 本表中校正系数适用于土壤热阻系数为 1.2 C·m/W 的情况,不适用于三相系统的高压单芯电缆。

表 6-50 空气中和土中直埋多根并行敷设时电缆载流量的校正系数 (据 GB 50217-1994)

并行电缆根数		1	2	3	4	5	6
空气中并行敷设	电缆中心距(d为电	1.00	0.90	0.85	0.82	—	0.80
	缆外径)	2d	1.00	0.98	0.95	—	0.90
		3d	1.00	1.00	0.98	—	0.96
土中直埋并行敷设	电缆之间净距	100	1.00	0.90	0.85	0.80	0.78
		200	1.00	0.92	0.87	0.84	0.82
	(mm)	300	1.00	0.93	0.90	0.87	0.86

注 本表不适用于三相交流系统单芯电缆。

表 6-51 在电缆桥架上无间距配置多层并列电缆时电缆载流量的校正系数 (据 GB 50217-1994)

叠置电缆层数	1	2	3	4
桥架类别				
梯架	0.80	0.65	0.55	0.50
托盘	0.70	0.55	0.50	0.45

注 呈水平状并列电缆数不少于 7 根。

(4) 矩形母线的类型及其载流量。如表 6-52~表 6-54 所示。

表 6-52 矩形母线的类型及型号说明

序号	类别	型号说明
1	硬铝母线	

续表

序号	类别	型号说明
2	硬铜母线	
3	母线型号规格表示示例	<p>LMY - 3(100 × 8) + 1(40 × 4)</p>

表 6-53 矩形铝母线的允许载流量 (A) (据 GB 50060-1992)

每相母线系数	单条		双条		三条		四条	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
母线尺寸 (mm × mm)	40 × 4	480	503	—	—	—	—	—
	40 × 5	542	562	—	—	—	—	—
	50 × 4	586	613	—	—	—	—	—
	50 × 5	661	692	—	—	—	—	—
	63 × 6.3	910	952	1409	1547	1866	2111	—
	63 × 8	1038	1085	1623	1777	2113	2379	—
	63 × 10	1168	1221	1825	1994	2381	2665	—
	80 × 6.3	1128	1178	1724	1892	2211	2505	2558
	80 × 8	1274	1330	1946	2131	2491	2809	2863
	80 × 10	1427	1490	2175	2373	2774	3114	3167
	100 × 6.3	1371	1430	2054	2253	2633	2985	3032
	100 × 8	1542	1609	2298	2516	2933	3311	3359
	100 × 10	1728	1803	2558	2796	3181	3578	3622
	125 × 6.3	1674	1744	2446	2680	3079	3490	3525
	125 × 8	1876	1955	2725	2982	3375	3813	3847
	125 × 10	2089	2177	3005	3282	3725	4194	4225

注 1. 本表载流量按导体最高允许工作温度 70°C、环境温度 25°C、无风、无日照条件计算而得。  
2. 当母线为四条时,平放、竖放时第二、三片间距皆为 50mm。

表 6-54 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数  
(据 GB 50060—1992)

导体最高允许温度	适应范围	海拔高度 (m)	实际环境温度						
			+20℃	+25℃	+30℃	+35℃	+40℃	+45℃	+50℃
+70℃	室内矩形、槽形、管形导体和不计日照的室外软导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
+80℃	计及日照时室外软导线	≤1000	1.05	1.00	0.95	0.89	0.83	0.76	0.69
		2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79	—	—
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75	—	—
		4000	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	—	—
	计及日照时室外管形导体	≤1000	1.05	1.00	0.94	0.87	0.80	0.72	0.63
		2000	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	—	—
		3000	0.96	0.90	0.84	0.76	0.69	—	—
		4000	0.91	0.86	0.80	0.72	0.65	—	—

注 本表适用于基准环境温度为+25℃和导体最高允许温度为+70℃或+80℃的裸导体载流量表的校正。

### 三、导线和电缆截面的选择计算

(1) 导线和电缆截面的选择条件。如表 6-55 所示。

表 6-55 导线和电缆截面的选择条件

序号	条件	说明
1	满足发热条件	即导线和电缆的允许载流量 $I_{al}$ 不得小于其通过的计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{al} \geq I_{30}$
2	满足电压损耗条件	即导线和电缆在通过计算电流时的电压损耗 $\Delta U\%$ 不得大于允许的电压损耗 $\Delta U_{al}\%$ , 即 $\Delta U\% \leq \Delta U_{al}\%$ 一般配电线路 $\Delta U_{al}\% \approx 5\%$
3	满足机械强度条件	即导线截面不得小于按机械强度所要求的最小截面(参看表 6-32)。对于电缆, 由于它本身具有足够的机械强度, 因此不考虑此条件
4	满足年运行费最小条件(经济电流密度)	对 35kV 及以上的高压线路及某些特大载流量的低压线路, 其导体的电流密度不宜大于规定的经济电流密度, 以使线路的年运行费用趋于最小。但一般企业内部的高低压配电线路可不按此条件选择
5	满足短路稳定条件	高低压硬导体(母线)应校验其短路时的动稳定度和热稳定度。对电缆和绝缘导线只需校验其短路热稳定度 短路动稳定度的校验参看表 5-20 短路热稳定度的校验参看表 5-21
6	附注: 导线、电缆截面选择校验的一般程序	(1) 35kV 及以上线路, 宜先按经济电流密度(表 6-57)选择, 再校验其他条件 (2) 35kV 以下的线路, 包括低压动力线路, 宜先按发热条件选择, 再校验其他条件(除经济电流密度外) (3) 低压照明线路, 宜先按允许电压损耗条件选择, 再校验发热和机械强度

(2) 按发热条件选择导线和电缆截面。如表 6-56 所示。

表 6-56 按发热条件选择导线和电缆截面

序号	项 目	说 明	
1	三相线路相线截面 $A_p$ 的选择	相线截面积 $A_p$ 的导线(或电缆, 下同)的允许载流量 $I_{al}$ 不得小于其计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{al} \geq I_{30}$ 式中 $I_{30}$ 对电力变压器高压侧线路, 应取变压器高压绕组额定电流; 对并联电容器供电线路, 应取电容器的 1.35 倍	
		保护线截面 $A_{PE}$ 的选择	$A_p \leq 16\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} = A_p$ $16\text{mm}^2 < A_p \leq 35\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} = 16\text{mm}^2$ $A_p > 35\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} \geq 0.5A_p$
		中性线截面 $A_0$ 的选择	一般三相四线制电路 $A_0 \geq 0.5A_p$ 单相电路 $A_0 = A_p$ 两相三线电路 $A_0 = A_p$ 气体放电灯为主的三相四线制电路 $A_0 \geq A_p$
4	保护中性线截面 $A_{PEN}$ 的选择	应同时满足上述 $A_{PE}$ 和 $A_0$ 的要求, 且应符合表 6-32 的要求	

(3) 按经济电流密度选择导线和电缆截面。如表 6-57 所示。

表 6-57 按经济电流密度选择导线和电缆截面

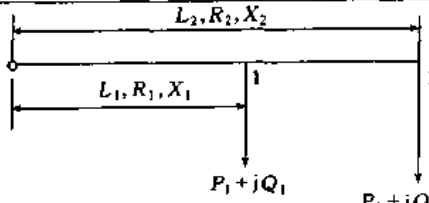
续表

序号	项 目	说 明				
		线路类别	导体材质	年最大负荷利用小时 (h)		
1	导线和电缆的经济电流密度 $j_{ec}$ (A/mm <sup>2</sup> )			架空线路	铜	3000 以下
		铝	1.65		1.15	0.90
		电缆线路	铜	2.50	2.25	2.00
			铝	1.92	1.73	1.54

注 按经济电流密度选择, 只适用于某些特大电流回路和 35kV 及以上线路的导体截面选择; 一般企业高低压配电线路不按经济电流密度选择。

(4) 线路电压损耗的计算。如表 6-58 所示。关于三相线路单位长度每相阻抗值, 如表 6-59 所示。

表 6-58 线路电压损耗的计算

序号	项 目	说 明
1	带集中的线路上三相电压损耗的计算	 <p>(1) 三相线路的电压损耗 (近似地采用其电压降纵分量) 公式为:</p> $\Delta U = \frac{\sum (PR + QX)}{U_N}$ <p>由于 <math>R = R_0 L</math>, <math>X = X_0 L</math>, <math>Q = P \tan \varphi</math>, 因此其电压损耗公式亦可表示为:</p> $\Delta U = \frac{\sum [(R_0 + X_0 \tan \varphi) PL]}{U_N}$ <p>式中 <math>R_0</math> 为单位长度电阻; <math>X_0</math> 为单位长度电抗; <math>L</math> 为线路首端至各负荷点的线路长度; <math>PL</math> 称为“功率矩”, 可用 <math>M</math> 表示</p> <p>(2) 三相线路电压损耗百分值的公式为:</p> $\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100 = \frac{100 \sum (R_0 + X_0 \tan \varphi) M}{U_N^2}$ <p>式中 <math>U_N</math> 为线路额定电压; <math>M = PL</math> 为线路功率矩</p>

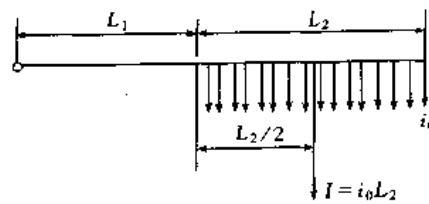
序号	项 目	说 明																							
2	无感线路电压损耗的计算	<p>(1) 全线路的感抗相对于其电阻小到可以忽略不计 (如穿管绝缘导线线路)、或者负荷功率因数 <math>\cos \varphi \approx 1</math> (如照明线路), 则此线路可称为“无感线路”, 其电压损耗百分值的计算公式为:</p> $\Delta U \% = \frac{100 \sum (R_0 M)}{U_N^2}$ <p>式中 <math>M = PL</math></p> <p>(2) 如果全线路的导线截面、材质和敷设方式均相同、且感抗相对很小或负荷 <math>\cos \varphi \approx 1</math>, 则此线路可称为“均一无感线路”, 其电压损耗百分值的计算公式为:</p> $\Delta U \% = \frac{100 \sum M}{r A U_N^2} = \frac{\sum M}{C A}$ <p>式中 <math>r</math> 为导线的电导率; <math>A</math> 为导线的截面积; <math>\sum M = \sum PL</math>, 为线路的所有功率矩之和; <math>C</math> 为计算系数, 由以下附表查得:</p> <p>附表 公式 <math>\Delta U \% = \sum M / (CA)</math> 的计算系数 <math>C</math> 值</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>线路电压</th> <th>线路类别</th> <th>C 的计算式 (kW·m/mm<sup>2</sup>)</th> <th>铜线</th> <th>铝线</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">220/380V</td> <td>三相四线</td> <td><math>r U_N^2 / 100</math></td> <td>76.5</td> <td>46.2</td> </tr> <tr> <td>两相三线</td> <td><math>r U_N^2 / 225</math></td> <td>34.0</td> <td>20.5</td> </tr> <tr> <td>220V</td> <td>单相及</td> <td rowspan="2"><math>r U_N^2 / 200</math></td> <td>12.8</td> <td>7.74</td> </tr> <tr> <td>110V</td> <td>直流</td> <td>3.21</td> <td>1.94</td> </tr> </tbody> </table>	线路电压	线路类别	C 的计算式 (kW·m/mm <sup>2</sup> )	铜线	铝线	220/380V	三相四线	$r U_N^2 / 100$	76.5	46.2	两相三线	$r U_N^2 / 225$	34.0	20.5	220V	单相及	$r U_N^2 / 200$	12.8	7.74	110V	直流	3.21	1.94
线路电压	线路类别	C 的计算式 (kW·m/mm <sup>2</sup> )	铜线	铝线																					
220/380V	三相四线	$r U_N^2 / 100$	76.5	46.2																					
	两相三线	$r U_N^2 / 225$	34.0	20.5																					
220V	单相及	$r U_N^2 / 200$	12.8	7.74																					
110V	直流		3.21	1.94																					
3	均匀分布负荷线路的电压损耗计算	 <p>均匀分布负荷线路的电压损耗, 可将分布负荷集中于负荷分布线段的中点, 如上图中虚线负荷所示, 然后按集中负荷的线路电压损耗的公式计算</p>																							

表 6-59 三相线路单位长度每相阻抗值

类 别	温度 (°C)	导线 (线芯) 截面积 (mm <sup>2</sup> )														
		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
导 线		每相电阻 (Ω/km)														
LJ	50	—	—	—	—	2.07	1.33	0.96	0.66	0.48	0.36	0.28	0.23	0.18	0.14	
LGJ	50	—	—	—	—	—	0.89	0.68	0.48	0.35	0.29	0.24	0.18	0.16		
绝缘导线	铜芯	50	8.40	5.20	3.48	2.05	1.26	0.81	0.58	0.40	0.29	0.22	0.17	0.14	0.09	
		60	8.70	5.38	3.61	2.12	1.30	0.84	0.60	0.41	0.30	0.23	0.18	0.14	0.09	
	铝芯	50	13.33	8.25	5.53	3.33	2.08	1.31	0.94	0.65	0.47	0.35	0.28	0.22	0.18	0.14
		60	13.80	8.55	5.73	3.45	2.16	1.36	0.97	0.67	0.49	0.36	0.29	0.23	0.19	0.14



续表

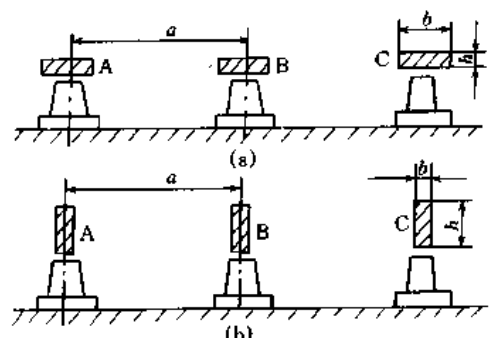
类别		导线(线芯)截面积(mm <sup>2</sup> )														
		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
电力 电缆	铜芯	55	—	—	—	—	1.31	0.84	0.60	0.42	0.30	0.22	0.17	0.14	0.12	0.09
		60	8.54	5.34	3.56	2.13	1.33	0.85	0.61	0.43	0.31	0.23	0.18	0.14	0.12	0.09
		75	8.98	5.61	3.75	2.25	1.40	0.90	0.64	0.45	0.32	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10
		80	—	—	—	—	1.43	0.91	0.65	0.46	0.33	0.24	0.19	0.15	0.13	0.10
	铝芯	55	—	—	—	—	2.21	1.41	1.01	0.71	0.51	0.37	0.29	0.24	0.20	0.15
		60	14.38	8.99	6.00	3.60	2.25	1.44	1.03	0.72	0.51	0.38	0.30	0.24	0.20	0.16
		75	15.13	9.45	6.31	3.78	2.36	1.51	1.08	0.76	0.54	0.40	0.31	0.25	0.21	0.16
		80	—	—	—	—	2.40	1.54	1.10	0.77	0.56	0.41	0.32	0.26	0.21	0.17
导线	线距(mm)	每相电抗(Ω/km)														
LJ	600	—	—	—	—	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	
	800	—	—	—	—	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	
	1000	—	—	—	—	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	
	1250	—	—	—	—	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	
	1500	—	—	—	—	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	
	2000	—	—	—	—	0.44	0.43	0.41	0.40	0.40	0.39	0.37	0.37	0.36	0.35	
LGJ	1500	—	—	—	—	—	—	0.39	0.38	0.37	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	
	2000	—	—	—	—	—	—	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.35	0.34	
	2500	—	—	—	—	—	—	0.41	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	
	3000	—	—	—	—	—	—	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	
	3500	—	—	—	—	—	—	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	
绝缘 导线	明敷	100	0.327	0.312	0.300	0.280	0.265	0.251	0.241	0.229	0.219	0.206	0.199	0.191	0.184	0.178
		150	0.353	0.338	0.325	0.306	0.290	0.277	0.266	0.251	0.242	0.231	0.223	0.216	0.209	0.200
	穿管敷设	0.127	0.119	0.112	0.108	0.102	0.099	0.095	0.091	0.087	0.085	0.083	0.082	0.081	0.080	
纸绝缘 电缆	1kV	0.098	0.091	0.087	0.081	0.077	0.067	0.065	0.063	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	
	6kV	—	—	—	—	0.099	0.088	0.083	0.079	0.076	0.074	0.072	0.071	0.070	0.069	
	10kV	—	—	—	—	0.110	0.098	0.092	0.087	0.083	0.080	0.078	0.077	0.075	0.075	
塑料 电缆	1kV	0.100	0.093	0.091	0.087	0.082	0.075	0.073	0.071	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	
	6kV	—	—	—	—	0.124	0.111	0.105	0.099	0.093	0.089	0.087	0.085	0.082	0.080	
	10kV	—	—	—	—	0.133	0.120	0.113	0.107	0.101	0.096	0.095	0.093	0.090	0.087	

注 表中“线距”为线间几何均距。设三相线路的线间距离分别为 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ ，则线间几何均距 $a_{av} = \sqrt[3]{a_1 a_2 a_3}$ 。当三相线路为等距水平排列，相邻线间距离为 $a$ ，则其线间几何均距 $a_{av} = \sqrt[3]{2} a = 1.26a$ 。当三相线路为等边三角形排列，每边距离为 $a$ ，则其线间几何均距 $a_{av} = a$ 。

(5) 按短路稳定度检验母线和电缆的截面。如表 6-60 所示。

表 6-60 按短路稳定度校验母线和电缆的截面

序号	项目	说 明
1	母线和 电缆的短 路热稳定 度校验条 件	<p>母线和电缆(包括绝缘导线)的截面<math>A</math>(mm<sup>2</sup>)应不小于满足热稳定度的最小截面<math>A_{min}</math>(mm<sup>2</sup>),即</p> $A \geq A_{min} = \frac{I_{sc}^2 \sqrt{t_{ms}}}{C}$ <p>式中<math>I_{sc}</math>为通过母线或电缆的最大的三相短路稳态电流有效值(A);<math>t_{ms}</math>为短路发热假想时间(s);<math>C</math>为热稳定系数(参看表 6-31)</p>

序号	项目	说明
2	母线的短路动稳定度校验条件(注:电缆不校验电动稳定度)	<p>母线的最大允许应力 <math>\sigma_{al}</math> 应不小于最大三相短路冲击电流 <math>i_{sk}^{(3)}</math> 通过母线时母线所受到的最大计算应力 <math>\sigma_c</math>, 即</p> $\sigma_{al} \geq \sigma_c$ <p>式中 <math>\sigma_{al}</math> 按 GB 50060—1992 规定: 硬铜母线为 140MPa, 硬铝母线为 70MPa</p> <p>式中 <math>\sigma_c = M/W</math>, 其中 <math>M</math> 为母线通过 <math>i_{sk}^{(3)}</math> 时所受到的弯曲力矩 (N·m); <math>W</math> 为母线截面系数 (m<sup>3</sup>)</p> <p>(1) 母线弯曲力矩 <math>M</math> 的计算:</p> <p>当母线的档数为 1~2 时 <math>M = F^{(3)}l/8</math></p> <p>当母线的档数大于 2 时 <math>M = F^{(3)}l/10</math></p> <p>式中 <math>F^{(3)} = \sqrt{3} i_{sk}^{(3)} \cdot \frac{l}{a} \times 10^{-7}</math> (N); <math>l</math> 为母线档距 (m); <math>a</math> 为母线两相邻相间的轴线间距 (m)</p> <p>(2) 母线截面系数 <math>W</math> 的计算:</p> $W = b^2h/6$ <p>式中 <math>b</math> 为母线截面的水平宽度 (m); <math>h</math> 为其垂直高度 (m); 如右图所示</p> <div style="text-align: center;">  <p>母线在绝缘子上的放置方式 (a) 平放; (b) 竖放</p> </div>

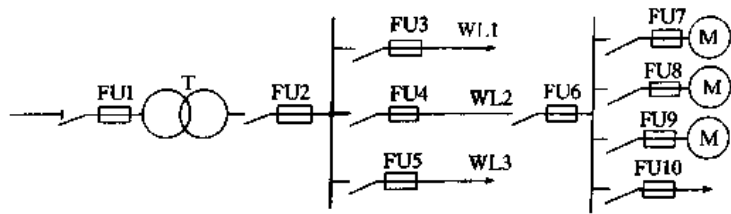
# 第七章 供配电系统的保护

## 第一节 供配电系统的熔断器保护

### 一、熔断器保护的的任务及其配置方案

熔断器保护的的任务及其配置方案，如表 7-1 所示。

表 7-1 熔断器保护的的任务及其配置方案

序号	项 目	说 明
1	熔断器保护的的任务	熔断器串联在高低压电路中，主要用作短路保护，有的也可实现过负荷保护。在电路出现短路故障和严重过负荷时，熔断器的熔体熔断，切断电路，将故障部分切除，而使系统的其他部分恢复正常运行
2	熔断器在供配电系统中的配置方案	<p>熔断器在供配电系统中的配置，应符合“选择性保护”的原则，也就是熔断器要配置得能使故障范围缩小到最低限度。此外应考虑到经济性，即供配电系统中配置的熔断器数量要尽量少</p>  <p>上图所示供配电系统中的熔断器配置就是比较合理的方案，既可满足保护选择性的要求，配置的熔断器也较少</p> <p>配置熔断器必须注意：在低压系统的 PE 线和 PEN 线上，不允许装设熔断器，以免 PE 线或 PEN 线因熔断器熔断而断路时，使所有接 PE 线或 PEN 线的设备的外露可导电部分（金属外壳、构架等）带电，危及人身安全</p>

续表

### 二、熔断器的选择与校验

(1) 熔断器熔体电流的选择。如表 7-2 所示。

表 7-2 熔断器熔体电流的选择

序号	项 目	说 明
1	保护电力线路的熔断器熔体电流的选择	<p>保护电力线路的熔断器熔体电流，应满足下列条件：</p> <p>(1) 熔体额定电流 <math>I_{N.FE}</math> 应不小于线路的计算电流 <math>I_{30}</math>，即</p> $I_{N.FE} \geq I_{30}$ <p>式中 <math>I_{30}</math>，对单台用电设备（含电动机），应取其额定电流；对并联电容器，应取为电容器额定电流的 1.43~1.55 倍，以便 <math>I_{N.FE}</math> 躲过电容器的合闸涌流（据 GB 50227—1995）</p> <p>(2) 熔体额定电流 <math>I_{N.FE}</math> 还应躲过线路的尖峰电流 <math>I_{pk}</math>，即</p> $I_{N.FE} \geq K I_{pk}$ <p>式中 <math>K</math> 为小于 1 的计算系数。对供单台电动机的线路，如起动时间 <math>t_{st} &lt; 3s</math>（轻载起动），宜取 <math>K=0.25 \sim 0.35</math>；<math>t_{st}=3 \sim 8s</math>（重载起动），宜取 <math>K=0.35 \sim 0.5</math>；<math>t_{st} &gt; 8s</math> 及频繁起动或反接制动，宜取 <math>K=0.5 \sim 0.6</math>。对供多台电动机的线路，视线路上最大一台电动机的起动情况、线路计算电流与尖峰电流比值及熔断器特性而定，取 <math>K=0.5 \sim 1</math>；如果线路 <math>I_{30}/I_{pk} \approx 1</math>，可取 <math>K=1</math></p> <p>(3) 熔断器保护还应与被保护的线路相配合，满足的条件为</p> $I_{N.FE} \leq K_{OL} I_{al}$ <p>式中 <math>I_{al}</math> 为绝缘导线和电缆的允许载流量（参看表 6-36~表 6-51）；<math>K_{OL}</math> 为绝缘导线和电缆的允许短时过负荷系数：</p> <p>1) 熔断器只作短路保护时，对穿管绝缘导线及电缆，取 <math>K_{OL}=2.5</math>；对明敷绝缘导线，取 <math>K_{OL}=1.5</math>；</p>

续表

续表

序号	项 目	说 明
1	保护电力线路的熔断器熔体电流的选择	2) 熔断器除作短路保护外, 兼作过负荷保护时, 例如居住建筑、重要仓库和公共建筑中的照明线路, 有可能长时间过负荷的动力线路及在可燃建筑物构架上明敷的有延燃性外皮的绝缘导线线路, 应取 $K_{OL}=1$ 如果按上述 (1)、(2) 两个条件选择的熔断器熔体不满足 (3) 的配合要求, 则应改选熔断器的型号规格, 或适当增大导线电缆的芯线截面
2	保护电力变压器的熔断器熔体电流的选择	保护电力变压器的熔断器熔体电流, 应满足下列条件: $I_{N.FE} = (1.5 \sim 2.0) I_{1N.T}$ 式中 $I_{1N.T}$ 为变压器的额定一次电流
3	保护电压互感器的熔断器熔体电流的选择	由于电压互感器的二次负荷很小, 因此保护电压互感器的高压熔断器熔体电流一般取为 0.5A

(2) 熔断器规格的选择与校验。如表 7-3 所示。

表 7-3 熔断器规格的选择与校验

序号	项 目	说 明
1	熔断器额定电压的选择	熔断器的额定电压 $U_{N.FU}$ 应不低于所在电路的额定电压 $U_N$ , 即 $U_{N.FU} \geq U_N$
2	熔断器额定电流的选择	熔断器的额定电流 $I_{N.FU}$ 应不小于它所装设的熔体额定电流 $I_{N.FE}$ , 即 $I_{N.FU} \geq I_{N.FE}$
3	对限流熔断器	由于限流熔断器 (如 RN1、RTO 等型) 能在短路电流达到冲击值之前熔断并灭弧, 因此应满足下列条件: $I_{\infty} \geq I^{(3)}$ 式中 $I_{\infty}$ 为熔断器的最大分断电流; $I^{(3)}$ 为熔断器安装地点的三相次暂态短路电流 (有效值)
	对非限流熔断器	由于非限流熔断器 (如 RM10 等型) 不能在短路电流达到冲击值之前熔断并灭弧, 因此应满足下列条件: $I_{\infty} \geq I_k^{(3)}$ 式中 $I_k^{(3)}$ 为熔断器安装地点的三相短路冲击电流 (有效值)

序号	项 目	说 明
3	熔断器断流能力的校验	对跌开式熔断器 (1) 跌开式熔断器 (属非限流型) 的断流能力上限必须满足下列条件: $I_{oc.max} \geq I_k^{(2)}$ (2) 跌开式熔断器的断流能力下限必须满足下列条件: $I_{oc.min} \leq I_k^{(2)}$ 式中 $I_k^{(2)}$ 为熔断器所保护的线路末端的两相短路电流
4	熔断器保护灵敏度的检验	熔断器的保护灵敏度 $S_p$ 应满足下列条件: $S_p = \frac{dcl I_{k.min}}{I_{N.FE}} \geq K$ 式中 $I_{k.min}$ 为熔断器所保护的线路末端在系统最小运行方式下的最小短路电流, 对三相四线制系统 (中性点直接接地系统), $I_{k.min}$ 为单相短路电流; 对三相三线制系统 (中性点不接地或经阻抗接地系统), $I_{k.min}$ 为两相短路电流; 对保护电力变压器的高压熔断器, $I_{k.min}$ 为低压侧母线的两相短路电流折算到高压侧之值。K 为灵敏度最小比值, 对一般的熔断器, 取 $K=4 \sim 7$ ; 对符合 IEC 标准的新型低压熔断器, 可按以下附表选取: 附表 检验熔断器保护灵敏度的最小比值 K (据 GB 50054—1995)
5	前后熔断器之间的选择性配合条件	保证前后熔断器保护选择性的条件为: $t_1 > 3t_2$ 式中 $t_1$ 和 $t_2$ 分别为前后两熔断器在任一熔断器出口发生三相短路时按各自的保护特性曲线查得的熔断时间

熔体额定电流 (A)	4~10	16~32	40~63	80~200	250~500
熔断时间 (s)	5	4.5	5	6	7
	0.4	8	9	10	11

## 第二节 低压配电系统的低压断路器保护

### 一、低压断路器保护的的任务及其配置方案

如表 7-4 所示。

表 7-4 低压断路器保护的的任务及其配置方案

序号	项 目	说 明
1	低压断路器保护的的任务	低压断路器能在短路、过负荷和失压情况下自动跳闸, 切除故障部分, 而使系统的其他部分恢复正常运行。当故障消除以后, 合上低压断路器即可恢复供电。因此低压断路器保护广泛应用于供电可靠性和自动化程度要求较高的低压配电系统中
2	低压断路器的配置方案	(1) 单独接低压断路器或低压断路器-刀开关的方案 (刀开关起“隔离开关”作用); 1) 单台主变压器的变电所低压侧主开关, 可采用一台低压断路器 (图 a); 2) 双台主变压器的变电所低压侧主开关, 应采用断路器-刀开关的方案 (图 b); 3) 低压母线的分段断路器, 应采用刀开关-断路器-刀开关的方案 (图 b); 4) 低压配电出线上装设的低压断路器, 一般应采用刀开关-断路器的方案 (图 c)

续表

序号	项 目	说 明
2	低压断路器的配置方案	<p>(2) 低压断路器与磁力起动器或接触器配合使用的方案(图d)。低压断路器主要用作电路的短路保护,磁力起动器用作电路的频繁操作的通断控制,其中装设的热继电器KH用作过负荷保护</p> <p>(3) 低压断路器与熔断器配合使用的方案(图e)。此方案主要用于低压断路器断流能力不足的情况。断路器用作通断控制和过负荷保护,而熔断器用作短路保护。如果采用自复式熔断器,此方案可大大提高供电可靠性</p>

## 二、低压断路器的选择、整定与校验

续表

(1) 低压断路器脱扣器的选择与整定。如表 7-5 所示。

表 7-5 低压断路器脱扣器的选择与整定

序号	项 目	说 明
1	过流脱扣器的选择与整定	
1.1	过流脱扣器的选择	低压断路器过流脱扣器(OR)的额定电流 $I_{N.OR}$ 应不小于线路的计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{N.OR} \geq I_{30}$
1.2	瞬时过流脱扣器动作电流的整定	瞬时过流脱扣器的动作电流 $I_{op(t)}$ 应躲过线路的尖峰电流 $I_{pk}$ , 即 $I_{op(t)} \geq K_{rel} I_{pk}$ 式中 $K_{rel}$ 为可靠系数。对动作时间 $t_{op} > 0.02s$ 的万能式断路器, 取 $K_{rel} = 1.35$ ; 对 $t_{op} \leq 0.02s$ 的塑料外壳式断路器, 宜取 $K_{rel} = 2 \sim 2.5$ (注: 原为 $1.7 \sim 2$ , 偏小, 现据 GB 50055 改)
1.3	短延时过流脱扣器动作电流的整定	短延时过流脱扣器的动作电流 $I_{op(t)}$ 应躲过线路的尖峰电流 $I_{pk}$ , 即 $I_{op(t)} \geq K_{rel} I_{pk}$ 式中 $K_{rel}$ 为可靠系数, 一般取 $K_{rel} = 1.2$
1.4	长延时过流脱扣器动作电流的整定	长延时过流脱扣器的动作电流 $I_{op(t)}$ 应躲过线路的计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{op(t)} \geq K_{rel} I_{30}$ 式中 $K_{rel}$ 为可靠系数, 一般取 1.1
2	热脱扣器的选择与整定	
2.1	热脱扣器额定电流的选择	热脱扣器(HR)的额定电流 $I_{N.HR}$ 应不小于线路的计算电流 $I_{30}$ , 即 $I_{N.HR} \geq I_{30}$
2.2	热脱扣器动作电流的整定	热脱扣器动作电流 $I_{op.HR}$ 按下式整定: $I_{op.HR} \geq K_{rel} I_{30}$ 式中 $K_{rel}$ 为可靠系数, 可取为 1.1; 一般应通过实际运行试验进行检验

序号	项 目	说 明
3	欠电压脱扣器的选择与整定	
3.1	欠电压脱扣器额定电压	欠电压脱扣器(UR)的额定电压 $U_{N.UR}$ 应等于线路的额定电压 $U_N$ , 即 $U_{N.UR} = U_N$
3.2	欠电压脱扣器动作电压的选择	(1) 欠电压脱扣器在断路器合闸(ON)时的动作电压 $U_{ON.UR}$ 一般不低于 $0.85U_N$ , 即 $U_{ON.UR} \geq 0.85U_N$ (2) 欠电压脱扣器使断路器跳闸(OFF)的动作电压 $U_{OFF.UR}$ 一般小于 $(0.35 \sim 0.7)U_N$ , 即 $U_{OFF.UR} < (0.35 \sim 0.7)U_N$

(2) 低压断路器的选择与校验。如表 7-6 所示。

表 7-6 低压断路器的选择与校验

序号	项 目	说 明
1	低压断路器的选择	
1.1	类型的选择	其类型应符合安装条件、保护性能及操作方式等的要求 应同时选择其操作机构型式
1.2	额定电压的选择	其额定电压 $U_{N.QF}$ 应不低于线路额定电压 $U_N$ , 即 $U_{N.QF} \geq U_N$
1.3	额定电流的选择	其额定电流 $I_{N.QF}$ 应不小于它所安装的脱扣器额定电流 $I_{N.YR}$ , 即 $I_{N.QF} \geq I_{N.YR}$
2	低压断路器断流能力的校验	
2.1	万能式断路器的校验	对动作时间在 $0.02s$ 以上的万能式断路器, 其极限分断电流 $I_{\infty}$ 应不小于通过它的最大三相短路电流周期分量有效值 $I_k^{(3)}$ , 即 $I_{\infty} \geq I_k^{(3)}$
2.2	塑壳式断路器的校验	对动作时间在 $0.02s$ 及以下的塑壳式断路器, 其极限分断电流 $I_{\infty}$ 或 $i_{\infty}$ 应不小于通过它的最大三相短路冲击电流 $I_k^{(3)}$ 或 $i_k^{(3)}$ , 即 $I_{\infty} \geq I_k^{(3)}$ 或 $i_{\infty} \geq i_k^{(3)}$

续表

序号	项 目	说 明
3	低压断路器保护与被保护线路的配合要求	
3.1	满足的配合条件	低压断路器过流脱扣器的动作电流（脱扣电流） $I_{op}$ 应满足下列条件： $I_{op} \leq K_{OL} I_{al}$ 式中 $I_{al}$ 为绝缘导线和电缆的允许载流量； $K_{OL}$ 为绝缘导线和电缆的允许短时过负荷系数。如不满足要求，应改选 $I_{op}$ 或导线电缆的截面
3.2	$K_{OL}$ 值的选取	(1) 对瞬时和短延时过流脱扣器，一般取 $K_{OL} = 4.5$ (2) 对长延时过流脱扣器，取 $K_{OL} = 1$ (3) 对保护有爆炸气体区域内线路的过流脱扣器，应取 $K_{OL} = 0.8$
4	低压断路器过电流保护灵敏度的检验	
4.1	过电流保护的灵敏度条件	低压断路器过电流保护灵敏度必须满足下列条件： $S_p = \frac{I_{k.min}}{I_{op}} \geq K$ 式中 $I_{k.min}$ 为低压断路器保护的线路末端在系统最小运行方式下的单相短路电流（对 TN 和 TT 系统）或两相短路电流（对 IT 系统）； $I_{op}$ 为低压断路器瞬时或短延时过流脱扣器的动作电流； $K$ 为最小比值，可取 1.3
5	低压断路器之间及其与熔断器之间的选择性配合	
5.1	前后断路器的配合	前一级断路器宜采用带短延时的过流脱扣器，后一级断路器采用瞬时过流脱扣器，而且前一级断路器的脱扣电流 $I_{op,1}$ 不小于后一级断路器脱扣电流 $I_{op,2}$ 的 1.2 倍，即 $I_{op,1} \geq 1.2 I_{op,2}$ 但对供不重要负荷的线路，允许保护电器无选择性动作
5.2	断路器与熔断器之间的选择性配合	宜通过各自的保护特性曲线来检验其保护选择性。前一级断路器可按厂家提供的保护特性曲线考虑 -30% ~ -20% 的负偏差，而后一级熔断器可按厂家提供的保护特性曲线考虑 +30% ~ +50% 的正偏差。在此情况下，如果两条曲线不重叠也不交叉，且前一级的曲线总在后一级曲线之上，则前后两级保护可实现选择性配合，而且两条曲线之间留有的裕量越大，则保护选择性越有保证

### 第三节 供配电系统的继电保护

#### 一、继电保护的的任务、要求及灵敏系数

(1) 继电保护的的任务与要求。如表 7-7 所示。

表 7-7 继电保护的的任务与要求

序号	项 目	说 明
1	继电保护的的任务	(1) 故障时作用于跳闸。当系统出现故障时，继电保护装置动作，使最靠近故障点的断路器跳闸，切除故障部分，恢复系统的其他部分正常运行，同时发出信号，提醒运行人员及时处理事故 (2) 异常状态时发出报警信号
2	对继电保护的基本要求	
2.1	选择性	当系统发生故障时，只离故障点最近的保护装置动作，切除故障，而系统的其他部分仍能正常运行。保护装置满足这一要求的动作，称为“选择性动作”。如故障时最近的保护装置“拒动”，而离故障点远的保护装置“越级动作”，则称为“失去选择性”
2.2	可靠性	保护装置在应该动作时，不应“拒动”；而在不该动作时，不应“误动”。保护装置的可靠性，与其元件质量、接线方案以及安装、整定和运行维护等多种因素有关
2.3	速动性	为了防止故障扩大，减小故障的危害程度，并提高系统运行的稳定性，在系统发生故障时，保护装置应尽快动作，切除故障
2.4	灵敏性	灵敏性即灵敏度，是表征保护装置对其保护区内故障和异常工作状态反应能力的一个参数。如果保护装置对其保护区内最轻微的故障都能及时地反应动作，就说明保护装置的灵敏性好，或灵敏度高

(2) 保护装置的灵敏系数。如表 7-8 所示。

表 7-8 保护装置的灵敏系数

序号	项 目	说 明
1	过电流保护装置的灵敏系数	过电流保护的灵敏系数按下式定义： $S_p = \frac{I_{k.min}}{I_{op,1}}$ 式中 $I_{k.min}$ 为保护装置保护区末端在系统最小运行方式下的最小短路电流； $I_{op,1}$ 为保护装置的一次动作电流，即保护装置动作电流 $I_{op}$ 换算到一次电流的值
2	低电压保护装置的灵敏系数	低电压（欠电压）保护的灵敏系数按下式定义： $S_p = \frac{U_{op,1}}{U_{k.max}}$ 式中 $U_{k.max}$ 为保护装置保护区末端短路时，在保护装置安装处母线上的最大残余电压； $U_{op,1}$ 为保护装置的一次动作电压，即保护装置动作电压 $U_{op}$ （相当于低压断路器欠电压脱扣器的动作电压 $U_{off.UK}$ ，参看表 7-5 序号 3.2）换算到一次电路的值

续表

序号	项 目	说 明			
3	继电保护的最小灵敏系数 (按 GB 50062—1992)				
	保护分类	保护类型	组成元件	计算条件	最小灵敏系数
	主保护	带方向的电流保护或电压保护	零序、负序方向元件	按被保护区末端金属性短路计算	2.0
		发电机、变压器、线路及电动机纵联差动保护	差电流元件	按被保护区末端金属性短路计算	2.0
		平行线路横差方向和电流平衡保护	电流或电压起动元件	线路两侧均未断开前,其中一侧保护按线路中点金属性短路计算	2.0
			电流元件	线路自一侧断开后,按另一侧对端金属性短路计算	1.5
		变压器、线路及电动机电流速断保护 (据 JBJ 6—1996 补充)	电流元件	按保护装置安装处金属性短路计算	2.0
		距离保护	距离起动元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5
	距离测量元件			1.3	
	电流保护和电压保护	电流元件和电压元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5	
	主保护的个别元件	中性点非直接接地保护	电流元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5
		距离保护	负序和零序增量 (或实变量) 起动元件	按被保护区末端金属性短路计算	4.0
		平行线路横差方向保护	零序方向元件	线路两侧均未断开前,其中一侧保护按线路中点金属性短路计算	4.0
	线路一侧断开后,另一侧保护按对侧金属性短路计算			2.5	
	后备保护	电流保护和电压保护	电流元件、电压元件	按相邻电力设备和线路末端金属性短路计算	1.2

## 二、常用的保护继电器及其接线和操作电源

(1) 常用的保护继电器。如表 7-9 所示。

表 7-9 常用的保护继电器

序号	项 目	说 明																																
1		保 护 继 电 器 的 类 型																																
1.1	保护继电器的分类	<p>(1) 按其组成元件分,有机电型、晶体管型和微机型。由于机电型继电器具有简单可靠、便于维修和调试等优点,因此它在继电保护中至今仍占重要位置</p> <p>(2) 按其在继电保护装置中的功能分,有“测量继电器”和“有或无继电器”两类。前者装在继电保护的第一级,用来反应被保护元件的特性参数变化情况;当其特性参数达到整定的动作值时即行动作,如电流、电压等继电器。后者装在测量继电器之后,用来实现特定的逻辑功能,如时间、信号、中间等继电器</p> <p>(3) 机电型继电器按结构原理分,有电磁式、感应式等继电器</p> <p>(4) 按其反应的物理量分,有电流继电器、电压继电器、功率继电器、瓦斯(气体)继电器等</p> <p>(5) 按其反应的数量变化分,有过量继电器和欠量继电器,如过电流继电器、欠电压继电器等</p>																																
1.2	保护继电器型号与说明 <sup>[23]</sup>	<p>(1) 保护继电器型号的格式如下:</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>(2) 保护继电器动作原理代号,如附表 1 所示:</p> <p style="text-align: center;">附表 1 继电器动作原理代号</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>代号</th> <th>代号含义</th> <th>代号</th> <th>代号含义</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>半导体式</td> <td>M</td> <td>马达(电动机)式</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>磁电式</td> <td>N</td> <td>功能组件</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>电磁式</td> <td>S</td> <td>数字式</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>附 件</td> <td>W</td> <td>微机式</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>感应式</td> <td>X</td> <td>箱 子</td> </tr> <tr> <td>J</td> <td>晶体管或集成电路式</td> <td>Z</td> <td>装 置</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>整流式</td> <td>-</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	代号	代号含义	代号	代号含义	B	半导体式	M	马达(电动机)式	C	磁电式	N	功能组件	D	电磁式	S	数字式	F	附 件	W	微机式	G	感应式	X	箱 子	J	晶体管或集成电路式	Z	装 置	L	整流式	-	—
代号	代号含义	代号	代号含义																															
B	半导体式	M	马达(电动机)式																															
C	磁电式	N	功能组件																															
D	电磁式	S	数字式																															
F	附 件	W	微机式																															
G	感应式	X	箱 子																															
J	晶体管或集成电路式	Z	装 置																															
L	整流式	-	—																															

续表

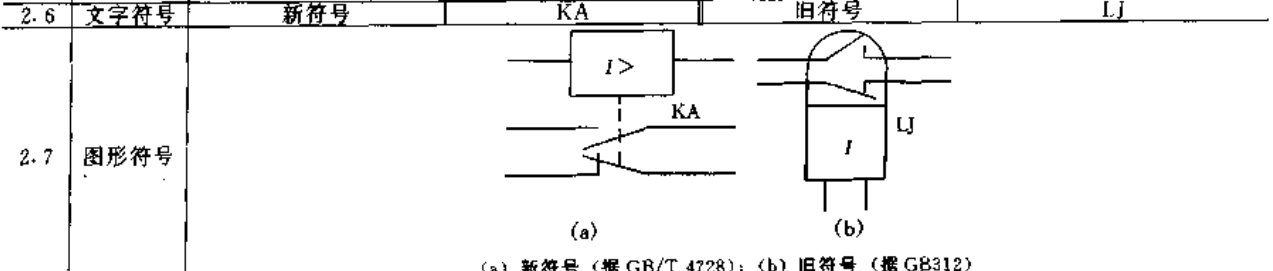
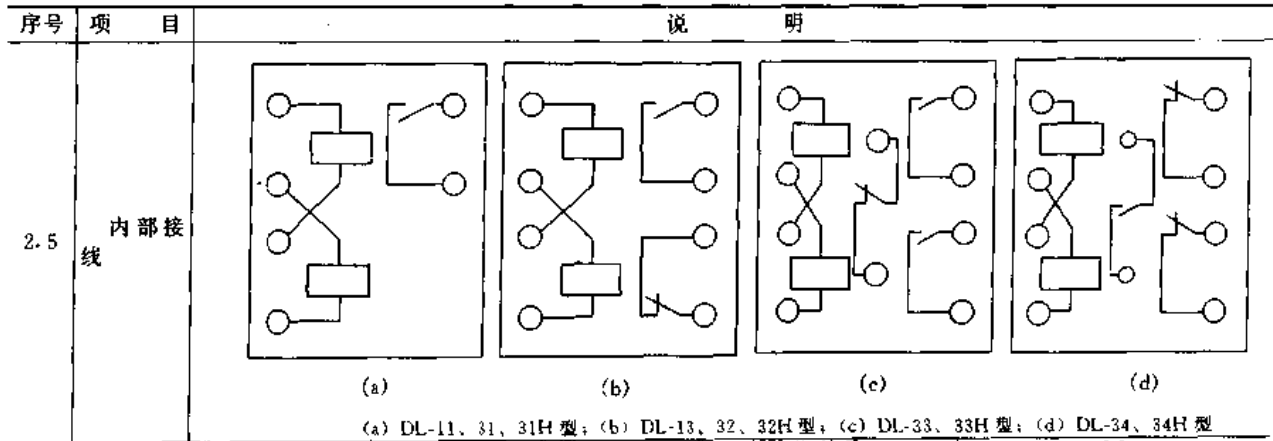
序号	项 目	说 明																																																																																																												
1.2	保护器型号与说明 <sup>[23]</sup>	(3) 继电器主要功能代号, 如附表 2 所示																																																																																																												
		(4) 设计序号和规格代号, 用阿拉伯数字表示																																																																																																												
		(5) 产品改进代号, 如外形尺寸不变, 可在设计序号或主要规格后加 A、B、C 表示。阿城继电器厂的产品加 E, 表示该产品性能尺寸均有改变; 加 H, 表示与原产品可互换使用																																																																																																												
		附表 2 继电器主要功能代号																																																																																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>代号</th> <th>代号含义</th> <th>代号</th> <th>代号含义</th> <th>代号</th> <th>代号含义</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BH</td> <td>变压器保护</td> <td>GP</td> <td>过频率</td> <td>NG</td> <td>逆功率</td> </tr> <tr> <td>BL</td> <td>变流器</td> <td>GS</td> <td>功率因数</td> <td>P</td> <td>平衡</td> </tr> <tr> <td>BS</td> <td>闭 锁</td> <td>H</td> <td>极 化</td> <td>QP</td> <td>欠频率</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>冲击, 充电</td> <td>HH</td> <td>横差电流</td> <td>S</td> <td>时 间</td> </tr> <tr> <td>CB</td> <td>励磁机保护</td> <td>HY</td> <td>复合电压</td> <td>T</td> <td>同步检查</td> </tr> <tr> <td>CD</td> <td>差 动</td> <td>J</td> <td>计 数</td> <td>X</td> <td>信 号</td> </tr> <tr> <td>CH</td> <td>重合闸</td> <td>JJ</td> <td>绝缘监视</td> <td>XB</td> <td>相位比较</td> </tr> <tr> <td>CP</td> <td>差频率</td> <td>L</td> <td>电 流</td> <td>XM</td> <td>密封触点信号</td> </tr> <tr> <td>CX</td> <td>冲击信号</td> <td>LC</td> <td>过流, 重合闸</td> <td>Y</td> <td>电 压</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>接地, 定时器</td> <td>LD</td> <td>漏 电</td> <td>Z</td> <td>中间, 阻抗</td> </tr> <tr> <td>DC</td> <td>低励磁</td> <td>LF</td> <td>零序电流方向</td> <td>ZB</td> <td>具有保持中间</td> </tr> <tr> <td>DJ</td> <td>导线监视</td> <td>LG</td> <td>零序功率方向</td> <td>ZJ</td> <td>交流中间</td> </tr> <tr> <td>DX</td> <td>断 相</td> <td>LL</td> <td>零序电流</td> <td>ZK</td> <td>快速中间</td> </tr> <tr> <td>FG</td> <td>负序功率方向</td> <td>LS</td> <td>联 锁</td> <td>ZL</td> <td>电流中间</td> </tr> <tr> <td>FL</td> <td>负序电流增量</td> <td>LY</td> <td>零序电压</td> <td>ZM</td> <td>密封触点中间</td> </tr> <tr> <td>FY</td> <td>负序电压增量</td> <td>M</td> <td>电 码</td> <td>ZS</td> <td>延时中间</td> </tr> <tr> <td>FZ</td> <td>匝间保护</td> <td>N</td> <td>逆 流</td> <td>ZY</td> <td>电压中间</td> </tr> </tbody> </table>	代号	代号含义	代号	代号含义	代号	代号含义	BH	变压器保护	GP	过频率	NG	逆功率	BL	变流器	GS	功率因数	P	平衡	BS	闭 锁	H	极 化	QP	欠频率	C	冲击, 充电	HH	横差电流	S	时 间	CB	励磁机保护	HY	复合电压	T	同步检查	CD	差 动	J	计 数	X	信 号	CH	重合闸	JJ	绝缘监视	XB	相位比较	CP	差频率	L	电 流	XM	密封触点信号	CX	冲击信号	LC	过流, 重合闸	Y	电 压	D	接地, 定时器	LD	漏 电	Z	中间, 阻抗	DC	低励磁	LF	零序电流方向	ZB	具有保持中间	DJ	导线监视	LG	零序功率方向	ZJ	交流中间	DX	断 相	LL	零序电流	ZK	快速中间	FG	负序功率方向	LS	联 锁	ZL	电流中间	FL	负序电流增量	LY	零序电压	ZM	密封触点中间	FY	负序电压增量	M	电 码	ZS	延时中间	FZ	匝间保护	N	逆 流	ZY	电压中间
代号	代号含义	代号	代号含义	代号	代号含义																																																																																																									
BH	变压器保护	GP	过频率	NG	逆功率																																																																																																									
BL	变流器	GS	功率因数	P	平衡																																																																																																									
BS	闭 锁	H	极 化	QP	欠频率																																																																																																									
C	冲击, 充电	HH	横差电流	S	时 间																																																																																																									
CB	励磁机保护	HY	复合电压	T	同步检查																																																																																																									
CD	差 动	J	计 数	X	信 号																																																																																																									
CH	重合闸	JJ	绝缘监视	XB	相位比较																																																																																																									
CP	差频率	L	电 流	XM	密封触点信号																																																																																																									
CX	冲击信号	LC	过流, 重合闸	Y	电 压																																																																																																									
D	接地, 定时器	LD	漏 电	Z	中间, 阻抗																																																																																																									
DC	低励磁	LF	零序电流方向	ZB	具有保持中间																																																																																																									
DJ	导线监视	LG	零序功率方向	ZJ	交流中间																																																																																																									
DX	断 相	LL	零序电流	ZK	快速中间																																																																																																									
FG	负序功率方向	LS	联 锁	ZL	电流中间																																																																																																									
FL	负序电流增量	LY	零序电压	ZM	密封触点中间																																																																																																									
FY	负序电压增量	M	电 码	ZS	延时中间																																																																																																									
FZ	匝间保护	N	逆 流	ZY	电压中间																																																																																																									
		(6) 继电器派生产品代号, 如附表 3 所示																																																																																																												
		附表 3 继电器派生产品代号																																																																																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>代号</th> <th>代号含义</th> <th>代号</th> <th>代号含义</th> <th>代号</th> <th>代号含义</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C</td> <td>长期通电</td> <td>Q</td> <td>前接线</td> <td>X</td> <td>带信号牌</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>嵌人式</td> <td>T</td> <td>凸出式</td> <td>Z</td> <td>带指针</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>拼块式</td> <td>TH</td> <td>湿热符</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	代号	代号含义	代号	代号含义	代号	代号含义	C	长期通电	Q	前接线	X	带信号牌	K	嵌人式	T	凸出式	Z	带指针	P	拼块式	TH	湿热符	—	—																																																																																				
代号	代号含义	代号	代号含义	代号	代号含义																																																																																																									
C	长期通电	Q	前接线	X	带信号牌																																																																																																									
K	嵌人式	T	凸出式	Z	带指针																																																																																																									
P	拼块式	TH	湿热符	—	—																																																																																																									

2 电磁式电流继电器

2.1	基本结构 (DL-10 系列)	<p>电磁式电流继电器的基本结构如下图所示:</p> <p>1—电磁铁; 2—铜舌片; 3—电磁线圈; 4—转轴; 5—反作用弹簧; 6—轴承; 7—标度盘(铭牌); 8—起动作电流调节转杆; 9—动触点; 10—静触点</p>
2.2	工作原理	<p>当继电器线圈中通过的电流达到动作值时, 使固定在转轴上的 Z 形钢舌片被电磁铁吸引而偏转, 导致继电器的触点切换, 使动合(常开)触点闭合, 动断(常闭)触点断开, 即继电器动作。当继电器线圈断电时, Z 形钢舌片被释放, 在弹簧作用下, 使继电器返回起始状态。</p>
2.3	动作特性	<p>该继电器的动作极为迅速, 可认为是“瞬时动作”(瞬动), 故此继电器也称为“瞬时继电器”。</p>
2.4	调节动作电流方法	<p>(1) 平滑调节: 利用动作电流调节转杆来改变弹簧的反作用力矩 (2) 级进调节: 利用改变线圈的接法。线圈由串联改为并联时, 动作电流增大一倍; 线圈由并联改为串联时, 动作电流减小一半。</p>



续表

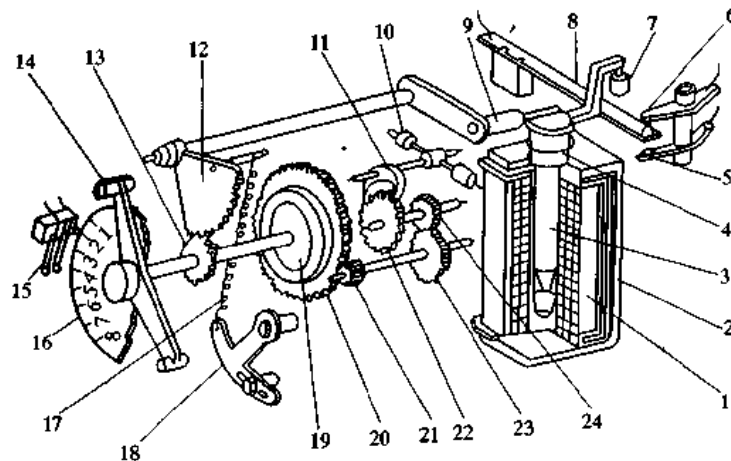
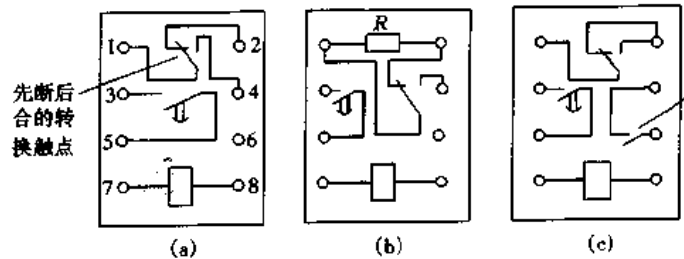
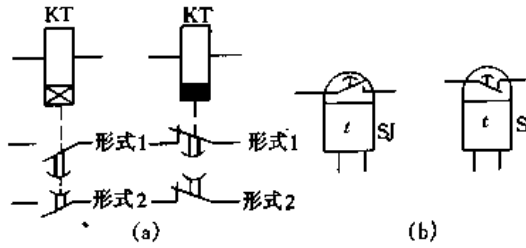


2.8	DL-11、DL-12、DL-13 技术数据 <sup>[25]</sup>	最大整定电流 (A)	电流整定范围 (A)	线圈串联				线圈并联				在第一整定电流时消耗的功率 (VA)	返回系数
				动作电流 (A)	热稳定电流 (A)		动作电流 (A)	热稳定电流 (A)					
					长期	1s		长期	1s				
		0.01	0.0025~0.01	0.0025~0.005	0.02	0.6	0.005~0.01	0.04	1.2	0.08	0.8		
		0.04	0.01~0.04	0.01~0.02	0.05	1.5	0.02~0.04	0.1	3	0.08			
		0.05	0.0125~0.05	0.0125~0.025	0.08	2.5	0.025~0.05	0.16	5	0.08			
		0.2	0.05~0.2	0.05~0.1	0.3	12	0.1~0.2	0.5	24	0.1			
		0.6	0.15~0.6	0.15~0.3	1	45	0.3~0.6	2	90	0.1			
		2	0.5~2	0.5~1	4	100	1~2	8	200	0.1			
		6	1.5~6	1.5~3	10	300	3~6	20	600	0.1			
		10	2.5~10	2.5~5	10	300	5~10	20	600	0.15			
		20	5~20	5~10	15	300	10~20	30	600	0.25			
		50	12.5~50	12.5~25	20	450	25~50	40	900	1.0			
		100	25~100	25~50	20	450	50~100	40	900	2.5			
		200	50~200	50~100	20	450	100~200	40	900	10			

2.9	DL-31、31H、DL-32、32H、DL-33、33H、DL-34、34H 技术数据 <sup>[23]</sup>	最大整定电流 (A)	额定电流 (A)		长期允许电流 (A)		电流整定范围 (A)	动作电流 (A)		功率消耗 (VA)
			线圈串联	线圈并联	线圈串联	线圈并联		线圈串联	线圈并联	
		0.0049					0.0049	0.00245		额定值时线圈串联不大于20
		0.0064					0.0064	0.0032		
		0.01	0.02	0.04	0.02	0.04	0.0025~0.01	0.0025~0.005	0.005~0.01	电流为5A时线圈并联不大于15
		0.05	0.08	0.16	0.08	0.16	0.0125~0.05	0.0125~0.025	0.025~0.05	
		0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.05~0.2	0.05~0.1	0.1~0.2	
		0.6	1	2	1	2	0.15~0.6	0.15~0.3	0.3~0.6	
		2	3	6	4	8	0.5~2	0.5~1	1~2	
		2.4	5	10	5	10	0.6~2.4	0.6~1.2	1.2~2.4	
		6	6	12	6	12	1.5~6	1.5~3	3~6	
		10	10	20	10	20	2.5~10	2.5~6	5~10	
		15	10	20	15	30	3.75~15	3.75~1.5	7.5~15	
		20	10	20	15	30	5~20	5~10	10~20	
		50	15	30	20	40	12.5~50	12.5~3.5	25~50	
		100	15	30	20	40	25~100	25~50	50~100	
		200	15	30	20	40	50~200	50~100	100~200	

备注: (1) 本表为阿城继电器厂数据  
 (2) 返回系数一般不小于0.8; 整定电流200A为0.75

续表

序号	项 目	说 明				
3		<b>电磁式时间继电器</b>				
3.1	基本结构 (DS-110系列)	 <p>1—线圈；2—电磁铁；3—可动铁芯；4—返回弹簧；5、6—瞬时静触点；7—绝缘件；8—瞬时动触点；9—压杆；10—平衡锤；11—摆动卡板；12—扇形齿轮；13—传动齿轮；14—主动触点；15—主静触点；16—标度盘；17—拉引弹簧；18—弹簧拉力调节器；19—摩擦离合器；20—主齿轮；21—小齿轮；22—掣轮；23、24—钟表机构传动齿轮</p>				
3.2	工作原理	当继电器线圈通电时，铁芯被吸入，使被卡住的一套钟表机构被释放，同时切换瞬时触点，并在拉引弹簧作用下，经过整定的时间，使主触点闭合。当线圈断电时，继电器在弹簧作用下返回起始状态				
3.3	调节时间方法	继电器的动作时间，利用改变夹紧在标度盘上的主静触点位置来调节，即调节主静触点与主动触点的相对位置。调节的时间范围，在标度盘上有刻度标示				
3.4	使用注意事项	时间继电器的线圈通常不按长期接上额定电压来设计，因此凡需长期通电的时间继电器，如DS-111C等型（C表示“长期通电”），应在动作后，利用其常闭的瞬时触点的断开，使其线圈串入电阻，以限制线圈电流，以免线圈长期过热烧毁				
3.5	内部接线	 <p>(a) DS-111, 112, 113, 121, 122, 123型；(b) DS-111C, 112C, 113C型；(c) DS-115, 116, 125, 126型</p> <p>注：DS-110系列用于直流；DS-120系列用于交流</p>				
3.6	文字符号	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">新符号</td> <td style="width: 25%;">KT</td> <td style="width: 25%;">旧符号</td> <td style="width: 25%;">SJ</td> </tr> </table>	新符号	KT	旧符号	SJ
新符号	KT	旧符号	SJ			
3.7	图形符号	 <p>(a) 新符号 (据 GB/T 4728)；(b) 旧符号 (据 GB 312)</p>				

续表

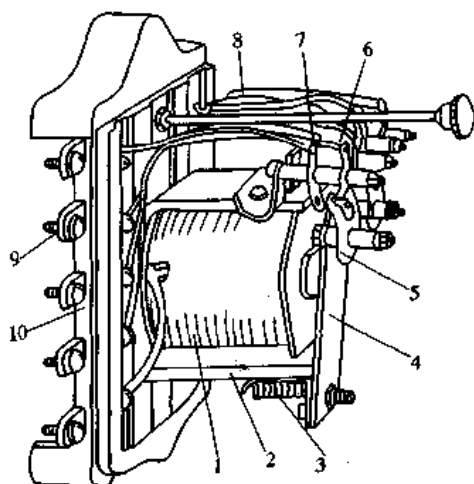
序号	项 目	说 明							
3.8	DS-110、 DS-120 系列技术 数据 <sup>[25]</sup>	型号	额定电压 $U_N$ (V)	延时整定范围 (s)	线圈耐受 110%额定电 压时间(min)	动作电压	功率消耗	触点容量 (W)	
		DS-111C	直流 24 48 110 220	0.1~1.3	长期	不大于 $70\%U_N$	12W	<220V、 <1A的 感性负载	
		DS-112C		0.25~3.5					
		DS-113C		0.5~9					
		DS-111		0.1~1.3	2		30W		
		DS-112		0.25~3.5					
		DS-113		0.5~9					
		DS-114		0.1~1.3					
		DS-115		0.25~3.5					
		DS-116		0.5~9					
		DS-121	交流	0.1~1.3	2	不大于 $85\%U_N$	85VA		
		DS-122	100	0.25~3.5					
		DS-123	110	0.5~9					
		DS-124	127	0.1~1.3					
		DS-125	220	0.25~3.5					
		DS-126	380	0.5~9					
		3.9	DS-30H 系列技术 数据 <sup>[23]</sup>	型号	额定电压 $U_N$ (V)	工作方式	延时范围 (s)	动作电压 不大于	返回电压 不小于
DS-31H	直流 24			短期	0.1~1.5	$70\%U_N$	$5\%U_N$	25W	
DS-32H					0.5~5				
DS-33H					1~10				
DS-34H					2~20				
DS-31H/C	110			长期	0.1~1.5	$75\%U_N$	15W		
DS-32H/C					0.5~5				
DS-33H/C					1~10				
DS-34H/C					2~20				
DS-35H	交流 100 110 127 220 380			短期	0.1~1.5	$85\%U_N$	$5\%U_N$	25VA	
DS-36H					0.5~5				
DS-37H					1~10				
DS-38H					2~20				
DS-35H/C				220	长期			0.1~1.5	15VA
DS-36H/C								0.5~5	
DS-37H/C								1~10	
DS-38H/C								2~20	

电磁式中间继电器

4

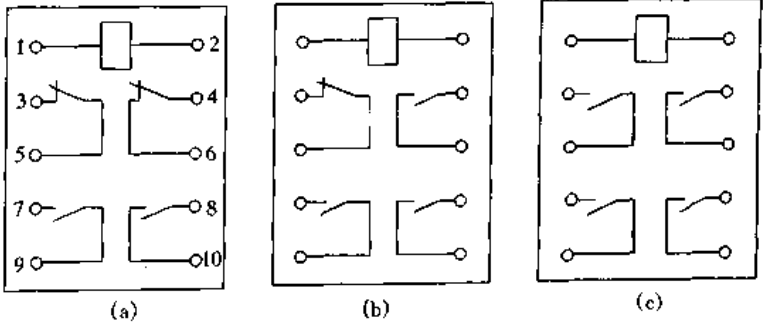
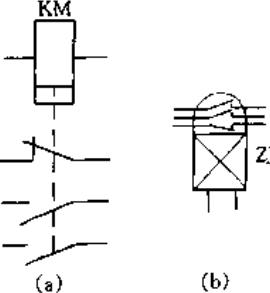
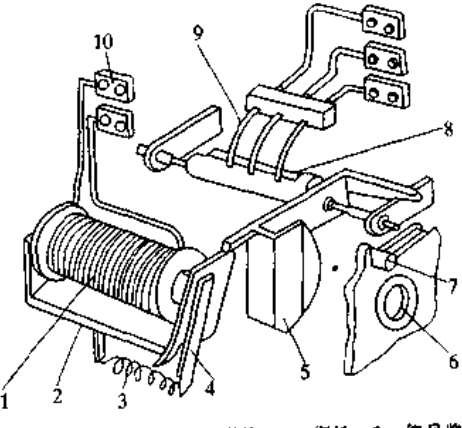
4.1

基本  
结构  
(DZ-10  
系列)

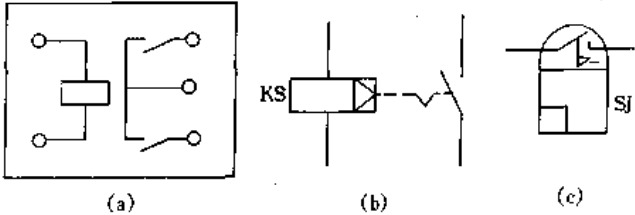
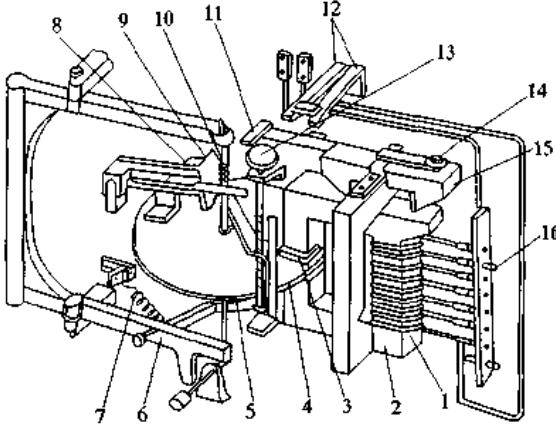
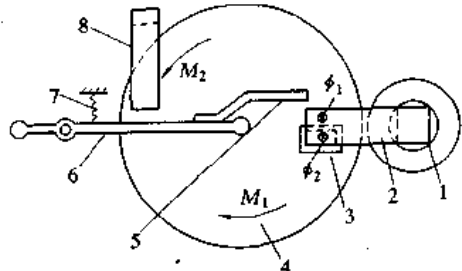


1—线圈；2—电磁铁；3—弹  
簧；4—衔铁；5—动触点；6、  
7—静触点；8—连接线；9—  
接线端子；10—底座

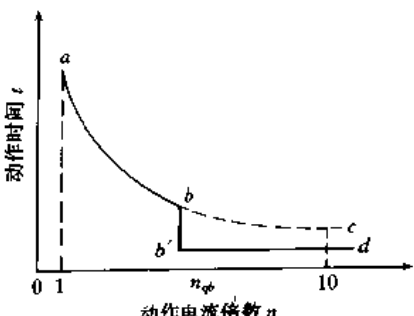
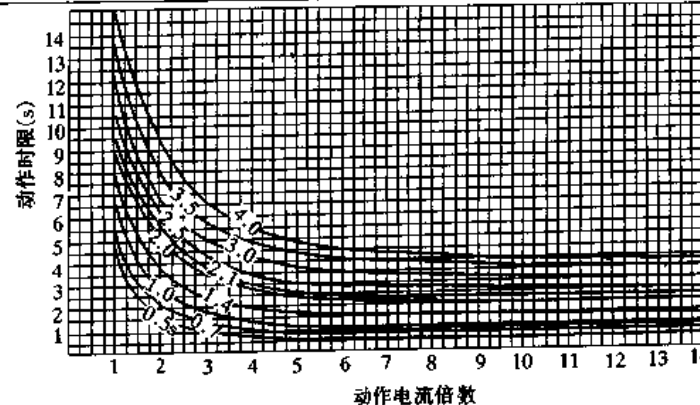
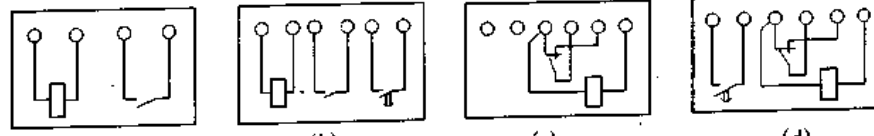
续表

序号	项 目	说 明				
4.2	工作原 理	当继电器线圈通电时, 衔铁被快速吸向电磁铁, 从而使触点切换。当线圈断电时, 衔铁被快速释放, 触点返回起始位置				
4.3	功能特 点	该继电器在继电保护装置中主要用作出口继电器, 且具有弥补主继电器的触点数量和容量不足的功能				
4.4	内部接 线	 <p>(a) DZ-15 型; (b) DZ-16 型; (c) DZ-17 型</p>				
4.5	文字符号	新符号	KM	旧符号	ZJ	
4.6	图形符 号	 <p>(a) 新符号 (据 GB/T 4728 派生<sup>[42]</sup>); (b) 旧符号 (据 GB 312)</p>				
4.7	DZ-15、 DZ-16、 DZ-17 技术数 据 <sup>[23]</sup>	额定电压 $U_N$ (V)	动作电压不大于	返回电压不小于	动作时间不大于	功率消耗不大于
		直流 12、24、48、 110、220	$70\%U_N$	$3\%U_N$	0.045s ( $U_N$ 时)	7W ( $U_N$ 时)
5	电 磁 式 信 号 继 电 器					
5.1	基 本 结 构 (DX-11 型)	 <p>1—线圈; 2—电磁铁; 3—弹簧; 4—衔铁; 5—信号牌; 6—观察窗孔; 7—复位旋钮; 8—动触点; 9—静触点; 10—接线端子</p>				
5.2	类 型 特 点	该型继电器有电流型和电压型两种: 电流型的线圈阻抗很小, 串联在二次回路中不影响其他元件 (如中间继电器) 的正常动作; 而电压型的线圈阻抗较大, 只能并联在二次回路内				

续表

序号	项目	说明			
5.3	工作原理	该继电器在正常状态时,其信号牌是被衔铁支持住的。当继电器线圈通电时,衔铁被吸向铁芯而使信号牌掉下,显示其动作信号,同时带动转轴旋转90°,使固定在转轴上的动触点与静触点接通,从而接通信号回路,发出音响或灯光信号。要使信号停止,可旋转外壳上的复位旋钮,断开信号回路,并使信号牌复位			
5.4	文字符号	新符号	KS	旧符号	XJ
5.5	内部接线和图形符号	 <p>(a) 内部接线; (b) 新符号 (据 GB/T 4728 派生<sup>[42]</sup>); (c) 旧符号 (据 GB 312)</p>			
5.6	DX-11 型技术数据 <sup>[23]</sup>	额定电压 $U_N$ (V, 电压型) 直流 12、24、48、110、220	额定电流 $I_N$ (A, 电流型) 0.01、0.015、0.025、0.05、0.075、0.1、0.15、0.25、0.5、0.75、1	动作值 电压型 不大于 $70\%U_N$ 电流型 不大于 $95\%I_N$	功率消耗 电压型 约 2W 电流型 约 0.3W
6	感应式电流继电器				
6.1	基本结构 (GL-10、20 系列)	 <p>1—线圈; 2—电磁铁; 3—短路环; 4—铝质圆盘; 5—钢片; 6—铝质框架; 7—调节弹簧; 8—制动永久磁铁; 9—扇形齿轮; 10—铜杆; 11—扁杆; 12—继电器触点; 13—动作时限调节螺杆; 14—速断电流倍数调节螺钉; 15—衔铁; 16—动作电流调节插销</p> <p>感应式电流继电器的结构,可分为感应元件(含图中1、2、3、4等)和电磁元件(含图中1、2、15等)两大部分</p>			
6.2	工作原理	 <p>1—线圈; 2—电磁铁; 3—短路环; 4—铝盘; 5—钢片; 6—铝框架; 7—调节弹簧; 8—制动磁铁</p> <p>当线圈有电流 <math>I_{KA}</math> 通过时,电磁铁因有一半装有短路环的关系,而产生两个相位一前一后的磁通 <math>\Phi_1</math> 和 <math>\Phi_2</math>, 穿过铝盘,使铝盘产生转矩</p>			

续表

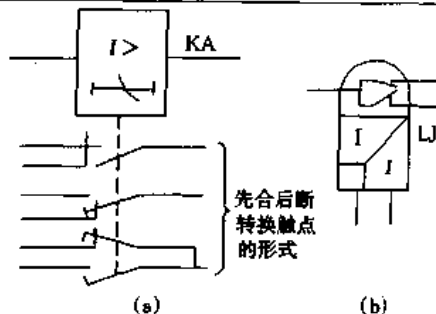
序号	项目	说明
6.2	工作原理	$M_1 \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi$ <p>式中 <math>\psi</math> 为 <math>\Phi_1</math> 与 <math>\Phi_2</math> 间的相位差。此式通称感应式机构的基本转矩方程式。转矩方向为从领先磁通 <math>\Phi_1</math> 向滞后磁通 <math>\Phi_2</math> 的方向</p> <p>由于 <math>\Phi_1 \propto I_{KA}</math>, <math>\Phi_2 \propto I_{KA}</math>, 而 <math>\psi</math> 为常数, 因此</p> $M_1 \propto I_{KA}^2$ <p>铝盘在转矩 <math>M_1</math> 作用下转动后, 切割制动磁铁两极间的磁通而在铝盘上产生涡流, 涡流又与制动磁铁的磁通作用产生一个与 <math>M_1</math> 反向的制动力矩 <math>M_2</math>, <math>M_2 \propto n</math> (铝盘转速)</p> <p>当铝盘转速 <math>n</math> 增大到某一值时, <math>M_1 = M_2</math>, 这时铝盘保持匀速转动</p> <p>继电器铝盘在 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math> 的同时作用下, 有使框架绕轴顺时针偏转的趋势, 但受到弹簧拉力的限制</p> <p>当继电器线圈电流 <math>I_{KA}</math> 增大到动作电流 <math>I_{op}</math> 时, 铝盘因 <math>M_1</math> 和 <math>M_2</math> 同时作用而产生的偏转力足以克服弹簧拉力, 从而带动框架顺时针偏转, 使蜗杆与扇形齿轮啮合。这时称为“继电器动作”</p> <p>由于铝盘转动, 使扇形齿轮沿着蜗杆上升, 最后使继电器触点切换, 同时使信号牌 (图上未示出) 掉下, 给出信号</p> <p>如果继电器线圈电流增大到继电器整定的速断电流时, 电磁铁瞬时吸下衔铁, 直接使继电器触点切换, 同时使信号牌掉下, 给出信号</p>
6.3	动作特性	<p>感应式电流继电器具有“有限反时限特性”, 如图所示</p>  <p>abc—感应元件的反时限特性; b'd—电磁元件的瞬时 (速断) 特性</p>
6.4	GL-11、15型 21、25型 继电器的动作特性曲线	
6.5	调节方法	<p>(1) 继电器的动作电流 (即其感应元件动作电流) <math>I_{op}</math>: 利用插销来改变线圈匝数来进行级进调节, 亦可利用调节弹簧来进行微调</p> <p>(2) 继电器的动作时间: 利用动作时限调节螺杆来调节, 但这是以“10倍动作电流的动作时间”来标度的</p> <p>(3) 继电器的速断电流倍数 <math>n_{qb}</math>: 利用其调节螺钉来调节。 <math>n_{qb} = I_{qb} / I_{op} = 2 \sim 8</math>, 式中 <math>I_{qb}</math> 为速断电流 (瞬动电流)</p>
6.6	内部接线	 <p>(a) GL-11、12型; (b) GL-13、14型; (c) GL-15型; (d) GL-16型</p>

续表

序号	项 目	说 明		
6.7	文字符号	新符号	KA	旧符号 LJ

6.8

图形符号



(a) 新符号 (据 GB/T 4728); (b) 旧符号 (据 GB 312)

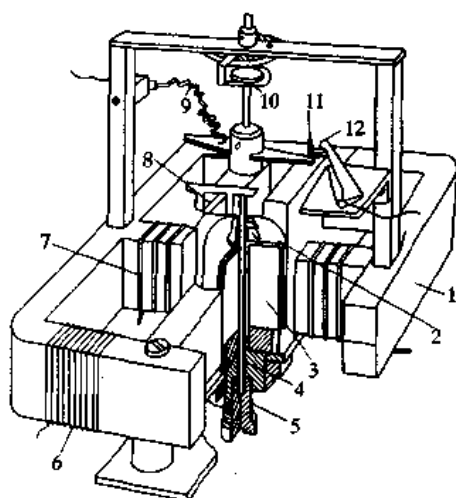
型号	额定电流 (A)	整定值		速断电流倍数	返回系数	功率消耗 (VA)
		整定电流 (A)	动作时间 (s)			
GL-11/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	0.5, 1.2, 3, 4	2~8	≤0.85	≥15
GL-11/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
GL-12/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	2, 4, 8, 12, 16			
GL-12/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
GL-13/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	2, 3, 4			
GL-13/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
GL-14/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	8, 12, 16			
GL-14/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
GL-15/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	0.5, 1.2, 3, 4			
GL-15/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				
GL-16/5	5	2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5	8, 12, 16			
GL-16/10	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10				

7

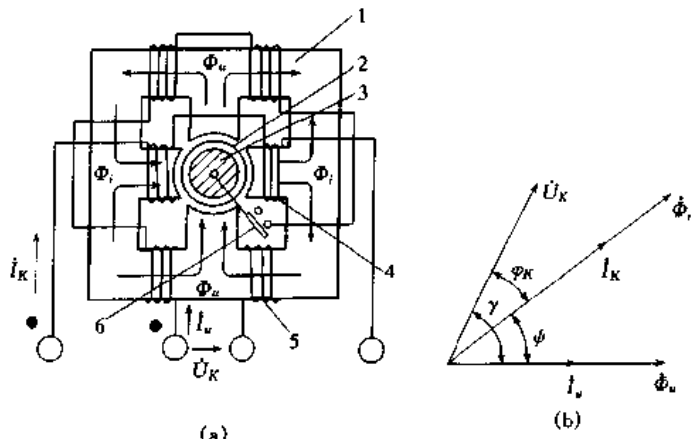
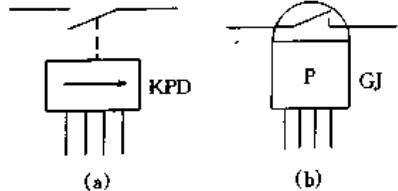
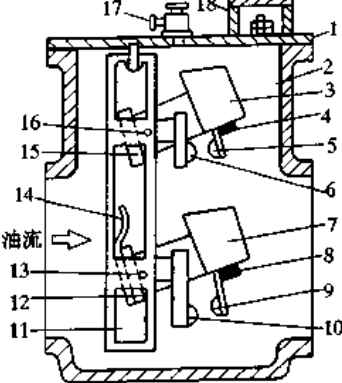
感应式功率方向继电器

7.1

基本结构 (GG-11型)



- 1—继电器磁系统 (铁芯); 2—铝质圆筒 (转子); 3—固定圆铁芯;
- 4—转轴; 5—轴承; 6—电压线圈; 7—电流线圈; 8—行程限制器;
- 9—电流引线; 10—弹簧; 11—动触点; 12—静触点

序号	项 目	说 明				
7.2	工作原理	 <p>1—铁芯；2—铝筒（转子）；3—固定圆铁芯；4—电流线圈；5—电压线圈；6—动、静触点</p> <p>如图 a 所示，当继电器电流线圈有电流 <math>I_K</math> 通过，而电压线圈加有电压 <math>U_K</math>，其中有电流 <math>I_U</math>，即在铁芯磁路中分别产生磁通 <math>\Phi_K</math> 和 <math>\Phi_U</math>，从而在铝筒上产生转矩：</p> $M \propto \Phi_K \Phi_U \sin \psi$ <p>式中 <math>\psi</math> 为 <math>\Phi_K</math> 与 <math>\Phi_U</math> 间的相位差；转矩方向为从 <math>\Phi_K</math> 向 <math>\Phi_U</math> 的方向</p> <p>继电器的相量图如图 b 所示。<math>\varphi_K</math> 为 <math>I_K</math> 与 <math>\dot{U}_K</math> 间的相位差，<math>\gamma</math> 为电压线圈阻抗角。对 GG-1 型，<math>\gamma = 60^\circ</math>；如电压线圈回路串入 <math>250\Omega</math> 电阻，<math>\gamma = 45^\circ</math></p> <p>假设电压线圈加的电压不变，而改变电流线圈中电流方向，则继电器可动部分要反向偏转。如果其可动部分反时针方向偏转为动作，接通触点，则电流反向时，可动部分顺时针方向偏转即为不动作，断开触点。因此该继电器只对电路中预定的保护方向起作用</p>				
7.3	文字符号	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%; text-align:center;">新符号</td> <td style="width:25%; text-align:center;">KP 或 KPD</td> <td style="width:25%; text-align:center;">旧符号</td> <td style="width:25%; text-align:center;">GJ</td> </tr> </table>	新符号	KP 或 KPD	旧符号	GJ
新符号	KP 或 KPD	旧符号	GJ			
7.4	图形符号	 <p>(a) 新符号（据 GB/T 4728 派生）；(b) 旧符号（据 GB 312）</p>				
8	开口杯式瓦斯继电器					
8.1	基本结构 (FJ <sub>3</sub> -80 型)	 <p>1—盖板；2—容器；3—上油杯；4—永久磁铁；5—上动触点；6—上静触点；7—下油杯；8—永久磁铁；9—下动触点；10—下静触点；11—支架；12—下平衡锤；13—下转轴；14—挡板；15—上平衡锤；16—上转轴；17—放气阀；18—接线端子盒</p>				
8.2	工作 原理	<p>(1) 正常工作时（图 a）： 瓦斯继电器的上下两对触点均断开</p> <p>(2) 轻瓦斯动作（图 b）： 油浸式变压器内部出现轻微故障时，瓦斯继电器的上触点闭合，发出信号</p>				



续表

序号	项目	说明				
8.2	工作原理	<p>(3) 重瓦斯动作 (图 c): 油浸式变压器内部出现严重故障时, 瓦斯继电器的下触点闭合, 使断路器跳闸, 并发出信号</p> <p>(4) 变压器漏油时 (图 d): 先是瓦斯继电器上触点闭合, 发出报警信号; 继续漏油时, 瓦斯继电器下触点闭合, 使断路器跳闸</p> <p>(a) 正常工作时; (b) 轻瓦斯动作; (c) 重瓦斯动作; (d) 严重漏油时</p>				
8.3	文字符号	<table border="1"> <tr> <td>新符号</td> <td>KG</td> <td>旧符号</td> <td>WSJ</td> </tr> </table>	新符号	KG	旧符号	WSJ
新符号	KG	旧符号	WSJ			
8.4	图形符号	<p>(a) 新符号 (据 GB/T 4728); (b) 旧符号 (据 GB 312)</p>				

注 电磁式电压继电器 (DY 型) 的结构、工作原理、动作特性及调节方法, 与电磁式电流继电器 (DL 型) 基本相同, 只是 DY 型的线圈为电压线圈, 其动作所反应的参数不是电流而是电压。

(2) 继电器保护与电流互感器的接线方式。如表 7-10 所示。

表 7-10 继电器保护与电流互感器的接线方式

序号	项目	说明
1	两相式 两继电器 接线	<p>该接线的接线系数<sup>①</sup><math>K_w=1</math>, 不论哪种相间短路, 保护装置的灵敏度都相同</p>
2	两相式 一继电器 接线 (两相 电流差 接线)	<p>该接线在三相短路时接线系数<math>K_w^{(3)} = \sqrt{3}</math>; A、C 间短路时<math>K_w^{(A,C)} = 2</math>; A、B 或 B、C 间短路时<math>K_w^{(A,B)} = K_w^{(B,C)} = 1</math>, 即不同相间短路, 保护装置的灵敏度不同</p>

续表

序号	项目	说明
3	三相 三继电器 接线	<p>该接线的接线系数<math>K_w=1</math>, 不论哪种相间短路, 保护装置的灵敏度都相同, 但这种接线与两相两继电器式接线相比, 多耗用了电流互感器和继电器, 一般只用于中性点直接接地的高压系统</p> <p>①接线系数为继电器电流<math>I_{KA}</math>与其连接的电流互感器二次电流<math>I_2</math>的比值。对相电流接线 (含两相两继电器式接线和三相三继电器式接线), <math>K_w=1</math>; 对相电流差接线, <math>K_w = \sqrt{3}</math> (均指三相短路时)。</p> <p>(3) 保护装置的操作电源。如表 7-11 所示。</p>

表 7-11 保护装置的操作电源

续表

序号	项 目	说 明
1		对保护装置操作电源的一般要求 (据 GB 50062--1992)
1.1	对用作直流操作电源的蓄电池组要求	(1) 由浮充电设备引起的波纹系数不应大于 5% (2) 电压允许波动应控制在额定电压的 5% 范围内 (3) 放电末期直流母线电压下限不应低于额定电压的 85%，充电后期直流母线电压上限不应高于额定电压的 115%
1.2	对用作直流操作电源的交流整流电源的要求	(1) 直流母线电压，在最大负荷时保护动作不应低于额定电压的 80%，最高电压不应超过额定电压的 115%，并应采取稳压、限幅和滤波的措施。电压波动应控制在额定电压的 5% 范围内，波纹系数不应大于 5% (2) 当采用复式整流时，应保证在各种运行方式下，在不同故障点和不同相别短路时，保护装置均能可靠动作 (3) 对采用电容储能电源的变电所和水电厂，电力设备和线路应具有可靠的远后备保护，即当其保护装置或断路器拒动时，应可靠地由相邻电力设备或线路的保护装置动作。在失去交流电源情况下，当有几套保护装置同时动作时，或在其他情况下消耗直流能量最大时，应保证保护与断路器可靠动作。同一厂所的电容器组数应与保护的级数相适应
1.3	对采用交流操作电源的要求	(1) 当采用交流操作的保护装置时，短路保护可由被保护元件的电流互感器取得操作电源 (2) 变压器的瓦斯保护和中性点非直接接地电力网的接地保护，可由电压互感器或变电所用变压器取得操作电源，亦可增加电容储能电源作为跳闸的后备电源
2		保护装置用直流操作电源
2.1	铅酸蓄电池组(详见表 8-2)	铅酸蓄电池由二氧化铅 (PbO <sub>2</sub> ) 的正极板、铅 (Pb) 的负极板与密度为 1.2~1.3g/cm <sup>3</sup> 的稀硫酸 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) 电解液构成，容器多为玻璃。铅酸蓄电池充放电的化学反应式为： $PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb \xrightleftharpoons[充电]{放电} 2PbSO_4 + 2H_2O$ 铅酸蓄电池单个的额定电压为 2V，但充电终了时端电压可达 2.7V，放电后端电压可降至 1.95V 采用铅酸蓄电池组作操作电源，不受供电系统运行情况的影响，工作可靠。但它充电时要排出氢和氧的混合气体（水的电解所致），有爆炸危险，而且随着气体带出硫酸蒸气，有强腐蚀性，对人身健康和设备安全都有很大影响。因此铅酸蓄电池组必须单独装设在专用房间内，而且要考虑防腐防爆，从而投资很大，现在一般企业供电系统中不予采用

序号	项 目	说 明
2.2	镉镍(碱性)蓄电池组(详见表 8-3)	镉镍蓄电池的正极板为氢氧化镍 [Ni(OH) <sub>2</sub> ] 或三氧化二镍 (Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 的活性物，负极板为镉 (Cd)，电解液为氢氧化钾 (KOH) 或氢氧化钠 (NaOH) 等碱溶液。镉镍蓄电池充、放电的化学反应式为： $Cd + 2Ni(OH)_2 \xrightleftharpoons[充电]{放电} Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$ 从上列反应式可以看出，电解液并未参与反应，它只是起传导电流的作用，因此在充、放电过程中，电解液密度不会改变 镉镍蓄电池单个的额定端电压为 1.2V，充电终了时端电压可达 1.75V，放电后端电压可降至 1.0V 采用镉镍蓄电池组作操作电源，除不受供电系统运行情况的影响、工作可靠外，还具有大电流放电性能好，比功率大，机械强度高，使用寿命长，腐蚀性小，无需专用房间等优点，从而大大降低了投资，因此在企业供电系统中应用比较普遍
2.3	硅整流电容储能式直流电源(详见表 8-4)	直流操作电源除了上述蓄电池组外，尚有硅整流电源。为了避免受交流供电系统运行的影响，因此采用硅整流器作直流操作电源时，必须配以电容器储能。在交流供电系统正常运行时，通过硅整流器供给直流操作电源，同时通过电容器储能；而当交流供电系统电压降低或消失时，由储能电容器对继电器和跳闸回路提供电源，使其能够正常动作
3		保护装置用交流操作电源
3.1	交流操作的电压源	交流操作电源分电压源和电流源两类。电压源取自变电所内所用变压器或电压互感器。电压互感器的容量小，通常作为油浸变压器内部故障的瓦斯保护和中性点非直接接地系统的接地保护的交流操作电源。油浸变压器内部故障和中性点非直接接地系统中发生单相接地时，均不会影响电压互感器的正常工作，因此电压互感器可作为变压器瓦斯保护和中性点非直接接地系统单相接地保护的交流操作电源
3.2	交流操作的电流源	交流操作的电流源取自被保护电路中的电流互感器，用于短路保护中。由电流互感器供电的继电器保护操作电源有下列三种形式： (1) 直接动作式。利用断路器 QF 手动操作机构内的过流脱扣器（跳闸线圈）YR 作为过电流继电器（直动式）KA，接成两相一继电器式或两相两继电器式接线。系统正常时，YR 中流过的电流远小于 YR 的动作电流（脱扣电流），因此不会动作。当一次电路发生相间短路时，短路电流反应到电流互感器二次侧，流过 YR，达到或超过 YR 的动作电流，从而使断路器 QF 跳闸。这种操作方式简单经济，但保护灵敏度低，因此实际中较少应用

续表

序号	项 目	说 明
		<p>(2) 中间电流互感器供电方式。系统正常时, 电流继电器 KA 不动作, 其常开触点是断开的, 中间电流互感器 TAM 的二次侧处于开路状态, 断路器 QF 的跳闸线圈 YR 不通电, 所以 QF 不会跳闸。当一次电路发生相间短路时, KA 动作, 接通 YR, 由 TAM 供给其跳闸电流, 使 QF 跳闸。这种操作方式使用的电器较多, 而且灵敏度低, 现已为下述操作方式所取代</p> <p>(3) “去分流跳闸”的操作方式。系统正常时, 电流继电器 KA 的常闭触点将跳闸线圈 YR 短路, YR 无电流通过, 断路器 QF 不会跳闸。当一次电路短路时, KA 动作, 其常闭触点断开, 使 YR 的短路分流支路去掉, 从而使电流互感器二次电流全部通过 YR, 致使断路器 QF 跳闸, 即所谓“去分流跳闸”。这种方式接线简单, 省去了中间互感器, 提高了保护灵敏度。现在应用的交流操作的过电流保护普遍采用这种操作方式, 不过实际接线有待完善 (参看表 7-13 序号 3.1)</p>
3.2	交流操作的电流源	<p>(a) 直接动作式过电流保护电路; (b) 采用中间电流互感器的过电流保护电路; (c) “去分流跳闸”的过电流保护电路</p>

### 三、高压电力线路的继电保护

(1) 3~66kV 中性点非直接接地电网中线路的继电保护一般要求。如表 7-12 所示。

表 7-12 3~66kV 中性点非直接接地电网中线路的继电保护一般要求 (据 GB 50062—1992)

序号	项 目	说 明
1	保护的类别	<p>对 3~66kV 线路的下列故障或异常运行, 应装设相应的保护装置:</p> <p>(1) 相间短路 (2) 单相接地 (3) 过负荷</p>
2	3~10kV 线路相间短路保护的装设要求	<p>对 3~10kV 线路装设相间短路保护装置, 应符合下列要求:</p> <p>(1) 由电流继电器构成的保护装置, 应接于两相电流互感器上, 同一网络的所有线路均应装在相同的两相上</p> <p>(2) 后备保护应采用远后备方式</p> <p>(3) 当线路短路使发电厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压的 60% 时, 以及线路导线截面过小, 不允许带时限切除短路时, 应快速切除故障</p> <p>(4) 当过电流保护的时限不大于 0.5~0.7s 时, 且没有第 (3) 款所列的情况, 或没有配合上的要求时, 可不装设瞬动的电流速断保护</p>
3	对 3~10kV 线路相间短路保护装置的要求	<p>在 3~10kV 线路装设的相间短路保护装置, 应符合下列规定:</p> <p>(1) 对单侧电源线路可装设两段过电流保护。第一段为不带时限的电流速断保护; 第二段为带时限的过电流保护。可采用定时限或反时限特性的继电器。对单侧电源带电抗器的线路, 当其断路器不能切断电抗器前的短路时, 不应装设电流速断保护, 此时应由母线保护或其他保护切除电抗器前的故障。保护装置仅在线路的电源侧装设</p> <p>(2) 对双侧电源线路, 可装设带方向或不带方向的电流速断和过电流保护。对 1~2km 双侧电源的短线路, 当采用上述保护不能满足选择性、灵敏性或速动性的要求时, 可采用带辅助导线的纵差保护作主保护, 并装设带方向或不带方向的电流保护作后备保护</p> <p>(3) 对并列运行的平行线路, 宜装设横联差动保护作主保护, 并应以接于两回线电流之和的电流保护, 作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护</p>
4	对 35~66kV 线路相间短路保护装置的要求	<p>对 35~66kV 线路, 可按下列要求装设相间短路保护装置:</p> <p>(1) 对单侧电源线路可采用一段或两段电流速断或电流闭锁电压速断作主保护, 并应以带时限过电流保护作后备保护</p>

续表

续表

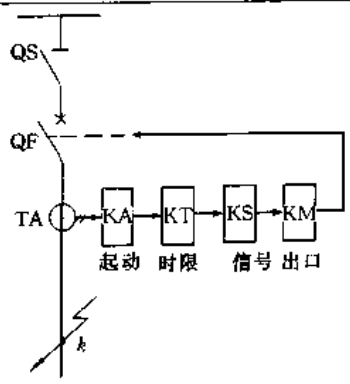
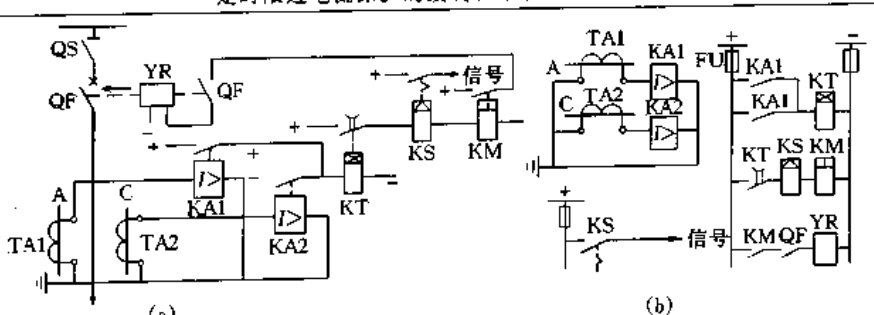
序号	项目	说明
4	对 35~66kV 线路相同短路保护装置的要求	<p>当线路发生短路,使发电厂厂用母线电压或重要用户母线电压低于额定电压的 60% 时,应能快速切除故障</p> <p>(2) 对双侧电源线路可装设带方向或不带方向的电流电压保护</p> <p>当采用电流电压保护不能满足选择性、灵敏性和速动性要求时,可采用距离保护装置</p> <p>双侧电源或环形网络中,不超过 3~4km 的短线路,当采用电流电压保护不能满足要求时,可采用带辅助导线的纵差保护作主保护,并应以带方向或不带方向的电流电压保护作后备保护</p> <p>(3) 对并列运行的平行线路,可装设横联差动保护作主保护,并应以接于两回线电流之和的阶段式保护或距离保护作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护</p>

序号	项目	说明
5	对 3~66kV 电网中单相接地保护的要求	<p>对 3~66kV 电网中的单相接地故障,应装设接地保护装置,并应符合下列规定:</p> <p>(1) 在发电厂和变电所母线上,应装设接地监视装置,动作于信号</p> <p>(2) 线路上宜装设有选择性的接地保护,并动作于信号。当危及人身和设备安全时,保护装置应动作于跳闸</p> <p>(3) 在出线回路数不多,或难以装设选择性单相接地保护时,可采用依次断开线路的方法,寻找故障线路</p>
6	对线路过负荷保护的要求	<p>对可能时常出现过负荷的电缆线路,应装设过负荷保护。保护装置宜带时限动作于信号;当危及设备安全时,可动作于跳闸</p>

\* 66kV 在 GB 50062-1992 中为“63kV”,此 66kV 系 GB 156-1993 规定的标准电压,故改。

(2) 线路的带时限过电流保护。如表 7-13 所示。

表 7-13 线路的带时限过电流保护

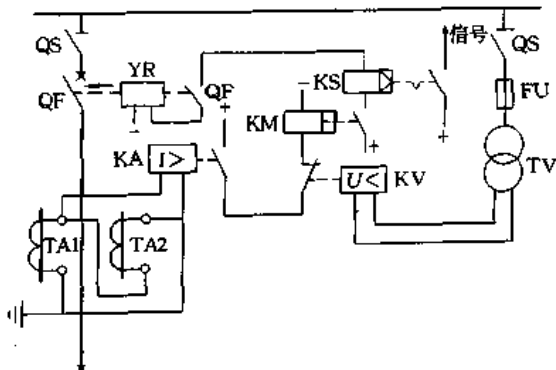
序号	项目	说明
1		带时限过电流保护的种类和组成
1.1	过电流保护的种类	<p>(1) 定时限过电流保护:其动作时间是按整定值固定不变的,与一次电路短路电流大小无关</p> <p>(2) 反时限过电流保护:其动作时间与一次电路短路电流平方成反比关系,具反比延时特性(反时限特性)</p>
1.2	过电流保护的组成	<p>过电流保护的组成框图如右图所示,包括起动元件(电流继电器 KA)、时限元件(时间继电器 KT)、信号元件(信号继电器 KS)和出口元件(中间继电器 KM)等四部分。定时限过电流保护由上述四种继电器组成;反时限过电流保护则由感应式电流继电器一种组成,它兼有起动、时限、信号和出口等四种元件的功能</p>  <p>框图显示:QS 断路器, QF 断路器, TA 电流互感器, KA 电流继电器, KT 时间继电器, KS 信号继电器, KM 中间继电器。流程为:TA → KA (起动) → KT (时限) → KS (信号) → KM (出口)。</p>
2		定时限过电流保护的接线和原理
2.1	原理接线(以两相式接线为例)	 <p>(a) 接线图:显示 QS, QF, YR, TA1, TA2, KA1, KA2, KT, KS, KM 的连接。TA1 和 TA2 接入 KA1 和 KA2。KA1 和 KA2 接入 KT。KT 接入 KS 和 KM。KS 接入 YR。YR 接入 QF。</p> <p>(b) 展开图:显示 KA1, KA2, KT, KS, KM 的线圈和触点连接。KA1 和 KA2 线圈并联接入 TA1 和 TA2。KA1 和 KA2 触点串联接入 KT 线圈。KT 触点接入 KS 线圈。KS 触点接入 KM 线圈。KM 触点接入 YR 线圈。YR 触点接入 QF。</p>
2.2	工作原理	<p>当一次电路发生相间短路时,电流继电器 KA 瞬时动作,其触点闭合,使时间继电器 KT 通电动作。KT 经过整定的时限后,其延时触点闭合,使串联的信号继电器 KS(电流型)和中间继电器 KM 通电动作。KS 动作后,其信号牌掉下,同时接通信号回路,给出灯光或音响信号;KM 动作后,接通跳闸线圈 YR 回路,使断路器 QF 跳闸,切除一次电路的短路故障。QF 跳闸时,其辅助触头 QF1-2 随之断开跳闸回路,同时 KA 和 KT 自动返回起始状态,而 KS 则可手动复位。</p>

续表

序号	项 目	说 明
3		反时限过电流保护的接线和原理
3.1	原理接线	<p>(a) 接线图; (b) 展开图</p>
3.2	工作原理	<p>当一次电路发生相间短路时, 电流继电器 KA 动作, 经过一定延时后, 其常开触点闭合, 紧接着其常闭触点断开, 这时断路器因其跳闸线圈 YR 去分流而跳闸, 切除短路故障。与此同时, 继电器的信号牌掉下, 指示保护装置已经动作。在短路故障被切除后, 继电器自动返回, 而信号牌可手动复位</p>
3.3	“先合后断的转换触点”动作说明	<p>“去分流跳闸”采用 GL-<sup>15</sup>/<sub>25</sub> 型电流继电器, 它采用一组“先合后断的转换触点”, 其动作说明如图所示</p> <p>(a) 正常时触点位置; (b) 动作后常开触点先闭合; (c) 接着常闭触点断开 1—上上档; 2—常闭触点; 3—常开触点; 4—衔铁; 5—下止档; 6—簧片</p>
4		带时限过电流保护动作电流的整定
4.1	动作电流整定原则	<p>过电流保护的动作用电流 <math>I_{op}</math> 应躲过被保护线路的最大负荷电流 (包括正常过负荷电流和尖峰电流) <math>I_{L,max}</math>, 而且保护装置的返回电流 <math>I_r</math> 也应躲过上述最大负荷电流 <math>I_{L,max}</math>, 以免发生越级误跳闸的事故</p>
4.2	动作电流的整定计算公式	<p>过电流保护动作电流的整定计算公式为:</p> $I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_{re} K_i} I_{L,max}$ <p>式中 <math>K_{rel}</math> 为保护装置的可靠系数, 对 DL 型电流继电器可取 <math>K_{rel} = 1.2</math>, 对 GL 型电流继电器可取 <math>K_{rel} = 1.3</math>; <math>K_w</math> 为保护装置的接线系数, 对两相两继电器式接线, 取 <math>K_w = 1</math>, 对两相一继电器式接线, 取 <math>K_w = \sqrt{3}</math>; <math>K_{re}</math> 为保护装置的返回系数, 可查产品样本, 一般取 <math>K_{re} = 0.8</math>; <math>K_i</math> 为电流互感器变流比; <math>I_{L,max}</math> 为线路的最大负荷电流 (包括正常过负荷电流和尖峰电流), 一般取 <math>I_{L,max} = (1.5 \sim 3) I_{30}</math>, <math>I_{30}</math> 为线路的计算电流</p>
5		带时限过电流保护动作时间的整定
5.1	动作时间的整定原则和计算公式	<p>(a) 电路; (b) 带时限过电流保护; (c) 反时限过电流保护</p>
		<p>线路过电流保护动作时间的整定说明 (a) 电路; (b) 带时限过电流保护; (c) 反时限过电流保护</p>

续表

序号	项 目	说 明
5.1	动作时间的整定原则和计算公式	按“阶梯原则”整定。如图所示，在后一级保护装置 KA2 所保护的线路 WL2 的首端 k 点发生三相短路时，前一级保护装置 KA1 的动作时间 $t_1$ 应比后一级保护装置 KA2 中最长的动作时间 $t_2$ 大一个时间级差 $\Delta t$ ，即 $t_1 \geq t_2 + \Delta t$ 式中时间级差 $\Delta t$ ，应考虑到前一级保护可能比整定时间提前产生的负误差和后一级保护可能比整定时间延后的正误差，还要考虑一个保险时间。对时限过电流保护，一般取 $\Delta t = 0.5s$ ；对反时限过电流保护，一般取 $\Delta t = 0.7s$
5.2	定时限过电流保护的时限整定	利用时间继电器来整定动作时间
5.3	反时限过电流保护的时限整定	由于 GL 型电流继电器的时限调节机构是按“10 倍动作电流的动作时间”来标度的，而实际动作时间要根据后一级保护线路首端三相短路时，前后两级保护根据各自的保护特性查得的实际动作时间按阶梯原则来整定。整定的动作时间必须是继电器的 10 倍动作电流的动作时间
6	过电流保护的灵敏度及提高灵敏度的措施	
6.1	过电流保护的灵敏度检验	过电流保护灵敏度的检验公式为： $S_p = \frac{K_w I_{k.min}}{K_r I_{op}} \geq 1.5$ 式中 $K_w$ 为保护装置的接线系数； $K_r$ 为电流互感器的变流比； $I_{k.min}$ 为系统在最小运行方式时保护区末端的两相短路电流； $I_{op}$ 为保护装置的动作电流
6.2	采用低电压闭锁提高过电流保护灵敏度	如果过电流保护的灵敏系数达不到规范 (GB 50062—1992) 的要求，可采用低电压闭锁的过电流保护来提高其保护灵敏度，如图所示 采用低电压闭锁的过电流保护动作电流只须按躲过线路计算电流来整定 其动作电流的整定计算公式为： $I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_r K_i} I_{30}$ 由于 $I_{op}$ 的减小，因此保护灵敏度较易满足要求

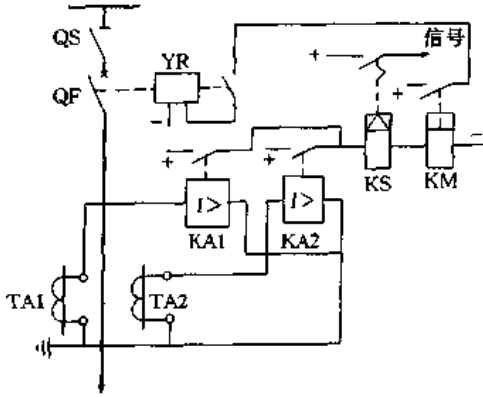
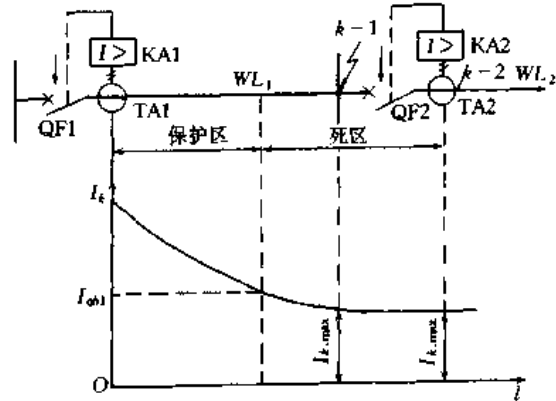
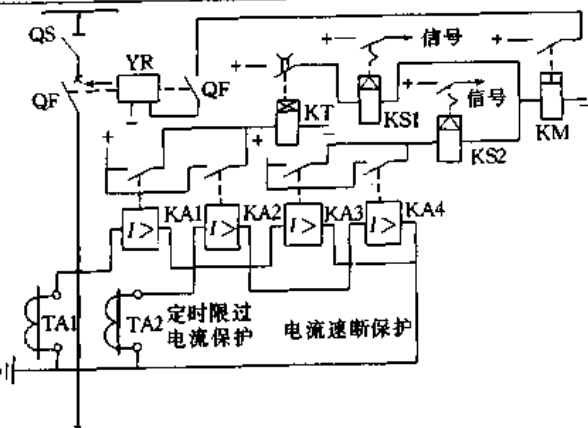


(3) 线路的电流速断保护。如表 7-14 所示。

表 7-14 线路的电流速断保护

序号	项 目	说 明
1	电流速断保护的组成、接线和原理	
1.1	电流速断保护的组成	<p>电流速断保护的组成框图如左图所示，包括起动元件（电流继电器 KA）、信号元件（信号继电器 KS）和出口元件（中间继电器 KM）等三部分。对于感应式电流继电器，其电磁元件（速断元件）即可实现电流速断保护</p>

续表

序号	项 目	说 明
1.2	电流速断保护的接线	<p>采用电磁式电流继电器的两相两继电器式接线的电流速断保护的电路图如图所示</p> 
1.3	电流速断保护的工作原理	<p>当一次电路发生相间短路时, 电流继电器 KA 瞬时动作, 接通信号继电器 KS 和中间继电器 KM, KS 给出信号, KM 接通断路器 QF 的跳闸线圈 YR 的回路, 使断路器 QF 跳闸, 快速切除短路故障</p>
2	电流速断保护动作电流 (速断电流) 的整定	
2.1	速断电流整定原则	<p>速断电流应躲过被保护线路末端的最大短路电流 <math>I_{k,max}</math>。只有这样整定, 才能避免在后一级速断保护所保护线路首端发生三相短路时前一级速断保护误动作的可能, 确保前后两级速断保护的動作选择性</p>
2.2	速断电流的整定计算公式	<p>速断电流 <math>I_{qb}</math> 的整定计算公式如下:</p> $I_{qb} = \frac{K_{rel} K_w}{K_i} I_{k,max}$ <p>式中 <math>K_{rel}</math> 为保护装置的可靠系数, 对 DL 型继电器可取 <math>K_{rel} = 1.2 \sim 1.3</math>, 对 GL 型继电器可取 <math>K_{rel} = 1.4 \sim 1.5</math>; <math>K_w</math> 为保护装置的接线系数, 对两相两继电器式接线 <math>K_w = 1</math>, 对两相一继电器式接线 <math>K_w = \sqrt{3}</math>; <math>K_i</math> 为电流互感器变流比; <math>I_{k,max}</math> 为被保护线路末端的三相短路电流</p>
3	电流速断保护的“死区”及其弥补	
3.1	电流速断保护的“死区”	<p>保护装置的“死区”, 是指保护对象中不能保护的区域。电流速断保护之所以出现“死区”, 就在于其速断电流的整定是躲过它所保护的线路末端的最大短路电流, 因此在靠近线路末端的一段线路上发生的不是最严重的短路, 电流速断保护不会动作, 因而出现了“死区”, 如图所示</p> 
3.2	装设带时限的过电流保护来弥补速断保护的“死区”	<p>为了弥补电流速断保护的“死区”, 方法之一是装设带时限的过电流保护</p> <p>在电流速断保护的保护区内, 速断保护为主保护, 过电流保护为后备保护; 而在速断保护的死区内, 则过电流保护为基本保护</p> <p>图中所示为线路定时限过电流保护与电流速断保护配合的电路图</p> 

续表

序号	项 目	说 明
3.3	装设带时限的电流速断保护来弥补电流速断保护的“死区”	<p>弥补电流速断保护“死区”的另一方法是装设带时限的电流速断保护</p> <p>带时限的电流速断保护的动作用(速断电流)<math>I_{qb(t)}</math>,按躲过一线路末端的最大短路电流<math>I_{k(2).max}</math>来整定,因此该保护对本线路范围内的各种短路故障均能反应动作。为保证该保护与后一级电流速断保护之间的选择性,该保护应比后一级速断保护长一个时间级差,动作时间一般取<math>t=0.5\sim 0.7s</math></p> <p>在瞬时速断保护的保护区内,瞬时速断保护为主保护,带时限速断保护为后备保护;而在瞬时速断保护的“死区”内,带时限速断保护为基本保护</p> <p>瞬时电流速断保护与带时限电流速断保护配合的电路图与序号3.2的电路图相同,此略</p>
4	电 流 速 断 保 护 的 灵 敏 度	
4.1	电 流 速 断 保 护 灵 敏 度 的 计 算 公 式	<p>电流速断保护灵敏度的计算公式为</p> $S_p = \frac{K_w I_{k.min}}{K_i I_{qb}}$ <p>式中<math>K_w</math>为保护装置的接线系数,两相两继电器式接线<math>K_w=1</math>,两相一继电器式接线<math>K_w=\sqrt{3}</math>; <math>K_i</math>为电流互感器变流比; <math>I_{qb}</math>为整定的速断电流; <math>I_{k.min}</math>取被保护线路首端的两相短路电流</p>
4.2	灵敏系数的要求	<p>电流速断保护作为主保护时, <math>S_p \geq 2</math></p> <p>电流速断保护作为后备保护时,即带时限的电流速断保护, <math>S_p \geq 1.2</math></p>

(4) 线路的方向过电流保护。如表 7-15 所示。

表 7-15 线路的方向过电流保护

序号	项 目	说 明
1	方 向 过 电 流 保 护 的 基 本 概 念	<p>方向过电流保护适用于双侧电源的线路作过电流保护,其保护装置中有选择电流方向来动作的功率方向继电器</p> <p>下图示出方向过电流保护装设的部位和动作时间的整定——“阶梯原则”: <math>t_1 &gt; t_2 &gt; t_3, t_6 &gt; t_5 &gt; t_4</math></p>
2	方 向 过 电 流 保 护 的 接 线	<p>KA—电流继电器; KP—功率方向继电器; KT—时间继电器; KS—信号继电器; KM—中间继电器</p>
3	方 向 过 电 流 保 护 动 作 电 流 的 整 定	<p>(1) 动作电流应躲过被保护线路的最大负荷电流<math>I_{L.max}</math>(参看表 7-13 序号 4.2) 对环形电网, <math>I_{L.max}</math>应考虑电网开环运行时负荷的突然增加</p> <p>(2) 在大接地电流系统中,动作电流还应躲过非故障相中的电流。当相邻线路发生不对称短路时,本线路的非故障相中除本身的负荷电流外,尚有故障电流的零序分量流过,这时保护装置也不应动作</p> <p>(3) 动作电流在同一动作方向上,为保证前后级保护的选择性配合,前一级的动作电流应略大于后一级的动作电流,如序号 1 所示电路中, <math>I_{op(1)} &gt; I_{op(3)} &gt; I_{op(5)}, I_{op(6)} &gt; I_{op(4)} &gt; I_{op(2)}</math></p>

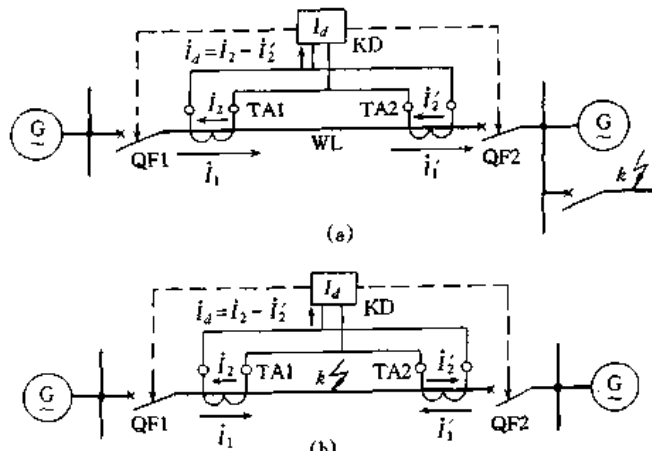


续表

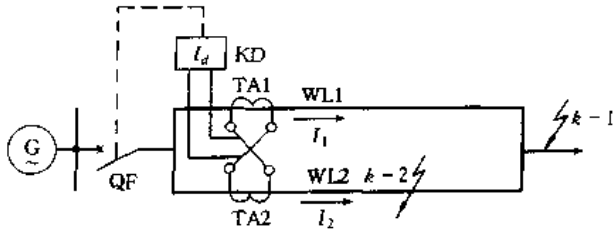
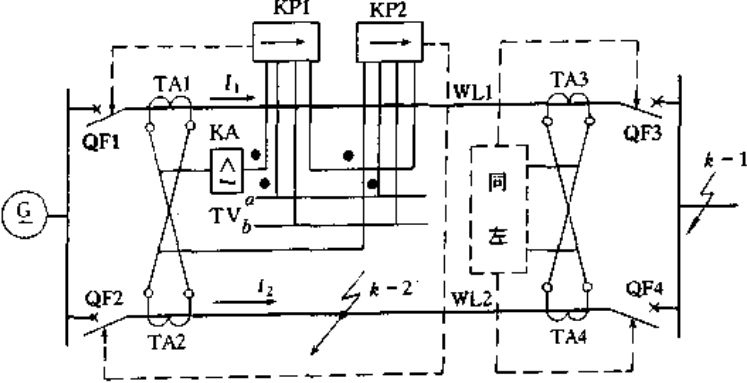
序号	项 目	说 明
4	方向过电流保护动作时限的整定	同一动作方向的各级保护的動作时间，应按“阶梯原则”整定（参看表 7-13 序号 5.1） 序号 1 所示电路中， $t_1 > t_3 > t_5$ ， $t_6 > t_4 > t_2$ ，均至少大一个时间级差 $\Delta t = 0.5 \sim 0.7s$
5	保护灵敏度的检验	按最小运行方式时被保护线路末端的最小短路电流来检验起动元件（电流继电器）的灵敏度，灵敏系数不得小于 2

(5) 线路的差动保护。如表 7-16 所示。

表 7-16 线路的差动保护

序号	项 目	说 明
1		线路的纵联差动保护
1.1	纵差保护的接线和工作原理	<p>(1) 单相原理接线如图 a 所示。在线路正常或在保护区外 <math>k</math> 点短路时，电流互感器 TA1、TA2 的一次和二次电流如图所示，流入差动继电器 KD 的电流 <math>I_d = I_2 - I'_2</math>。如果 TA1 与 TA2 的型号、规格、性能和接线完全相同，则 <math>I'_2 = I_2</math>，这时 <math>I_d = 0</math>。但实际上，TA1 与 TA2 的性能不可能完全一致，因此 <math>I_d</math> 不完全为零，这不完全为零的 <math>I_d</math>，称为“不平衡电流”，用 <math>I_{dq}</math> 表示。KD 中流过 <math>I_{dq}</math> 时不应动作，因此线路两侧的断路器 QF1、QF2 不致误跳闸</p> <p>(2) 当保护区内发生短路时，如图 b 所示 <math>k</math> 点短路，TA1、TA2 的二次电流流过 KD，<math>I_d = I_2 + I'_2</math>，达到或超过 KD 整定的动作电流 <math>I_{op(d)}</math>，因此 KD 动作，使两侧断路器 QF1 和 QF2 跳闸，切除短路故障 如线路为单侧电源供电，则 <math>I'_2 = 0</math>，<math>I_d = I_2</math></p>  <p>(a) 纵差保护在线路正常及外部短路时；(b) 纵差保护在保护区内发生短路时 WL—被保护线路；TA—电流互感器；KD—差动继电器</p>
1.2	纵差保护动作电流的整定	纵差保护的動作电流整定原则： (1) 動作电流 $I_{op(d)}$ 应躲过外部短路时的最大不平衡电流 $I_{dq, max}$ (2) 動作电流 $I_{op(d)}$ 还应躲过差动保护的任一互感器二次回路断线时流过差动继电器 KD 的最大负荷电流
1.3	纵差保护灵敏度的检验	纵差保护的灵敏度，按单侧供电情况下保护区末端短路的最小短路电流与保护装置一次動作电流之比来检验。灵敏系数不得小于 2 如达不到灵敏度要求，应设法减小不平衡电流和動作电流
1.4	纵差保护的优缺点及其适用范围	纵差保护具有灵敏度高、实施简单和运行可靠等优点，但需沿被保护线路敷设保护用的辅助导线，且导线截面不能很小，否则会使电流互感器的负荷过大，因此适用的线路不能太长。按 GB 50062—1992 规定，线路纵差保护的适用范围为： 3~10kV（双侧电源），长度不超过 1~2km； 35~66kV（双侧电源），长度不超过 3~4km
2		共用一断路器的并行线路的横差保护

续表

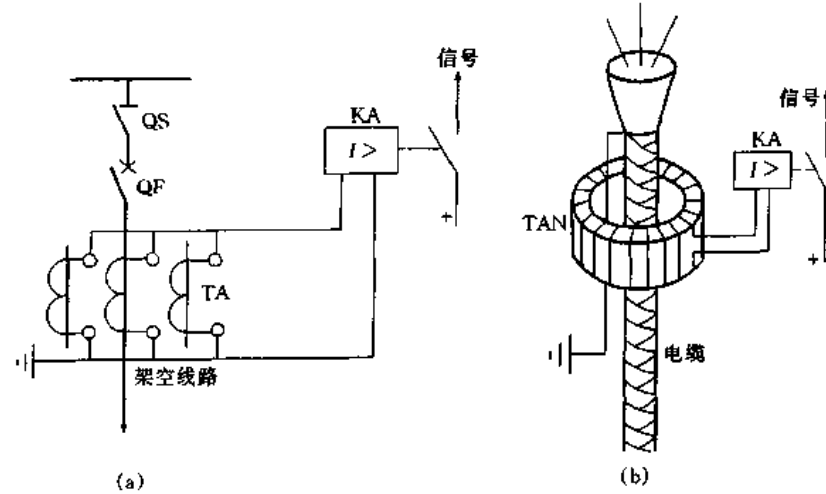
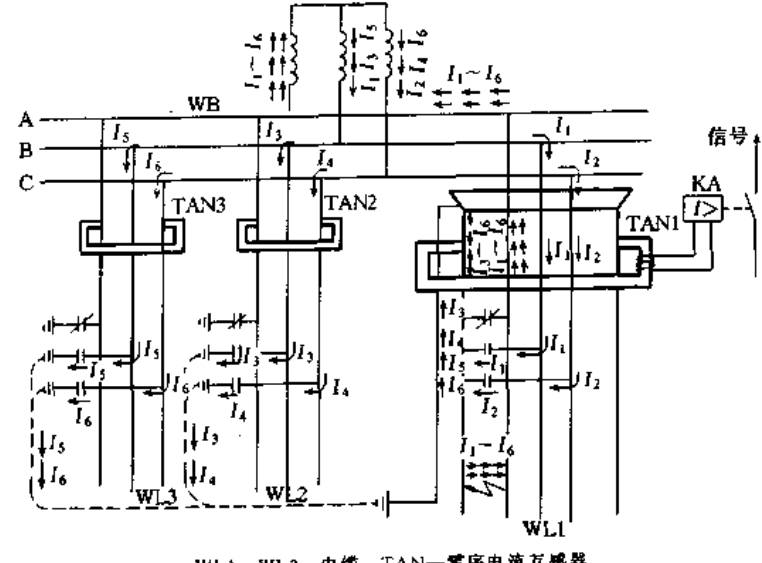
序号	项目	说明
2.1	横联差动保护的单相原理接线	 <p>WL1、WL2—并行线路；KD—差动保护继电器</p>
2.2	基本工作原理	<p>由于两平行线路的阻抗相等，因此正常运行及发生穿越性短路（如 <math>k-1</math> 点短路）时，通过两线路的电流相等，反应电流差的差动继电器 KD 不会动作</p> <p>当并行线路之一发生短路（如 <math>k-2</math> 点短路）时，则继电器 KD 中有电流差通过，从而动作，使断路器 QF 跳闸，切除两线路。在查明故障线路后，可拉开故障线路两端的隔离开关，再合上 QF，即可恢复非故障线路的供电</p>
2.3	“死区”及其弥补	<p>如在一线路靠近末端的部位短路，由于这时两并行线路的电流相差不大，KD 不会动作，从而出现了“死区”</p> <p>为弥补“死区”，应在并行线路前装设带时限的过电流保护。在两线路并列运行时，作为横差保护的后备保护，而在一回线路断开后，作为另一线路的主保护</p>
3	各具断路器的并行线路的横差保护	
3.1	单相原理接线	 <p>WL1、WL2—并行线路；KA—电流继电器；KP—功率方向继电器</p>
3.2	基本工作原理	<p>两并行线路在正常运行及穿越性短路（如 <math>k-1</math> 点短路）时，通过两线路的电流相等 (<math>I_1=I_2</math>)，保护装置 KA 和 KP1、KP2 不会动作</p> <p>当并行线路之一发生短路（如 <math>k-2</math> 点短路）时，则两线路电流不再相等 (<math>I_2&gt;I_1</math>)，使电流继电器 KA 动作，同时功率方向继电器 KP2 动作，使 WL2 线路的断路器 QF2 跳闸；该线路对侧的保护装置也动作，使断路器 QF4 跳闸，从而将短路故障 (<math>k-2</math> 点) 切除，而完好线路 WL1 则恢复正常运行</p>
3.3	“死区”及其弥补	<p>与序号 1 所讲并行线路的横联差动保护一样，各具断路器的并行线路横联差动保护也有“死区”，也需装设带时限过电流保护进行弥补</p>

(6) 高压线路的单相接地保护。如表 7-17 所示。

表 7-17 高压线路的单相接地保护

序号	项目	说明
1	非直接接地系统中单相接地故障保护的必要性和措施	<p>在非直接接地系统中，发生单相接地故障时，只有很小的接地电容电流，而相间电压仍是对称的，其值也未改变，因此可暂时继续运行。但这毕竟是一种故障，而且由于非故障相的对地电压要升高为正常对地电压的 <math>\sqrt{3}</math> 倍，故对线路绝缘是一种威胁，长此下去，可能导致非故障相的对地绝缘击穿而形成两相接地短路，使线路断路器跳闸，造成停电事故。因此这种非直接接地系统中，必须装设无选择性的接地监视装置（参看表 8-10）或有选择性的单相接地保护装置，以便在发生单相接地故障时，发出报警信号，以便运行值班人员及时发现和处理。如危及人身和设备安全时，应断开线路断路器，切除故障</p>

续表

序号	项目	说明
2	架空线路和电缆线路单相接地保护的接线	<p>(1) 架空线路 (图 a), 利用三个电流互感器并联构成零序电流过滤器。当系统发生单相接地故障时, 故障线路的单相接地保护动作 (电流继电器 KA 动作), 发出信号</p> <p>(2) 电缆线路 (图 b), 利用零序电流互感器, 电缆头的接地线穿过其铁芯接地。当系统发生单相接地故障时, 故障线路的单相接地保护动作 (电流继电器 KA 动作) 发出信号</p>  <p>(a) 架空线路单相接地保护接线; (b) 电缆线路单相接地保护接线 TA—电流互感器; TAN—零序电流互感器</p>
3	单相接地时接地电容电流 ( $I_1 \sim I_6$ ) 的分布	 <p>WL1~WL3—电缆; TAN—零序电流互感器</p>
4	单相接地保护动作电流的整定	<p>由上序号 3 中图可以看出, 当系统中某一线路 (例如 WL3) 发生单相 (例如 A 相) 接地时, 其他所有非故障线路 (例如 WL1, WL2) 上都会出现不平衡的对地电容电流。显然, 这时非故障线路的接地保护装置不应动作。因此单相接地保护 (零序电流保护) 的动作电流应躲过在其他线路上发生单相接地故障时在本线路上引起的对地电容电流 <math>I_C</math>。整定计算公式为:</p> $I_{op(E)} = \frac{K_{rel} I_C}{K}$ <p>式中 <math>K_{rel}</math> 为保护装置的可靠系数, 保护装置不带时限取 <math>K_{rel} = 4 \sim 5</math>, 带 0.5s 短延时动作时, 取 <math>K_{rel} = 1.5 \sim 2</math>; <math>K</math> 为零序电流互感器 (架空线路为零序电流过滤器) 的变流比; <math>I_C</math> 为在其他线路上发生单相接地故障时在被保护线路上产生的接地电容电流, 按下式计算:</p> $I_C = \frac{U_N (I_{c0} + 35I_{c0b})}{350}$ <p>式中 <math>U_N</math> 为线路额定电压 (kV), <math>I_{c0}</math> 为被保护线路及其后边有电联系的架空线路长度 (km), <math>I_{c0b}</math> 为被保护线路及其后边有电联系的电缆长度 (km)</p>

续表

序号	项目	说明
5	单相接地保护灵敏度的校验	按被保护线路末端在最小运行方式下发生单相接地故障来检验保护装置的灵敏度。满足灵敏度的条件为： $S_p = \frac{I_{C\Sigma} - I_C}{K_1 I_{op(E)}} \geq 1.25$ 式中 $I_{C\Sigma}$ 为与被保护线路有电联系的整个电网的单相接地电容电流，仍按序号 4 $I_C$ 公式计算，但 $I_{ob}$ 和 $I_{cab}$ 按 $U_N$ 电网中总长度计算； $I_C$ 为被保护线路的单相接地电容电流，与序号 4 中 $I_C$ 相同

#### 四、电力变压器的继电保护

续表

(1) 电力变压器继电保护的一般要求。如表 7-18 所示。

表 7-18 电力变压器继电保护的一般要求 (据 GB 50062—1992)

序号	项目	说明
1	电力变压器保护的故障和异常运行方式类别	对电力变压器的下列故障及异常运行方式，应装设相应的保护装置： (1) 绕组及其引出线的相间短路和在中性点直接接地侧的单相接地短路 (2) 绕组的匝间短路 (3) 外部相间短路引起的过电流 (4) 中性点直接接地电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电压 (5) 过负荷 (6) 油面降低 (7) 变压器温度升高或油箱压力升高或冷却系统故障
2	对变压器瓦斯保护的要求	800kVA 及以上的油浸式变压器和 400kVA 及以上的车间内油浸式变压器，均应装设瓦斯保护。当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时，应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，应动作于断开变压器各侧断路器。当变压器安装处电源侧无断路器或短路开关时，可作用于信号
3	对变压器短路故障保护装置的要求	对变压器引出线、套管及内部的短路故障，应装设相应的保护装置，并应符合下列规定： (1) 10000kVA 及以上的单独运行变压器和 6300kVA 及以上的并列运行变压器，应装设纵联差动保护。6300kVA 及以下单独运行的重要变压器，亦可装设纵联差动保护 (2) 10000kVA 以下的变压器可装设电流速断保护和过电流保护。2000kVA 及以上的变压器，当电流速断灵敏系数不符合要求时，宜装设纵联差动保护 (3) 400kVA 及以上、一次电压为 10kV 及以下、线圈为 Dy 联结的变压器，可采用两相三继电器式的过电流保护 (4) 以上规定的各项保护装置，应动作于断开变压器的各侧断路器

序号	项目	说明
4	对变压器纵联差动保护的要求	变压器的纵联差动保护应符合下列要求： (1) 应能躲过励磁涌流和外部短路产生的不平衡电流 (2) 差动保护范围应包括变压器套管及其引出线。如不能包括引出线时，应采取快速切除故障的辅助措施。但在 66kV 或 110kV 电压等级的终端变电所和分支变电所，以及具有旁路母线的电气主接线在变压器断路器退出工作由旁路断路器代替时，纵联差动保护可利用变压器套管内的电流互感器，引出线可不再采取快速切除故障的辅助措施
5	对变压器外部相间短路保护的要求	变压器外部相间短路保护应符合下列规定： (1) 双线圈变压器，应装于主电源侧。根据主接线情况，保护装置可带一段或两段时限，以较短的时限动作于缩小故障影响范围，以较长的时限动作于断开变压器各侧的断路器 (2) 三线圈变压器，宜装于主电源侧及主负荷侧。主电源侧的保护应带两段时段，以较短的时限断开未装保护侧的断路器。当不符合灵敏性要求时，可在所有各侧装设保护装置。各侧保护装置应根据选择性的要求装设方向元件 (3) 三线圈变压器的外部相间短路保护，可按下列原则进行简化：①除主电源侧外，其他各侧保护可仅作本侧相邻电力设备和线路的后备保护；②保护装置作为本侧电力设备和线路保护的后备时，灵敏系数可适当降低，但对本侧母线上的各类短路应符合灵敏性要求
6	对变压器低压侧单相接地短路保护的要求	400kVA 及以上、线圈为 Yyn0 联结的变压器，对低压侧单相接地短路应选择下列保护方式，保护装置应带时限动作于跳闸： (1) 利用高压侧的过电流保护时，保护装置宜采用三相式 (2) 接于低压侧中性线上的零序电流保护 (3) 接于低压侧的三相电流保护 400kVA 及以上、一次电压为 10kV 及以下、线圈为 Dyn11 联结的变压器，对低压侧单相接地短路，当灵敏性符合要求时，可利用高压侧的过电流保护。保护装置带时限动作于跳闸

续表

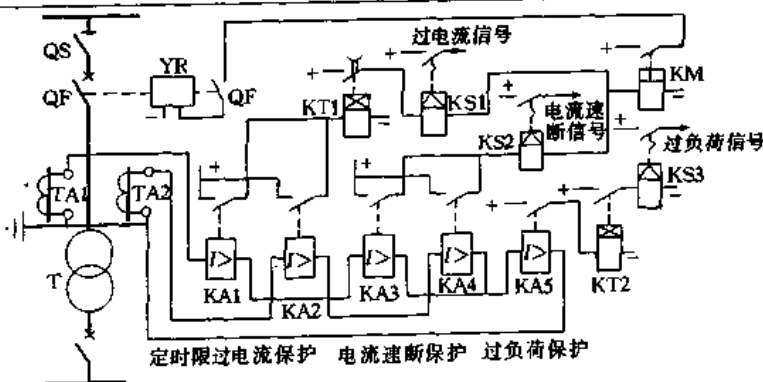
续表

序号	项目	说明
7	对变压器过负荷保护的要求	400kVA 及以上变压器, 当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时, 应根据可能过负荷的情况装设过负荷要求。对三线圈变压器, 保护装置应能反应各侧过负荷的情况 过负荷保护采用单相式, 带时限动作于信号。在无经常值班人员的变电所, 过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷

序号	项目	说明
8	对变压器温度升高和冷却系统的保护要求	对变压器温度升高和冷却系统故障, 应按现行电力变压器标准的要求, 装设可作用于信号或动作于跳闸的装置

(2) 变压器的过电流保护、电流速断保护和过负荷保护。如表 7-19 所示。

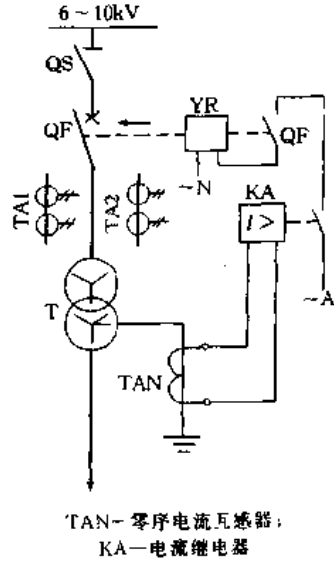
表 7-19 变压器的过电流保护、电流速断保护和过负荷保护

序号	项目	说明
1		变压器的过电流保护
1.1	保护接线和工作原理	与电力线路的过电流保护的接线和工作原理完全相同 (参看表 7-13)
1.2	动作电流的整定计算	变压器过电流保护的整定原则, 与电力线路的基本相同, 整定计算公式也为 (参看表 7-13 序号 4.2): $I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_{re} K_t} I_{L, max}$ 式中 $I_{L, max}$ 取为变压器额定一次电流的 1.5~3 倍
1.3	动作时间的整定	变压器过电流保护的时限也按“阶梯原则”, 与电力线路的基本相同 (参看表 7-13 序号 5), 但对终端变电所的变压器过电流保护, 其动作时间可整定为最小值 0.5s
1.4	灵敏度的检验	变压器过电流保护的灵敏度, 按变压器低压母线在系统最小运行方式下发生两相短路时换算到高压侧的短路电流来检验, 灵敏系数 $S_p \geq 1.5$ 如灵敏系数达不到要求, 可采用低电压闭锁的过电流保护 (参看表 7-13 序号 6.2)
2		变压器的电流速断保护
2.1	保护接线和工作原理	也与电力线路的电流速断保护的接线和工作原理完全相同 (参看表 7-14)
2.2	速断电流的整定计算	变压器电流速断保护的整定原则也与电力线路的基本相同, 整定计算公式也为 (参看表 7-14 序号 2.2): $I_{qs} = \frac{K_{rel} K_w}{K_t} I_{k, max}$ 式中 $I_{k, max}$ 取为低压母线的三相短路电流周期分量有效值换算到高压侧的电流值
2.3	保护“死区”及其弥补	变压器的电流速断保护也与电力线路的电流速断保护一样存在“死区”。弥补的措施, 也是配备带时限的过电流保护
2.4	灵敏度的检验	变压器电流速断保护的灵敏度, 按保护装置安装处 (高压侧) 在系统最小运行方式下发生两相短路电流 $I^{(2)}$ 来检验, 要求灵敏系数 $S_p \geq 2$
3		变压器的过负荷保护
3.1	保护接线	过负荷保护采用单相式接线。图中所示为变压器带时限过电流保护、电流速断保护与过负荷保护的接线图 
3.2	动作电流和动作时间的整定	过负荷保护的整定原则按躲过变压器额定一次电流 $I_{1N, T}$ 来整定, 其整定计算公式为: $I_{op(OL)} = \frac{1.2 \sim 1.3}{K_t} I_{1N, T}$ 式中 $K_t$ 为电流互感器的变流比 过负荷保护的整定时间可取 10~15s

(3) 变压器低压侧的单相短路保护。如表 7-20 所示。

表 7-20 变压器低压侧的单相短路保护

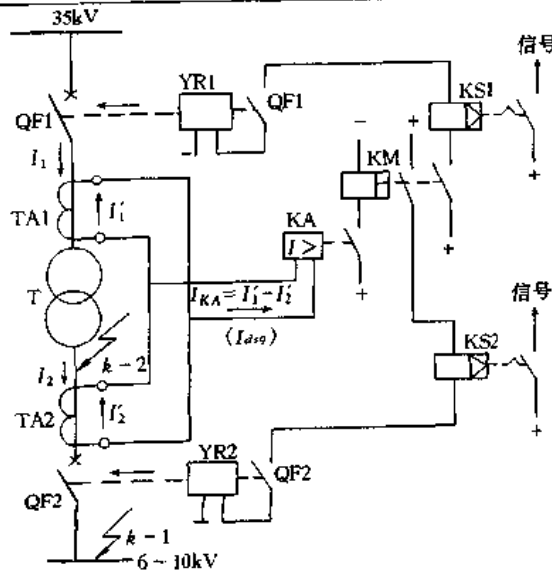
序号	项 目	说 明
1	利用高压侧的过电流保护	采用两相三继电器式或三相三继电器式接线,既能实现变压器的相间短路保护,又能实现对变压器低压侧的单相短路保护。但必须指出,对两相三继电器式接线,保护灵敏度不如三相三继电器式接线。未装设电流互感器那一相的低压侧单相短路时,其灵敏系数只有三相三继电器的 2/3
2	利用变压器低压侧中性线上的零序电流保护	<p>(1) 接线如图所示</p> <p>(2) 零序电流保护的动电流,按躲过低压侧最大不平衡电流 <math>I_{dq, max}</math> 来整定,整定计算公式为:</p> $I_{op(0)} = \frac{K_{rel}}{K_i} I_{dq, max}$ <p>式中 <math>I_{dq, max}</math> 一般取为变压器额定二次电流的 25%; <math>K_{rel}</math> 为可靠系数,取为 1.3; <math>K_i</math> 为零序电流互感器的变流比</p> <p>(3) 零序电流保护的动作时间,一般取为 0.5~0.7s</p> <p>(4) 零序电流保护的灵敏度,按低压干线末端发生单相短路来检验,对架空线, <math>S_p \geq 1.5</math>; 对电缆线, <math>S_p \geq 1.25</math></p>
3	利用低压断路器的三相过流保护	利用低压侧装设三相均带过电流脱扣器的低压断路器,既用来作为低压主开关,操作方便,可自动投入,提高供电可靠性,又可用来保护低压侧的相间短路和单相短路,因此这种方式在供电系统得到广泛应用
4	利用低压熔断器保护	利用低压侧的熔断器保护,既可实现相间短路保护,又可实现单相短路保护。但供电可靠性较差,只适于不重要用户的容量较小的变压器



(4) 变压器的纵联差动保护。如表 7-21 所示。

表 7-21 变压器的纵联差动保护

序号	项 目	说 明
1	单相原理接线和工作原理	<p>变压器纵联差动保护的单相原理接线和工作原理,与电力线路纵联差动保护基本相同。下图为变压器纵联差动保护的单相原理接线。在变压器正常运行和在保护区外(如 <math>k-1</math> 点)短路时,保护装置内的电流 <math>I_{KA} = I_1 - I_2 \approx 0</math>,不会动作。而在保护区内(如 <math>k-2</math> 点)短路时, <math>I_2 = 0</math>,故 <math>I_{KA} = I_1</math>,保护装置动作,使变压器两侧断路器跳闸,切除短路故障</p>



续表

序号	项目	说明
2	Yd11 联结变压器采取纵差保护的接线	<p>由于 Yd11 联结的变压器的两侧电流有 30° 相位差，因此两侧电流互感器需采用下图 a 所示补偿相位差的接线，以使两侧电流互感器二次电流的相位对应一致（参看图 b）</p> <p>(a) 接线图；(b) 相量图</p>
3	纵差保护动作电流的整定	<p>变压器纵差保护的动作用电流 <math>I_{op(d)}</math> 应满足以下三个条件：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 应躲过变压器纵差保护区外短路时出现的最大不平衡电流 <math>I_{dq,max}</math>，即                     <math display="block">I_{op(d)} = K_{rel} I_{dq,max}</math>                     式中 <math>K_{rel}</math> 为可靠系数，可取 1.3</li> <li>(2) 应躲过变压器励磁涌流，即                     <math display="block">I_{op(d)} = (1.3 \sim 1.5) I_{1N.T}</math> </li> <li>(3) 在电流互感器二次回路断线且变压器处于最大负荷时，纵差保护不应误动作，即                     <math display="block">I_{op(d)} = K_{rel} I_{L,max}</math>                     式中 <math>I_{L,max}</math> 为最大负荷电流，取 <math>(1.2 \sim 1.3) I_{1N.T}</math>；<math>K_{rel}</math> 为可靠系数，可取 1.3</li> </ol>
4	纵差保护的灵敏度检验	<p>纵差保护的灵敏度，按纵差保护区内的最小短路电流（一般取变压器低压侧的两相短路电流）来检验，要求 <math>S_p \geq 2</math></p>

(5) 变压器的瓦斯保护。如表 7-22 所示。

表 7-22 变压器的瓦斯保护

序号	项目	说明
1	瓦斯继电器的装设	<p>瓦斯继电器（又称“气体继电器”）装设在油浸式变压器油箱顶部与油枕之间的联通管上。为了使油箱内产生的气体能顺畅地通过瓦斯继电器排往油枕，因此变压器和联通管在安装时应有一定的倾斜度，如图所示</p> <p>1—变压器油箱；2—联通管；3—瓦斯继电器；4—油枕</p>

续表

序号	项目	说明															
2	瓦斯保护的原理接线	<p>油浸式电力变压器的瓦斯保护原理接线如下图所示</p> <p>T—油浸式变压器；KG—瓦斯继电器；KS—信号继电器； KM—中间继电器；QF—断路器；YR—跳闸线圈；XB—连接件</p>															
3	瓦斯保护的工作原理	<p>(1) 轻瓦斯动作：当变压器内部发生轻微故障时，瓦斯继电器的上触点 KG1-2 闭合，发出信号</p> <p>(2) 重瓦斯动作：当变压器内部发生严重故障时，瓦斯继电器的下触点 KG3-4 闭合，经中间继电器 KM 动作于跳闸，同时发出信号。瓦斯继电器的下触点 KG3-4 在出现“重瓦斯”时可能有抖动现象，因此为使断路器可靠地跳闸，利用中间继电器的一对触点来实现其“自保持”。此外，切换连接片 XB，也可使“重瓦斯”只动作于信号</p> <p>(3) 油箱漏油时：先是瓦斯继电器上触点 KG1-2 闭合，发出信号；随后瓦斯继电器下触点 KG3-4 闭合，动作于跳闸，同时发出信号</p>															
4	瓦斯保护动作后的气体分析和处理要求	<table border="1"> <thead> <tr> <th>气体性质</th> <th>故障原因</th> <th>处理要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>无色、无臭、不可燃</td> <td>变压器油箱内含有空气</td> <td>允许继续运行</td> </tr> <tr> <td>灰白色、有剧臭、可燃</td> <td>纸质绝缘烧损</td> <td>应立即停电检修</td> </tr> <tr> <td>黄色、难燃</td> <td>木质绝缘烧损</td> <td>应停电检修</td> </tr> <tr> <td>深灰或黑色、易燃</td> <td>油内闪络、油质炭化</td> <td>应分析油样，必要时停电检修</td> </tr> </tbody> </table>	气体性质	故障原因	处理要求	无色、无臭、不可燃	变压器油箱内含有空气	允许继续运行	灰白色、有剧臭、可燃	纸质绝缘烧损	应立即停电检修	黄色、难燃	木质绝缘烧损	应停电检修	深灰或黑色、易燃	油内闪络、油质炭化	应分析油样，必要时停电检修
气体性质	故障原因	处理要求															
无色、无臭、不可燃	变压器油箱内含有空气	允许继续运行															
灰白色、有剧臭、可燃	纸质绝缘烧损	应立即停电检修															
黄色、难燃	木质绝缘烧损	应停电检修															
深灰或黑色、易燃	油内闪络、油质炭化	应分析油样，必要时停电检修															

续表

### 第四节 供配电系统与建筑物的防雷保护

#### 一、过电压与防雷的有关概念

如表 7-23 所示。

表 7-23 过电压与防雷的有关概念

序号	项目	说明
1	过电压的类型	
1.1	内部过电压	这是由于系统中的开关操作、负荷骤变等引起的过电压，例如开断空载变压器或空载长线路所引起的过电压，这种过电压可达系统相电压的 3.5 倍
	弧光接地过电压	这是由于中性点不接地系统中发生单相弧光接地而引起的电压谐振过电压，这种过电压可达系统相电压的 2.5~3 倍

序号	项目	说明
1.1	内部过电压	这是由于系统中的铁磁元件（例如电力变压器铁芯、电压互感器铁芯）在不正常状态时与系统电压构成谐振电路而引起的过电压，这种过电压一般不超过系统相电压的 2.5 倍，个别情况可达 3.5 倍
1.2	雷电过电压（或称“大气过电压”）	<p>直击雷过电压：又称“直击雷”，是空中的雷云直接向电气设备、线路、建筑物或大地放电的过电压，其过电压幅值可高达 1 亿伏，其雷电流幅值可高达几十万安，它产生的热效应和机械效应破坏性极大，并相伴产生危险的电磁效应和闪络放电</p> <p>感应过电压：又称“感应雷”，是雷云对电气线路、设备或建筑物产生的静电感应或电磁感应所引起的过电压，其过电压幅值可高达几十万伏，危害也很大</p> <p>雷电波侵入：雷电过电压除以上直击雷和感应雷两种基本形式外，尚有沿电气线路进入建筑物的一种过电压，称为“雷电波侵入”或“高电位侵入”。这种雷电波侵入可由线路遭受直击雷或发生感应雷所引起。据统计，城市中发生的雷害事故中有约 50%~70% 属雷电波侵入所造成</p>



续表

序号	项 目	说 明	
2	雷暴日及地区按雷电活动的划分		
2.1	年平均雷暴日数	雷暴日是指有雷电活动包括看到雷闪和听到雷声的日子。由当地气象部门统计的多年雷暴日的年平均值,称为“年平均雷暴日数”	
2.2	地区按雷电活动程度的划分	少雷区	指年平均雷暴日数不超过15的地区
		中雷区	指年平均雷暴的数超过15但不超过40的地区
		多雷区	指年平均雷暴日数超过40但不超过90的地区
		特强雷区	年平均雷暴日数超过90的地区及雷害特别严重的地区,称为“雷电活动特殊强烈地区”。亦可归入“多雷区”
3	接闪器及确定接闪器保护范围的方法		
3.1	接闪器	接闪器是指用来直接接受大气中雷电冲击以防护其他设备、线路和建筑物的金属导体,包括避雷针、避雷线、避雷带和避雷网等	
3.2	滚球法	这是一种确定接闪器保护范围的方法。它是以一个半径为 $h$ (滚球半径)的球体,沿需要防护直击雷的部位滚动,如果球体只接触到接闪器与地面,而不触及需要保护的部位,则该部位就在接闪器的保护范围之内。这是国际电工标准IEC推荐的方法,也是我国GB 50057—1994采用的方法	
3.3	折线法	也是一种确定接闪器保护范围的方法。它实际上是对保护范围的一种简化计算方法,单个接闪器的保护范围(垂直剖面)用两条锥形折线表示,顶部规定有一定的保护角(例如避雷针为 $45^\circ$ ,避雷线为 $25^\circ$ ),底部规定有一定的保护半径。GBJ 64—1983和电力行业标准DL/T 620—1997采用这种方法	

## 二、接闪器及其引下线和接地装置的要求

如表 7-24 所示。

表 7-24 接闪器及其引下线和接地装置的要求 (据 GB 50057—1994)

序号	项 目	说 明
1	接 闪 器 的 结 构 要 求	
1.1	避雷针的结构要求	避雷针宜采用圆钢或焊接钢管制成,其直径不应小于下列数值: (1) 针长 1m 以下: 圆钢为 12mm; 钢管为 20mm (2) 针长 1~2m: 圆钢为 16mm; 钢管为 25mm (3) 烟囱顶上的针: 圆钢为 20mm; 钢管为 40mm

续表

序号	项 目	说 明
1.2	避雷线的结构要求	架空避雷线宜采用截面不小于 $35\text{mm}^2$ 的镀锌钢绞线。
1.3	避雷带、避雷网的结构要求	(1) 避雷带和避雷网宜采用圆钢或扁钢,优先采用圆钢 圆钢: 直径不应小于 8mm 扁钢: 截面不应小于 $48\text{mm}^2$ , 厚度不应小于 4mm (2) 装于烟囱上的避雷环, 要求: 圆钢: 直径不应小于 12mm 扁钢: 截面不应小于 $100\text{mm}^2$ , 厚度不应小于 4mm (3) 架空避雷网宜采用截面不小于 $35\text{mm}^2$ 的镀锌钢绞线
1.4	金属屋面作为接闪器时的结构要求	除第一类防雷建筑物(参看表 7-28 序号 1)外, 金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器, 并应符合下列要求: (1) 金属板之间采用搭接时, 其搭接长度不应小于 100mm (2) 金属板下面无易燃物品时, 其厚度不应小于 0.5mm (3) 金属板下面有易燃物品时, 其厚度, 铝板不应小于 4mm, 铜板不应小于 5mm, 铝板不应小于 7mm (4) 金属板应无绝缘被覆层; 但薄的油漆保护层或 0.5mm 厚沥青层或 1mm 厚聚氯乙烯层均不属于绝缘被覆层
1.5	屋顶上永久性金属物作为接闪器的结构要求	除第一类防雷建筑物及第二类防雷建筑物中突出屋面的排放爆炸危险气体蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等管道外, 屋顶上永久性金属物宜作为接闪器, 但其各部件之间均应连成电气通路, 并应符合下列规定: (1) 旗杆、栏杆、装饰物等, 其尺寸应符合本表序号 1.1~1.3 的规定 (2) 钢管、钢罐的壁厚不小于 2.5mm; 但钢管、钢罐一旦被雷击穿, 其介质对周围环境造成危险时, 其壁厚不得小于 4mm
1.6	关于接闪器结构的补充规定	(1) 除利用混凝土构件内钢筋作接闪器外, 接闪器应热镀锌或涂漆。在腐蚀性较强的场所, 尚应采取加大其截面或其他防腐措施 (2) 不得利用安装在接收无线电视广播的共用天线的杆顶上的接闪器保护建筑物。这是考虑到这类共用天线可能改变位置、改型甚至可能取消
2	接 闪 器 引 下 线 的 要 求	
2.1	一般引下线的结构要求	(1) 引下线宜采用圆钢或扁钢, 优先采用圆钢 圆钢: 直径不应小于 8mm 扁钢: 截面不应小于 $48\text{mm}^2$ , 厚度不应小于 4mm (2) 引下线除利用混凝土构件内的钢筋作引下线者外, 其他引下线均应热镀锌或涂漆。在腐蚀性较强的场所, 应当加大截面或采取其他防腐措施

续表

续表

序号	项 目	说 明
2.2	烟囱上引下线的结构要求	圆钢：直径不应小于12mm 扁钢：截面不应小于100mm <sup>2</sup> 厚度不应小于4mm
2.3	引下线的敷设要求	引下线应沿建筑物外墙明敷，并经最短路径接地；建筑艺术要求较高者可暗敷，但其圆钢直径不应小于10mm、扁钢截面不应小于80mm <sup>2</sup>
2.4	消防梯等金属构件作为引下线的要求	建筑物的消防梯、钢柱等金属构件宜作为引下线，但其各部件之间均应连成电气通路
2.5	引下线上断接卡和连接板的装设要求	(1)采用多根引下线时，宜在各引下线上于距地面0.3~1.8m之间装设断接卡 (2)当利用混凝土内钢筋、钢柱作为自然引下线并同时采用基础接地体时，可不设断接卡；但利用钢筋作引下线时应在室内外的适当地点设若干连接板，该连接板可供测量、接人工接地体和作等电位连接用 (3)当仅利用钢筋作引下线并采用埋于土壤中的人工接地体时，应在每根引下线上于距地面不低于0.3m处设接地体连接板。采用埋于土壤中的人工接地体时应设断接卡，其上端应与连接板或钢柱焊接。连接板处宜有明显标志
2.6	引下线的机械保护措施	在易机械损伤和防人身接触的地方，地面上1.7m至地面下0.3m的一段接地线应采取暗敷或镀锌角钢、改性塑料管或橡胶管等保护措施
3	接闪器用接地装置的要求	
3.1	人工接地体的结构要求	(1)埋于土壤中的人工垂直接地体宜采用角钢、钢管或圆钢；埋于土壤中的人工水平接地体宜采用扁钢或圆钢 圆钢：直径不应小于10mm 扁钢：截面不应小于100mm <sup>2</sup> ，厚度不应小于4mm 角钢：厚度不应小于4mm 钢管：壁厚不应小于3.5mm (2)在腐蚀性较强的土壤中，应采取热镀锌等防腐措施或加大截面 (3)接地线应与水平接地体的截面相同

序号	项 目	说 明
3.2	人工接地体的装设要求	(1)人工垂直接地体的长度宜为2.5m。人工垂直接地体间的距离及人工水平接地体间的距离宜为5m，当受地方限制时可适当减小 (2)人工接地体在土壤中的埋设深度不应小于0.5m。接地体应远离由于砖窑、烟道等高温影响使土壤电阻率升高的地方 (3)在高土壤电阻率地区，宜采用下列方法来降低防直击雷接地装置的接地电阻： 1)采用多支线外引接地装置，外引长度不应大于有效长度，有效长度应按下式计算： $l_e = 2 \sqrt{\rho}$ 式中 $l_e$ 为接地体有效长度 (m)； $\rho$ 为敷设地的土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )； 2)接地体埋于较深的低电阻率土壤中； 3)采用降阻剂(使用要求参看表 7-36 序号 6)； 4)换土
3.3	人工接地体在建筑物出入口或人行道附近埋设要求	防直击雷的人工接地体距建筑物出入口或人行道不应小于3m。当小于3m时应采取下列措施之一： (1)水平接地体局部深埋不应小于1m (2)水平接地体局部应包绝缘物，可采用50~80mm厚的沥青层 (3)采用沥青碎石地面或在接地体上面敷设50~80mm厚的沥青层，其宽度应超过接地体2m
3.4	埋地接地体的连接要求	埋在土壤中的接地装置，其连接应采用焊接，并在焊接处作防腐处理
3.5	接地电阻的计算	(1)接地装置工频接地电阻的计算，参看表 7-39 (2)冲击接地电阻的计算，参看表 7-40

### 三、变配电所和电力线路的防雷保护

(1)变配电所和电力线路的防雷措施与技术要求。

如表 7-25 所示。

表 7-25 变配电所和电力线路的防雷措施与技术要求

序号	防雷措施	适用范围	主要技术要求
1			对 直 击 雷 的 防 护
1.1	装设独立避雷针	变配电所及架空线路中易受雷击的个别杆塔上(如在相邻的高层建筑物的防雷保护范围以内时不再装设)	(1)独立避雷针和避雷线宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区，其工频接地电阻 $R_E \leq 10\Omega$ 。当有困难时，接地装置可与主接地网连接，但避雷针(线)与主接地网的地下连接点至35kV及以下设备与主接地网的地下连接点之间，沿接地线的长度不得小于15m (2)独立避雷针与变配电装置在空气中的间距(单位m)： $S_0 \geq 0.2R_{ia} + 0.1h$ 且 $S_0 \geq 5m$ 式中 $h$ 为避雷针检验点离地高度 (m)； $R_{ia}$ 为避雷针的冲击接地电阻 ( $\Omega$ )，参看表 7-38 (3)独立避雷针的接地装置与变配电所主接地网在地中的水平间距 (m)： $S_E \geq 0.3R_{ia}$ ，且 $S_E \geq 3m$
1.2	装设架空避雷线	35kV及以上的架空线路上特别是进线段和峡谷地区的变配电所	(4)避雷针和避雷线及其引下线的材料、规格与安装要求，参看表 7-24 (5)避雷针和避雷线的保护范围，参看表 7-26、27 (6)进线保护段上的避雷线保护角不宜大于20°，最大不应大于30°。进线保护段范围内的电杆工频接地电阻 $R_E \leq 10\Omega$

续表

序号	防雷措施	适用范围	主要技术要求																																																																										
2			对雷电侵入波的防护																																																																										
2.1	装设阀式避雷器 (FV)	高压母线、变压器高压侧、高压架空进线末端和出线首端	<p>(1) 阀式避雷器与主变压器及其他被保护设备的电气距离应尽量缩短, 其最大电气距离如以下附表所示 (据 DL/T 620—1997):</p> <p>附表 普通阀式避雷器与主变压器间的最大电气距离 (m)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">线路电压 (kV)</th> <th rowspan="2">进线长度 (km)</th> <th colspan="4">进线路数</th> <th rowspan="2">线路电压 (kV)</th> <th rowspan="2">进线长度 (km)</th> <th colspan="4">进线路数</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>≥4</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>≥4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">35</td> <td>1</td> <td>25</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>55</td> <td rowspan="3">110</td> <td>1</td> <td>45</td> <td>70</td> <td>80</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>40</td> <td>55</td> <td>65</td> <td>75</td> <td>1.5</td> <td>70</td> <td>95</td> <td>115</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>90</td> <td>105</td> <td>2</td> <td>100</td> <td>135</td> <td>160</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">66</td> <td>1</td> <td>45</td> <td>65</td> <td>80</td> <td>90</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">2</td> <td rowspan="3">105</td> <td rowspan="3">165</td> <td rowspan="3">195</td> <td rowspan="3">200</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>60</td> <td>85</td> <td>105</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>80</td> <td>105</td> <td>130</td> <td>145</td> </tr> </tbody> </table>	线路电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数				线路电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数				1	2	3	≥4	1	2	3	≥4	35	1	25	40	50	55	110	1	45	70	80	90	1.5	40	55	65	75	1.5	70	95	115	130	2	50	75	90	105	2	100	135	160	180	66	1	45	65	80	90	220	2	105	165	195	200	1.5	60	85	105	115	2	80	105	130	145
	线路电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数				线路电压 (kV)	进线长度 (km)	进线路数																																																																				
1			2	3	≥4	1			2	3	≥4																																																																		
35	1	25	40	50	55	110	1	45	70	80	90																																																																		
	1.5	40	55	65	75		1.5	70	95	115	130																																																																		
	2	50	75	90	105		2	100	135	160	180																																																																		
66	1	45	65	80	90	220	2	105	165	195	200																																																																		
	1.5	60	85	105	115																																																																								
	2	80	105	130	145																																																																								
装设排气式避雷器 (FE) 或保护间隙 (FG)	高压架空线路上个别绝缘薄弱的地点	<p>对 3~10kV 主变压器, 进线为 1 路的最大电气距离为 15m, 2 路为 20m</p> <p>(2) 35kV 和 6~10kV 变配电装置对雷电波侵入防护的接线分别如图 a 和图 b 所示</p> <p>(3) 避雷器应以最短的接地线与变配电站的主接地网连接, 或通过电缆的金属外皮连接</p> <p>(4) 接地电阻要求参看表 7-38</p>																																																																											
2.2	装设阀式避雷器 (FV) 或击穿保险器 (FG)	多雷区及以上的配电变压器低压侧相线上及低压侧不接地中性点	<p>(a) 35kV 变配电装置的过电压防护;</p> <p>(b) 6~10kV 变配电装置的过电压防护;</p>																																																																										

(2) 保护变配电站和电力线路的避雷针保护范围。如表 7-26 所示。

表 7-26 保护变配电站和电力线路的避雷针保护范围  
(据 GBJ 64—1983 和 DL/T 620—1997)

序号	项 目	保护范围示意图	计算方法
1	单支避雷针的保护范围		<p>(1) 地面上的保护半径 (m)</p> $r = 1.5h$ <p>式中 <math>h</math> 为避雷针高度 (m)</p> <p>(2) 在被保护物高度 <math>h_1</math> 水平面上的保护半径 (m)</p> <p>1) 当 <math>h_1 \geq 0.5h</math> 时</p> $r_1 = h_2 = h - h_1$ <p>2) 当 <math>h_1 &lt; 0.5h</math> 时</p> $r_1 = 1.5h - 2h_1$ <p>式中 <math>h_1</math> 为被保护物高度 (m); <math>h_2</math> 为避雷针有效高度 (m), <math>h_2 = h - h_1</math></p>

续表

序号	项目	保护范围示意图	计算方法
2	双支等高避雷针的保护范围	<p>被保护物范围</p> <p><math>h_x</math>高度水平面上保护范围</p> <p>O-O'截面的保护范围</p>	<p>(1) 两针外侧的保护范围：按序号1的方法确定</p> <p>(2) 两针间保护范围边缘沿最低点的高度(m)</p> $h_0 = h - \frac{D}{7}$ <p>式中 <math>D</math> 为两针间距离 (m)</p> <p>(3) 两针间 <math>h_x</math> 高度水平面上的最小保护宽度 (m)</p> $b_x = 1.5 (h_0 - h_x)$
3	三支等高避雷针的保护范围		<p>(1) 三支针所形成的三角形 ABC 外侧保护范围，按序号2的方法确定</p> <p>(2) 相邻针间最小保护宽度 (m)</p> $b_x \geq 0$
4	四支等高避雷针的保护范围		<p>(1) 四支针所形成的四边形 ABCD 外侧保护范围，先分成两个三角形，然后按序号3的方法确定</p> <p>(2) 相邻针间最小保护宽度 (m)</p> $b_x \geq 0$

注 本表所示保护范围均按避雷针高度  $h \leq 30\text{m}$  计。如果  $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$  时，则表中计算公式中的  $r_x$ 、 $r_x$  和  $b_x$  均应乘以高度影响系数  $p = 5.5 / \sqrt{h}$ ，而序号2中的  $h_0 = h - \frac{D}{7p}$ 。

(3) 保护变电所和电力线路的避雷线保护范围。如表 7-27 所示。

表 7-27 保护变电所和电力线路的避雷线保护范围 (据 GBJ 64—1983 和 DL/T 620—1997)

序号	项目	保护范围示意图	计算方法
1	单根避雷线的保护范围	<p>被保护物</p> <p><math>h_x</math>高度水平面上保护范围</p>	<p>在被保护物高度 <math>h_x</math> 水平面上的保护范围：</p> <p>(1) 当 <math>h_x \geq 0.5h</math> 时</p> $r_x = 0.47 (h - h_x)$ <p>(2) 当 <math>h_x &lt; 0.5h</math> 时</p> $r_x = (h - 1.53h_x)$ <p>式中 <math>h</math> 为避雷线最大弧垂点的高度 (m)；<math>h_x</math> 为被保护物高度 (m)；<math>r_x</math> 为 <math>h_x</math> 高度水平面上避雷线一侧保护宽度 (m)</p>

续表

序号	项目	保护范围示意图	计算方法
2	两根等高平行避雷线的保护范围		<p>(1) 两线外侧的保护范围,按序号1的方法确定</p> <p>(2) 两线间各横截面的保护范围:由A、B点及O点的圆弧确定。O点(弧垂点)的高度</p> $h_0 = h - \frac{D}{4}$ <p>(3) 两线端部的保护范围:可按双支避雷针的方法(表7-25序号2)确定,等效避雷针高度可近似地取为避雷线悬挂点高度的80%</p>

注 本表所示保护范围均按避雷线高度  $h \leq 30m$  计。如果  $30m < h \leq 120m$  时,则表中计算公式中 also 需计入高度影响系数

$$p = 5.5 / \sqrt{h}$$

续表

### 四、建筑物的防雷保护

(1) 建筑物的防雷分类。如表 7-28 所示。

表 7-28 建筑物的防雷分类 (据 GB 50057—1994)

序号	类别	说明
1	第一类防雷建筑物	<p>(1) 凡制造、使用或储存炸药、火药、起爆物、火工品等大量爆炸物质的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者</p> <p>(2) 具有 0 区或 10 区爆炸危险环境的建筑物</p> <p>(3) 具有 1 区爆炸危险环境的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者</p>
2	第二类防雷建筑物	<p>(1) 国家级重点文物保护的建筑物</p> <p>(2) 国家级的会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站、国宾馆、国家级档案馆、大型城市的重要给水水泵房等特别重要的建筑物</p> <p>(3) 国家级计算中心、国际通信枢纽等对国民经济有重要意义且装有大量电子设备的建筑物</p> <p>(4) 制造、使用或储存爆炸物质的建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者</p> <p>(5) 具有 1 区爆炸危险环境的建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者</p> <p>(6) 具有 2 区或 11 区爆炸危险环境的建筑物</p> <p>(7) 工业企业内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐</p> <p>(8) 预计雷击次数大于 0.06 次/a 的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物</p> <p>(9) 预计雷击次数大于 0.3 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物</p>
3	第三类防雷建筑物	<p>(1) 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆</p> <p>(2) 预计雷击次数大于或等于 0.012 次/a,且小于或等于 0.06 次/a 的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物</p> <p>(3) 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/a,且小于或等于 0.3 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物</p> <p>(4) 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/a 的一般性工业建筑物</p> <p>(5) 根据雷击后对工业生产的影响及产生的后果,并结合当地气象、地形、地质及周围环境等因素,确定需要防雷的 21 区、22 区、23 区火灾危险环境</p> <p>(6) 在平均雷暴日大于 15d/a 的地区,高度在 15m 及以上烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物;在平均雷暴日小于或等于 15d/a 的地区,高度在 20m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物</p>
备注		<p>(1) 爆炸和火灾危险环境的分区,参看表 4-6</p> <p>(2) 建筑物年预计雷击次数由下式确定:</p> $N = 0.024KT_d^2 A_e$ <p>式中 K 为校正系数,在一般情况下取 1。在下列情况下取相应数值:位于旷野的孤立建筑物取 2;金属屋面的砖木结构的建筑物取 1.7;位于河边、湖边、山坡下或山地中土壤电阻率较小处、地下水露头处、土山顶部、山谷风口等处的建筑物,以及特别潮湿的建筑物取 1.5。T<sub>d</sub> 为年平均雷暴日,按当地气象台、站资料确定;A<sub>e</sub> 为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积 (km<sup>2</sup>)</p> <p>A<sub>e</sub> 应取其实际平面积向外扩大后的面积 (参看图示),按以下规定方法计算:</p> <p>1) 当建筑物 H &lt; 100m 时,每边扩大宽度为 <math>\sqrt{H(200-H)}</math>,等效面积为:</p> $A_e = [LW + 2(L+W) \cdot \sqrt{H(200-H)} + \pi H(200-H)] \times 10^{-6}$ <p>式中 L、W、H 分别为建筑物的长、宽、高 (m)</p> <p>2) 当建筑物 H ≥ 100m 时,每边扩大宽度为 H,等效面积为:</p>

续表

续表

序号	类别	说明
		$A_e = [LW + 2H(L+W) + \pi H^2] \times 10^{-6}$ <p>3) 当建筑物各部位的高不同时, 应沿建筑物周边逐点算出最大扩大宽度, 其等效面积 <math>A_e</math> 应按每点最大扩大宽度外端的连接线所包围的面积计算</p> <p>单位: m</p>

序号	屋面情况	易受雷击部位示意图
3	坡度大于 1/10 而小于 1/2 的屋面	
4	坡度不小于 1/2 的屋面	

注 1. 图例:  
 ○为雷击率最高部位; — 易受雷击部位; ..... 不易受雷击的屋脊或屋檐。  
 2. 对序号 3 和序号 4 所示建筑物, 在屋脊有避雷带的情况下, 当屋檐处于屋脊避雷带的保护范围内时, 屋檐上可不设避雷带。

(2) 建筑物易受雷击的部位。如表 7-29 所示。

表 7-29 建筑物易受雷击的部位  
(据 GB50057—1994)

序号	屋面情况	易受雷击部位示意图
1	平屋顶	
2	坡度不大于 1/10 的屋面	

(3) 保护建筑物的接闪器保护范围。确定接闪器保护范围的滚球半径及避雷网时网格尺寸, 如表 7-30 所示。保护建筑物的避雷针保护范围, 如表 7-31 所示。保护建筑物的避雷线保护范围, 如表 7-32 所示。

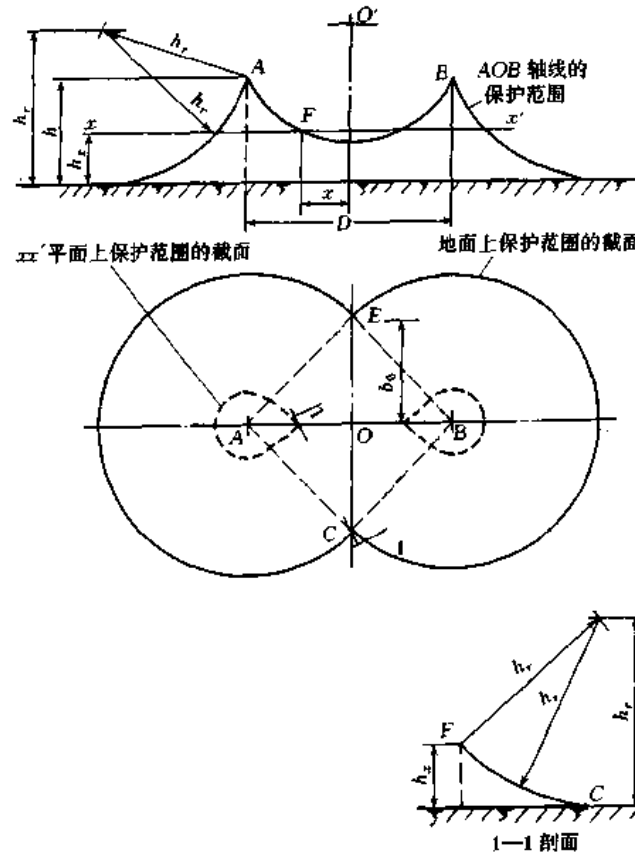
表 7-30 确定接闪器保护范围的滚球半径及避雷网的网格尺寸 (据 GB50057—1994)

序号	建筑物防雷类别	滚球半径 $h_r$ (m)	避雷网网格尺寸 (m×m)
1	第一类防雷建筑物	30	$\leq 5 \times 5$ 或 $\leq 6 \times 4$
2	第二类防雷建筑物	45	$\leq 10 \times 10$ 或 $\leq 12 \times 8$
3	第三类防雷建筑物	60	$\leq 20 \times 20$ 或 $\leq 24 \times 16$

表 7-31 保护建筑物的避雷针保护范围 (据 GB50057—1994)

序号	项目	保护范围及其确定
1	单支避雷针的保护范围	<p>示意图</p> <p>示意图</p>

续表

序号	项目	保护范围及其确定
1	单支避雷针的保护范围	<p>(1) 当避雷针高度 <math>h \leq h_r</math> 时:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>距地面 <math>h_r</math> 处作一平行于地面的平行线;</li> <li>以针尖为圆心, <math>h_r</math> 为半径, 作弧线交于平行线的 A、B 两点;</li> <li>以 A、B 为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧线, 该弧线与针尖相交并与地面相切。从此弧线起至地面上就是该针的保护范围。保护范围是一个对称的锥体;</li> <li>避雷针在 <math>h_r</math> 高度的 <math>xx'</math> 平面上和在地面上的保护半径, 按下列计算式确定:</li> </ol> $r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_r(2h_r - h)}$ $r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)}$ <p>式中 <math>r_x</math> 为避雷针在 <math>h_r</math> 高度的 <math>xx'</math> 平面上的保护半径 (m); <math>h_r</math> 为滚球半径 (m), 按表 7-30 确定; <math>h_x</math> 为被保护物的高度 (m); <math>r_0</math> 为避雷针在地面上的保护半径 (m)</p> <p>(2) 当避雷针高度 <math>h &gt; h_r</math> 时 在避雷针上取高度为 <math>h_r</math> 的一点代替单支避雷针针尖作为圆心, 其余的作法同 (1)</p>
2	双支等高避雷针的保护范围	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">示意图</p> <p>在避雷针高度 <math>h \leq h_r</math> 的情况下, 当两支避雷针的距离 <math>D \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 保护范围应各按单支避雷针的方法确定; 当 <math>D &lt; 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 保护范围应按下列方法确定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>AEBC 外侧的保护范围, 按单支避雷针的方法确定</li> <li>C、E 两点位于两针间的垂直平分线上, 在地面每侧的最小保护宽度 <math>b_0</math> 按下式计算:</li> </ol> $b_0 = CO = EO = \sqrt{h(2h_r - h)} - \left(\frac{D}{2}\right)^2$ <p>在 AOB 轴线上, 距中心线任一距离 <math>x</math> 处, 其在保护范围上边线上的保护高度 <math>h_x</math> 按下式确定:</p> $h_x = h_r - \sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2}$

续表

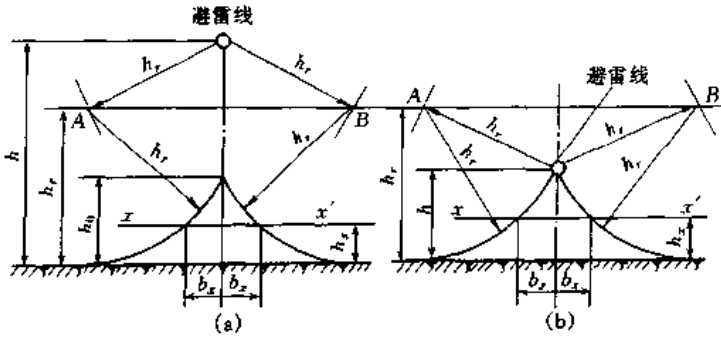
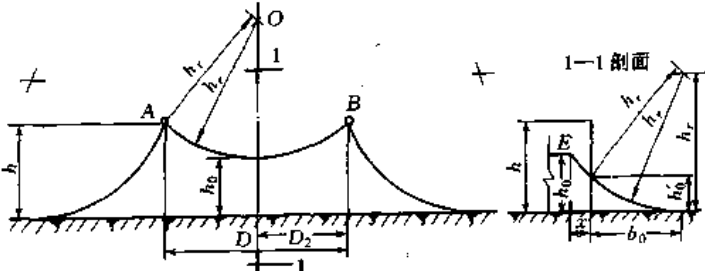
序号	项目	保护范围及其确定
2	双支等高避雷针的保护范围	<p>该保护范围上边线是以中心线距地面 <math>h_r</math> 的一点 <math>O'</math> 为圆心, 以 <math>\sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}</math> 为半径所作的圆弧 AB</p> <p>(3) 两针间 AEBC 内的保护范围, ACO 部分的保护范围按以下方法确定: 在任一保护高度 <math>h_r</math> 和 C 点所处的垂直平面上, 以 <math>h_r</math> 作为假想避雷针, 按单支避雷针的方法逐点确定 (见示意图的 1-1 剖面)。确定 BCO、AEO、BEO 部分的保护范围的方法与 ACO 部分的相同</p> <p>(4) 确定 <math>xx'</math> 平面上保护范围截面的方法: 以单支避雷针的保护半径 <math>r_r</math> 为半径, 以 A、B 为圆心作弧线与四边形 AEBC 相交; 以单支避雷针的 <math>(r_0 - r_r)</math> 为半径, 以 E、C 为圆心作弧线与上述弧线相接, 见示意图中的粗虚线</p>
3	双支不等高避雷针的保护范围	<div style="text-align: center;"> </div> <p>示意图</p> <p>在 <math>h_1 \leq h_r</math> 和 <math>h_2 \leq h_r</math> 的情况下, 当 <math>D \geq \sqrt{h_1(2h_r - h_1)} + \sqrt{h_2(2h_r - h_2)}</math> 时, 应各按单支避雷针所规定的方法确定; 当 <math>D &lt; \sqrt{h_1(2h_r - h_1)} + \sqrt{h_2(2h_r - h_2)}</math> 时, 应按下列方法确定 (见示意图):</p> <p>(1) AEBC 外侧的保护范围, 按单支避雷针的方法确定</p> <p>(2) CE 线或 <math>HO'</math> 线的位置按下式计算:</p> $D_1 = \frac{(h_r - h_2)^2 - (h_r - h_1)^2 + D^2}{2D}$ <p>(3) 在地面上每侧的最小保护宽度 <math>b_0</math> 按下式计算:</p> $b_0 = CO = EO = \sqrt{h_1(2h_r - h_1)} - D_1$ <p>在 AOB 轴线上, A、B 间保护范围上边线按下式确定:</p> $h_r = h_r - \sqrt{(h_r - h_1)^2 + D_1^2} - x^2$ <p>式中 <math>x</math> 为距 CE 线或 <math>HO'</math> 线的距离</p> <p>该保护范围上边线是以 <math>HO'</math> 线上距地面 <math>h_r</math> 的一点 <math>O'</math> 为圆心, 以 <math>\sqrt{(h_r - h_1)^2 + D_1^2}</math> 为半径所作的圆弧 AB</p> <p>(4) 两针间 AEBC 内的保护范围, ACO 与 AEO 是对称的, BCO 与 BED 是对称的, ACO 部分的保护范围按以下方法确定: 在 <math>h_r</math> 和 C 点所处的垂直平面上, 以 <math>h_r</math> 作为假想避雷针, 按单支避雷针的方法确定 (见示意图的 1-1 剖面图)。确定 AEO、BCO、BEO 部分的保护范围的方法与 ACO 部分的相同</p> <p>(5) 确定 <math>xx'</math> 平面上保护范围截面的方法与双支等高避雷针相同</p>



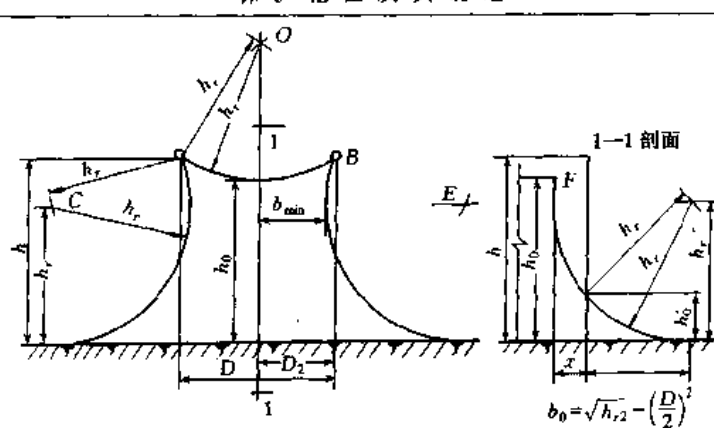
续表

序号	项 目	保 护 范 围 及 其 确 定
	示意图	
4	矩形布置的四支等高避雷针的保护范围	<p>在 <math>h \leq h_r</math> 的情况下, 当 <math>D_3 \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 保护范围应按各按双支等高避雷针的方法确定; 当 <math>D_3 &lt; 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 应按下列方法确定 (见示意图)</p> <p>(1) 四支避雷针的外侧各按双支避雷针的方法确定</p> <p>(2) B、E 避雷针连线上的保护范围见示意图的 1-1 剖面图, 外侧部分按单支避雷针的方法确定。两针间的保护范围按以下方法确定: 以 B、E 两针针尖为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧相交于 O 点; 以 O 点为圆心, <math>h_r</math> 为半径作圆弧, 与针尖相连的这段圆弧即为针间保护范围。保护范围最低点的高度 <math>h_0</math> 按下式计算:</p> $h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D_3}{2}\right)^2} + h - h_r$ <p>(3) 示意图的 2-2 剖面的保护范围, 以 P 点的垂直线上的 O 点 (距地面的高度为 <math>h_r + h_0</math>) 为圆心, <math>h_r</math> 为半径作圆弧与 B、C 和 A、E 双支避雷针所作出在该剖面的外侧保护范围延长圆弧相交于 F、H 点。F 点 (H 点与此类同) 的位置及高度可按下列计算式确定:</p> $\begin{cases} (h_r - h_x)^2 = h_r^2 - (b_0 + x)^2 \\ (h_r + h_0 - h_r)^2 = h_r^2 - \left(\frac{D_1}{2} - x\right)^2 \end{cases}$ <p>(4) 确定示意图的 3-3 剖面保护范围的方法与上述 (3) 相同</p> <p>(5) 确定四支等高避雷针中间在 <math>h_0</math> 至 <math>h</math> 之间于 <math>h_y</math> 高度的 <math>yy'</math> 平面上保护范围截面的方法: 以 P 点为圆心, <math>\sqrt{2h_r(h_y - h_0) - (h_y - h_0)^2}</math> 为半径作圆或圆弧, 与各双支避雷针在外侧所作的保护范围截面组成该保护范围截面, 见示意图中的虚线</p>
	确定方法	

表 7-32 保护建筑物的避雷线保护范围 (据 GB50057—1994)

序号	项 目	保护范围及其确定
1	单根避雷线的保护范围	<p style="text-align: center;">示意图</p>  <p style="text-align: center;">(a) 当 <math>h_r &lt; h &lt; 2h_r</math> 时; (b) 当 <math>h \leq h_r</math> 时</p> <p>当避雷线高度 <math>h \geq 2h_r</math> 时, 无保护范围          当避雷线高度 <math>h &lt; 2h_r</math> 时, 保护范围应按下列方法确定 (参看示意图 a、b):          确定避雷线的高度时, 应计及弧垂的影响。在无法确定弧垂的情况下, 当等高支柱间的距离小于 120m 时架空避雷线中点的弧垂宜采用 2m, 距离为 120~150m 时宜采用 3m          (1) 距地面 <math>h_r</math> 处作一平行于地面的平行线          (2) 以避雷线为圆心, <math>h_r</math> 为半径, 作弧线交于平行线的 A、B 两点          (3) 以 A、B 为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧线, 该两弧线相交或相切, 并与地面相切。从该弧线起到地面上就是保护范围          (4) 当 <math>h &lt; 2h_r</math> 且 <math>h &gt; h_r</math> 时 (见图 a), 保护范围最高点的高度 <math>h_0</math> 按下式计算:  <math display="block">h_0 = 2h_r - h</math>          (5) 避雷线在 <math>h_x</math> 高度的 <math>xx'</math> 平面上的保护宽度, 按下式计算:  <math display="block">b_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)}</math>          式中 <math>b_x</math> 为避雷线在 <math>h_x</math> 高度的 <math>xx'</math> 平面上的保护宽度 (m); <math>h</math> 为避雷线的高度 (m); <math>h_r</math> 为滚球半径 (m), 按表 7-30 确定; <math>h_x</math> 为被保护物的高度 (m)          (6) 避雷线两端的保护范围按单支避雷针的方法确定</p>
2	两根等高避雷线在 $h \leq h_r$ 时的保护范围	<p style="text-align: center;">示意图</p>  <p>在避雷线高度 <math>h \leq h_r</math> 的情况下, 当 <math>D \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 各按单根避雷线所规定的方法确定; 当 <math>D &lt; 2\sqrt{h(2h_r - h)}</math> 时, 按下列方法确定 (见示意图)          (1) 两根避雷线的外侧, 各按单根避雷线的方法确定          (2) 两根避雷线之间的保护范围按以下方法确定: 以 A、B 两避雷线为圆心, <math>h_r</math> 为半径作圆弧交于 O 点; 再以 O 点为圆心, <math>h_r</math> 为半径作圆弧交于 A、B 点          (3) 两避雷线之间保护范围最低点的高度 <math>h_0</math> 按下式计算:  <math display="block">h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} + h - h_r</math>          (4) 避雷线两端的保护范围按双支避雷针的方法确定, 但在中线上 <math>h_0</math> 线的内移位置按以下方法确定 (见示意图的 1-1 剖面): 以双支避雷针所确定的中点保护范围最低点的高度 <math>h'_0 = h - \sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}</math> 作为假想避雷针, 将其保护范围的延长弧线与 <math>h_0</math> 线交于 E 点。内移位置的距离 <math>x</math> 也可按下式计算:  <math display="block">x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - b_0</math>          式中 <math display="block">b_0 = \sqrt{h(2h_r - h)} - \left(\frac{D}{2}\right)^2</math></p>

续表

序号	项 目	保 护 范 围 及 其 确 定
3	两根等高避雷线在 $h_r < h < 2h_r$ 时的保护范围	<p>示意图</p>  <p>确定方法</p> <p>在避雷线高度 <math>h &lt; 2h_r</math> 且 <math>h &gt; h_r</math>, 两线间距离 <math>D &lt; 2h_r</math> 且 <math>D &gt; 2[h_r - \sqrt{h(2h_r - h)}]</math> 的情况下, 保护范围按下列方法确定 (见示意图)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 距地面 <math>h_r</math> 处作一与地面平行的线</li> <li>(2) 以避雷线 A、B 为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧线相交于 O 点, 并与平行线相交或相切于 C、E 点</li> <li>(3) 以 O 点为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧线交于 A、B 点</li> <li>(4) 以 C、E 为圆心, <math>h_r</math> 为半径作弧线交于 A、B, 并与地面相切, 此弧线即保护范围</li> <li>(5) 两线间保护范围最低点的高度 <math>h_0</math> 按下式计算:             <math display="block">h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} + h - h_r</math> </li> <li>(6) 最小保护宽度 <math>b_{min}</math> 位于 <math>h_r</math> 高处, 其值按下式计算             <math display="block">b_{min} = \sqrt{h(2h_r - h)} + \frac{D}{2} - h_r</math> </li> <li>(7) 避雷线两端的保护范围, 按双支高度 <math>h_r</math> 的避雷针确定, 但在中线上 <math>h_0</math> 线的内移位置按以下方法确定 (见示意图的 1-1 剖面): 以双支高度 <math>h_r</math> 的避雷针所确定的中点保护范围最低点的高度 <math>h'_0 = \left(h_r - \frac{D}{2}\right)</math> 作为假想避雷针, 将其保护范围的延长弧线与 <math>h_0</math> 线交于 F 点。内移位置的距离 <math>x</math> 也可按下式计算:             <math display="block">x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}</math> </li> </ol>

注 以上表 7-31 和表 7-32 中各保护范围示意图所画的地面也可以是位于建筑物上的接地金属物和其他接闪器。建筑物上任意两接闪器保护范围的确定方法参看 GB50057—1994, 此略。

(4) 建筑物的防雷措施。如表 7-33 所示。

续表

表 7-33 建筑物的防雷措施 (据 GB50057—1994)

序号	项 目	说 明
1	第一类防雷建筑物的防雷措施	
1.1	防直击雷措施	<p>(1) 采取装设独立避雷针或避雷线(网), 使被保护建筑物及风帽、放散管等突出屋面的物体均处于接闪器的保护范围内</p> <p>(2) 独立避雷针和架空避雷线(网)的支柱及其接地装置至被保护建筑物及与其有联系的管道、电缆等金属物之间的距离, 架空避雷线(网)至被保护建筑物屋面和各种突出屋面物体之间的距离, 均不得小于 3m</p>

序号	项 目	说 明
1.1	防直击雷措施	<p>(3) 独立避雷针、架空避雷线(网)应有独立的接地装置, 其每一引下线的冲击接地电阻 <math>R_{sh} \leq 10\Omega</math>。在高土壤电阻率地区, <math>R_{sh}</math> 可适当增大</p> <p>(4) 当建筑物高于 30m 时, 尚应采取防侧击雷的措施: ①从 30m 起每隔不大于 6m 沿建筑物四周设水平避雷带并与引下线相连; ②30m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物与防雷装置连接</p>
1.2	防雷电磁感应的措施	<p>(1) 建筑物内的设备、管道、构架、电缆金属外皮、钢屋架、钢窗等较大金属物和突出屋面的放散管、风管等金属物, 均应接到防雷电磁感应的接地装置</p>

续表

序号	项 目	说 明
1.2	防雷电感应的措施	<p>上。金属屋面周边每隔 18~24m 应采用引下线接地一次</p> <p>(2) 防雷电感应的接地装置应与电气设备接地装置共用,其工频接地电阻 <math>R_E \leq 10\Omega</math></p> <p>(3) 防雷电感应的接地装置与独立接闪器的接地装置之间的距离不得小于 3m</p>
1.3	防雷电波侵入的措施	<p>(1) 低压线路宜全线采用电缆直接埋设敷设在。在入户端应将电缆的金属外皮、钢管接到防雷电感应的接地装置上。当全线采用电缆有困难时,可采用钢筋混凝土杆和铁横担的架空线,并应使用一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入,其埋地长度 (m) <math>l \geq 2\sqrt{\rho}</math>, 且不应小于 15m, 式中 <math>\rho</math> 为埋电缆处的土壤电阻率 (<math>\Omega \cdot m</math>)。在电缆与架空线连接处,尚应装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math></p> <p>(2) 架空金属管道在进出建筑物处,应与防雷电感应的接地装置相连。距离建筑物 100m 内的管道,应每隔 25m 左右接地一次,其 <math>R_{ch} \leq 20\Omega</math>, 并宜利用金属支架或钢筋混凝土支架的焊接、绑扎钢筋网作为引下线,其钢筋混凝土基础宜作为接地装置</p> <p>(3) 埋地或地沟内的金属管道,在进出建筑物处亦应与防雷电感应的接地装置相连</p>
2	第二类防雷建筑物的防雷措施	
2.1	防直击雷的措施	<p>(1) 宜采取在建筑物上装设避雷网(带)或避雷针或由其混合组成的接闪器,使被保护的建筑物及风帽、放散管等突出屋面的物体均处于接闪器的保护范围内</p> <p>(2) 引下线不应少于两根,间距不应大于 18m,每根引下线的冲击接地电阻 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math></p> <p>(3) 防直击雷接地宜与防雷电感应、电气设备、信息系统等接地共用同一接地装置,并宜与埋地金属管道相连;当不共用、不相连时,两者在地中的距离应不小于 2m</p> <p>(4) 在共用接地装置与埋地金属管道相连的情况下,接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体</p> <p>(5) 高度超过 45m 的钢筋混凝土结构、钢结构建筑物,尚应采取防侧击和等电位的保护措施</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.2	防雷电感应的措施 (适于第二类防雷建筑物中 (4)、(5)、(6) 款规定的建筑物)	<p>(1) 建筑物内的设备、管道、构架等主要金属物,应就近接至防直击雷接地装置或电气设备的保护接地装置上,可不另设接地装置</p> <p>(2) 平行敷设的管道、构架和电缆金属外皮等长金属物在净距小于 100mm 时应采用金属线跨接,但长金属物连接处可不跨接</p> <p>(3) 建筑物内防雷电感应的接地干线与接地装置的连接不应少于两处</p>
2.3	防雷电波侵入的措施	<p>(1) 当低压线路全长采用埋地电缆或敷设在架空金属线槽内的电缆引入时,在入户端应将电缆的金属外皮、金属线槽接地;对第二类防雷建筑物中 (4)、(5)、(6) 款规定的建筑物 (见表 7-28 序号 2),上述金属物应与防雷的接地装置相连</p> <p>(2) 第二类防雷建筑物中 (4)、(5)、(6) 款规定的建筑物,其低压电源线路应符合下列要求:</p> <p>1) 低压架空线应改换一段埋地金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入,其埋地长度不应小于 15m。入户端电缆的金属外皮、钢管应与防雷的接地装置相连。在电缆与架空线连接处尚应装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math></p> <p>2) 平均雷暴日小于 30d/a 地区的建筑物,可采用低压架空线直接引入建筑物内,但应符合下列要求:在入户处应装设避雷器或设 2~3mm 的空气间隙,并应与绝缘子铁脚、金具连在一起接到防雷的接地装置上,其 <math>R_{ch} \leq 5\Omega</math>; 入户处的三基电杆绝缘子铁脚、金具应接地,靠近建筑物的电杆,其 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math>, 其余两基电杆 <math>R_{ch} \leq 20\Omega</math></p> <p>(3) 对第二类防雷建筑物中非爆炸危险建筑物,其低压电源线路应符合下列要求:</p> <p>1) 当架空线转换金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入时,其埋地长度及其他要求,与上述 (2) 款相同</p> <p>2) 当架空线直接引入时,在入户处应加装避雷器,并将其与绝缘子铁脚、金具连在一起接到电气设备的接地装置上。靠近建筑物的两基电杆上的绝缘子铁脚应接地,其 <math>R_{ch} \leq 30\Omega</math></p> <p>(4) 架空和直接埋地的金属管道在进出建筑物处应就近与防雷的接地装置相连;当不相连时,架空管道应接地,其 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math>。对第二类防雷建筑物中 (4)、(5)、(6) 款规定的建筑物,引入、引出该建筑物的金属管道在进出处应与防雷的接地装置相连;对架空金属管道尚应在距建筑物 25m 处接地一次,其 <math>R_{ch} \leq 10\Omega</math></p>

续表

续表

序号	项 目	说 明
3	第三类防雷建筑物的防雷措施	
3.1	防直击雷的措施	<p>(1) 宜采取在建筑物上装设避雷网(带)或避雷针或由其混合组成的接闪器。避雷网(带)应按表 7-29 的规定沿易受雷击的部位敷设, 网格尺寸应符合表 7-30 的规定。当平屋面宽度不大于 20m 时, 可仅沿周边敷设一圈避雷带</p> <p>(2) 每根引下线的 <math>R_{\Delta} \leq 30\Omega</math>。但对预计雷击次数大于或等于 0.012 次/a 且小于或等于 0.06 次/a 的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物, 则 <math>R_{\Delta} \leq 10\Omega</math></p> <p>(3) 接闪器的接地装置宜与电气设备等的接地装置共用。防雷接地装置宜与埋地金属管道相连。当不共用、不相连时, 两者间在地中的距离不应小于 2m</p> <p>(4) 在共用接地装置与埋地金属管道相连的情况下, 接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体</p> <p>(5) 高度超过 60m 的建筑物, 应采取防侧击和等电位的保护措施</p>
3.2	防雷电感的措施	为防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或线路的反击, 引下线与附近金属物或线路的间距, 应满足规范的要求
3.3	防雷电波侵入的措施	<p>(1) 对电缆进出线, 应在进出端将电缆的金属外皮、钢管等与电气设备接地相连。当电缆转换为架空线时, 应在转换处装设避雷器, 避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地, 其 <math>R_{\Delta} \leq 30\Omega</math></p> <p>(2) 对低压架空进出线, 应在进出处装设避雷器, 并与绝缘子铁脚、金具连在一起接到电气设备的接地装置上。当多回路架空进出线时, 可仅在母线或总配电箱处装设一组避雷器或其他型式的过电压保护器, 但绝缘子铁脚、金具仍应接到接地装置上</p> <p>(3) 进出建筑物的架空金属管道, 在进出处应就近接到防雷或电气设备的接地装置上或独自接地, 其 <math>R_{\Delta} \leq 30\Omega</math></p>

序号	项 目	说 明
4	混有各类建筑物的防雷措施	
4.1	兼有一、二、三类防雷建筑物的防雷分类及其防雷措施	<p>(1) 当第一类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 30% 及以上, 该建筑物宜确定为第一类防雷建筑物</p> <p>(2) 当第一类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 30% 以下, 且第二类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 30% 及以上时, 或当这两类防雷建筑物的面积均小于建筑物总面积的 30%, 但其面积之和又大于 30% 时, 该建筑物宜确定为第二类防雷建筑物。但对第一类防雷建筑物的防雷电感应和防雷电波侵入, 应采取第一类防雷建筑物的保护措施</p> <p>(3) 当第一、二类防雷建筑物的面积之和小于建筑物总面积的 30%, 且不可能遭直击雷击时, 该建筑物可确定为第三类防雷建筑物; 但对第一、二类防雷建筑物的防雷电感应和防雷电波侵入, 应采取各自类别的防护措施; 当可能遭受直击雷击时, 宜按各自类别采取防雷措施</p>
4.2	仅有部分一、二、三类防雷建筑物的建筑物的防雷措施	<p>(1) 当防雷建筑物可能遭直击雷击时, 宜按各自类别采取防雷措施</p> <p>(2) 当防雷建筑物不可能遭直击雷击时, 可不采取防直击雷措施, 可仅按各自类别采取防雷电感应和防雷电波侵入的措施</p> <p>(3) 当防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 50% 以上时, 该建筑物宜按以上序号 4.1 的规定采取防雷措施</p>

## 第五节 电气装置的接地与接零保护

### 一、接地与接零的有关概念及其一般要求

- (1) 接地与接零的有关概念。如表 7-34 所示。
- (2) 接地与接零的一般要求。如表 7-35 所示。

表 7-34 接地与接零的有关概念

序号	项 目	说 明
1	接地	指电气装置的某部分与大地之间做良好的电气连接
2	接地体和接地线	<p>接地体为埋入地下且直接与大地做良好接触的金属导体, 亦称“接地极”。专门为接地而人为装设的接地体, 称为“人工接地体”。兼作接地体用的直接与大地接触的各种金属构件、金属管道及建筑物的钢筋混凝土基础等, 称为“自然接地体”</p> <p>连接接地体与装置、设备接地部分的金属导体, 称为“接地线”。接地线也有人工接地线和自然接地线两种</p>
3	接地装置和接地网	接地体与接地线合称“接地装置”。由若干接地中在大体相互用接地线连接起来的整体, 称为“接地网”
4	接地电流和对地电压	当电气设备发生接地故障时, 电流就通过接地装置向大地作半球形散开, 这一电流称为“接地电流”, 用 $I_E$ 表示

续表

序号	项 目	说 明
4	接地电流和对地电压	电气设备的接地点与零电位的“大地”(通常指距离接地故障点约20m以外的地区)之间的电位差,称为该接地点的“对地电压”,用 $U_E$ 表示
5	接触电压和跨步电压	<p>电气设备的外露可导电部分因设备绝缘损坏而带电时,身体触及而使身体两部分之间出现的电位差,称为“接触电压”,用<math>U_{to}</math>表示(参看右图)</p> <p>人(或其他动物)在接地故障点附近行走,两脚之间所出现的电位差,称为“跨步电压”,用<math>U_{sp}</math>表示(参看右图所示)</p>
6	工频接地电阻和冲击接地电阻	<p>接地电阻包括接地线和接地体的电阻及接地电流在地中流散所遇到的电阻(接地体流散电阻)。接地电阻值等于对地电压与接地电流的比值</p> <p>工频(50Hz)接地电流流经接地装置所呈现的接地电阻,称为“工频接地电阻”,用<math>R_E</math>(或<math>R_{\sim}</math>)表示</p> <p>雷电流流经接地装置所呈现的接地电阻,称为“冲击接地电阻”,用<math>R_{sk}</math>(或<math>R_s</math>)表示</p>
7	工作接地和保护接地	<p>为了使电路或设备达到运行要求而实施的接地,称为“工作接地”,如电力系统中性点的接地、接闪器的接地等</p> <p>为了在故障情况下,保障人身安全、防止触电事故而实施的接地,称为“保护接地”,如电气设备外露可导电部分(金属外壳和构架等)的接地、互感器二次侧的接地等</p>
8	零线和保护接零	<p>零线是我国对低压配电系统中直接接地的保护中性线(PEN线)的通称</p> <p>为了达到保护接地的要求而采取将电气设备外露可导电部分接上保护中性线(PEN线)或保护线(PE线)的方式,称为“保护接零”</p>
9	重复接地	在TN系统中,为确保PEN线或PE线安全可靠,除在系统中性点进行工作接地外,还必须在PEN线或PE线的下列地点重复接地:①在架空线路末端及沿线每隔1km处;②电缆和架空线引入车间或建筑物处。如不重复接地,则在PEN线或PE线断线且有设备发生一相碰壳时,接在断线后面的所有设备外壳上将呈现接近于相电压的对地电压,对人非常危险!如进行了重复接地,则安全得多

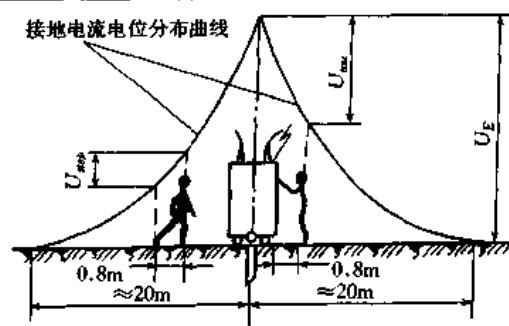


表 7-35 接地与接零的一般要求  
(据 GB50169-1992)

续表

序号	项 目	说 明
1	应予接地或接零的电气装置金属部分	<p>(12) 六氟化硫封闭式组合电器和箱式变电站的金属箱体</p> <p>(13) 电热设备的金属外壳</p> <p>(14) 控制电缆的金属护层</p>
2	可不接地或不接零的电气装置金属部分	<p>(1) 在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内,交流额定电压为380V及以下或直流额定电压为440V及以下的电气设备的外壳;但当有可能同时触及上述电气设备外壳和已接地的其他物体时,则仍应接地</p> <p>(2) 在干燥场所,交流额定电压为127V及以下或直流额定电压为110V及以下的电气设备的外壳</p> <p>(3) 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器等的外壳,以及当发生绝缘损坏时,在支持物上不会引起危险电压的绝缘子的金属底座等。</p> <p>(4) 安装在已接地金属构架上的设备,如穿墙套管等</p>

- 应予接地或接零的电气装置金属部分
- (1) 电机、变压器、电器、携带式或移动式用电器具等的金属底座和外壳
  - (2) 电气设备的传动装置
  - (3) 屋内外配电装置的金属或钢筋混凝土构架以及靠近带电部分的金属遮拦和金属门
  - (4) 配电、控制、保护用的屏(柜、箱)及操作台等的金属框架和底座
  - (5) 交、直流电力电缆的接头盒、终端头和膨胀器的金属外壳和电缆的金属护层、可触及的电缆金属保护管和穿线的钢管
  - (6) 电缆桥架、支架和井架
  - (7) 装有避雷线的电力线路杆塔
  - (8) 装在配电线路杆上的电力设备
  - (9) 在非沥青地面的居民区内,无避雷线的小接地电流架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔
  - (10) 电除尘器的构架
  - (11) 封闭母线的金属外壳及其他裸露的金属部分

续表

序号	项 目	说 明
2	可不接地或不接零的电气装置金属部分	(5) 额定电压为 220V 及以下的蓄电池室内的金属支架 (6) 由发电厂、变电所和工业企业区域内引出的铁路轨道 (7) 与已接地的机床、机座之间有可靠电气接触的电动机和电器的外壳
3	需要接地的直流系统对接地装置的要求	(1) 能与地构成闭合回路且经常流过电流的接地线应沿绝缘垫板敷设, 不得与金属管道、建筑物和设备的构件有金属的连接 (2) 在土壤中含有在电解时能产生腐蚀性物质的地方, 不宜敷设接地装置, 必要时可采取外引式接地装置或改良土壤的措施 (3) 直流电力回路专用的中性线和直流两线制正极的接地体、接地线不得与自然接地体有金属连接; 当无绝缘隔离装置时, 相互间的距离不应小于 1m (4) 三线制直流回路的中性线宜直接接地
4	接地线的应用	接地线除用来实现规定的接地功能外, 不得作其他用途

## 二、接地装置的选择与敷设

(1) 接地装置的选择。如表 7-36 所示。

表 7-36 接地装置的选择 (据 GB50169—1992)

序号	项 目	说 明
1	交流电气设备的接地可以利用的自然接地体	(1) 埋设在地下金属管道, 但不包括有可燃或有爆炸物质的管道 (2) 金属井管 (3) 与大地有可靠连接的建筑物的金属结构 (4) 水工构筑物及其类似的构筑物的金属管、桩
2	可作为交流电气设备接地线的自然接地体	(1) 建筑物的金属结构(梁、柱等)及设计规定的混凝土结构内部的钢筋 (2) 生产用的起重机的轨道、配电装置的外壳、走廊、平台、电梯竖井、起重机与升降机的构架、运输皮带的钢梁、电除尘器的构架等金属结构 (3) 配线的钢管
3	钢接地体和接地线的规格尺寸要求	接地装置宜采用钢材。接地装置的导体截面应符合热稳定和机械强度的要求, 但不得小于附表所列规格。大中型发电厂、110kV 及以上变电所或腐蚀性较强场所的接地装置应采用热镀锌钢材, 或适当加大截面

续表

序号	项 目	说 明																																	
3	钢接地体和接地线的规格尺寸要求	<p>附表 钢接地体和接地线的最小规格</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">种类、规格及单位</th> <th colspan="2">地 上</th> <th colspan="2">地 下</th> </tr> <tr> <th>室内</th> <th>室外</th> <th>交流电 流回路</th> <th>直流电 流回路</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>圆钢直径(mm)</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">扁 钢</td> <td>截面 (mm<sup>2</sup>)</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>厚度 (mm)</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>角钢厚度 (mm)</td> <td>2</td> <td>2.5</td> <td>4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>钢管管壁厚度 (mm)</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> <td>3.5</td> <td>4.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>注: (1) 电力线路杆塔的接地体引出线的截面不应小于 50mm<sup>2</sup>, 引出线应热镀锌; (2) GB50057-1994 规定的接地体和接地线的最小规格与该表有些出入(参看表 7-24)</p>	种类、规格及单位	地 上		地 下		室内	室外	交流电 流回路	直流电 流回路	圆钢直径(mm)	6	8	10	12	扁 钢	截面 (mm <sup>2</sup> )	60	100	100	厚度 (mm)	3	4	4	角钢厚度 (mm)	2	2.5	4	6	钢管管壁厚度 (mm)	2.5	2.5	3.5	4.5
种类、规格及单位	地 上			地 下																															
	室内	室外	交流电 流回路	直流电 流回路																															
圆钢直径(mm)	6	8	10	12																															
扁 钢	截面 (mm <sup>2</sup> )	60	100	100																															
	厚度 (mm)	3	4	4																															
角钢厚度 (mm)	2	2.5	4	6																															
钢管管壁厚度 (mm)	2.5	2.5	3.5	4.5																															
4	铜和铝接地线的最小截面要求	<p>低压电气设备地面上外露的铜和铝接地线的最小截面</p> <p>(1) 明敷的裸导体: 铜为 4mm<sup>2</sup>, 铝为 6mm<sup>2</sup> (2) 绝缘导体: 铜芯为 1.5mm<sup>2</sup>, 铝芯为 2.5mm<sup>2</sup> (3) 电缆的接地芯及与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯: 铜芯为 1mm<sup>2</sup>, 铝芯为 1.5mm<sup>2</sup></p>																																	
5	不得作为接地体或接地线的规定	(1) 在地下不得采用裸铝导体作为接地体或接地线 (2) 不得利用蛇皮管、管道保温层的金属外皮或金属网以及电缆金属护层作接地线																																	
6	降阻剂的使用要求	<p>利用化学方法降低土壤电阻率时, 采用的降阻剂应符合下列要求:</p> <p>(1) 材料的选择应符合设计要求 (2) 使用的材料必须符合国家现行技术标准, 并有合格证件 (3) 严格按照生产厂家使用说明书规定的施工工艺施工</p>																																	

(2) 接地装置的敷设要求。如表 7-37 所示。

表 7-37 接地装置的敷设要求 (据 GB50169—1992)

序号	项 目	说 明
1	接地体的埋深和间距	(1) 埋深: 接地体顶面埋设深度不宜小于 0.6m (2) 间距: 垂直接地体不宜小于其长度的 2 倍; 水平接地体不宜小于 5m
2	接地体和接地线的防护和防腐要求	(1) 除接地体外, 接地体引出线的垂直部分和接地线焊接部位应作防腐处理; 在作防腐处理前, 表面必须除锈并去掉焊接处残留的焊药

续表

续表

序号	项目	说明
2	接地体和接地线的防护和防腐要求	(2) 接地线应防止发生机械损伤和化学腐蚀。在与公路、铁路或管道等交叉及其他可能使接地线遭受损伤处,均应用管子或角钢等加以保护。接地线在穿过墙壁、楼板和地坪处,应加装钢管或其他坚固的保护管;有化学腐蚀的部位还应采取防腐措施
3	接地干线的连接要求	(1) 接地干线应在不同的两点及以上与接地网相连接。自然接地体应在不同的两点及以上与接地干线或接地网相连接 (2) 每个电气装置的接地应以单独的接地线与接地干线相连接。不得在一个接地线中串接几个需要接地的电气装置
4	明敷接地线的安装要求	(1) 应便于检查 (2) 敷设位置不应妨碍设备的拆卸与检修 (3) 支持件间的距离:水平直线部分宜为0.5~1.5m;垂直部分宜为1.5~3m;转弯部分宜为0.3~0.5m (4) 接地线应按水平或垂直敷设,亦可与建筑物倾斜结构平行敷设;在直线段上,不应有高低起伏及弯曲等情况 (5) 接地线沿建筑物墙壁水平敷设时,离地面距离宜为250~300mm;接地线与建筑物墙壁间的间隙宜为10~15mm (6) 在接地线跨越建筑物伸缩缝、沉降缝处时,应设置补偿器。补偿器可用接地线本身弯成弧状代替
5	明敷接地线和中性线的标志	(1) 明敷接地线的表面应涂以用15~100mm宽度相等的绿色和黄色相间的条纹。当使用胶带时,应使用双色胶带 (2) 中性线宜涂淡蓝色标志 (3) 在接地线引向建筑物的入口处和在检修用临时接地点处,均应刷白色底漆并标以黑色记号,其代号为“ $\frac{1}{2}$ ”
6	各种设备的不同接地要求	(1) 当电缆穿过零序电流互感器时,电缆头的接地线应通过零序电流互感器后接地;由电缆头至穿过零序电流互感器的一段电缆金属护层和接地线应对地绝缘 (2) 直接接地或经消弧线圈接地的变压器、旋转电机的中性点与接地体或接地干线的连接,应采用单独的连接线 (3) 变电所、配电所的避雷器应用最短的接地线与主接地网连接 (4) 全封闭组合电器的外壳应按制造厂规定接地;法兰片间应采用跨接线连接,并应保证良好的电气通路 (5) 高压配电间隔和静止补偿装置的栅栏门绞链处,应用软铜线连接,以保持良好接地 (6) 高频感应电热装置的屏蔽网、滤波器、电源装置的金属屏蔽外壳,高频回路中外露导体和电气设备的所有屏蔽部分和与其连接的金属管道均应接地,并宜与接地干线连接

序号	项目	说明
6	各种设备的不同接地要求	(7) 接地装置由多个分接地装置部分组成时,应按设计要求设置便于分开的断接卡。自然接地体与人工接地体连接处应有便于分开的断接卡。断接卡应有保护措施
7	接地体(线)的连接要求	(1) 接地体(线)的连接应采用焊接,焊接必须牢固无虚焊。接至电气设备上的接地线,应用镀锌螺栓连接。有色金属接地线不能采用焊接时,可用螺栓连接。螺栓连接处的接触面应现行国家标准《电气装置安装工程母线装置施工及验收规范》的规定处理 (2) 接地体(线)的焊接应采用搭接焊,其搭接长度必须符合下列规定: 1) 扁钢为其宽度的2倍,且至少3个棱边焊接; 2) 圆钢为其直径的6倍; 3) 圆钢与扁钢连接时,其长度为圆钢直径的6倍; 4) 扁钢与钢管、扁钢与角钢焊接时,为了连接可靠,除应在其接触部位两侧进行焊接外,并应焊以由钢带弯成的弧形(或直角形)卡子或直接由钢带本身弯成弧形(或直角形)与钢管或角钢焊接 (3) 利用表7-36序号2所述的各种金属构件、金属管道等作为接地线时,应保证其全长为完好的电气通路。利用串联的金属构件、金属管道作接地线时,应在其串联部位焊接金属跨接线
8	携带式电气设备的接地要求	(1) 携带式电气设备应用专用芯线接地,严禁利用其他用电设备的零线接地;零线和接地线应分别与接地装置相连接 (2) 携带式电气设备的接地线应采用软铜绞线,其截面不小于1.5mm <sup>2</sup>
9	移动式机械和电气设备的接地要求	(1) 由固定的电源或由移动式发电设备供电的移动式机械的金属外壳底座,应与这些供电电源的接地装置有金属的连接;在中性点不接地的电网中,可在移动式机械附近装设接地装置,以代替敷设接地线,并应首先利用附近的自然接地体 (2) 移动式电气设备和机械的接地应符合固定式电气设备接地的规定,但下列情况可不接地: 1) 移动式机械自用的发电设备直接放在机械的同一金属框架上,又不供给其他设备用电; 2) 当机械由专用的移动式发电设备供电,机械数量不超过2台,机械距移动式发电设备不超过50m,且发电设备和机械的外壳之间有可靠的金属连接
10	接闪器的接地要求	因表7-24已介绍GB50057—1994的有关规定,故GB50169—1992的规定介绍从略,可自行参考

(3) 接地装置的接地电阻要求,如表7-38所示。表中接地电阻值是综合现行有关标准的规定值。



表 7-38 接地装置的接地电阻要求 (据 DL/T 621—1997 等)

序号	类别	说明		接地电阻 (Ω)	
1	直接接地和小电阻接地系统的电力装置接地 <sup>①</sup>	一般情况下		$R_E \leq \frac{2000}{I}$	
		经技术经济比较可适当增大		$R_E \leq 5$	
2	不接地、经消弧线圈接地和大电阻接地系统 (小接地电流系统) 的电力装置接地 <sup>②</sup>	高压电力装置与低压电力装置共用的接地装置		$R_E \leq \frac{120}{I}$ 且 $R_E \leq 4$	
		仅用于高压电力装置		$R_E \leq \frac{250}{I}$ 且 $R_E \leq 10$	
3	低压系统的电源中性点接地 <sup>③</sup>	与总容量 100kVA 以上的发电机或变压器相连的接地装置		$R_E \leq 4$	
4		上述装置 (序号 3) 的重复接地		$R_E \leq 10$	
5		与总容量 100kVA 及以下的发电机或变压器相连的接地装置		$R_E \leq 10$	
6		上述装置 (序号 5) 的重复接地 (不少于 3 处)		$R_E \leq 30$	
7	城镇中 3~10kV 架空线路的钢筋混凝土杆和铁杆的接地	钢筋混凝土杆的钢筋可兼作接地引下线		$R_E \leq 30$	
8	3~10kV 线路上排气式避雷器和保护间隙的接地 <sup>④</sup>	用于保护 3~10kV 较长线路中的绝缘薄弱地点	土壤电阻率 (Ω·m)	100 及以下	$R_E \leq 10$
				100 以上至 500	$R_E \leq 15$
				500 以上至 1000	$R_E \leq 20$
				1000 以上至 2000	$R_E \leq 25$
				2000 以上	$R_E \leq 30$
9	3~10kV 交叉线路上排气式避雷器和保护间隙的接地 <sup>④</sup>	线路之间 (含与通信线路之间) 交叉间距在 4m 以下 (最小间距 2m)	土壤电阻率 (Ω·m)	100 及以下	$R_E \leq 20$
				100 以上至 500	$R_E \leq 30$
				500 以上至 1000	$R_E \leq 40$
				1000 以上至 2000	$R_E \leq 50$
				2000 以上	$R_E \leq 60$
10	低压钢筋混凝土杆和铁杆接地	只适于中性点非直接接地的低压系统 (IT 系统)		$R_E \leq 50$	
11	低压接户线的绝缘子铁脚接地	指由木杆、木横担引下的接户线; 而自然接地电阻不大于 30Ω 的钢筋混凝土电杆除外		$R_E \leq 30$	
12	3~10kV 柱上断路器和负荷开关的防雷接地	采用阀式避雷器或保护间隙		$R_E \leq 10$	
13	3~10kV 电杆接地 <sup>④</sup>	有架空地线 (避雷线) 时		与序号 8 同	
		无架空地线 (避雷线) 时		$R_E \leq 30$	
14	接闪器的独立接地装置	包括避雷针、避雷线、避雷带和避雷网的接地		冲击接地电阻 $R_E \leq 10$	
15	第一类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷、防雷电感应和防雷电波侵入		$R_E \leq 10$	
16	第二类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷、防雷电感应和防雷电波侵入, 共用接地装置		$R_E \leq 10$	
17	第三类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷和雷电波侵入, 共用接地装置		$R_E \leq 30$	
		其中部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物		$R_E \leq 10$	

① 此系统 (大接地电流系统) 的工频接地电阻  $R_E$  计算公式中的  $I$  为流经接地装置的入地短路电流周期分量有效值, 此电流应按 5~10 年发展后的系统最大运行方式确定, 并应考虑系统中各接地中性点间的短路电流分配以及避雷线中分走的接地短路电流。

② 小接地电流系统的  $R_E$  计算分式中的  $I$  (单位 A), 其计算分三种情况:

a) 对中性点不接地系统,  $I$  为单相接地电容电流, 按下式计算:

$$I = I_C = \frac{U_N(l_{0\alpha} + 35l_{0\beta})}{350}$$

式中  $U_N$  为电网额定电压 (kV);  $l_{0\alpha}$  为电压  $U_N$  电网中架空线路总长度 (km);  $l_{0\beta}$  为该电网中电缆线路总长度 (km)。

b) 对中性点经消弧线圈接地系统, 其中装有消弧线圈的变电所或电力装置的接地装置,  $I$  等于接在同一接地装置中同一系统各消弧线圈额定电流总和的 1.25 倍。

c) 对中性点经消弧线圈接地系统中未装消弧线圈的变电所或电力装置的接地装置,  $I$  等于系统中断开最大一台消弧线圈时最大可能残余电流值 (JGJ/T16—1992 还规定 “但不得小于 30A”, JB16—1996 规定 “不得小于 10A”, 而 DL/T621—1997 则无补充规定)。

③ JB16—1996 规定: 低压系统与高压系统共用一个接地装置时, 低压中性点接地电阻  $R_E \leq 1\Omega$ ; 低压系统与高压系统分设两个接地装置时, 低压中性点接地电阻  $R_E \leq 30\Omega$ 。

④ 此据 DL/T620—1997 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合的》的规定。

续表

### 三、接地装置的设计计算

(1) 工频接地电阻的计算。如表 7-39 所示。

表 7-39 工频接地电阻的计算<sup>[46]</sup>

序号	项 目	计 算 公 式
1	人工接地体工频接地电阻近似计算公式	
1.1	单根垂直管形或棒形接地体	$R_{E(1)} \approx \rho/l$
1.2	单根水平带形接地体	$R_{E(1)} \approx 2\rho/l$
1.3	多根放射形水平接地带 ( $n \leq 12$ , 每根长 60m)	$R_{E(1)} \approx \frac{0.062\rho}{n+1.2}$
1.4	环形接地网	$R_E \approx 0.6\rho/\sqrt{A}$
2	部分自然接地体工频接地电阻近似计算公式	
2.1	埋地的水管、电缆金属外皮等	$R_E \approx 2\rho/l$
2.2	钢筋混凝土基础	$R_E \approx 0.2\rho/\sqrt[3]{V}$

注意, 本表计算公式中:

- $R_{E(1)}$ ——单根接地体的工频接地电阻 ( $\Omega$ );
- $R_E$ ——工频接地电阻 ( $\Omega$ );
- $\rho$ ——土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ );
- $l$ ——单根接地体 (含水管、电缆等自然接地体) 的埋地长度 (m);
- $n$ ——埋地接地体根数;
- $A$ ——环形接地网所包围的面积 ( $m^2$ );
- $V$ ——钢筋混凝土基础的体积 ( $m^3$ ).

- (2) 冲击接地电阻的计算。如表 7-40 所示。
- (3) 土壤电阻率参考值。如表 7-41 所示。
- (4) 接地装置的设计计算。如表 7-42 所示。

表 7-40 冲击接地电阻的计算  
(据 GB50057—1994)

序号	项 目	计 算 公 式 及 说 明
1	冲击接地电阻与工频接地电阻的换算公式	$R_E = \alpha R_{sE}$ 或 $R_{sE} = R_E/\alpha$ 式中 $R_E$ 为接地装置各支线的长度 (含水平接地体和垂直接地体总长) 取值小于或等于接地体的有效长度 $l_e$ 或者有支线大于 $l_e$ 而取其等于 $l_e$ 时的工频接地电阻 ( $\Omega$ ), $l_e = 2\sqrt{\rho}$ (m), $\rho$ 为当地土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ ); $\alpha$ 为换算系数, 按序号 2 的坐标图确定; $R_{sE}$ 为对应于 $R_E$ 的接地装置冲击接地电阻 ( $\Omega$ )

序号	项 目	计 算 公 式 及 说 明
2	换算系数 $\alpha$ 的确定	
3	环形接地体的冲击接地电阻计算	(1) 当环形接地体周长的一半大于或等于接地体的有效长度 $l_e$ 时, 引下线的冲击接地电阻应为从该引下线的连接点起沿两侧接地体各取 $l_e$ 长度算出的工频接地电阻 (换算系数 $\alpha = 1$ ) (2) 当环形接地体周长的一半小于接地体的有效长度 $l_e$ 时, 引下线的冲击接地电阻应为以接地体的实际长度算出工频接地电阻再除以 $\alpha$ 值
4	钢筋混凝土基础的冲击接地电阻计算	与引下线连接的基础接地体, 当其钢筋从与引下线的连接点量起大于 20m 时, 其冲击接地电阻应为以换算系数 $\alpha = 1$ 和以该连接点为圆心、20m 为半径的半球体范围内的钢筋体的工频接地电阻

表 7-41 土壤电阻率参考值<sup>[21]</sup>

序号	土 壤 名 称	土 壤 电 阻 率 近 似 值 ( $\Omega \cdot m$ )
1	陶粘土	10
2	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20
3	捣碎的木炭	40
4	黑土、田园土、陶土	50
5	粘土	60
6	砂质粘土、可耕地	100
7	黄土	200
8	含砂粘土、砂土	300
9	多石土壤	400
10	砂、砂砾	1000
11	砾石、碎石	5000
12	多岩山地	5000

表 7-42 接地装置的设计计算

序号	项 目	说 明			
1	确定允许的接地电阻值 $R_E$	可按表 7-38 确定, 或按有关设计规范			
2	实测或估算可以利用的自然接地体的接地电阻 $R_{E(nat)}$	(1) 应首先充分利用自然接地体 (2) 变配电所可利用其本身建筑的钢筋混凝土基础作自然接地体。10kV 及以下变配电所如利用基础作自然接地体满足接地电阻要求时, 可不另设人工接地体, 但 10kV 以上变配电所及有爆炸危险场所除外 (3) 常用自然接地体工频接地电阻的计算公式参看表 7-39 序号 2			
3	计算需补充人工接地体的接地电阻 $R_{E(man)}$	$R_{E(man)} = \frac{R_{E(nat)} R_E}{R_{E(nat)} - R_E}$			
4	按所计算的 $R_{E(man)}$ (如未考虑自然接地体则按规定的 $R_E$ ) 初步确定接地方案	(1) 人工接地体和接地线的最小规格, 必须符合规范要求 (参看表 7-36 序号 3、4 及表 7-24 序号 2) (2) 最常用的垂直接地体为直径 50mm、长 2.5m 的钢管; 接地线多用 40mm×4mm 扁钢; 当变压器容量在 315kVA 及以下时, 接地线可用 25mm×4mm 扁钢 (3) 垂直接地体距离建筑物基础不得小于 1.5m, 一般取 2~3m (4) 垂直接地体间距离一般取为接地体长的 2 倍; 水平接地体间距离一般不小于 5m			
5	计算单根垂直 (或水平) 接地体的接地电阻 $R_{E(1)}$	$R_{E(1)}$ 的近似计算公式参看表 7-39 序号 1			
6	用逐步渐近法计算垂直接地体根数 $n$	如不计 $R_{E(nat)}$ , 则 $n \geq \frac{R_{E(1)}}{\eta R_{E(man)}}$ $n \geq \frac{R_{E(1)}}{\eta R_E}$ 式中 $\eta$ 为接地体利用系数, 其值与接地体型式、数量及相互距离有关。垂直管形接地体的利用系数参看本表序号 8 水平带形接地体的根数按表 7-39 序号 1.3 确定			
7	校验接地装置的短路热稳定度	满足短路热稳定度的最小截面 ( $\text{mm}^2$ ) 为: $A_{min} = I_k^{(1)} \times 10^3 \times \sqrt{t_{ima}} / C$ 式中 $I_k^{(1)}$ 为单相接地短路电流 (kA); $t_{ima}$ 为短路热稳定计算的假想时间 (s), 参看表 5-21 序号 2; $C$ 为短路热稳定系数, 铜接地线 $C=70$			
8	垂直管形接地体的利用系数值	管间距离与管长之比	1	2	3
		管数设成一排时	管子根数	利用系数	
		管间距离与管长之比	1	2	3
		管数设成环形时	管子根数	利用系数	
			4		
			6		
			10		
			20		
			30		
			40		
		注意, 本表利用系数值未计及连接扁钢的影响, 因而较实际值略小, 但由此确定的接地装置更能满足接地要求			

四、等电位联结及接地故障保护

- (1) 等电位联结。如表 7-43 所示。
- (2) 接地故障保护的要求。如表 7-44 所示。

表 7-43 等电位联结

序号	项 目	说 明
1	等电位联结的含义	等电位联结, 是使各个外露可导电部分和装置外可导电部分电位基本相等的电气连接

续表

序号	项 目	说 明
2	总等电位联结及其联结线	<p>总等电位联结 (MEB) 是指在建筑物电源线路进线处, 将 PE 干线 (或 PEN 干线) 与电气装置接地干线、建筑物内的各种金属管道 (如水管、煤气管、采暖空调管道等) 以及建筑物金属构件等, 都接向总等电位联结端子, 使它们都具有基本相等的电位, 以便在发生接地故障时显著地降低这些导电部分的接触电压, 确保人身安全</p> <p>总等电位联结线的截面不得小于装置中最大 PE 线截面的 1/2, 且不得小于 6mm<sup>2</sup>。如果采用铜导线, 其截面可不超过 25mm<sup>2</sup></p>
3	局部等电位联结及其联结线	<p>局部等电位联结 (LEB), 又称“辅助等电位联结”, 是在远离总等电位联结处、非常潮湿、触电危险性大的局部地域内进行的等电位联结, 作为总等电位联结的一种补充, 以确保人身安全</p> <p>局部等电位联结线的截面不得小于其范围内最大 PE 线截面的 1/2; 而连接两个外露可导电部分的局部等电位联结线, 其截面不得小于接至该两个外露可导电部分的较小 PE 线的截面</p>
4	低压配电系统中总等电位联结 (MEB) 和局部等电位联结 (LEB) 示意图	

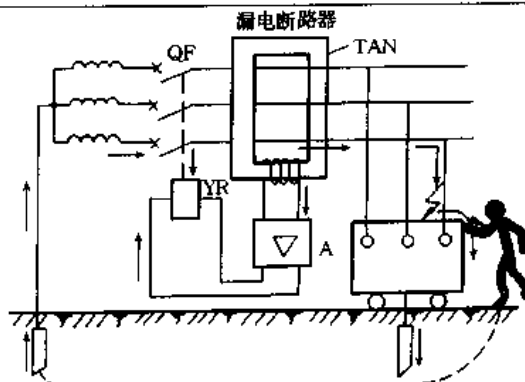
表 7-44 接地故障保护的要求 (据 GB50054—1995)

序号	项 目	说 明
1	接地故障保护的功能	<p>接地故障保护的设置在于防止人身间接触电 (注: 原文为“电击”, 下同) 以及电气火灾、线路损坏等事故</p>
2	接地故障保护的一般规定	<p>(1) 这里所指接地故障措施所保护的电气设备, 只适用于防触电保护分类的 I 类电气设备</p> <p>(2) 这里所指接地故障设备所在的环境为正常环境, 人身触电安全电压限值为 50V</p> <p>(3) 切断接地故障的时间, 依低压配电系统的接地型式和电气设备使用情况而定, 但其最大值不宜超过 5s</p> <p>(4) 采用接地做故障保护时, 在建筑物内应作总等电位联结</p> <p>(5) 当电气装置或装置某一部分的接地故障保护不能满足切断故障回路的时间要求时, 尚应在局部范围内作辅助等电位联结</p> <p>(6) 下列情况之一时, 可不采用接地故障保护:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 采用双重绝缘或加强绝缘的电气设备 (即 II 类设备);</li> <li>2) 采取电气隔离措施;</li> <li>3) 采用安全超低压 (即与供电干线隔离的不超过 50V 的交流电压);</li> <li>4) 将电气设备安装在非导电场所内;</li> <li>5) 设置不接地的等电位联结</li> </ol>
3	TN 系统的接地故障保护	<p>(1) TN 系统配电线路接地故障保护的動作特性应符合下式要求:</p> $I_{op(E)} Z_{\Sigma(E)} \leq U_p$ <p>式中 <math>I_{op(E)}</math> 为接地故障保护的動作电流; <math>U_p</math> 为系统相线对地的额定电压; <math>Z_{\Sigma(E)}</math> 为单相接地故障回路的阻抗</p> <p>(2) 相线对地额定电压为 220V 的 TN 系统配电线路的接地故障保护, 其切断故障回路的时间应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 配电线路或仅供给固定式电气设备用电的末端线路, 不宜大于 5s;</li> <li>2) 供电给手提式电气设备和移动式电气设备的末端线路或插座回路, 不应大于 0.4s</li> </ol> <p>(3) 当采用熔断器作接地故障保护, 且符合下列条件时, 可认为满足以上 (2) 条的要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 当要求切断故障回路的时间 <math>t_{ca} \leq 5s</math> 时, 短路电流 <math>I_k^{(1)}</math> 与熔断器熔体额定电流 <math>I_{N,FE}</math> 的比值不应小于以下附表 1 的规定:</li> </ol>

续表

序号	项 目	说 明																
3	TN 系统的接地故障保护	<p style="text-align: center;">附表 1 <math>t_{oc} \leq 5s</math> 时的 <math>I_k^{(1)}/I_{N-PE}</math> 最小比值</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><math>I_{N-PE}</math> (A)</td> <td style="width: 25%;">4~10</td> <td style="width: 25%;">12~63</td> <td style="width: 25%;">80~200</td> </tr> <tr> <td><math>I_k^{(1)}/I_{N-PE}</math></td> <td>4.5</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </table> <p>2) 当要求切断故障回路的时间 <math>t_{oc} \leq 0.4s</math> 时, 短路电流 <math>I_k^{(1)}</math> 与熔断器熔体额定电流 <math>I_{N-PE}</math> 的比值不应小于以下附表 2 的规定:</p> <p style="text-align: center;">附表 2 <math>t_{oc} \leq 0.4s</math> 时的 <math>I_k^{(1)}/I_{N-PE}</math> 最小比值</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><math>I_{N-PE}</math> (A)</td> <td style="width: 25%;">4~10</td> <td style="width: 25%;">16~32</td> <td style="width: 25%;">40~63</td> </tr> <tr> <td><math>I_k^{(1)}/I_{N-PE}</math></td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>(4) 当配电箱同时有以上 (2) 条中 1)、2) 两款所述的两种末端线路引出时, 应满足下列条件之一:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 自配电箱引出的 (2) 条 1) 款所述的线路, 其切断故障回路的时间不应大于 0.4s;</li> <li>2) 使配电箱至总等电位联结回路之间的一段 PE 线的阻抗 (<math>\Omega</math>) 不大于 <math>50Z_{\Sigma(E)}/U_\phi</math>, 此处 <math>U_\phi</math> 为相线对地额定电压 (V), <math>Z_{\Sigma(E)}</math> 为故障回路阻抗 (<math>\Omega</math>); 或者作局部等电位联结</li> </ol> <p>(5) TN 系统配电线路应采用下列接地故障保护:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 当过电流保护能满足以上 (2) 条要求时, 宜采用过电流保护兼作接地故障保护;</li> <li>2) 在三相四线制配电线路中, 当过电流保护不能满足以上 (2) 条的要求但零序电流保护能满足时, 宜采用零序电流保护, 此时, 保护的整定值应大于配电线路最大不平衡电流;</li> <li>3) 当以上 1)、2) 两款的保护不能满足要求时, 应采用漏电电流动作保护</li> </ol>	$I_{N-PE}$ (A)	4~10	12~63	80~200	$I_k^{(1)}/I_{N-PE}$	4.5	5	6	$I_{N-PE}$ (A)	4~10	16~32	40~63	$I_k^{(1)}/I_{N-PE}$	8	9	10
$I_{N-PE}$ (A)	4~10	12~63	80~200															
$I_k^{(1)}/I_{N-PE}$	4.5	5	6															
$I_{N-PE}$ (A)	4~10	16~32	40~63															
$I_k^{(1)}/I_{N-PE}$	8	9	10															
4	TT 系统的接地故障保护	<p>(1) TT 系统配电线路接地故障保护的動作特性应符合下式要求:</p> $I_{op(E)}R_E \leq 50V$ <p>式中 <math>I_{op(E)}</math> 为保证保护电器切断故障回路的動作电流 (A); <math>R_E</math> 为外露可导电部分的接地电阻与 PE 线电阻 (<math>\Omega</math>)</p> <p>当采用反时限特性的过电流保护电器时, 上式的 <math>I_{op(E)}</math> 为保证在 5s 内切断故障回路的動作电流; 当采用瞬时動作特性的过电流保护电器时, 上式的 <math>I_{op(E)}</math> 为保护瞬时切断故障回路的動作电流</p> <p>当采用漏电电流動作保护器时, 上式的 <math>I_{op(E)}</math> 为其额定動作电流</p> <p>(2) TT 系统配电线路内由同一接地故障保护电器保护的外露可导电部分, 应用 PE 线连接至共同的接地装置上。当有多级保护时, 各级宜有各自的接地极</p>																
5	IT 系统的接地故障保护	<p>(1) 在 IT 系统的配电线路中, 当发生第一次接地故障时, 应由绝缘监视电器发出音响或灯光信号, 其動作电流应符合下式要求:</p> $I_E R_E \leq 50V$ <p>式中 <math>I_E</math> 为相线与外露可导电部分间第一次短路故障的接地故障电流 (A), 它计及泄漏电流和电气装置全部接地阻抗值的影响; <math>R_E</math> 为外露可导电部分的接地体电阻 (<math>\Omega</math>)</p> <p>(2) IT 系统的外露可导电部分可用共同的接地体接地, 亦可个别地或成组地用单独的接地体接地</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 当外露可导电部分为单独接地, 发生第二次异相接地故障时, 故障回路的切断应符合 TT 系统接地故障保护的要求;</li> <li>2) 当外露可导电部分为共同接地, 则发生第二次异相接地故障时, 故障回路的切断应符合 TN 系统接地故障保护的要求</li> </ol> <p>(3) IT 系统的配电线路, 当发生第二次异相接地故障时, 应由过电流保护电器或漏电电流動作保护器切断故障电路, 并应符合下列要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 当 IT 系统不引出 N 线, 线路额定电压为 220/380V 时, 保护电器应在 0.4s 内切断故障回路, 并符合下式要求:</li> </ol> $I_{op} Z_{\Sigma(E)} \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_\phi$ <p>式中 <math>I_{op}</math> 为保护电器切断故障回路的動作电流 (A); <math>Z_{\Sigma(E)}</math> 为包括相线和 PE 线在内的故障回路阻抗 (<math>\Omega</math>);</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2) 当 IT 系统引出 N 线, 线路额定电压为 220/380V 时, 保护电器应在 0.8s 内切断故障回路, 并应符合下式要求:</li> </ol> $I_{op} Z_{\Sigma(E)} \leq \frac{1}{2} U_\phi$ <p>式中 <math>Z_{\Sigma(E)}</math> 为包括相线、N 线和 PE 线在内的故障回路阻抗 (<math>\Omega</math>)</p> <p>必须指出: IT 系统不宜引出 N 线</p>																

续表

序号	项 目	说 明
6	漏电电流保护的装设要求	(1) 严禁 PE 线或 PEN 线穿过漏电保护器中电流互感器的铁芯 (磁回路) (2) 漏电保护器所保护的线路和设备的外露可导电部分应接地
7	漏电保护器的基本接线和原理 <sup>[1]</sup>	<p>漏电保护器又称“触电保护器”或“漏电断路器”等。按工作原理分电流动作型和电压动作型,但最常用的为电流动作型,如图所示。它由零序电流互感器 TAN、放大器 A 和低压断路器 QF (内含脱扣器 YR) 等组成。设备正常运行时,主电路三相电流相量和为零, TAN 的铁芯中无磁通,其二次侧无电压。当设备发生单相接地故障时,主电路中有单相接地故障电流通过,从而使 TAN 的铁芯中出现零序磁通,其二次侧感应出电压和电流,经 A 放大后,通入低压断路器的脱扣器 YR,使断路器 QF 跳闸,从而切断故障回路,避免人员发生触电事故</p> 
8	漏电保护器动作电流的选择 (据 JGJ/T16—1992)	(1) 手握式用电设备为 15mA (2) 环境恶劣或潮湿场所的用电设备 (如高空作业、水下作业等处) 为 6~10mA (3) 医疗电气设备为 6mA (4) 建筑施工工地的用电设备为 15~30mA (5) 家用电器回路为 30mA (6) 成套开关柜、分配电盘等为 100mA 以上 (7) 防止电气火灾为 300mA

### 五、特殊接地

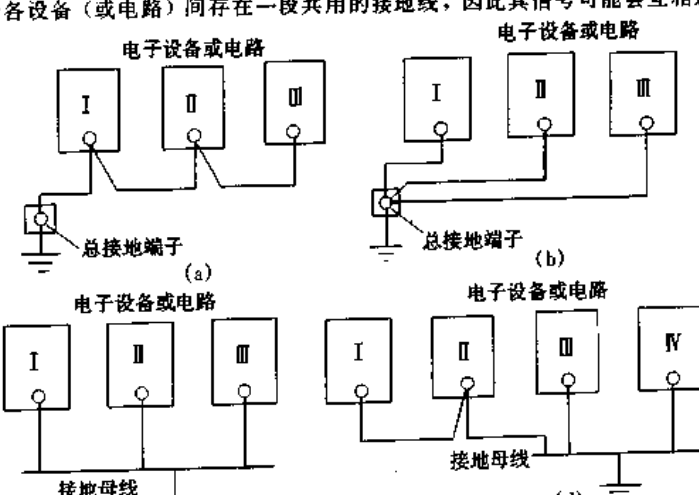
(1) 电子设备接地。如表 7-45 所示。

(2) 电子计算机接地。如表 7-46 所示。

(3) 屏蔽接地。如表 7-47 所示。

(4) 防静电接地。如表 7-48 所示。

表 7-45 电子设备接地<sup>[6]</sup>

序号	项 目	说 明
1	接地种类	(1) 信号接地: 简称“信号地”, 是为了使电子设备在工作时有一个统一的公共参考的零电位点。信号接地属于电子设备的工作接地 (2) 安全接地: 简称“安全地”, 是为了保障人身安全而将设备外露可导电部分进行接地。安全接地属于电子设备的保护接地
2	信号地的接地型式	<p>(1) 一点接地: 各电子设备 (或电路) 的信号地均以总接地端子为基准电位点, 再由总接地端子引出线与接地体相连接。这种接地型式适用于低频 (<math>f &lt; 1\text{MHz}</math>) 电子设备。这种接地形式又分串联式和并联式两种:</p> <p>1) 串联式一点接地 (图 a): 由于各设备 (或电路) 间存在一段共用的接地线, 因此其信号可能会互相影响, 特别是当其电平相差较大时;</p> <p>2) 并联式一点接地 (图 b): 由于各设备 (或电路) 的接地线是分开的, 因此彼此信号不会相互影响, 但接地线增多而使布线复杂化</p> <p>(2) 多点接地: 各电子设备 (或电路) 的信号地分别以最短的接地线接到接地母线上, 以接地母线为基准电位, 如图 c 所示。由接地母线至接地体的接地线应采取适当的屏蔽措施以免其接收或辐射干扰信号。这种接地型式适用于高频 (<math>f &gt; 10\text{MHz}</math>) 电子设备</p> <p>(3) 混合式接地: 即一点接地和多点接地混合的接地型式, 如图 d 所示。这种接地型式适用于低频与高频之间的电子设备</p>  <p>(a) 信号地的串联式一点接地型式; (b) 信号地的并联式一点接地型式; (c) 信号地的多点接地型式; (d) 信号地的混合式接地型式</p>

续表

序号	项目	说明																							
3	电子设备的接地要求	<p>(1) 电子设备接地系统的接地电阻值一般要求不大于 <math>4\Omega</math>。如果与防雷接地共用接地体时, 则一般要求不大于 <math>1\Omega</math>。</p> <p>(2) 信号地的接地线一般采用薄铜排; 薄铜排宽度的选择如下附表所示 (厚度为 <math>0.35\sim 0.5\text{mm}</math>):</p> <p style="text-align: center;">附表 电子设备信号地薄铜排 (厚 <math>0.35\sim 0.5\text{mm}</math>) 宽度选择表</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>电子设备灵敏度 (<math>\mu\text{V}</math>)</th> <th>接地线长度 (m)</th> <th>适用于电子设备的工作频率 (MHz)</th> <th>薄铜排宽度 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><math>&lt;1</math></td> <td rowspan="6" style="text-align: center;"><math>&gt;0.5</math></td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1~2</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>10~100</td> <td>1~5</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>10~100</td> <td>5~10</td> <td>240</td> </tr> <tr> <td>100~1000</td> <td>1~5</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>100~1000</td> <td>5~10</td> <td>160</td> </tr> </tbody> </table> <p>(3) 接地母线一般也采用薄铜排, 可按电子设备工作频率 <math>f</math> 来选择其规格:</p> <p>1) 当 <math>f \geq 1\text{MHz}</math> 时, 可选 <math>0.35 \times 120 (\text{mm}^2)</math>;</p> <p>2) 当 <math>f &lt; 1\text{MHz}</math> 时, 可选 <math>0.35 \times 80 (\text{mm}^2)</math>。</p>	电子设备灵敏度 ( $\mu\text{V}$ )	接地线长度 (m)	适用于电子设备的工作频率 (MHz)	薄铜排宽度 (mm)	1	$<1$	$>0.5$	120	1	1~2	200	10~100	1~5	100	10~100	5~10	240	100~1000	1~5	80	100~1000	5~10	160
电子设备灵敏度 ( $\mu\text{V}$ )	接地线长度 (m)	适用于电子设备的工作频率 (MHz)	薄铜排宽度 (mm)																						
1	$<1$	$>0.5$	120																						
1	1~2		200																						
10~100	1~5		100																						
10~100	5~10		240																						
100~1000	1~5		80																						
100~1000	5~10		160																						

表 7-46 电子计算机接地<sup>[6]</sup>

序号	项目	说明
1	接地种类	<p>(1) 信号地: 即电子计算机本身的逻辑参考地, 亦称“逻辑地”, 属于计算机的功能性接地 (工作接地)</p> <p>(2) 安全地: 为保障人身安全而将计算机设备外露可导电部分进行接地, 属于保护接地</p>
2	接地型式	<p>(1) 一点接地: 将计算机各机柜中的信号地接至机房内活动地板下已接大地的铜排网的同一点, 安全地则接至保护线 (PE 线) 或接总接地端子再接至铜排网的接地点, 如图 (a) 所示</p> <p>(2) 悬浮地: 又分两种形式:</p> <p>1) 悬浮地形式之一: 计算机内各部分电路之间只依靠磁耦合 (如变压器) 来传递信号, 整个计算机包括外壳均与大地绝缘 (即悬浮状态), 如图 (b) 所示。这种悬浮地适用于以机壳为计算机电路的地母线并在绝缘环境里操作的小型计算机。大型计算机难以满足足够高的绝缘性能要求, 故不能保证真正的悬浮。在这种接地型式中, 计算机因内部故障而出现的较高电压将存在于被悬浮的电路与邻近的其他电路之间, 可对计算机的正常运行产生干扰。如果这较高的电压超过接触电压限值而出现在机壳上, 则将危及人身安全, 因此这种悬浮地型式现已较少采用;</p> <p>2) 悬浮地型式之二: 计算机内各信号地接至机房活动地板下与大地绝缘的铜排网上的同一点, 安全地则接至总接地端子或保护线 (PE), 如图 (c) 所示</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>(a) 计算机信号地和安全地分别一点接地示意图; (b) 悬浮地型式之一示意图; (c) 悬浮地型式之二示意图</p> <p>上述各种接地型式, 适用于相应的计算机。具体接地型式, 应根据计算机的说明书要求来进行选择</p>
3	接地线型式及铜排网的布置	<p>(1) 计算机信号地的接地线型式: 一般采用 <math>0.35 \times 100 (\text{mm}^2)</math> 或 <math>0.5 \times 100 (\text{mm}^2)</math> 的薄铜排</p> <p>(2) 机房下面铜排网的布置: 计算机房活动地板下的铜排网, 一般按活动地板的尺寸采 <math>0.6 \times 0.6 (\text{m}^2)</math> 的网格, 也可按计算机机柜布置来敷设, 具体作法见图</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">计算机房下面铜排网敷设示意图</p> <p>1—计算机接地线; 2—活动地板; 3—活动地板支撑架; 4—接地铜排网; 5—接至接地体的接地线</p>

表 7-47 屏蔽接地<sup>[6]</sup>

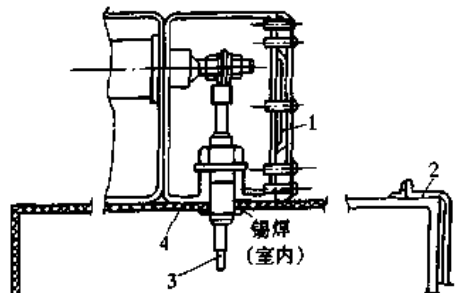
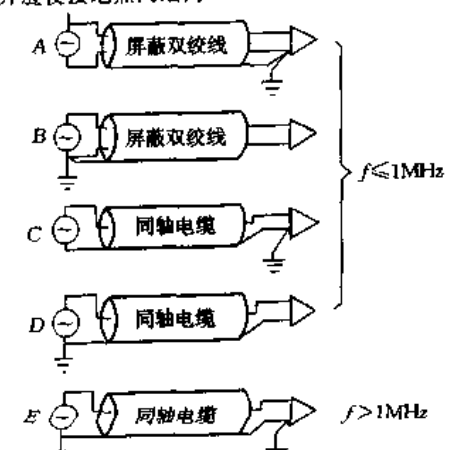
序号	项目	说明
1	屏蔽接地的含义	屏蔽接地是为了防止电气装置内部或外部的电磁感应或静电感应对其正常运行的干扰而对其屏蔽体所进行的接地。例如某些电气设备的金属外壳、电子设备的屏蔽罩或屏蔽线缆的接地,就属于屏蔽接地。某些建筑物或建筑物中某些房间的金属屏蔽体的接地,也称为屏蔽接地
2	静电屏蔽体的接地	其目的是为了将金属屏蔽体上感应的静电干扰信号直接导入地中,同时减小分布电容的寄生耦合,以保证人身安全。一般要求其接地电阻不大于 4Ω
3	电磁屏蔽体的接地	其目的是为了减小电磁感应的干扰和静电耦合,保证人身安全。一般要求其接地电阻不大于 4Ω
4	磁屏蔽体的接地	其目的是为了预防发生磁干扰。磁屏蔽体的接地,主要应考虑接地点的位置,以避免产生接地环流。一般要求其接地电阻不大于 4Ω
5	屏蔽室的接地	<p>屏蔽室的屏蔽体应在电源滤波器处,即在进线口处一点接地,如下图所示</p>  <p style="text-align: center;"><b>屏蔽室接地示意图</b></p> <p>1—波导连接器; 2—引至接地体的接地线; 3—滤波器; 4—接地钢网</p>
6	屏蔽线缆的接地	<p>当电子设备之间采用多芯线缆连接,且工作频率 <math>f \leq 1\text{MHz}</math>、其长度 <math>L</math> 与波长 <math>\lambda</math> 之比 <math>\frac{L}{\lambda} \leq 0.15</math> 时,其屏蔽层应采用一点接地(单端接地)</p> <p>当 <math>f &gt; 1\text{MHz}</math>、<math>\frac{L}{\lambda} &gt; 0.15</math> 时,应采用多点接地,并使接地点间距离 <math>s &lt; 0.2\lambda</math>,如下图所示</p>  <p style="text-align: center;"><b>屏蔽线缆的接地</b></p>

表 7-48 防静电接地<sup>[6]</sup>

序号	项目	说明
1	静电的产生及其危害	<p>静电一般是由于两种不同物质相互接触、摩擦和分离而产生的。静电电压可高达数千伏甚至上万伏。静电放电的火花可引起爆炸和火灾,还可能危及人身安全</p>
2	防静电接地的措施	<p>当因静电危害而对人身安全、防火防爆及产品质量发生不良影响时,应采取防止静电危害的措施,其主要措施就是接地:</p> <p>(1) 所有设置在室内外的有可能发生静电危害的管道和设备,均应连接成电气通路并予接地。车间内管道系统的接地应不少于两处</p> <p>(2) 所有容积大于 50m<sup>3</sup> 和直径大于 2.5m 的储罐,接地点应不少于两处,且应沿设备外围均匀布置,其间距不应大于 30m</p> <p>(3) 铁路油罐车在灌注油液的时间内,栈桥、油罐车和铁轨之间应有良好的电气连接并可靠接地。油罐车、油船在灌注或排放可燃性液体和液化气时,同样应接地</p> <p>(4) 当润滑油的电阻大于 1MΩ 时,设备的旋转部分必须接地,否则应采用接触电刷或导电润滑剂</p> <p>(5) 移动的导电容器或器具有可能产生静电危害时应接地。当利用与导电地板、导电工作台和其他接地物体相连接的方法不能确保其可靠接地时,必须采用可挠的铜线将其直接接地。利用工具操作或检修这类设备时,工具也应可靠接地</p> <p>(6) 洁净室、计算机房、手术室等房间一般采用接地的防静电地板。当其与大地之间在 1MΩ 以下时,则可防止静电危害</p> <p>(7) 在有可能发生静电危害的房间里,工作人员应穿防静电鞋,并使防静电鞋与防静电地板之间的电阻保持在 0.01~1MΩ 以下</p> <p>(8) 为了防止静电危害,在某些特殊场所,工作人员不应穿丝绸或某些合成纤维的衣服,并应在手腕上戴接地环以确保接地。从事带静电作业的人员(例如汽油、橡胶溶液的操作人员等)不应戴金属戒指和手镯。这些特殊场所的所有门把手和门栓也应接地</p>
3	防静电接地的接地电阻要求	专门用于防止静电危害的接地系统,其接地电阻值宜不大于 100Ω。但如与其他接地共用接地系统时,则共用接地系统的接地电阻应符合各接地中的最小值的要求
4	防静电接地的接地线及其连接要求	<p>(1) 防静电接地的接地线一般采用绝缘导线,芯线不小于 6mm<sup>2</sup>,移动设备可采用可挠导线</p> <p>(2) 对固定式装置的防静电接地,接地线应与之可靠焊接。对移动式装置的防静电接地,接地线应与之可靠连接,防止断脱</p> <p>(3) 油罐车在行驶中,可将接在车体上的金属链直接垂到路面上,以防静电危害</p>



# 第八章 供配电系统的二次回路与自动装置

续表

## 第一节 供配电系统的二次回路及其操作电源

### 一、二次回路及其操作电源概述

如表 8-1 所示。

表 8-1 二次回路及其操作电源概述

序号	项 目	说 明
1	二次回路的含义	指用来控制、指示、监测和保护一次电路运行的电路，亦称“二次系统”，包括控制系统、信号系统、监测系统及继电保护和自动装置等
2	二次回路的分类	(1) 按其电源性质分：直流回路和交流回路。交流回路又分交流电流回路和交流电压回路。交流电流回路由电流互感器供电；交流电压回路由电压互感器供电 (2) 按其用途分：断路器控制（操作）回路、信号回路、测量回路、继电保护回路、自动装置回路等
3	二次回路操作电源及其要求	二次回路的操作电源是供电给高压断路器跳、合闸回路和继电保护、自动装置、信号回路、监测系统及其他二次设备所需的电源 对操作电源的基本要求： (1) 供电可靠，在一次电路发生故障的情况下，也能保证二次回路正常工作 (2) 有足够的容量，能保证二次回路执行其跳、合闸功能

序号	项 目	说 明
3	二次回路操作电源及其要求	(3) 其电流类别应与二次回路中控制、保护装置等的电流类别相适应 (4) 尽可能简单经济，便于运行维护
4	常用操作电源的类别和特点	(1) 由蓄电池组供电的直流操作电源，具有可靠性高和容量较大的突出优点，但投资较大，有的如铅酸蓄电池组运行维护比较复杂 (2) 整流操作电源，常用的有硅整流电容储能的和带镉镍蓄电池的硅整流的两种 (3) 交流操作电源，采用电流互感器和电压互感器供电，具有简单经济、便于运行维护的突出优点，在中小变电所中应用较广（参看表 7-11 序号 3） (4) 交直流混合操作电源，例如继电保护、自动装置和跳闸采用直流，而合闸采用交流

### 二、常用的直流操作电源

(1) 铅酸蓄电池及其供电的直流操作电源。如表 8-2 所示。铅酸蓄电池的基本结构原理参看表 7-11 序号 2.1。

(2) 镉镍蓄电池及其供电的直流操作电源。如表 8-3 所示。镉镍蓄电池的基本结构原理参看表 7-11 序号 2.2。

表 8-2 铅酸蓄电池及其供电的直流操作电源

序号	项 目	说 明
1		铅 酸 蓄 电 池
1.1	常用的铅酸蓄电池类型	(1) G 型和 GG 型开口式固定型铅酸蓄电池：由于它逸出的酸气 ( $H_2SO_4$ ) 多，维护工作量大，目前已很少采用 (2) GF、GM、GFD 系列固定式防酸隔爆型铅酸蓄电池：GF 系列蓄电池有防酸栓，运行中虽有少量气体析出，但酸雾不会排到电池外部，造成对设备的侵蚀，从而改善了运行维护条件。GM 系列蓄电池有催化栓，使蓄电池运行中产生的氢氧气体在催化剂作用下化合水，回流到蓄电池内，从而减少了频繁的补水工作，降低了蓄电池充电时析出的气体含量。GFD 系列蓄电池是引进技术生产的，其结构设计和加工工艺都比较先进，具有体积小、重量轻、容量大、寿命长和维护工作量小等特点。该蓄电池带有特制的漏斗形防酸栓，使之运行中虽有气体析出，但酸雾不会排到电池外部，避免了酸雾对设备的腐蚀。以上三种蓄电池还具有防爆性能，在其外部遇有明火时也不会引起蓄电池本身发生爆炸，使用安全可靠。但运行中有少量气体包括微量酸雾析出，因此蓄电池室仍有必要考虑防酸和通风措施

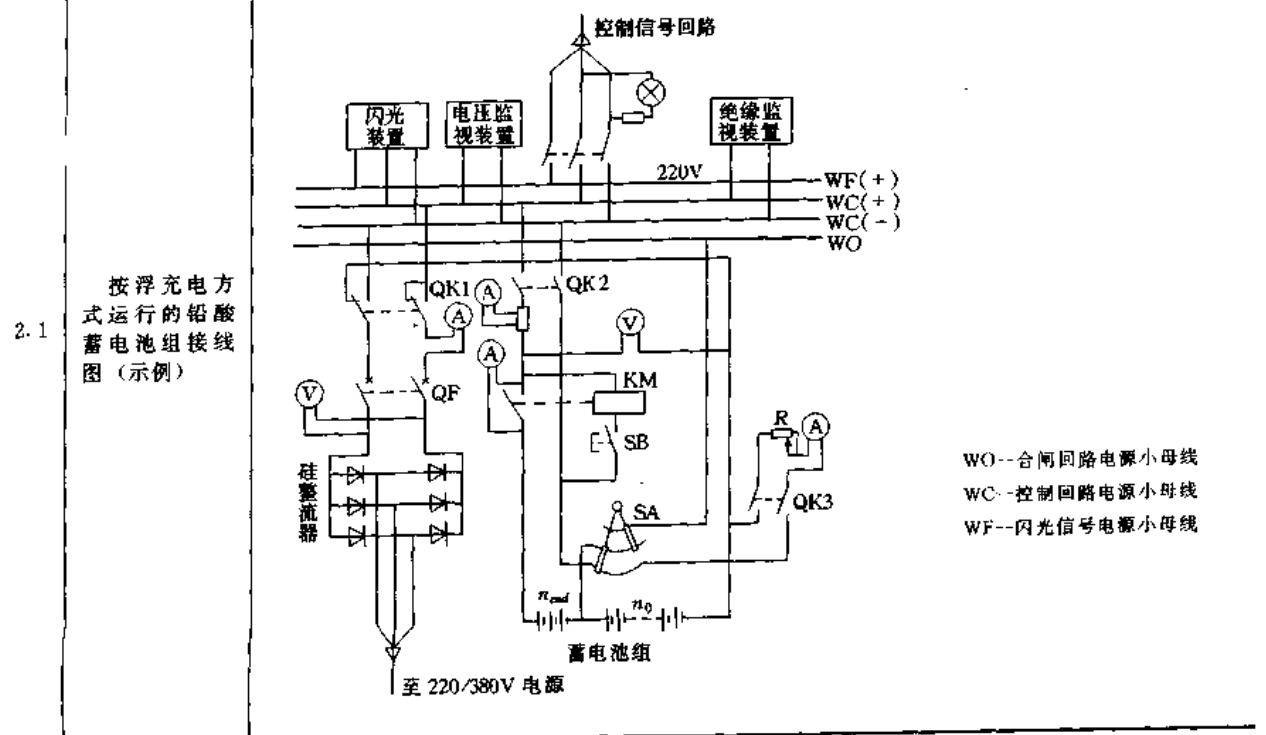
续表

序号	项目	说明
1.1	常用的铅酸蓄电池类型	(3) GM 系列等密封少维护铅酸蓄电池: GM 系列蓄电池采用超细玻璃纤维作为隔膜, 使电解液全部吸附在隔膜和极板中, 电池中无游离电解液, 因此运行中无需检查电解液的比重或加水, 具有免维护功能, 且不污染环境。它采用独特设计, 运行中不外逸氢气, 只逸出少量氧气, 氢在电池内自行复合, 复合率达 90% 以上。电池内装有一个安全排气阀, 使之具有高度的可靠性。电池也采用 MFX 合金正极栅, 铅钙合金负极栅, 在浮充和循环使用中都具有高性能和长寿命。该电池性能良好, 但对充电设备要求严格, 价格较贵, 故目前应用较少

序号	项目	型号	额定电压 (V)	单格极板额定容量 (A·h)	放电电流 (A) 和容量 (A·h)						最大放电电流 (A)	质量 (不带电解液) (kg)
					10h 放电率, 终止电压 1.8V		1h 放电率, 终止电压 1.75V		0.5h 放电率, 终止电压 1.65V			
					电流	容量	电流	容量	电流	容量		
1.2	GF 型铅酸蓄电池的主要技术数据	GF-30	2	10	3	30	13.5	13.5	21	10.5	37.5	3.5
		GF-50	2	10	5	50	22.5	22.5	35	17.5	62.5	4.5
		GF-100	2	25	10	100	45	45	70	35	125	7.7
		GF-150	2	25	15	150	67.5	67.5	105	52.5	187.5	11.5
		GF-200	2	25	20	200	90	90	140	70	250	15
		GF-250	2	50	25	250	112.5	112.5	173	87.5	312.5	20
		GF-300	2	50	30	300	135	135	210	105	375	23
		GF-350	2	50	35	350	157.5	157.5	245	122.5	437.5	26
		GF-400	2	50	40	400	180	225	280	140	500	29
		GF-450	2	50	45	450	202.5	270	315	157.5	562.5	33
		GF-500	2	50	50	500	225	315	360	175	625	36
		GF-600	2	100	60	600	270	360	420	210	—	48
		GF-700	2	100	70	700	315	405	490	245	—	54
GF-800	2	100	80	800	360	450	560	290	—	60		
GF-900	2	100	90	900	405	540	630	315	—	69		
GF-1000	2	100	100	1000	450	630	700	350	—	71		
备注		(1) GF-1200~2000 型的技术数据从略 (2) GF 系列蓄电池系干封出厂, 使用前需灌注规定密度的电解液, 经初次充电后, 方能投入使用										

2 铅酸蓄电池组供电的直流操作电源

该接线具有下列特点: ①设有专用直流合闸母线, 以保证变电所内远距离断路器合闸时的电压水平; ②正常运行时, 浮充电设备可对全部蓄电池进行浮充电; ③利用手动端电池调整器 SA 的充电手柄作为合闸母线的电压调整手柄, 来调节合闸母线电压



续表

序号	项 目	说 明
2.2	蓄电池容量的选择	<p>蓄电池容量按下列两个条件选择, 取其大者:</p> <p>(1) 按事故状态下持续放电容量选择:</p> $Q = K_{rel}(I_L + I'_L)t$ <p>式中 <math>I_L</math> 为经常性直流负荷电流; <math>I'_L</math> 为事故状态下增加的直流负荷电流; <math>t</math> 为事故持续时间, 可取 1h; <math>K_{rel}</math> 为可靠系数, 可取 1.1</p> <p>(2) 按最大冲击负荷电流选择:</p> $I_{L,max} = I_L + I'_L + I_{on,max}$ <p>式中 <math>I_L</math> 和 <math>I'_L</math> 含义如上; <math>I_{on,max}</math> 为断路器最大的合闸电流</p>
2.3	蓄电池台数的选择	<p>(1) 蓄电池总台数按下式确定:</p> $n = \frac{U_{WB}}{U_{dc}}$ <p>式中 <math>U_{WB}</math> 为直流母线正常工作电压, 取 <math>1.05U_N</math>, <math>U_N</math> 为直流系统额定电压; <math>U_{dc}</math> 为单台蓄电池事故放电终止电压, 取 1.95V</p> <p>(2) 蓄电池基本台数按下式确定:</p> $n_0 = \frac{U_{WB}}{U_{ca}}$ <p>式中 <math>U_{ca}</math> 为单台蓄电池充电末期终止电压, 取 2.6V; <math>U_{WB}</math> 仍取 <math>1.05U_N</math></p> <p>(3) 端电池 (用来调节母线电压的电池) 台数按下式确定:</p> $n_{end} = n - n_0$
2.4	充电设备参数的确定	<p>(1) 充电设备的充电电流按下式确定:</p> $I_{ch} = I_L + I_{ch,max}$ <p>式中 <math>I_L</math> 为蓄电池组经常性直流负荷电流; <math>I_{ch,max}</math> 为蓄电池组最大充电电流, 可近似地取 10h 放电电流, 或查产品样本</p> <p>(2) 充电设备的最高电压按下式确定:</p> $U_{ch} = nU_{ch,max}$ <p>式中 <math>n</math> 为蓄电池总台数; <math>U_{ch,max}</math> 为单台蓄电池的最高充电电压, 取 2.7V</p> <p>(3) 充电设备的功率 (容量) 按下式计算:</p> $P_{ch} = U_{ch}I_{ch} = U_{ch}(I_L + I_{ch,max})$
2.5	浮充电设备参数的确定	<p>(1) 其浮充电的电流按下式计算:</p> $I_{ch,fl} = I_L + I_{dc} = I_L + 0.15 \times \frac{Q_N}{36h}$ <p>式中 <math>I_L</math> 为蓄电池组经常性直流负荷电流; <math>I_{dc}</math> 为蓄电池组自放电电流; <math>Q_N</math> 为所用蓄电池的额定容量 (A·h)</p> <p>(2) 浮充电设备的功率 (容量) 按下式计算:</p> $P_{ch,fl} = U_{ch}I_{ch,fl}$

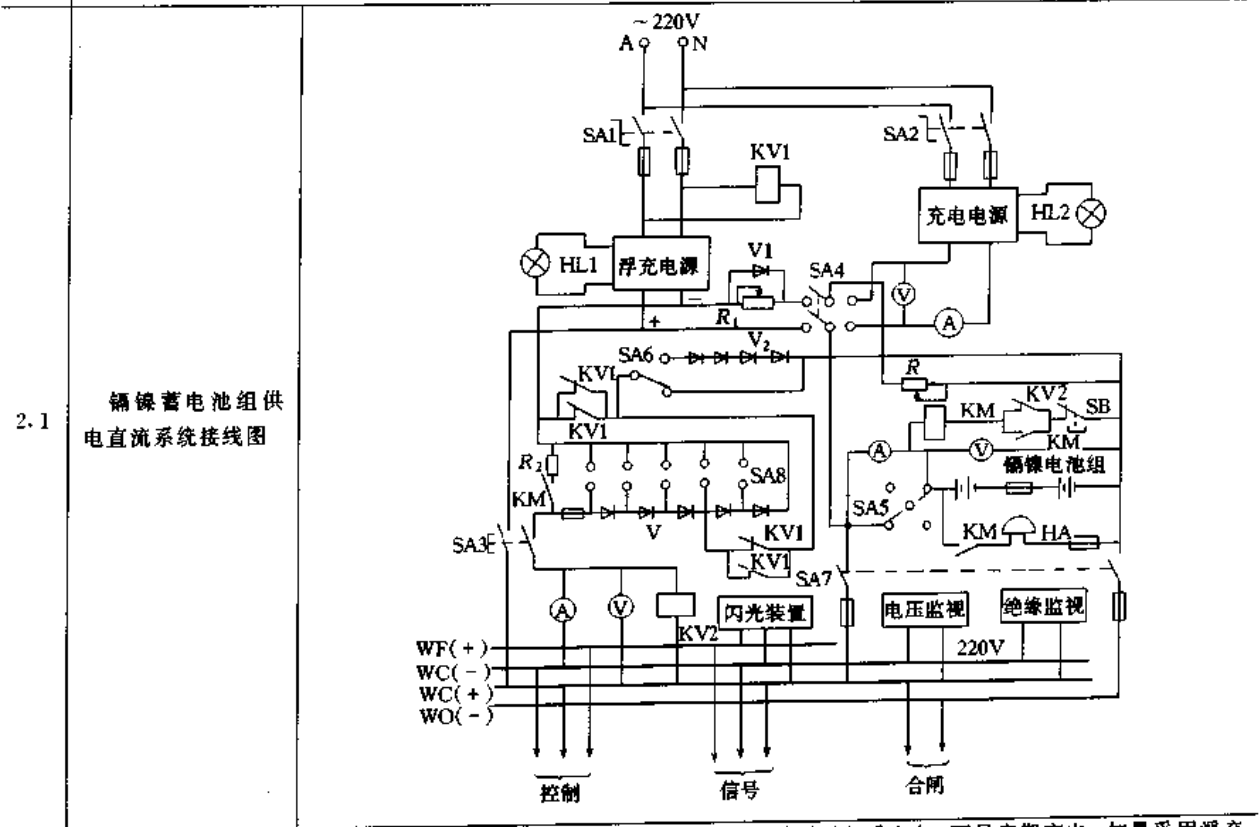
表 8-3 镉镍蓄电池及其供电的直流操作电源

序号	项 目	说 明
1		镉 镍 蓄 电 池
1.1	碱性镉镍蓄电池概述	<p>(1) 碱性镉镍蓄电池由烧结的正负极板、中间隔以尼龙布和玻璃纸透成的复合膜组成极板组, 装入塑料壳内, 灌入氢氧化钾并添加少量氢氧化锂的电解液, 加盖封胶而构成。电池盖上有注液口, 口上装有气塞, 能自动排除充电时内部产生的过量气体, 又能阻止外部气体进入电池内部, 并能防止电池短时间倒转时电解液的流出</p> <p>(2) 镉镍蓄电池有高倍率和中倍率两种。高倍率电池的内阻小, 瞬时放电倍率高达 20~30 倍, 适用于电磁操动机构的断路器跳、合闸, 一般选择在 (0~40A·h) 范围内。中倍率电池的放电倍率较小, 但容量较大, 一般在 30~800A·h 范围内</p> <p>(3) 镉镍蓄电池具有机械强度高、维护方便、腐蚀性小等优点, 而且可在 <math>-40^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}</math> 环境温度下使用, 自放电小, 寿命长, 浮充使用寿命可达 15~20 年, 充放电循环不少于 900 次。目前高倍率镉镍电池在供配电系统中应用较多, 中倍率镉镍电池价格较贵, 只有在特殊要求的场合选用</p>

续表

序号	项 目	说 明	说 明										质量 (kg)
			额定电压 (V)	额定容量 (A·h)	5h 充电率		5h 放电率 终止电压 1V		1h 放电率 终止电压 1V		高倍率 (瞬时) 放电		
					电 流 (A)	时 间 (h)	电 流 (A)	时 间 (h)	电 流 (A)	时 间 (min)	电 流 (A)	0.3s 时 电压 (V)	
1.2	GNG 镉镍蓄电型和主要技术数据	GNG5-(2)	1.2	5	1.25	7	1.25	≥4	5	≥60	60	≥0.8	0.295
		GNG10-(2)	1.2	10	2.5	7	2.5	≥4	10	≥60	120	≥0.8	0.58
		GNG10-(5)	1.2	10	2.5	7	2.5	≥4	10	≥60	120	≥0.8	0.62
		GNG20-(2)	1.2	20	4	7	4	≥5	20	≥54	240	≥1.06	0.86
		GNG20-(3)	1.2	20	4	7	4	≥5	20	≥60	240	≥1.14	0.85
		GNG20-(4)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8	1.06
		GNG20-(5)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8	0.98
		GNG20-(6)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8	1.06
		GNG35-(2)	1.2	35	9	6	9	≥4	35	≥60	240	≥0.8	1.56
		GNG40	1.2	40	8	7	8	≥5	40	≥54	480	≥1.06	1.7
		GNG40-(2)	1.2	40	8	7	8	≥5	40	≥60	480	≥1.10	1.7
GNG40-(5)	1.2	40	10	6	10	≥4	40	≥60	480	≥0.8	1.78		

镉镍蓄电池组供电的直流操作电源



2.1 镉镍蓄电池组供电直流系统接线图

2.2 镉镍蓄电池组供电直流系统原理说明

上图所示镉镍蓄电池组供电的直流系统，平时可不必浮充电，而是定期充电。如果采用浮充电运行方式，则应严格控制浮充电的电流和温度，不要超过允许值。下面简述其运行操作：

(1) 充电：将 SA4 扳向右侧（充电电源侧），断开 SA7，合上 SA2，此时指示灯 HL2 亮，表示电池组已进入充电状态运行。调节充电电流，使之达到规定值。这时控制、保护和信号回路仍由浮充电电源供电（假设充电前此系统处在浮充电状态下运行），而合闸回路应暂时断开。充电结束后，断开 SA2，而 SA4 扳向左侧（浮充电电源侧），再合上 SA7，并接通合闸回路，恢复整个系统的正常运行。

(2) 浮充电：合上 SA1，指示灯 HL1 亮，表示浮充电源已投入运行。断电监视用的电压继电器 KV1 动作，其常用触点断开，切断蓄电池组通向控制小母线 WC 的通路。合上 SA3，使直流负荷由浮充电源供电。再将 SA4 扳向左侧（浮充电电源侧），使蓄电池进入浮充电运行状态。断开 SA5，使旁路电流表 A 串入电池组回路，以观测浮充电流。该电流表 A 为中间指零、双向偏转的电流表。如指针右偏为充电电流，左偏则为放电电流。

续表

序号	项 目	说 明
2.2	镍镉蓄电池组供电直流系统原理说明	<p>(3) 放电：如交流系统停电或 SA1 断开，则 KV1 返回，其常闭触点闭合，接通蓄电池组通向控制小母线 WC 的通路，使 WC 的直流负荷全部由蓄电池组供电，蓄电池组处于放电状态</p> <p>(4) 控制小母线电压的调节：本方案采用 5 组硅二极管串联来进行调压，通过 SA8 来改变串入回路中的硅二极管数来达到调节控制小母线 WC 电压的目的</p> <p>(5) 信号系统：KV2 为控制小母线的电压监视继电器，当控制小母线失电时，KV2 返回，其常闭触点闭合，接通中间继电器 KM；KM 的常开触点闭合，接通电铃 HA，发出音响信号。按下按钮 SB，音响信号即被解除</p>

(3) 带电容储能的硅整流器供电的直流操作电源。如表 8-4 所示。

表 8-4 带电容储能的硅整流器供电的直流操作电源

序号	项 目	说 明	序号	项 目	说 明
1	带电容储能的硅整流器供电直流系统概述	<p>正常运行时，利用电容器充电储能；一旦交流系统发生故障，由硅整流器供电的直流电源母线电压严重下降或消失时，电容器可对继电保护和跳闸回路供电，使其正常动作，切除故障</p> <p>高压断路器合闸所需功率大，可以单独使用一台硅整流器。对于负荷不很重要的小型变电所，合闸回路也可与继电保护及其他二次回路合用一台硅整流器</p>			<p>应按以下两个条件选择，取其大者：</p> <p>(1) 电容器所储能量应能保证继电保护可靠动作及断路器可靠跳闸。故电容 <math>C</math> (<math>\mu\text{F}</math>) 按下式计算：</p> $C = \frac{2K(W_K + nW_{YR})}{U_{ch}^2} \times 10^6$ <p>式中 <math>W_K</math> 为继电器保护消耗能量 (<math>W \cdot s</math>)，<math>W_K = \Delta P_{Ktop} t_{op}</math>，<math>\Delta P_K</math> 为继电器消耗功率 (<math>W</math>)，<math>t_{op}</math> 为继电保护动作时间 (<math>s</math>)；<math>W_{YR}</math> 为断路器跳闸线圈消耗能量 (<math>W \cdot s</math>)，<math>W_{YR} = \Delta P_{YR} t_{oc}</math>，<math>\Delta P_{YR} \approx 0.7U_N \times 0.7I_N = 0.49U_N I_N</math>，<math>U_N</math> 为跳闸线圈额定电压 (<math>V</math>)，<math>I_N</math> 为其额定电流 (<math>A</math>)，<math>t_{oc}</math> 为断路器固有断路时间 (<math>s</math>)，<math>n</math> 为同时跳闸的断路器台数；<math>U_{ch}</math> 为电容器的充电电压 (<math>V</math>)，三相桥式整流为 <math>1.05U_N</math>，单相桥式整流为 <math>1.57U_N</math>，<math>U_N</math> 为整流变压器二次侧额定电压 (<math>V</math>)；<math>K</math> 为电容器有效系数，取 <math>1.5 \sim 2</math></p> <p>根据运行经验，采用三相桥式整流器时，可选 <math>C = 9000\mu\text{F}</math>；采用单相桥式硅整流器时，可选 <math>C = 6000\mu\text{F}</math>。如此选择，可保证同时有两台断路器可靠跳闸</p> <p>(2) 储能电容器放电过程中，其电压衰减应在继电保护和跳闸线圈动作电压的允许范围内。</p> <p>常用的电磁式继电器和跳闸线圈的最低允许电压可取 <math>0.7U_N</math>。电容器放电过程中的端电压为</p> $U_C = U_{C0} e^{-\frac{t}{R}}$ <p>式中 <math>U_{C0}</math> 为电容器放电时的初始电压；<math>R</math> 为放电回路电阻</p> <p>当 <math>t = t_{op} + t_{oc}</math> 时，断路器跳闸完毕，此时 <math>U_C</math> 应不小于 <math>0.7U_N</math>，因此电容器的电容量 <math>C</math> (<math>\mu\text{F}</math>) 应满足下式要求：</p> $C = \frac{t}{R \ln \frac{U_{C0}}{0.7U_N}} \times 10^6$ <p>储能电容器的类型，宜选用体积小而单台容量大的电解电容器</p>
2	带电容储能的硅整流器供电直流系统接线图	<p>来自 35/0.4kV 所用变压器 来自 6~10/0.4kV 所用变压器</p>	4	储能电容器电容量 C 的选择	
3	带电容储能的硅整流器供电直流系统原理说明	<p>上序号 2 中图所示直流系统中的整流器 I 主要用作断路器合闸电源，兼向控制回路供电。整流器 I 的容量较小，仅向控制回路供电。逆止元件 V3 和限流电阻 R1 接在两组直流母线之间，使直流合闸母线仅能向控制母线供电，防止断路器合闸时整流器 I 向合闸回路供电；其 R1 用来限制控制系统短路时流过 V3 的电流，以免 V3 被烧毁</p> <p>储能电容器 C1 用来供电给高压线路的保护装置和跳闸回路（保护 I）；储能电容器 C2 用来供电给其他元件的保护装置和跳闸回路（保护 II）</p> <p>逆止元件 V1 和 V2 的主要功用：①当直流电源电压降低时，使电容器所储能量仅用来补偿本保护回路，而不向其他元件放电；②限制电容器向各断路器控制回路中的信号灯放电，它们应由信号回路供电</p>			

续表

## 第二节 断路器的控制与信号回路

### 一、断路器的控制与信号回路概述

如表 8-5 所示。

表 8-5 断路器的控制与信号回路概述

序号	项 目	说 明
1	断路器控制回路的任务和分类	(1) 断路器控制回路的任务：用来操作断路器的跳、合闸 (2) 断路器控制回路的分类： 1) 按操作电源的电流类别分，有直流操作控制回路、交流操作控制回路和直流合闸交流跳闸控制回路等； 2) 按断路器操动机构的型式分，有手力操动机构控制回路、电磁操动机构控制回路和弹簧操动机构控制回路等； 3) 按控制回路的监视信号类别分，有灯光监视的控制回路和音响监视的控制回路
2	信号装置的任务和分类	(1) 断路器控制回路中信号装置的任务：用来指示断路器的跳合位置及一次线路和控制回路的运行状态 (2) 其信号装置的分类：有断路器位置信号、事故信号和预告信号 1) 断路器位置信号：用来显示断路器正常工作的位置状态。一般用红灯亮，表示断路器在合闸位置；用绿灯亮，表示断路器在跳闸位置； 2) 事故信号：用来显示断路器在事故情况下的工作状态。一般用红灯闪光，表示断路器自动合闸；用绿灯闪光，表示断路器自动跳闸。事故信号还有事故音响信号和光字牌；

序号	项 目	说 明
2	信号装置的任务和分类	3) 预告信号：是当一次线路或一次设备出现不正常状态或故障初期所发出的报警信号，例如变压器出现过负荷或轻瓦斯保护动作时，就发出与事故信号不同的一种预告音响信号。同时光字牌亮，显示出故障性质和地点
3	断路器控制、信号回路的主要要求	(1) 应能监视控制回路保护装置（熔断器）及其跳、合闸回路的完好性，以保证断路器的正常工作，通常采用灯光监视方式 (2) 合闸或跳闸完成后，应能使命令脉冲解除，即能切断合闸或跳闸的电源 (3) 应能指示断路器正常合闸和跳闸的位置状态，并在自动合闸和自动跳闸时有明显的指示信号，如前（序号 2）所述 (4) 断路器的事故跳闸信号（回路，应按“不对应原理”接线。当断路器采用手力操动机构时，利用手力操动机构的辅助触点与断路器的辅助触点构成“不对应”关系，即操作手柄在合闸位置而断路器自动跳闸时，发出事故跳闸信号。当断路器采用电磁操动机构或弹簧操动机构时，则利用控制开关的触点与断路器的辅助触点构成“不对应”关系，即控制开关手柄在合闸位置而断路器已自动跳闸时，发出事故跳闸信号 (5) 对有可能出现不正常工作状态或故障的线路和设备，应装设预告信号，亦如前（序号 2）所述

### 二、断路器的控制与信号回路示例

如表 8-6 所示。

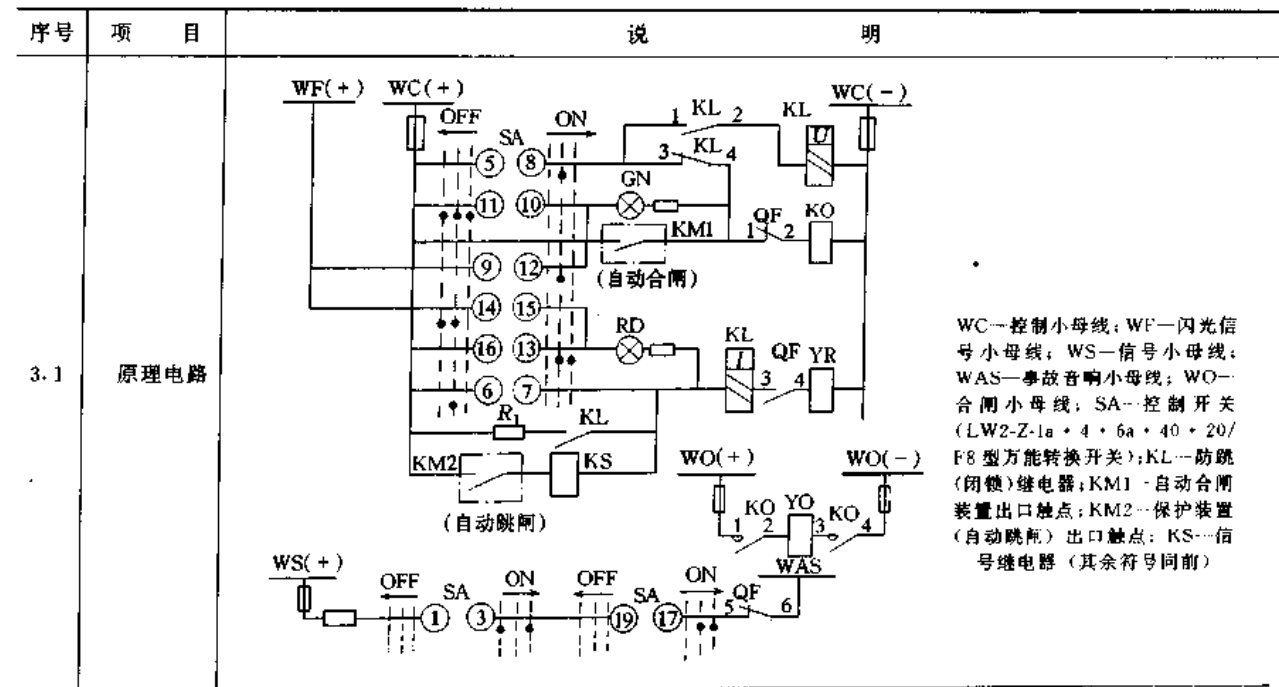
表 8-6 断路器的控制与信号回路示例

序号	项 目	说 明
1		采用手力操动机构的断路器控制、信号回路
1.1	原理电路	<p>WC—控制小母线；WS—信号小母线；GN—绿色指示灯；RD—红色指示灯；YR—跳闸线圈；KM—继电器保护出口触点；QM—手力操动机构辅助触点；QF—断路器辅助触点</p>

续表

序号	项 目	说 明																														
1.2	原理说明	<p>(1) 手动合闸：推上操动机构手柄使断路器 QF 合闸，辅助触点 QF3-4 闭合，红灯 RD 亮，指示断路器已在合闸位置。红灯同时起监视跳闸回路完好性的作用</p> <p>(2) 手动跳闸：扳下操动机构手柄使断路器 QF 跳闸，辅助触点 QF3-4 断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源，同时，QF1-2 闭合，绿灯 GN 亮，指示断路器已在跳闸位置，绿灯同时起监视本回路完好性的作用</p> <p>(3) 自动跳闸：当一次线路发生短路故障时，继电保护动作，KM 触点闭合，接通跳闸线圈 YR 的回路，使断路器 QF 跳闸，随后辅助触点 QF3-4 断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源，同时 QF1-2 闭合，绿灯 GN 亮。这时操动机构手柄虽然还在合闸位置，但其跳闸指示牌（吊牌）已经掉下，表示断路器事故跳闸。而且事故信号回路因 QF5-6 闭合（QF 跳闸后）和 QM 也处在闭合位置而接通，发出事故音响信号和灯光信号。当操作手柄扳向跳闸位置时，QM 断开，事故信号停止</p>																														
2		采用电磁操动机构的断路器控制、信号回路																														
2.1	原理电路	<p>WC—控制小母线；WL—灯光指示小母线；WF—闪光信号小母线；WS—信号小母线；WAS—事故音响小母线；WO—合闸小母线；SA—控制开关（双向自复式并具有保持触点的 LW5 型万能转换开关）；KO—合闸接触器；YO—合闸线圈；YR—跳闸线圈；KM—继电保护出口触点；QF—断路器辅助触点；GN—绿色指示灯；RD—红色指示灯；ON—合闸；OFF—跳闸；→—指向 SA 自动返回位置</p>																														
2.2	控制开关 SA 的触点图表（×表示“接通”）	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SA 触点编号</th> <th>1-2</th> <th>3-4</th> <th>5-6</th> <th>7-8</th> <th>9-10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>跳闸后</td> <td>↑</td> <td>×</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>合闸操作</td> <td>↗</td> <td>×</td> <td>×</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>合闸后</td> <td>↑</td> <td></td> <td>×</td> <td></td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>跳闸操作</td> <td>↖</td> <td>×</td> <td></td> <td>×</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	SA 触点编号	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	跳闸后	↑	×				合闸操作	↗	×	×			合闸后	↑		×		×	跳闸操作	↖	×		×	
SA 触点编号	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10																											
跳闸后	↑	×																														
合闸操作	↗	×	×																													
合闸后	↑		×		×																											
跳闸操作	↖	×		×																												
2.3	原理说明	<p>(1) 手动合闸：将控制开关 SA 手柄顺时针扳转 45°，其触点 1-2 接通，合闸接触器 KO 通电，其主触点闭合，使合闸线圈 YO 通电，断路器 QF 合闸。合闸完成后，SA 自动返回，其触点 1-2 断开，断路器辅助触点 QF1-2 也断开，绿灯 GN 灭，并切断合闸电源；同时 QF3-4 闭合，红灯 RD 亮，指示断路器在合闸位置，并监视着跳闸回路的完好性</p> <p>(2) 手动跳闸：将 SA 手柄反时针扳转 45°，其触点 7-8 接通，跳闸线圈 YR 通电，使断路器 QF 跳闸。跳闸完成后，SA 自动返回，其触点 7-8 断开，断路器辅助触点 QF3-4 也断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源；同时 SA 的触点 3-4 闭合，且 QF1-2 也闭合，绿灯 GN 亮，指示断路器在跳闸位置，并监视着合闸回路的完成性</p> <p>(3) 自动跳闸：当一次线路发生短路故障时，保护装置动作，KM 触点闭合，接通跳闸线圈 YR 回路，使断路器跳闸。随后 QF3-4 断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源，同时 QF1-2 闭合，而 SA 在合闸后位置，其触点 5-6 也闭合，从而接通闪光小母线 WF（+），使绿灯 GN 闪光，表示断路器事故跳闸，同时事故音响信号回路接通，发出音响信号。当 SA 手柄扳向跳闸位置时，全部事故信号立即消除</p>																														
3		采用电磁操动机构、具有“防跳”装置的断路器控制、信号回路																														

续表



3.2 控制开关 SA 的触点位置图表

例：LW2-Z-1a·4·6a·40·20/F8型万能转换开关触点位置图表(×表示“接通”)

手柄和触点盒型式	F8	1a		4		6a		40		20				
触点编号		1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20
跳闸后	←		×					×		×				×
预备合闸	↑	×				×			×				×	
合闸	↗			×			×				×	×		
合闸后	↑	×					×				×	×		
预备跳闸	←		×					×	×				×	
跳闸	↙				×			×	×	×				×

3.3 原理说明

(1) 手动合闸：先将控制开关 SA 手柄由“跳闸后”位置(←)旋转到“预备合闸”位置(↑)，其触点 11-10 断开，绿灯 GN 灭。接着将 SA 手柄旋转到“合闸”位置(↗)，其触点 5-8 接通，使合闸接触器 KO 动作，其触点 KO1-2、3-4 闭合，合闸线圈 YO 通电，使断路器 QF 合闸。SA 手柄松开后，返回到“合闸后”位置(↑)，其触点 16-13 闭合，红灯 RD 亮，指示断路器在合闸位置，并监视着跳闸回路的完好性。合闸后，QF1-2 断开，绿灯 GN 灭。

(2) 手动跳闸：先将 SA 手柄由“合闸后”位置(↑)旋转到“预备跳闸”位置(←)，其触点 16-13 断开，红灯 RD 灭。接着将 SA 手柄旋转到“跳闸”位置(↙)，其触点 6-7 接通，跳闸线圈 YR 通电，使断路器 QF 跳闸。SA 手柄松开后，返回到“跳闸后”位置(←)，其触点 11-10 闭合，绿灯 GN 亮，指示断路器在跳闸位置，并监视着合闸回路的完好性。跳闸后，QF3-4 断开，红灯 RD 灭。

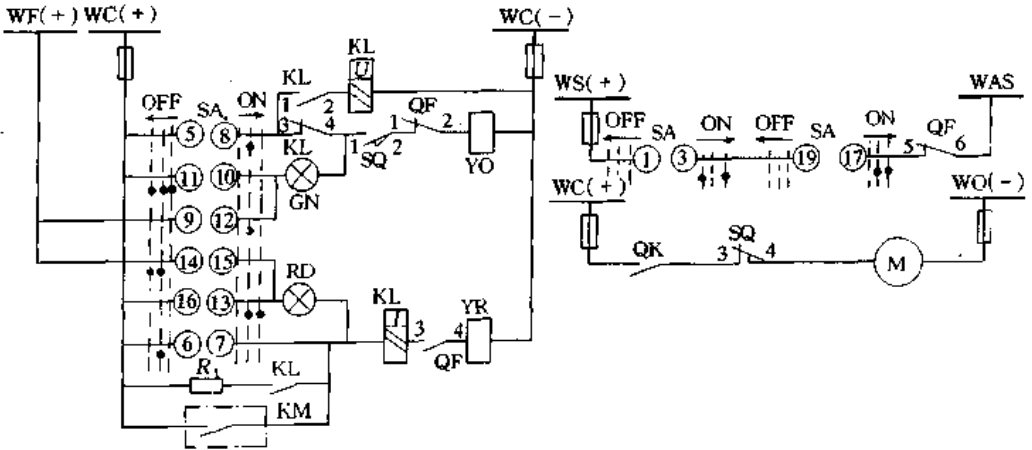
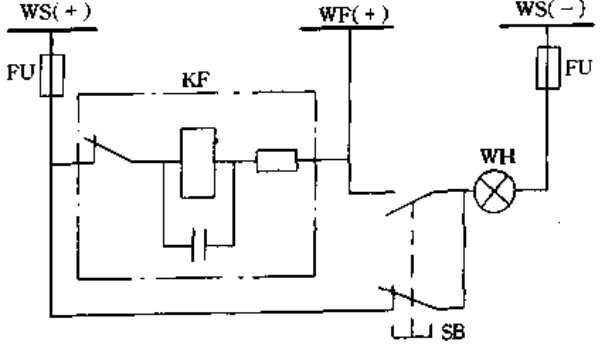
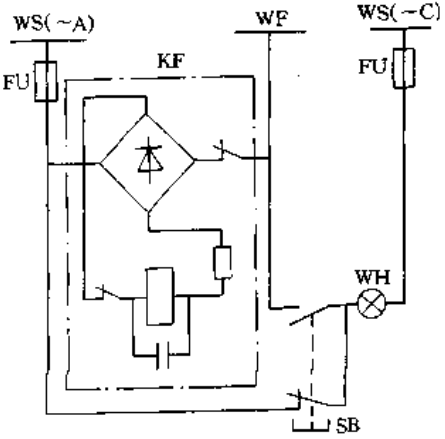
(3) 自动合闸：断路器在跳闸位置，而自动合闸装置的出口继电器 KM1 的触点闭合时，合闸接触器 KO 动作，其触点 KO1-2、3-4 闭合，合闸线圈 YO 通电，使断路器合闸。由于控制开关 SA 手柄在“跳闸后”位置，其触点 14-15 接通。断路器自动合闸后，其触点 QF3-4 也接通，因此红灯 RD 闪光。由于 QF1-2 断开，绿灯 GN 灭。要使红灯 RD 不闪光，可将 SA 手柄转到“合闸后”位置。

(4) 自动跳闸：当一次线路发生短路故障时，保护装置动作，KM2 的触点闭合，接通跳闸线圈 YR 回路，使断路器跳闸。由于控制开关 SA 手柄在“合闸后”位置，其触点 9-12 接通，而 QF1-2 触点在断路器自动跳闸后也接通，因此绿灯 GN 闪光。由于 QF3-4 断开，故红灯 RD 灭。要使绿灯 GN 不闪光，可将 SA 手柄转到“跳闸后”位置。

(5) “防跳”措施：如果控制开关 SA 的手柄转到“合闸”位置，或其触点 SA5-8 被粘住，而断路器合闸于永久性故障的线路上时，线路的保护装置动作，其触点 KM2 闭合，使断路器自动跳闸。如果没有防跳继电器 KL，则断路器因 SA5-8 接通，QF1-2 在自动跳闸后也接通，从而再次合闸。但由于线路上仍存在着故障，保护装置将使断路器再次跳闸。……断路器因此而重复跳、合闸，将使断路器触头烧毁，扩大故障，为了防止这种“跳跃”现象，因此需采取“防跳”措施，即加装具有双线圈的防跳继电器 KL。加装 KL 后，在断路器跳闸回路 YR 接通的同时，KL 起动，其触点 KL1-2 闭合，保持 KL 动作，其触点 KL3-4 断开，使合闸接触器 KO 回路在断路器自动跳闸后触点 QF1-2 闭合时不会再次通电，从而不致再次合闸，达到“防跳”的要求。



续表

序号	项 目	说 明
4		采用弹簧操动机构、具有“防跳”装置的断路器控制、信号回路
4.1	原理电路	 <p>WC—控制小母线；WF—闪光信号小母线；WS—信号小母线；WAS—事故音响小母线；KL—防跳（闭锁）继电器；SA—控制开关；SQ—行程开关；M—操动机构储能电动机</p>
4.2	原理说明	<p>由序号 4.1 中图所示控制、信号回路的接线与序号 3.1 的接线相似，只是合闸回路有所不同。弹簧操动机构是利用储能电动机 M 先使合闸弹簧拉紧（储能）。这时行程开关 SQ3-4 断开，SQ1-2 闭合。合闸时将控制开关 SA 转到“合闸”位置，合闸线圈 YO 通电，释放弹簧锁扣机构，使断路器合闸</p>
5		闪光信号装置的电路
5.1	由闪光继电器构成的直流闪光装置电路	<p>当断路器事故跳闸或自动投入时，该断路器控制回路通过闪光小母线 WF 向闪光继电器 KF 供电，使 WF 小母线获得正电源，这时断路器的指示灯（绿灯或红灯）亮。KF 线圈通电后，其常闭触点断开，使 WF 小母线的正电源消失，从而使断路器的指示灯（绿灯或红灯）灭。KF 的常闭触点断开后，KF 线圈断电，其常闭触点返回，使 WF 小母线又获得正电源，断路器的指示灯又亮。……由于闪光继电器的交替动作，从而使 WF 小母线获得脉动的正电压，使指示灯闪光</p> <p>按钮 SB 和指示灯 WH 是供试验用的。按下 SB，指示灯 WH 即闪光</p>  <p>WS—信号小母线；WF—闪光小母线；KF—闪光继电器（DX-3，直流 220V）；SB—试验按钮（A18-22，白色）；WH—白色指示灯（XD5，220V）</p>
5.2	由闪光继电器构成的交流闪光装置电路	<p>其动作原理与序号 5.1 相类似。与序号 5.1 不同的是，这里的闪光继电器 KF 是在序号 5.1 所示闪光继电器中加入了个桥式整流器，使之适用于交流电路</p>  <p>WS—信号小母线；WF—闪光小母线；KF—闪光继电器（DX-3，交流 220V）；SB—试验按钮（A18-22，白色）；WH—白色指示灯（XD5，220V）</p>

续表

### 第三节 电测量仪表与绝缘监视装置

#### 一、电测量仪表的一般要求及其装设与接线

(1) 电测量仪表的一般要求。如表 8-7 所示。

表 8-7 电测量仪表的一般要求(据 GBJ63—1990)

序号	项 目	说 明
1	电力装置的常用测量仪表一般要求	
1.1	总的要求	(1) 能正确反映电力装置的运行参数 (2) 能随时监测电力装置回路的绝缘状况
1.2	常用测量仪表的精确度等级要求	(1) 除谐波测量仪表外,交流回路仪表的精确度等级,不应低于 2.5 级 (2) 直流回路仪表的精确度等级,不应低于 1.5 级 (3) 电量变送器输出侧仪表的精确度,不应低于 1.0 级
1.3	常用测量仪表配用的互感器精确度等级要求	(1) 1.5 级及 2.5 级的常用测量仪表,应配用不低于 1.0 级的互感器 (2) 电量变送器应配用不低于 0.5 级的电流互感器
1.4	仪表测量范围和标度尺的选择要求	(1) 仪表的测量范围和电流互感器变流比的选择,宜满足电力装置回路以额定值的条件运行时,仪表的指示在标度尺的 70%~100% 处 (2) 对有可能过负荷运行的电力装置回路,仪表的测量范围,宜留有适当的过负荷裕度 (3) 对重载起动的电动机及运行中有可能出现短时冲击电流的电力装置回路,宜采用具有过负荷标度尺的电流表 (4) 对有可能双向运行的电力装置回路,应采用具有双向标度尺的仪表
2	电能计量装置的精确度等级要求	
2.1	有功电能表的精确度等级的选择要求	(1) 月平均用电量 $1 \times 10^6 \text{kW} \cdot \text{h}$ 及以上的电力用户电能计量点,应采用 0.5 级的有功电能表

序号	项 目	说 明
2.1	有功电能表的精确度等级的选择要求	(2) 下列电力装置回路,应采用 1.0 级的有功电能表:①发电机;②主变压器;③需考核有功电量平衡的供配电线路;④火力发电厂中厂用电的总计量点;⑤月平均用电量小于 $1 \times 10^6 \text{kW} \cdot \text{h}$ 、在 315kVA 及以上的变压器高压侧计费的电力用户电能计量点 (3) 下列电力装置回路,应采用 2.0 级的有功电能表:①在 315kVA 以下的变压器低压侧计费的电力用户电能计量点;② 75kW 及以上的电动机;③仅作为企业内部技术经济考核而不计费的线路和电力装置回路
2.2	无功电能表的精确度等级的选择要求	(1) 下列电力装置回路,应采用 2.0 级的无功电能表:①发电机;②主变压器;③并联电力电容器组;④在 315kVA 及以上的变压器高压侧计费的电力用户电能计量点;⑤电力系统中需考核技术经济指标的供配电线路 (2) 下列电力装置回路,应采用 3.0 级的无功电能表:①在 315kVA 以下的变压器低压侧计费的电力用户电能计量点;②仅作为企业内部技术经济考核而不计费的电力用户电能计量点
2.3	电能计量用互感器的精确度等级的选择要求	(1) 0.5 级的有功电能表和 0.5 级的专用电能计量仪表,应配用 0.2 级的互感器 (2) 1.0 级的有功电能表、1.0 级的专用电能计量仪表、2.0 级计费用的有功电能表及 2.0 级的无功电能表,应配用不低于 0.5 级的互感器 (3) 仅作为企业内部技术经济考核而不计费的 2.0 级有功电能表及 3.0 级的无功电能表,宜配用不低于 1.0 级的互感器

(2) 变配电所测量和计量仪表的装设要求。如表 8-8 所示。

(3) 变配电所测量和计量仪表的接线示例。如表 8-9 所示。

表 8-8 变配电所测量和计量仪表的装设要求<sup>[6]</sup>

序号	电力装置名称		装设的表计数量						说 明
			电流表	电压表	有功功率表	无功功率表	有功电能表	无功电能表	
1	35kV 电力装置								
1.0	35/6~10kV 双绕组变压器	高压侧	1		1	1	1	1	仪表装在高压侧或低压侧,按具体情况确定
		低压侧							
2	3~10kV 电力装置								
2.1	3~10kV 进线		1						由树干式线路供电的或由公共电网供电的变电所,还应装设有功、无功电能表各 1 只

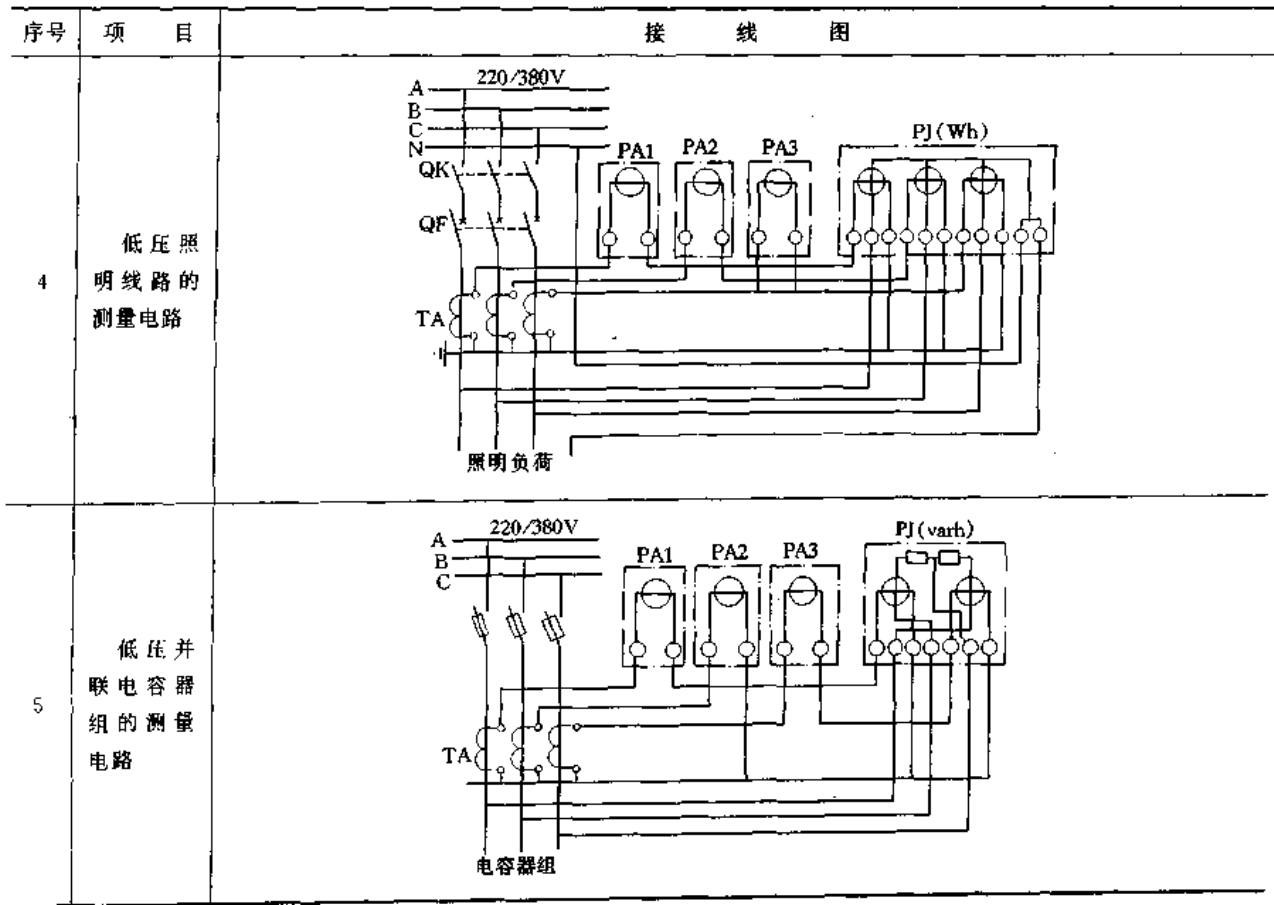
续表

序号	电力装置名称	装设的表计数量						说 明
		电流表	电压表	有功功率表	无功功率表	有功电能表	无功电能表	
2.2	3~10kV 母线 (每段母线)		4					1 只电压表用来检测线电压, 其余 3 只电压表用作母线绝缘监视 如果母线配出回路较少时, 绝缘监视电压表可不装设 如果变电所接有冲击性负荷, 在生产过程中经常引起母线电压波动时, 可再装设一只记录型电压表
2.3	3~10kV 联络线	1		1		2		电能表只装在线路的一端, 并应有逆止器
2.4	3~10kV 出线	1				1	1	不是送往单独的经济核算单位时, 无功电能表可不装设 当线路负荷在 5000kVA 及以上时, 可再装设 1 只有功功率表
2.5	6~10/3~6kV 变压器							仪表装在高压侧或低压侧, 按具体情况确定
2.6	6~10/0.4kV 变压器							如为单独的经济核算单位的变压器, 还应装设 1 只无功电能表
2.7	整流变压器	1				1		如为冲击负荷, 可再装设记录型有功、无功功率表各 1 只。当冲击负荷由数台整流变压器成组供电时, 可只计量总的有功、无功功率, 例如将表计装在进线上或上一级变电所的出线上
2.8	电炉变压器	1				1		如为了掌握电炉的运行情况而必须监视三相电流时, 可装设 3 只电流表
2.9	同步电动机	1			1	1	1	如果成套控制屏上已装有有功、无功电能表时, 配电装置上可不再装设。装功率因数表比装无功功率表更好, 可直接指示功率因数的超前或滞后
2.10	异步电动机	1*				1**		* $\geq 55\text{kW}$ 时装设 * * $\geq 75\text{kW}$ 时加装
2.11	并联电力电容器	3					1	
3	380V 电 力 装 置							
3.1	380V 进线或 变压器低压侧	3						如变压器高压侧未装电能表时, 还应装设有功电能表 1 只
3.2	母线 (每段)		1					
3.3	380V 出线 ( $\geq 100\text{A}$ )	1 (3)						小于 100A 的线路, 根据生产过程的要求, 需进行电流监视时, 可装设 1 只电流表 三相长期不平衡运行的线路, 例如动力与照明混合的线路, 在照明负荷占总负荷 15%~20% 以上时, 应装设 3 只电流表。 送往单独经济核算单位的线路, 应加装有功电能表 1 只

表 8-9 变配电所测量和计量仪表的接线示例

序号	项 目	接 线 图
1	高压专用计量柜测量电路	<p>(a) 接线图: (b) 展开图</p> <p>电流测量回路</p> <p>电压测量回路</p>
2	高压配电线路的测量电路	<p>6~10kV</p> <p>QS</p> <p>QF</p> <p>TA1</p> <p>TA2</p> <p>来自 TV 二次侧</p> <p>WV(A)</p> <p>WV(B)</p> <p>WV(C)</p>
3	低压动力线路的测量电路	<p>220/380V</p> <p>N</p> <p>QK</p> <p>QF</p> <p>TA</p> <p>动力负荷</p>

续表



## 二、绝缘监视装置及其接线

如表 8-10 所示。

表 8-10 绝缘监视装置及其接线

序号	项目	说明	序号	项目	说明
1	绝缘监视装置的特点	<p>绝缘监视装置用在小电网中，以监视相线对地的绝缘状况。如单相接地故障时，绝缘监视装置发出信号，提醒值班人员注意，以免发展成两相短路事故。绝缘监视装置与选择性单相接地保护（表 7-17）有相当的优越性，但存在无选择性缺点，即不能判断哪一条线路发生了单相接地故障。因此绝缘监视装置不适用于线路多的变配电所中使用。</p>	2	6~10kV 母线电压测量及绝缘监视的原理电路	<p>电压互感器二次回路 电压测量和绝缘监视 绝缘监视信号回路</p> <p>TV—电压互感器；QS—高压隔离开关；SA—电压转换开关；PV—电压表；KV—电压继电器；KS—信号继电器；WC—控制小母线；WS—信号小母线；WFS—预告信号小母线</p>

### 第四节 供配电系统的自动装置

(1) 电力线路自动重合闸装置的分类、要求及其原理电路。如表 8-11 所示。

(2) 电气一次自动重合闸装置电路示例。如表 8-12 所示。

#### 一、电力线路的自动重合闸装置 (ARD)

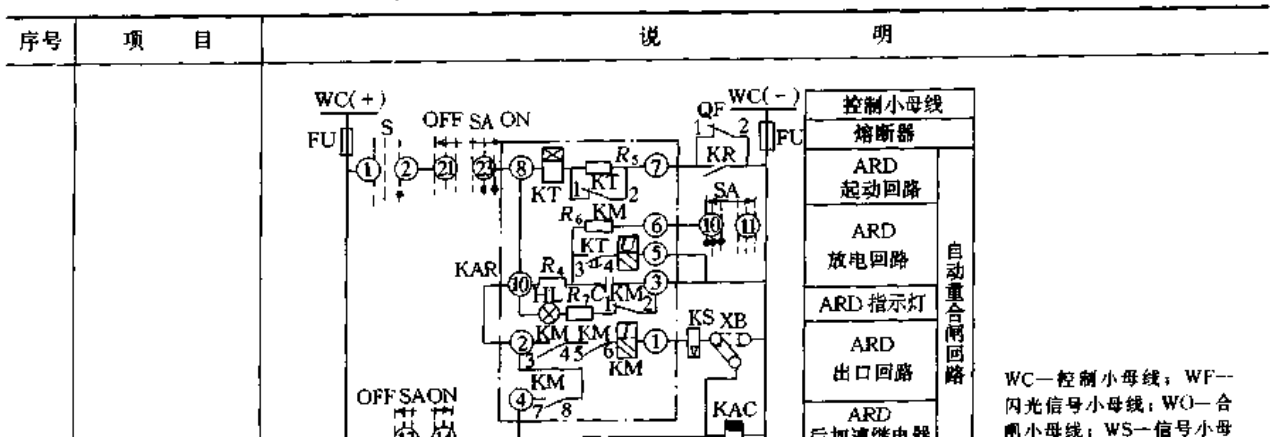
表 8-11 电力线路自动重合闸装置的分类、要求及其原理电路

序号	项 目	说 明
1		自动重合闸装置的分类
1.1	按自动重合闸的合闸方式分类	(1) 机械式自动重合闸装置: 采用弹簧式操动机构, 利用机械储能来驱动断路器自动重合闸。一般在交流操作的变配电所中应用 (2) 电气式自动重合闸装置: 采用电磁式操动机构, 利用重合闸继电器来启动断路器自动重合闸。一般在有直流操作电源的变配电所中应用
1.2	按自动重合闸的重合次数分类	按自动重合闸的重合次数分, 有一次重合式、二次重合式和三次重合式 据统计, 对于架空线路来说, 一次重合的成功率可达 60%~90%, 而二次重合的成功率只有 15% 左右, 三次重合的成功率只有 5% 左右, 因此一般供配电系统中仅采用一次重合闸装置
1.3	按自动重合闸装置的启动方式分类	按自动重合闸装置的启动方式分, 有不对应启动和保护启动两种 一般优先采用控制开关位置与断路器位置不相对应启动的方式
1.4	按自动重合闸加速保护装置时间分类	按自动重合闸加速保护装置时间分, 有重合闸前加速保护动作和重合闸后加速保护动作两种 当线路上装设有带时限的保护装置时, 宜尽可能采用重合闸后加速保护动作的方案, 以免断路器重合在永久性故障上, 使事故扩大, 并应尽快再次断开线路 在单侧电源具有分支接线的线路上, 为了加速断开故障线路或为简化继电保护, 可采用重合闸前加速保护动作
2		自动重合闸的装设要求 (据 GB50062-1992)
2.1	应装设自动重合闸的场合	3~110kV 电网中, 在下列情况下应装设自动重合闸装置: (1) 3kV 及以上的架空线路和电缆—架空混合线路, 当用电设备允许且无备用电源自动投入时 (2) 旁路断路器和兼作旁路的母联或分段断路器
2.2	单侧电源线路的自动重合闸方式	对单侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定: (1) 采用一次重合闸 (2) 当电网由几段串联线路构成时, 宜采用重合闸前加速保护动作或顺序自动重合闸
2.3	双侧电源线路的自动重合闸方式	对双侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定: (1) 并列运行的发电厂或电力系统之间, 具有 4 条及以上联系的线路或 3 条紧密联系的线路, 可采用不检查同步的三相自动重合闸 (2) 并列运行的发电厂或电力系统之间, 具有 2 条联系的线路或 3 条联系不紧密的线路, 可采用下列重合闸方式: ①当非同步合闸的最大冲击电流超过 GB50062-1992 附录二中规定的允许值时, 可采用同步检定和无电压检定的三相重合闸; ②当非同步合闸的最大冲击电流不超过 GB50062-1992 附录二中规定的允许值时, 可采用不检查同步的三相重合闸; ③没有其他联系的并列运行双回线路, 当不能采用非同步重合闸时, 可采用检查另一回线路有电流的自动重合闸 (3) 双侧电源的单回线路, 可采用下列重合闸方式: ①可采用解列重合闸; ②当水电站条件许可时, 可采用自同步重合闸; ③可采用一侧无电压检定, 另一侧同步检定的重合闸
2.4	对自动重合闸装置的要求	自动重合闸装置, 应符合下列要求: (1) 手动或通过遥控装置将断路器断开、或将断路器投入故障线路上而随即由保护装置将其断开时, 自动重合闸均不应动作 (2) 自动重合闸装置在其某些元件损坏以及继电器触点粘住或拒动等情况下, 均不应使断路器多次重合 (3) 当断路器处于不正常状态不允许实现自动重合闸时, 应将自动重合闸装置闭锁
3		一次自动重合闸装置的原理电路
3.1	原理电路	<p>QS—隔离开关; QF—断路器; YR—跳闸线圈; YO—合闸线圈; KO—合闸接触器; KAR—重合闸继电器; KM—保护装置出口继电器; SB1—合闸按钮; SB2—跳闸按钮</p>

续表

序号	项目	说明
3.2	原理说明	<p>(1) 手动合闸：按下合闸按钮 SB1，使合闸接触器 KO 通电动作，接通合闸线圈 YO 回路，使断路器 QF 合闸</p> <p>(2) 手动跳闸：按下跳闸按钮 SB2，接通跳闸线圈 YR 回路，使断路器 QF 跳闸</p> <p>(3) 自动跳闸：当线路上发生短路故障时，过电流保护装置动作，其出口继电器 KM 的触点闭合，接通跳闸线圈 YR 的回路，使断路器 QF 跳闸</p> <p>(4) 自动重合闸：断路器 QF 自动跳闸后，其辅助触点 QF3-4 闭合，同时重合闸继电器 KAR 起动，经短延时后接通合闸接触器 KO 回路，KO 又接通合闸线圈 YO 回路，使断路器 QF 重合闸</p> <p>(5) “防跳”装置：对一次重合闸装置，必须采取“防跳”措施，以防断路器合闸于永久性故障线路上时，多次反复跳合闸。在电气一次重合闸装置中，通常采用防跳继电器（参看表 8-6 序号 3 及表 8-12 序号 1）来实现</p>

表 8-12 电气一次自动重合闸装置电路示例



续表

序号	项 目	说 明
2.2	重合闸装置动作	当线路发生故障时,保护装置动作,其出口继电器触点KM1或KM2闭合,接通跳闸线圈YR回路,使断路器QF自动跳闸。QF跳闸后,其辅助触点QF3-4闭合,跳闸位置继电器KR动作(合闸接触器KO由于串有电阻 $R_1$ 和KR线圈而不会动作)。KR的触点闭合后,使时间继电器KT动作。KT的常闭触点KT1-2断开,串入限流电阻 $R_5$ ,使KT能较长时间地工作,同时其常开触点KT3-4延时(约0.5s)闭合,使电容器C对中间继电器KM(U)放电,使KM(U)动作,其两对常开触点KM3-4、5-6闭合。合闸接触器KO经QF3-4、KL3-4、XB、KS、KM(I)、KM5-6、KM3-4、SA21-23和SI-2而接通电源,从而使断路器重合闸。如果线路故障是暂时性的,则合闸成功。此时所有继电器自动返回,电容器C又开始充电,经15~25s后可达稳定电压,为下次重合闸作好准备
2.3	重合闸失败后快速跳闸	如果线路故障是永久性的,则断路器重合闸后,线路的定时限过电流保护的起动继电器KA3、KA4将会动作,其常开触点闭合,而加速继电器KAC的延时返回触点尚未及断开(KAC在中间继电器KM动作后,通过触点KM7-8是接通动作的),因此中间继电器KM2动作,使断路器快速跳闸(不经时间继电器KT1延时),实现在重合闸失败后快速切除故障的要求
2.4	确保断路器只重合闸一次	当断路器重合闸于永久性故障的线路上时,保护装置加速动作,使断路器快速跳闸。虽然断路器跳闸后,其触点QF3-4闭合会使跳闸位置继电器KR重新动作,时间继电器KT也再次起动并闭合其触点KT1-2和KT3-4,但由于电容器C尚未充够电压,因此中间继电器KM(U)不能动作,而且KM(U)线圈与C相并联,故C永远不会充电到KM(U)动作所需的电压,从而确保断路器不会再次重合闸
2.5	手动合闸于故障线路上跳闸后不会重合闸	当用控制开关SA合闸时,其触点SA5-8接通,合闸接触器KO通电,使断路器合闸。如果线路上存在短路故障,而且短路电流达到整定的速断电流值时,电流速断保护继电器KA1、KA2动作,使断路器瞬时跳闸。如果短路电流小于电流速断整定值时,则定时限过电流保护的起动继电器KA3、KA4将瞬时起动。由于SA13-14在预备合闸时已经接通,加速继电器KAC已经动作,其瞬时闭合延时断开触点闭合,因此在断路器合闸于故障线路上时,KA3和KA4的触点一闭合,KAC触点尚未及断开,中间继电器KM2立即动作,使断路器瞬时(不经延时)跳闸。这时电容器C也未充够电压,断路器也不会重合闸
2.6	防跳继电器的功能	为了防止中间继电器KM的触点被粘住而线路上又存在永久性故障时断路器多次重合闸,因此装设了防跳继电器KL。当跳闸线圈YR被接通时,KL(I)即通电动作,其触点KL1-2闭合,使KL(U)通电自保持,其常闭触点KL3-4断开,使合闸接触器KO回路被切断,从而避免了再次或多次重合闸,实现“防跳”的目的

理电路。如表 8-13 所示。

## 二、备用电源自动投入装置 (APD)

(2) 备用电源自动投入装置电路示例。如表 8-14

(1) 备用电源自动投入装置的类别、要求及其原理

表 8-13 备用电源自动投入装置的类别、要求及其原理电路

序号	项 目	说 明
1	备用电源自动投入装置的类别	<p>(1) 备用线路自动投入装置: 两路电源进线的变配电所, 正常时一路工作, 一路备用。当工作的电源进线因故失电时, APD 起动, 使备用线路投入。通常是两路电源互为备用的方式</p> <p>(2) 备用变压器自动投入装置: 两台或多台变压器的变电所, 正常时有一台变压器作为备用。当某一工作变压器发生故障, APD 起动, 将故障变压器切除, 而将备用变压器投入</p> <p>(3) 母线联络断路器自动投入装置: 正常时, 两段母线各自带负荷运行, 联络断路器是断开的。当任一段母线因进线电源或供电变压器故障而失电时, APD 起动, 将该段母线电源侧的断路器断开, 而投入联络断路器, 恢复对该段母线负荷的供电。这种方式的特点是两段母线互为备用</p>
2	可装设备用电源或备用设备自动投入装置的情况(据 GB50062-1992)	<p>(1) 由双电源供电的变配电所, 其中一个电源经常断开作为备用</p> <p>(2) 发电厂和变配电所内有互为备用的母线段</p> <p>(3) 发电厂和变配电所内有备用变压器</p> <p>(4) 变配电所内有两台所用变压器</p> <p>(5) 生产过程中某些重要机组有备用机组</p>



续表

序号	项 目	说 明
3	对自动投入装置的要求 (据 GB50062-1992)	(1) 保证备用电源在电压、工作回路断开后才投入备用回路 (2) 工作回路上的电压, 不论因何原因消失时, 自动投入装置均应延时动作 (3) 手动断开工作回路时, 不起动自动投入装置 (4) 保证自动投入装置只动作一次 (5) 备用电源自动投入装置动作后, 如投到故障上, 必要时, 应使保护加速动作 (6) 备用电源自动投入装置中, 可设置工作电源的电流闭锁回路
4	备用电源自动投入装置的原理电路	
4.1	原理电路	<p>WL1—工作电源线路; WL2—备用电源线路; QF1、QF2—断路器; KO—合闸继电器; KM—合闸接触器; YO—合闸线圈</p>
4.2	原理说明	(1) 正常运行状态: 断路器 QF1 合闸, 电源进线 WL1 供电; 断路器 QF2 断开, 电源进线 WL2 备用。辅助触点 QF1 1-2 是闭合的, 因此合闸继电器 KO 处于动作状态, 其延时断开触点是闭合时, 但 QF1 3-4 断开, 所以合闸接触器 KM 并不通电, 虽然 QF2 1-2 闭合, 但合闸线圈 YO 不会动作, 断路器 QF2 只是处于等待“自动投入”的状态 (2) 备用电源自动投入: 当工作电源 WL1 失电或发生故障而使断路器 QF1 跳闸时, QF1 1-2 断开, 合闸继电器 KO 断电, 其延时断开触点将延时 (一般 0.5s) 断开, 但在它未及断开时, 由于 QF1 3-4 的闭合, 使合闸接触器 KM 通电动作, 接通合闸线圈 YO 回路, 使断路器 QF2 合闸, 从而使备用电源 WL2 自动投入。随后 YO 断电, KO 触点断开, 其他继电器、接触器返回

表 8-14 备用电源自动投入装置电路示例

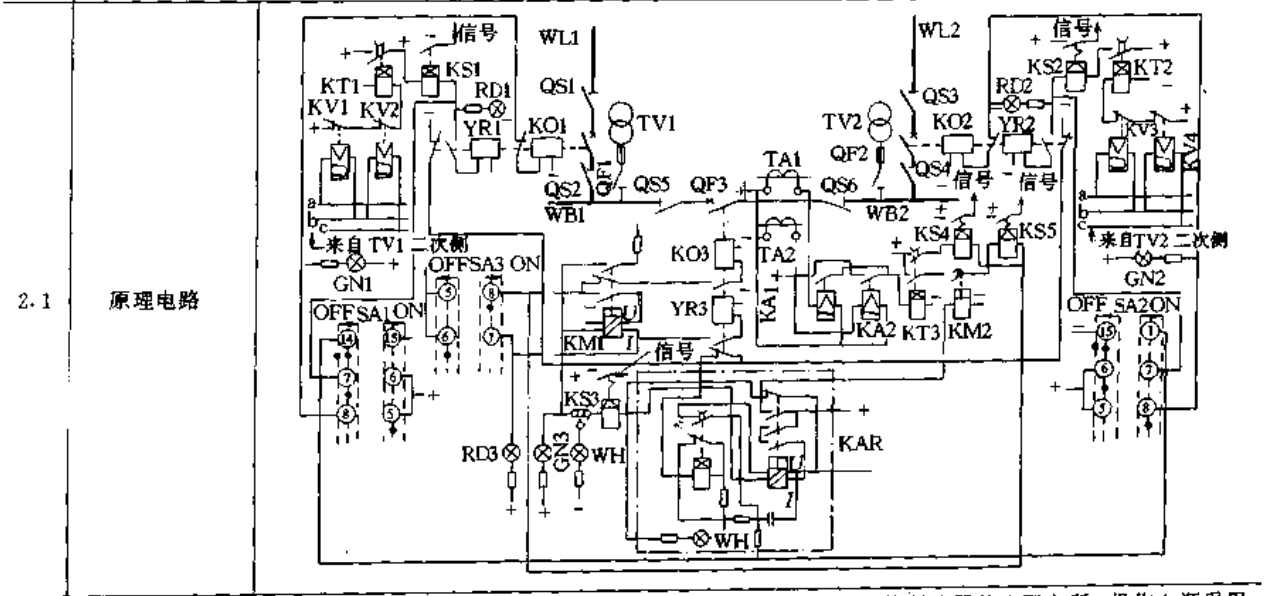
序号	项 目	说 明
1	高压双电源互为备用的自动投入电路	
1.1	原理电路	<p>(a)</p>

序号	项目	说明
1.1	原理电路	<p>(a) 集中表示的原理电路图 (接线图); (b) 分开表示的原理电路图 (展开图)</p>
1.2	原理说明	<p>(1) 正常运行状态: 假设 WL1 为工作电源, WL2 为备用电源, QF1 合闸, QF2 断开。正常运行时, 电压互感器 TV1 和 TV2 均带电, 因此电压继电器 KV1~KV4 均处于动作状态, 它们的常闭触点均断开, 从而切断了 APD 起动回路中时间继电器 KT1 和 KT2 的电源, 使 APD 不致动作</p> <p>(2) 备用电源自动投入: 当工作电源 WL1 因故失电时, 电压互感器 TV1 二次侧的电压继电器 KV1 和 KV2 的常闭触点返回, 接通时间继电器 KT1 回路, 经整定的延时后, 其触点闭合, 经信号继电器 KS1 接通跳闸线圈 YR1 回路, 使断路器 QF1 跳闸。QF1 跳闸后, 其常闭辅助触点 QF1 1-2 闭合, 通过信号继电器 KS4 和中间继电器 KM2 的常闭触点、QF2 的辅助触点 QF2 7-8 而接通合闸线圈 YO2 回路, 使断路器 QF2 合闸, 从而使备用电源 WL2 自动投入</p> <p>(3) 保证自动投入装置只动作一次: 备用电源 WL2 的断路器 QF2 合闸后, 其辅助触点 QF2 3-4 闭合, 使中间继电器 KM2 通电动作, 其常开触点闭合以自保持, 其常闭触点则断开 QF2 的合闸回路, 从而保证 QF2 只合闸一次</p>

续表

序号	项目	说明
1.2	原理说明	(4) 几点补充说明: ①本接线方案中两路电源的断路器 QF1 和 QF2 均采用交流操作的弹簧操动机构, 但亦可采用直流操作; ②接线电路中断路器自动投入回路中采用 2 个电压继电器的触点串联, 目的在于防止电压互感器一相熔断器熔断时造成 APD 误动作; ③本接线方案中采用时控制开关 SA1 和 SA2 的触点位置参看前面表 8-6 序号 3.2

2 母线联络断路器自动投入电路



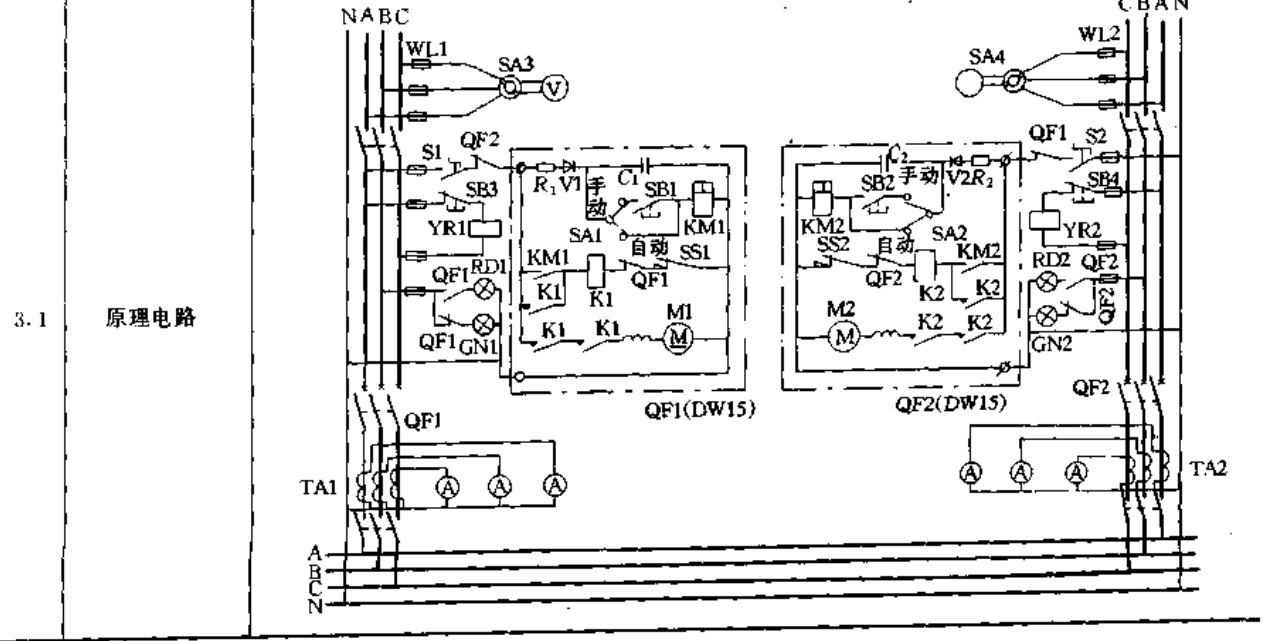
2.2 简要说明

(1) 本接线方案适用于双路电源、单母线分段、具有母线联络断路器的变配电所, 操作电源采用硅整流, 直流 220V。断路器操动机构采用 CD10 型, 控制开关采用 LW2-Z-1a·4·6a·20·40/F8, 其触点位置参看表 8-6 序号 3.2

(2) 正常运行时, 母线联络断路器 QF3 是断开的, 而断路器 QF1 和 QF2 均已合闸, 两段母线 WB1 和 WB2 分别由电源进线 WL1 和 WL2 供电

(3) 假设某一电源进线失电时, 其电压保护动作, 使其断路器跳闸。同时利用该断路器的常闭辅助触点的闭合去起动重合闸继电器 KAR, 使母线联络断路器合闸, 使失电的那一段母线由另一段母线的电源进线供电, 恢复正常运行

3 低压双电源互为备用的自动投入电路



续表

序号	项 目	说 明
3.2	简要说明	<p>(1) 本接线方案中低压断路器 QF1 和 QF2 采用 DW15-1000~1500/3 型, 带电动操动机构</p> <p>(2) 正常运行时, 一路电源供电, 另一路电源备用, 例如 WL1 供电, WL2 备用时, 首先合上 QK1、QK3, 再合上 S1。如果采用自动, 则应将 SA1 扳到“自动”位置; 如果采用手动, 则应将 SA1 扳到“手动”位置。然后按下按钮 SB1, 则断路器 QF1 合闸, WL1 供电。然后合上 QK2、QK4, 再合上 S2, 并将 SA2 扳到“自动”位置, 使断路器 QF2 作好自动投入(合闸)准备</p> <p>(3) 当工作电源 WL1 失电时, 其失压保护使断路器 QF1 跳闸; 同时利用其常闭辅助触点的闭合, 接备用电源断路器 QF2 的合闸回路, 使备用电源断路器合闸, 将备用电源 WL2 投入</p>

### 三、变电所自动化基本知识

如表 8-15 所示。

表 8-15 变电所自动化基本知识<sup>[34]</sup>

序号	项 目	说 明
1		变电所自动化的基本概念
1.1	变电所自动化	变电所自动化是应用控制技术、信息处理和通信技术, 通过计算机系统或自动装置代替人工进行各种运行作业, 提高变电所运行、管理水平的一种自动化系统。变电所自动化的范畴, 包括其综合自动化技术、远动技术、继电保护技术及变电所其他智能技术等
1.2	变电所综合自动化	变电所综合自动化是将变电所二次回路设备包括控制、信号、测量、保护、自动及远动装置等, 利用计算机技术和现代通信技术, 经过功能组合和优化设计, 对变电所执行自动监视、测量、控制和调节的一种综合性自动化系统。它是变电所的一种现代化技术装备, 是自动化与计算机、通信技术在变电所领域的综合应用。它可以收集比较齐全的数据和信息, 有计算机高速计算能力和判断功能, 可以方便地监视和控制变电所内各种设备的运行和操作。它具有不同程度的功能综合化, 设备、操作、监视微机化, 结构分布分层化, 通信网络光缆化及运行管理智能化等特征。变电所综合自动化为变电所的小型化、智能化、扩大监控范围及变电所安全、可靠、优质、经济地运行提供了现代化手段和基础保证。它的应用将为变电所无人值班提供强有力的现场数据采集和监控支持, 在此基础上可实现高水平的无人值班变电所的运行管理
1.3	变电所自动化与无人值班	<p>变电所无人值班是指变电所无固定值班人员进行日常监视和就地操作, 其监视和操作是由远方调度(控制)中心来完成的, 变电所自动化系统是无人值班变电所可靠的技术支撑和物质基础。两者的目标都是为了提高供电可靠性和电力工业的经济效益</p> <p>但变电所自动化并不等于变电所无人值班, 它也可以是有人值班。有人值班变电所的自动化系统, 其服务对象主要是所内值班人员及远方调度中心; 而无人值班变电所的自动化系统, 其服务对象主要是远方调度(控制)中心</p>
1.4	变电所自动化与电网调度自动化	<p>电网调度自动化是实施现代电网控制和管理的的重要技术支撑和物质基础, 而变电所自动化则是实现电网调度自动化的不可缺少的重要基础</p> <p>电网调度自动化系统通常分三个大的子系统: ①发电厂和变电所的基础自动化系统; ②信息传输通道即通信系统; ③调度(控制)中心的 EMS/SCADA (能量管理系统/数据采集与监控) 主站计算机系统。所有子系统组成一个整体, 缺一不可, 变电所自动化是其中重要的组成部分, 只有通过变电所、发电厂的自动化装置和系统向调度自动化系统提供完整可靠的信息, 调度(控制)中心才有可能了解和掌握电力系统的实时运行状态及厂、所设备工况, 才能对其控制做出决策; 同时要实现调度(控制)中心的远方控制操作, 也只有依靠变电所自动化装置才能完成</p>
2		变电所自动化的“四遥”
2.1	遥 测	<p>(1) 35kV 及以上线路及旁路断路器有功功率或电流</p> <p>(2) 35kV 及以上联络线有计量需要时, 增测无功功率及双向有功电能</p> <p>(3) 三绕组变压器两侧有功功率、电能、电流及第三侧电流; 两绕组变压器一侧有功功率、电能及电流</p> <p>(4) 计量分界点的变压器应增测无功功率</p> <p>(5) 各级各段母线电压; 小电流接地系统还应检测三个相电压</p> <p>(6) 所用变压器低压侧电压</p> <p>(7) 直流母线电压</p> <p>(8) 10kV 线路电流</p> <p>(9) 母线分段、分支断路器电流</p> <p>(10) 主变压器有载调压分接开关位置</p> <p>(11) 主变压器温度</p>

续表

序号	项目	说明
2.2	遥信	(1) 所有断路器位置信号、隔离开关位置信号以及主变压器有载调压分接开关位置信号 (2) 变电所事故总信号 (3) 35kV 及以上线路主保护信号和重合闸动作信号 (4) 母线保护及主变压器保护动作信号 (5) 低频减载动作解列信号 (6) 10~35kV 系统接地信号 (7) 直流系统异常信号 (8) 断路器控制回路断线以及断路器操作机构故障的总信号 (9) 继电保护及自动装置电源中断总信号 (10) 变压器冷却系统故障信号、变压器油温过高信号及其轻瓦斯动作信号 (11) 继电保护、故障录波装置故障总信号 (12) 距离保护闭锁总信号 (13) 高频保护收信总信号 (14) 监控系统或遥控操作电源消失信号 (15) 所用电源失压信号、系统 UPS 交流电源消失信号, 通信系统电源中断信号 (16) 消防及保卫信号 (根据各地区情况确定)
2.3	遥控	(1) 变电所全部断路器 (2) 可进行电控的变压器中性点接地隔离开关 (3) 高频自发自信启动 (4) 距离保护闭锁复归
2.4	遥调	主变压器有载调压分接开关
3 变电所自动化系统的组态模式		
3.1	集中式结构的变电所自动化	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>集中式结构的变电所综合自动化系统示意图如左图所示。系统中各功能模块用模块化软件连接来实现, 并且集中采集信息, 集中运算处理。但是它对计算机的性能要求高, 存在着系统可扩展性和可维护性较差、难以应用 DSP (数字信号处理) 技术等缺点, 现已基本上被更新的模式所取代, 但对小型变电所仍有一定的生命力, 例如国内某集中式系统, 集保护功能、人机功能、“四通”功能和自检功能等于一身, 具有工作可靠、结构简单、性能价格比高的特点而得到几十个小型变电所的实际应用</p> </div> </div>
3.2	集中组屏分布式结构的变电所自动化	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>分布式组态(集中组屏)模式的变电所综合自动化系统示意图如左图所示</p> <p>分布式组态模式一般按功能设计, 采用主从 CPU 协同工作方式, 各功能模块 (通常是多个从 CPU) 之间采用网络技术或串行方式实现数据通信。多 CPU 系统提高了处理并行多发事件的能力, 解决了 CPU 运算处理的瓶颈问题, 另外可选用具有优先级的网络系统解决数据传输的瓶颈问题, 提高了系统的实时性。分布结构方便系统扩展和维护, 局部故障不影响其他模块(部件)的正常运行。该模式在安装上可以形成集中组屏或分层组屏两种系统组态结构, 一般适用于中小型变电所</p> <p>注: GPS 为“全球定位系统”的英文缩写</p> </div> </div>

续表

序号	项 目	说 明
3.3	分层组屏分布式结构的变电所自动化	<div style="text-align: center;"> </div> <p>分散(层)分布式组态模式的变电所综合自动化系统示意图如上图所示</p> <p>分散(层)分布式系统是从逻辑上将变电所自动化系统划分为两层,即变电所层(所级测控主单元)和间隔层(间隔单元)。间隔层中各数据采集、控制单元和保护单元就地分散安装在开关柜上或其他一次设备附近,各个单元的设备相互独立,仅通过通信网互连,并与所级测控主单元通信。这种组态模式集中了分布式的全部优点,并最大限度地压缩了二次设备及其繁杂的二次电缆,节省了土建投资。系统本身配置灵活,可以一部分集中在控制室内,另一部分集中在低压配电室内分别组屏。系统具有很好的可扩展性和维护性。这种模式是目前变电所综合自动化系统结构中最受欢迎的比较先进的模式之一,不仅适用于各种电压等级的变电所中,而且对大型变电所更为适用,经济效益更好</p>

#### 四、高层建筑自动化系统基本知识

如表 8-16 所示。

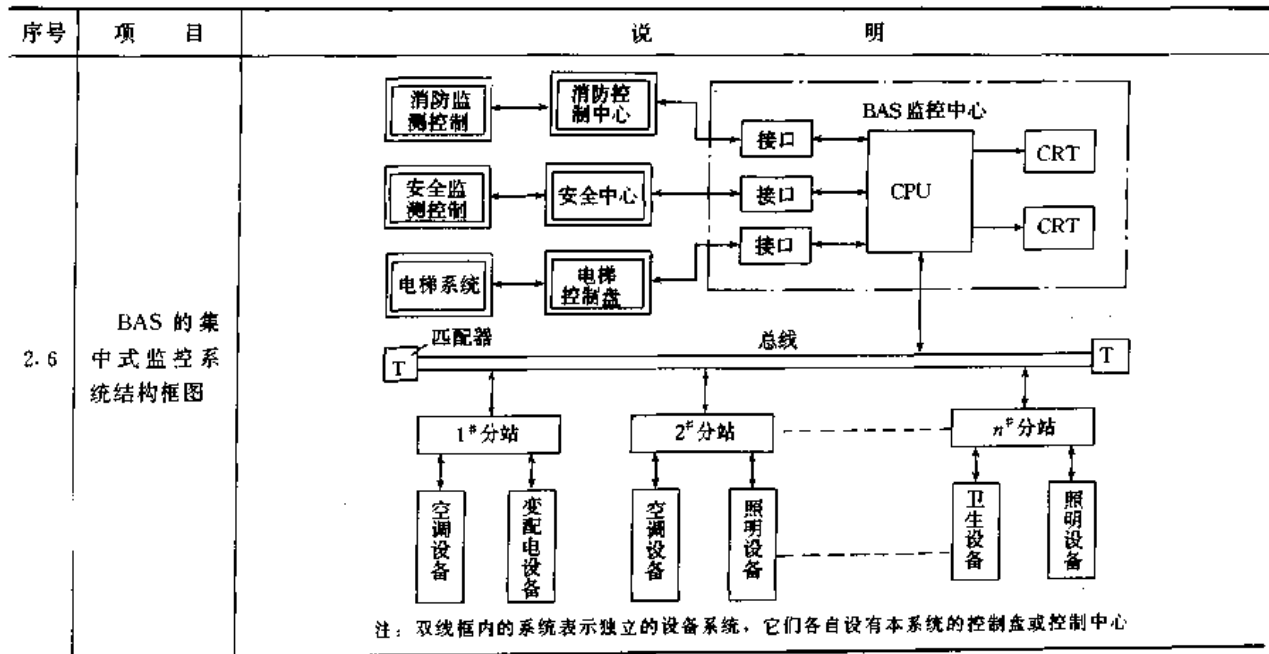
表 8-16 高层建筑自动化系统 (BAS) 基本知识

序号	项 目	说 明
1		高层建筑及智能型高层建筑概念
1.1	“高层建筑”的含义	<p>按国家标准《高层民用建筑设计防火规范》及行业标准《民用建筑电气设计规范》规定,下列建筑属于高层建筑:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 10层及10层以上的住宅建筑(包括底层设置商业服务网点的住宅)</li> <li>(2) 建筑高度超过24m的其他民用建筑</li> <li>(3) 与高层建筑直接相连且高度不超过24m的裙房</li> </ol>
1.2	“智能型高层建筑”的含义与组成系统	<p>智能型高层建筑是综合应用计算机、信息通信等各方面的先进技术,使建筑物成为具有远程通信功能、办公自动化功能和建筑自动化功能的高层建筑。智能型高层建筑主要由下列三大系统组成:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 远程通信系统 (Long-range Communication System, 简称 LCS)</li> <li>(2) 办公自动化系统 (Office Automation System, 简称 OAS)</li> <li>(3) 建筑自动化系统 (Building Automation System, 简称 BAS)</li> </ol>
2		BAS 的服务功能和网络结构 <sup>[22]</sup>
2.1	BAS 的服务功能	<p>建筑自动化系统(BAS)的基本服务功能,应通过对建筑内各类设备的运行集中监控和管理来实现:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 确保建筑物内环境舒适</li> <li>(2) 提高建筑物及其内部人员与设备的整体安全水平和灾害防御能力</li> <li>(3) 通过优化控制提高工艺过程控制水平,节省能源消耗,减轻劳动强度</li> <li>(4) 提供可靠的、经济的最佳能源供应方案,实现能源管理自动化</li> <li>(5) 不断地、及时地提供设备运行状况的有关资料、报表,进行集中分析,作为设备管理决策的依据,实现设备维护工作的自动化</li> </ol>

续表

序号	项 目	说 明												
2.2	BAS 网络结构的规划原则	<p>建筑自动化系统 (BAS) 网络结构的规划应符合下列原则:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 满足集中监控的需要</li> <li>(2) 与系统规模相适应</li> <li>(3) 尽量减小故障波及面, 实现“危险分散”</li> <li>(4) 减少初投资</li> <li>(5) 易于实现系统的扩展</li> </ol>												
2.3	BAS 规模的区分	<p>建筑自动化系统 (BAS) 应按下表之规定区分其规模, 并据此进行系统的规划设计</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>附表 BAS 规模的区分</caption> <thead> <tr> <th>系 统 规 模</th> <th>监 控 点 数 (个)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>小型系统</td> <td>40 及以下</td> </tr> <tr> <td>较小型系统</td> <td>41~160</td> </tr> <tr> <td>中型系统</td> <td>161~650</td> </tr> <tr> <td>较大系统</td> <td>651~2500</td> </tr> <tr> <td>大型系统</td> <td>2500 以上</td> </tr> </tbody> </table>	系 统 规 模	监 控 点 数 (个)	小型系统	40 及以下	较小型系统	41~160	中型系统	161~650	较大系统	651~2500	大型系统	2500 以上
系 统 规 模	监 控 点 数 (个)													
小型系统	40 及以下													
较小型系统	41~160													
中型系统	161~650													
较大系统	651~2500													
大型系统	2500 以上													
2.4	各种规模 BAS 的监控系统结构形式	<p>(1) 大型和较大系统的分站, 必须符合以下要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 将分站设置在其所属受控对象系统的附近, 使之成为现场工作站;</li> <li>2) 以一台微机为核心, 按规划实现全部监控功能;</li> <li>3) 与中央站之间实现数据通信; 分站之间亦应实现直接数据通信。这种分级分布式结构框图, 如序号 2.5 所示</li> </ol> <p>对于统一管理的建筑群或特大建筑物, 当其设备数量极多, 而配置又极为分散时, 宜采用多个微型中心站 (即具有多个如序号 2.5 图中第三级以下的结构), 并通过网桥或网关进行互连, 组成多域网</p> <p>(2) 中型系统和设备布置分散的较小型系统, 宜采用分级分布式监控系统, 但当受到投资、使用、维护水平限制时, 亦可采用集中式结构, 即:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 中央站采用计算机监控, 分站不设 CPU, 如序号 2.6 所示;</li> <li>2) 分站采用功能模块式结构, 以完成数据采集、转换与传递功能为主;</li> <li>3) 可具有对所属设备进行启动/停止的控制和参数调节的功能</li> </ol> <p>(3) 小型系统和布置比较集中的较小型系统, 宜采用集中式结构, 即仅设一台微机对现场的多种装置实现控制, 组成单机多回路系统, 而不设分站</p>												
2.5	BAS 的分级分布式监控系统结构框图	<p>The diagram illustrates a four-level hierarchical structure for a BAS monitoring system:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>第四级 (Level 4):</b> 管理与开发计算机 (Management and Development Computer). Includes components like 打印 (Print), 上位管理计算机 (Upper Management Computer), 带操作键盘的 CRT (CRT with keyboard), and 带 CRT 的主操作台 (Main workstation with CRT).</li> <li><b>第三级 (Level 3):</b> 中央站 (Central Station) / 中央控制室 (Central Control Room). Includes 打印 (Print), CPU (或双CPU) 通信接口 (CPU or dual-CPU communication interface), 通信接口 (Communication interface), 分离 CRT (Separate CRT), 其他外设 (Other peripherals), and 电源 (Power supply).</li> <li><b>第二级 (Level 2):</b> 分站 (Stations). Includes 与各分站的对讲系统 (Intercom system with stations), 终端匹配器 (Terminal matching device), 总线 (Bus), 通信接口 (Communication interface), 以 CPU 为核心的分站 (Station with CPU core), and 其他专用设备 (Other specialized equipment).</li> <li><b>第一级 (Level 1):</b> 现场装置 (Field Equipment). Includes 传感器 (Sensors) and 执行器 (Actuators).</li> </ul> <p>Additional components include 数据通信通道 (Data communication channel) and 其他专用室及设备 (Other specialized rooms and equipment).</p>												
<p>注: 图中未绘出可能配置的“二级操作站”和“远方操作站”以及可能配置的内存存储器、外存储器 and 调制解调器等</p>														

续表



续表

### 第五节 二次回路的接线及其简图绘制

#### 一、二次回路的接线要求

如表 8-17 所示。

表 8-17 二次回路的接线要求 (据 GB50171—1992)

序号	项目	说明
1	二次回路接线的基本要求	(1) 按图施工，接线正确 (2) 导线与电气元件间采用螺栓连接、插接、焊接或压接等，均应牢固可靠 (3) 盘、柜内的导线不应有接头，导线芯线应无损伤 (4) 电缆芯线和所配导线的端部均应标明其回路编号，编号应正确，字迹清晰且不易脱色 (5) 配线应整齐、清晰、美观，导线绝缘应良好，无损伤 (6) 每个接线端子的每侧接线宜为 1 根，不得超过 2 根。对于插接式端子，不同截面的两根导线不得接在同一端子上；对于螺栓连接端子，当接两根导线时，中间应加平垫片 (7) 二次回路接地应设专用螺栓
2	对二次回路导线截面的要求	(1) 盘、柜内的配线电流回路应采用电压不低于 500V 的铜芯绝缘导线，其截面不应小于 2.5mm <sup>2</sup> (2) 其他回路截面不应小于 1.5mm <sup>2</sup> (3) 对电子元件回路、弱电回路采用锡焊连接时，在满足载流量和电压降及有足够机械强度的情况下，可采用不小于 0.5mm <sup>2</sup> 的铜芯绝缘导线

序号	项目	说明
3	对可动部位连接导线及其连接的要求	用于连接盘、柜门上的电器、控制台板等可动部位的导线应符合下列要求： (1) 应采用多股软导线，敷设长度应有适当裕度 (2) 线束应有外套塑料管等加强绝缘层 (3) 与电器连接时，端部应绞紧，并应加终端附件或锡焊，不得松散、断股 (4) 在可动部位两端应用卡子固定
4	对引入盘、柜内电缆及其芯线的要求	引入盘、柜内的电缆及其芯线应符合下列要求： (1) 引入盘、柜的电缆应排列整齐，编号清晰，避免交叉，并应固定牢固，不得使所接的端子排受到机械应力 (2) 铠装电缆在进入盘、柜后，应将钢带切断，切断处的端部应扎紧，并应将钢带接地 (3) 使用于静态保护、控制等逻辑回路的控制电缆，应采用屏蔽电缆；其屏蔽层应按设计要求的接地方式予以接地 (4) 橡胶绝缘的芯线应外套绝缘管保护 (5) 盘、柜内的电缆芯线，应按垂直或水平有规律地配置，不得任意歪斜交叉连接；备用芯长度应留有适当余量 (6) 强、弱电回路不应使用同一根电缆，并应分别成束分开排列
5	其他要求	(1) 直流回路中具有水银接点的电器，电源正极应接到水银接点侧的一端 (2) 在油污环境，应采用耐油的绝缘导线；在日光直射环境，橡胶或塑料绝缘导线应采取防护措施

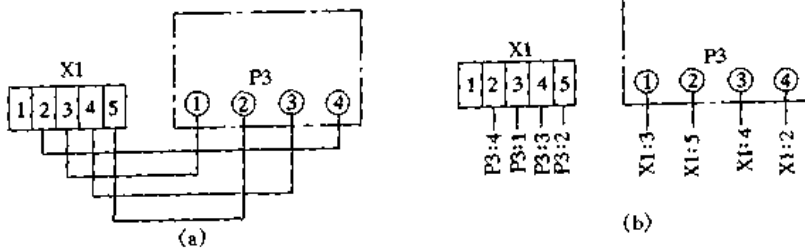


## 二、二次回路简图的类别及其绘制

如表 8-18 所示。

表 8-18 二次回路简图的类别及其绘制

序号	项 目	说 明
1	二次回路原理电路图和安装接线图	<p>(1) 原理电路图：又称“原理接线图”。主要有两种绘制方式</p> <p>1) 集中表示式：一个复合符号的各部分（例如继电器的线圈和触点）都集中在一起的绘制方式，如表 8-14 序号 1.1 中图 a，通常称为“归总式原理图”。在不致引起混淆时，也称为“电路图”或“接线图”（或写作“结线图”）；</p> <p>2) 分开表示式：一个复合符号的各部分按其功能所属回路分开绘制的方式，如表 8-14 序号 1.1 中图 b，通常称为“展开式原理图”，简称“展开图”或“原理图”</p> <p>(2) 安装接线图：是表示一个装置或设备连接关系的一种简图，作为装置或设备接线安装和维修使用，通称“安装图”或“接线图”。必须指出，此处的接线图与上述原理电路图简称的“接线图”（或“结线图”）是不同的。</p>
2	二次回路原理电路图的绘制要求	<p>(1) 集中表示的二次回路原理电路图的绘制应注意以下几点：</p> <p>1) 同一二次设备的各部分符号应集中绘制，其触点与线圈之间用表示功能关系的细虚线连接起来。注意，继电器触点外边不要加方框或半圆框；</p> <p>2) 每一二次设备均应标明其项目代号（文字符号），而且不得雷同，以免引起混淆；</p> <p>3) 所有二次设备的触点位置，均应按“正常状态”绘出，即按设备不带电、不受外力作用下的触点位置绘出</p> <p>(2) 分开表示的二次回路原理电路图的绘制应注意以下几点：</p> <p>1) 二次设备的各部分要分别绘在相应的回路内，按照电流流经的先后顺序从左到右排列成行；而行与行之间也尽量按动作时先后顺序由上往下依次排列。为了便于阅读，一般在原理图的右边（如回路为垂直绘制，则在其上边或下边）对应地标明每行或每组回路的名称或功用，如表 8-10 序号 2、表 8-12 序号 1 和表 8-14 序号 1.1 图 b 等所示；</p> <p>2) 同一二次设备的各部分均应标以同一项目代号（文字符号）；对于其触点，还应在触点两端加注数字序号。例如中间继电器 KM2 有一对常开触点，其两端加注 1、2，另一对常闭触点，其两端则加注 3、4。在文字叙述中，这对常开触点称为 KM2 1-2，另一对常闭触点称为 KM2 3-4。注意，同一电路图中，不同设备的项目代号不能雷同，以免混淆；</p> <p>3) 所有二次设备的触点位置，均应按“正常状态”绘出，即按设备不带电、不受外力作用下的触点位置绘出，与集中表示的电路图要求相同</p>
3	二次回路安装接线图的绘制要求	<p>安装接线图（以下简称“接线图”）是表示一个装置或设备连接关系的简图，应遵循 GB/T6988.3—1997《电气技术用文件的编制 第 3 部分：接线图和接线表》的有关规定：</p> <p>(1) 布局：</p> <p>接线图应采用“位置布局法”，但无需按比例；</p> <p>位置布局法，即元件在图上的布置使其在图上的位置反映其实际相对位置的布局方法，如序号 4 所示</p> <p>(2) 元件和端子的表示方法：</p> <p>元件应采用简单的轮廓如正方形、矩形或圆形表示，或用简化图形表示，也可采用 GB/T4728 中规定的图形符号；</p> <p>端子应表示清楚，但端子符号无需示出，要求绘出的特殊情况除外</p> <p>(3) 导线的表示方法</p> <p>导线采用下列方法之一表示：</p> <p>1) 连续线：用连续线表示端子之间实际的导线，如图 a 所示；</p> <p>2) 中断线：端子之间的连接关系，不直接连接线条，而只在需相连的两端子处标注对面端子的代号，以表示这两端子之间有导线连接。这种中断线的标号方法，称为“相对标号法”或“对面标号法”，如图 b 所示</p>

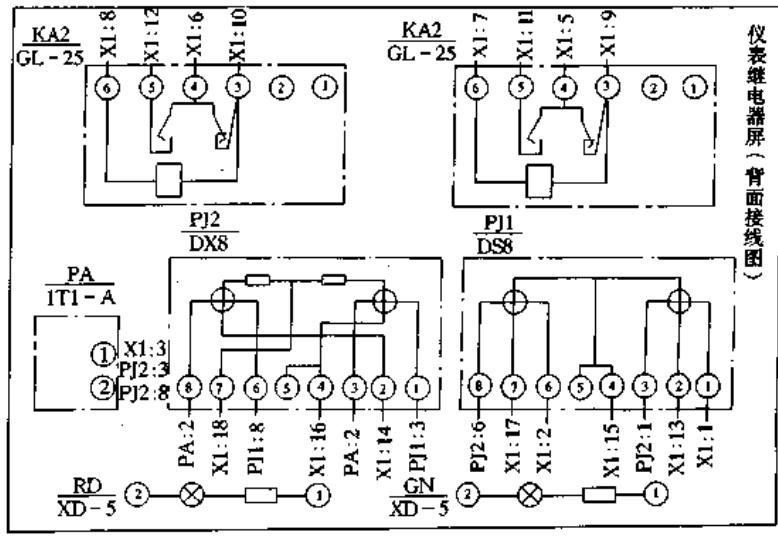


(a) 连接导线的连续线表示法；(b) 连接导线的中断线表示法

序号 项目

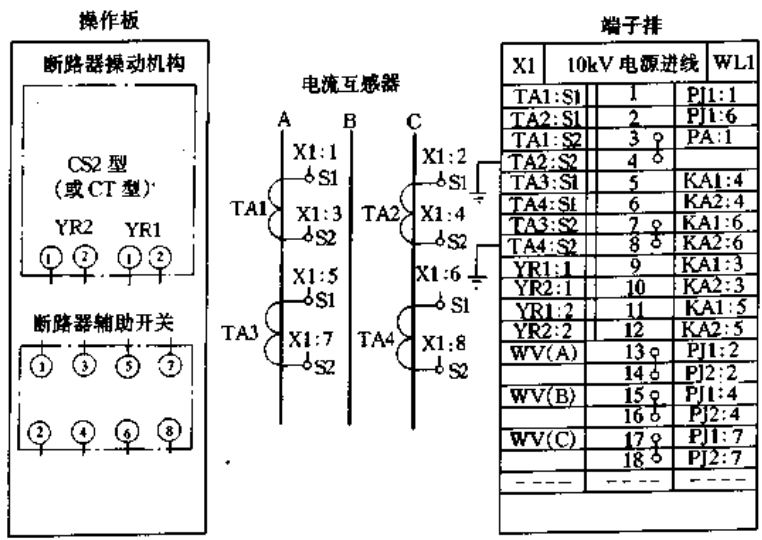
说明

4 高压断路器柜二次回路接线图(示例)



仪表继电器屏(背面接线图)

(a)



X1	10kV 电源进线	WL1
TA1:S1	1	PI1:1
TA2:S1	2	PI1:6
TA1:S2	3 ♀	PA:1
TA2:S2	4 ♂	
TA3:S1	5	KA1:4
TA4:S1	6	KA2:4
TA3:S2	7 ♀	KA1:6
TA4:S2	8 ♂	KA2:6
YR1:1	9	KA1:3
YR2:1	10	KA2:3
YR1:2	11	KA1:5
YR2:2	12	KA2:5
WV(A)	13 ♀	PI1:2
	14 ♂	PI2:2
WV(B)	15 ♀	PI1:4
	16 ♂	PI2:4
WV(C)	17 ♀	PI1:7
	18 ♂	PI2:7
---		---

(b)

# 第九章 动力用电设备及其配电

## 第一节 电动机及其配电

### 一、电动机的类型、特点及其应用范围

(1) 直流电动机的类型、特点及其应用范围如表9-1

所示。

(2) 同步电动机的类型、特点及其应用范围。如表9-2所示。

(3) 异步电动机的类型、特点及其应用范围。如表9-3所示。

表 9-1 直流电动机的类型、特点及其应用范围

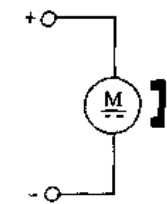
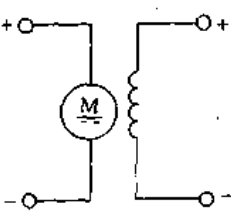
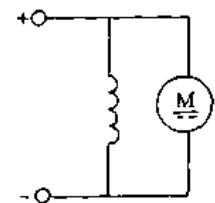
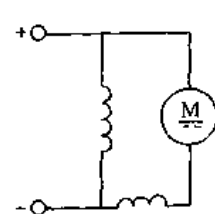
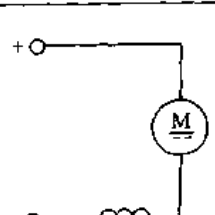
序号	类别	接线图	主要特点	应用范围
1	永磁直流电动机		(1) 起动转矩一般为额定转矩的2倍左右,也可制成为额定转矩的4~5倍 (2) 短时过载转矩一般为额定转矩的1.5倍左右,也可制成为额定转矩的3.5~4倍 (3) 转速变化率约为3%~15% (4) 有较好的调速特性,调速范围较大	主要用于自动控制系统中作为执行元件及一般拖动力用,如力矩电动机
2	他励直流电动机		(1) 起动转矩一般约为额定转矩的2~2.5倍 (2) 短时过载转矩一般约为额定转矩的1.5倍;带补偿绕组时,可达额定转矩的2.5~2.8倍 (3) 转速变化率为5%~20% (4) 采用削弱磁场调速,转速比可达1:2至1:4;特殊设计可达1:8;他励直流电动机可调节电枢电压,调速范围更广	用于起动转矩较大的恒速负载及要求调速的拖动系统,如离心泵、风机、金属切削机床、纺织印染、造纸和印刷机械等
3	并励直流电动机		(1) 起动转矩较大,可达额定转矩的4倍左右 (2) 短时过载转矩比并励电动机大,约可达额定转矩的3.5倍 (3) 转速变化率由复励程度决定,可达25%~30% (4) 采用削弱磁场调速,调整范围可达额定转速的2倍	用于要求起动转矩较大、转速变化不大的负载,如拖动空气压缩机、冶金辅助拖动机械等
4	复励直流电动机		(1) 起动转矩很大,可达额定转矩的5倍 (2) 短时过载转矩可达额定转矩的4倍左右 (3) 转速变化率很大,空载转速极高,因此不允许空载启动 (4) 用外接电阻与串励绕组串联或并联,或将串励绕组串联或并联来实现调速,调速范围较宽	用于要求很大起动转矩、转速允许有较大变化的负载,如电车、电力拖动机车、起货机、起锚机等
5	串励直流电动机			

表 9-2 同步电动机的类型、特点及其应用范围

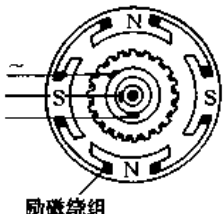
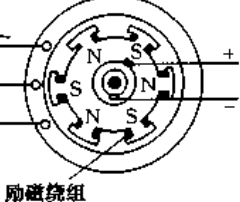
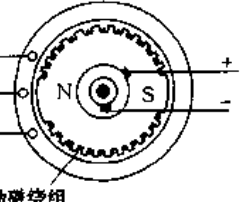
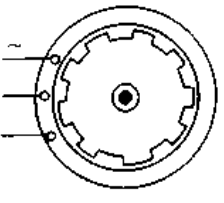
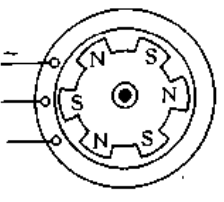
序号	类别	结构示意图	主要特点	应用范围
1	旋转电枢式同步电动机		(1) 转子为电枢绕组; 定子为磁极 (2) 转子结构复杂, 不适于高电压和大电流下工作	只用于某些小型同步电动机
2	凸极式同步电动机		(1) 转子为磁极, 属旋转磁极式同步电动机 (2) 磁极突出, 集中式励磁绕组, 极对数 $p \geq 2$ (3) 转速一般较低 ( $n \leq 1500r/min$ ), 且为恒定转速	用于转速较低 ( $n \leq 1500r/min$ ) 且要求恒转速的场合
3	隐极式同步电动机		(1) 转子为磁极, 亦属旋转磁极式同步电动机 (2) 转子磁极的励磁绕组为分布式, 极对数 $p=1$ (3) 转速为同步转速 $n_0=3000r/min$	用于转速较高 ( $n=3000r/min$ ) 且要求恒转速的场合
4	磁阻式 (又称反应式) 同步电动机		(1) 转子为凸极式, 但没有励磁绕组 (2) 靠定子 (电枢绕组) 旋转磁场的磁力拖动转子同步旋转	用于小功率拖动及控制, 且转速恒定的场合, 如步进电动机
5	永磁式同步电动机		(1) 转子磁场由永磁体产生 (2) 靠定子旋转磁场与转子磁场相互作用产生转矩, 拖动转子同步旋转; 其力能指标较高	亦用于小功率拖动及控制, 且转速恒定的场合

表 9-3 异步电动机的类型、特点及其应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
1	按转子绕组型式分类		
1.1	笼型异步电动机 (Y型)	(1) 笼型转子绕组本身自成闭合回路 (2) 整个转子为一坚实整体, 结构简单牢固 (3) 起动电流倍数 (对额定电流) 较大, 而起动转矩较小	应用非常广泛, 小型交流电动机绝大多数为笼型
1.2	绕线型异步电动机 (YR型)	(1) 转子绕组为分布绕组, 嵌入转子铁芯周边的线槽内; 它必须通过滑环、电刷接入电阻, 以改善其起动特性, 并在必要时用以调节转速 (2) 结构较复杂, 维修工作量增加 (3) 起动电流倍数较小, 而起动转矩较大	主要用于容量较大及要求起动转矩较大、调速性能较好的场合
2	按相数分类		
2.1	单相异步电动机	(1) 定子绕组为单相 (2) 功率一般在 1kW 以下 (3) 只需单相交流电源	适于作小型机械的动力或用于自控系统

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
2.2	三相异步电动机	(1) 定子绕组为三相 (2) 功率从几十瓦到几百千瓦 (3) 需三相交流电源	可作各种机械的动力, 小型的亦可用于自控系统
3	按电动机尺寸分类		
3.1	大型电动机	中心高 $H > 630\text{mm}$ ; 或定子铁芯外径 $D > 1000\text{mm}$	用来拖动大型机械设备
3.2	中型电动机	中心高 $H = 355 \sim 630\text{mm}$ ; 或定子铁芯外径 $D = 500 \sim 1000\text{mm}$	用来拖动中型机械设备
3.3	小型电动机	中心高 $H = 80 \sim 315\text{mm}$ ; 或定子铁芯外径 $D = 100 \sim 500\text{mm}$	用来拖动小型机械设备
4	按电动机外壳防护等级分类 <sup>①</sup>		
4.1	开启式电动机	防护等级为 IP11: (1) 属防护直径大于 50mm 固体侵入的电动机 (2) 属防滴电动机	用于环境正常、没有粉尘、没有水淋、没有腐蚀性气体的场所
4.2	防护式电动机	防护等级为 IP22 或 IP23: (1) 属防护直径大于 12mm 固体侵入的电动机 (2) 属 15°防滴或防淋水的电动机	用于环境正常、没有粉尘、没有腐蚀性气体、但需防手指或工具伸入电机内部及需防 15°水滴的场所
4.3	封闭式电动机	防护等级为 IP44: (1) 属防护直径大于 1mm 固体侵入的电动机 (2) 属防溅水的电动机	用于可能有直径大于 1mm 固体侵入电机及需防溅水的场所
4.4	潜水电动机	防护等级为 IPX8: 电动机在制造厂规定的条件下能长期潜水运行	用于水下
5	按通风冷却方式分类		
5.1	自冷式电动机	冷却介质在电动机内部循环, 通过电动机外壳表面散热	常用于小功率电动机
5.2	自扇冷式电动机	电动机轴上带有扇片, 利用电动机旋转带动风扇, 吸入周围空气散热	常用于正常环境下运行的开启式电动机
5.3	他扇冷式电动机	利用外装风扇来为电动机散热, 冷却介质就是周围空气	用于某些防护式、封闭式电动机
5.4	普通通风式电动机	冷却介质(空气)通过进风管道通入电动机, 吸收热量后再通过出风管道送至离电动机较远处, 散热效果好	用于某些大、中型电动机
6	异步电动机的主要派生类别和专用产品		
6.1	防爆异步电动机(YA、YB、YF)	(1) YA 为增安型, 运行中不产生火花, 并提高了防固体异物和防水的防护等级 (2) YB 为隔爆型, 增强了外壳的机械强度, 即使内部爆炸也不会危及外部 (3) YF 为充气型, 能阻止外界易爆气体进入电动机	主要用于石油、化工、煤矿等有爆炸危险的场所
6.2	起重及冶金用异步电动机(YZ、YZR)	大多数为绕线转子电动机, 较小容量的采用高电阻铝合金浇铸的笼型转子电动机, 其起动转矩大, 能频繁起动、制动及逆转, 过载能力大, 转差率较高	用于冶金和一般起重机械
6.3	电磁调速异步电动机(YCT)	由一般笼型电动机与电磁转差离合器组成, 通过控制器控制离合器的励磁电流来调节转速	用于恒转矩负载设备及风机类设备的无级调速
6.4	齿轮减速异步电动机(YCJ)	由一般异步电动机与圆柱齿轮减速器组合为一体, 能稳定地输出低速大转矩	用于轧钢、造纸、化工、矿山等需低速、大转矩的各种机械设备
6.5	变极多速异步电动机(YD)	利用改变定子绕组的接线方式以改变磁极对数, 得到多种转速。其结构和外形尺寸与 Y 系列相同, 但引出线为 6~12 根	用于机床、印染机、印刷机等需变速的机械设备
6.6	高转差率异步电动机(YH)	其结构和外形尺寸与 Y 系列相同, 只是转子采用高电阻铝合金浇铸, 具有较高的转差率和较大的起动转矩, 机械特性较软	用于惯性矩较大并有冲击性负载机械的传动, 如剪床、压力机、锻压机及小型起重机等
6.7	力矩异步电动机(YLJ)	其机械特性很软, 能在从接近同步转速开始直至堵转都能稳定运转, 转子导条采用高电阻黄铜条, 通常装有独立的鼓风机	用于恒张力、恒线速(卷绕)和恒转矩(导电)传动

续表

序号	类别	主要特点	应用范围
6.8	制动异步电动机 (YEP、YEG、YEZ)	是一种带有断电制动机构的异步电动机。YEP 为旁磁制动型; YEG 为杠杆制动型; YEZ 为锥形转子制动型	用于单梁吊车和机床进给系统等
6.9	高效率异步电动机 (YX)	在 Y 系列电机基础上, 适当增加用铜量和用铁量, 以降低电机的铜损耗和铁损耗, 此外还采取一些先进的工艺技术来进一步提高电机效率。不仅在额定负载下具有较高的效率, 而且在 10%~50% 负载率范围内也具有比较平坦的效率特性	主要用于年运行时间长、负载率较高的设备, 以便获得较大的节能效果
6.10	低振动低噪声异步电动机 (YZC)	转动部分精密平衡, 采用低噪声轴承, 提高轴承精度等, 尽量降低振动和噪声	用于精密机床传动
6.11	电梯用异步电动机 (YTD)	短时工作制, 双速 (一般为 6/24 极), 笼型转子导条采用高电阻铝合金	用于电梯升降动力
6.12	自动阀门用异步电动机 (YDF)	短时工作制, 具有高起动转矩和低转动惯量, 电动机与阀门组合成一体	用于自动开闭输油管、输汽管上的阀门
6.13	木工专用异步电动机 (YM)	转动惯量较小, 过载能力大, 有多种形状和尺寸的轴伸	用于各种木工机械的传动
6.14	辊道用异步电动机 (YG)	定子绕组采用 H 级绝缘 <sup>②</sup> , 笼型转子用高电阻铝合金浇铸。其起动转矩大, 能频繁起动和正反转	用于轧钢辊道传动
6.15	摆线针轮减速异步电动机 (YXJ)	由一般异步电动机与摆线针轮减速器组合成一体, 减速比大	用于拖动低速、大转矩的机械设备
6.16	立式深井泵用异步电动机 (YLB)	立式电动机, 带空心轴, 水泵轴穿过电机空心轴在顶端联接, 装有上逆装置, 只允许单向旋转	电动机与长轴深井泵配套, 用于深井提水
6.17	潜水异步电动机 (YQS、YQSY)	与潜水泵组合成一体的立式电动机。YQS 为井用充水式, 外形细长; 电机内腔充满清水, 各止口接合面以“O”形圈密封; 轴伸端装有防砂密封装置; 定子绕组通常采用聚乙烯尼龙护套耐水电磁线; 电机轴承以水作润滑剂; 零部件采取必要的防锈、防腐蚀措施。YQSY 为井用充油式, 其内腔充满变压器油, 密封方式与 YQS 基本相同; 定子绕组采用加强绝缘的耐油耐水漆包线; 电机下端装有保压装置, 保证内部油压稍大于外部水压	用于与潜水泵配套, 组成潜水电泵, 潜入井下提水或灌溉

注 ① 按 GB4942.1—1985《电机外壳防护分级》规定, 电机防固体侵入分 0~5 共 6 个等级, 防水侵入分 0~8 共 9 个等级, 各等级含义与 GB4208—1993《外壳防护等级的分类》(参看表 4-7) 的规定对应一致。

② 按 JB794—1966《电机、电器和变压器用绝缘材料耐热分级》规定, 耐热等级 (对应的极限温度) 有 Y 级 (90℃)、A 级 (105℃)、E 级 (120℃)、B 级 (130℃)、F 级 (155℃)、H 级 (180℃) 和 C 级 (>180℃) 等 7 个等级。H 级绝缘是“在 180℃ 极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构”; 其相应的绝缘材料, 如用硅有机树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等。

续表

## 二、电动机的选择、起动与保护

(1) 电动机的选择。如表 9-4 所示。

表 9-4 电动机的选择 (据 GB50055—1993)

序号	项目	说明
1	电动机电气、机械参数的选择原则	电动机的工作制、额定功率、堵转转矩、最小转矩、最大转矩、转速及其调节范围等电气和机械参数, 应满足电动机所拖动的机械 (以下简称“机械”) 在各种运行方式下的要求

序号	项目	说明
2	电动机类型的选择原则	电动机类型的选择, 应符合下列规定: (1) 机械对起动、调速及制动无特殊要求时, 应采用笼型电动机; 但功率较大且连续工作的机械, 当在技术经济上合理时, 宜采用同步电动机。 (2) 符合下列情况之一时, 宜采用绕线转子电动机: 1) 重载起动的机械, 选用笼型电动机不能满足起动要求或加大功率不合理时;

续表

序号	项 目	说 明
2	电动机类型的选择原则	<p>2) 调速范围不大的机械,且低速运行时间较短时</p> <p>(3) 机械对起动、调速及制动有特殊要求时,电动机类型及其调速方式应根据技术经济比较确定。在交流电动机不能满足机械要求的特性时,宜采用直流电动机;交流电源消失后必须工作的应急机组,亦可采用直流电动机。变负载运行的风机和泵类机械,当技术经济上合理时,应采用调速装置,并应选用相应类型的电动机</p>
3	电动机额定功率的选择原则	<p>电动机额定功率的选择,应符合下列规定:</p> <p>(1) 连续工作负载平稳的机械应采用最大连续定额的电动机,其额定功率应按机械的轴功率选择。当机械为重载起动时,笼型电动机和同步电动机的额定功率应按起动条件校验;对同步电动机,尚应校验其牵入转矩</p> <p>(2) 短时工作的机械应采用短时定额的电动机,其额定功率应按机械的轴功率选择;当无合适规格的短时定额电动机时,可按允许过载转矩选用周期工作定额的电动机</p> <p>(3) 断续周期工作的机械应采用相应的周期工作定额的电动机,其额定功率宜根据制造厂提供的不同负载持续率和不同起动次数下的允许输出功率选择,亦可按典型周期的等值负载换算为额定负载持续率选择,并按允许过载转矩校验</p> <p>(4) 连续工作负载周期变化的机械应采用相应的周期工作定额的电动机,其额定功率宜根据制造厂提供的数据选择,亦可按等值电流法或等值转矩法选择,并按允许过载转矩校验</p> <p>(5) 选择电动机额定功率时,根据机械的类型和重要性,应计入适当的储备系数</p> <p>(6) 当电动机使用地点的海拔高度和冷却介质温度与规定的工作条件不同时,其额定功率应按制造厂的资料予以校正</p>
4	电动机额定电压的选择原则	电动机的额定电压应根据其额定功率和所在系统的配电电压选定;必要时,应根据技术经济比较确定
5	电动机防护型式及结构和安装型式的选择原则	<p>(1) 电动机的防护型式,应符合其安装场所的环境条件</p> <p>(2) 电动机的结构及安装型式,应与机械相适应</p>

(2) 电动机的起动要求。如表 9-5 所示。

表 9-5 电动机的起动要求(据 GB50055—1993)

序号	项 目	说 明
1	电动机起动对端电压的要求	电动机起动时,其端子电压应能保证机械要求的起动转矩,且在配电系统中引起的电压波动不应妨碍其他用电设备的工作
2	交流电动机起动对母线电压的要求	<p>交流电动机起动时,配电母线上的电压应符合下列规定:</p> <p>(1) 一般情况下,电动机频繁起动时,母线电压不宜低于额定电压的 90%;电动机不频繁起动时,不宜低于额定电压的 85%</p> <p>(2) 配电母线上未接照明或其他对电压波动较敏感的负荷,且电动机不频繁起动时,母线电压不应低于额定电压的 80%</p> <p>(3) 配电母线上未接其他用电设备时,可按保证电动机起动转矩的条件来决定;对低压电动机,尚应保证接触器线圈的电压不低于其释放电压</p>
3	笼型电动机和同步电动机起动方式的选择	<p>笼型电动机和同步电动机起动方式的选择,应符合下列规定:</p> <p>(1) 当符合下列条件时,电动机应全压起动:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 电动机起动时,配电母线的电压符合序号 2 的规定;</li> <li>2) 机械能承受电动机全压起动时的冲击转矩;</li> <li>3) 制造厂对电动机的起动方式无特殊规定</li> </ol> <p>(2) 当不符合全压起动的条件时,电动机宜降压起动,或选用其他适当的起动方式</p> <p>(3) 当有调速要求时,电动机的起动方式应与调速方式相配合</p>
4	绕线转子电动机起动方式的选择	<p>绕线转子电动机宜采用在转子回路中接入频敏变阻器或电阻器起动,并应符合下列要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 起动电流平均值不宜超过电动机额定电流的 2 倍或制造厂的规定值</li> <li>2) 起动转矩应满足机械的要求</li> <li>3) 当有调速要求时,电动机的起动方式应与调速方式相配合</li> </ol>
5	直流电动机起动方式的选择	<p>直流电动机宜采用调节电源电压或电阻器降压起动,并应符合下列要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 起动电流不宜超过电动机额定电流的 1.5 倍,或制造厂的规定值</li> <li>2) 起动转矩和调速特性应满足机械的要求</li> </ol>

(3) 电动机的保护要求。如表 9-6 所示。

### 三、部分常用异步电动机起动、保护电器及导线的选择

如表 9-7~表 9-9 所示。

表 9-6 电动机的保护要求 (据 GB50055—1993 和 GB50062—1992)

序号	项 目	说 明
1		低压电动机的保护 (据 GB50055—1993)
1.1	低压电动机应装设的保护种类	<p>(1) 交流电动机应装设短路保护和接地故障保护, 并应根据具体情况分别装设过载保护、断相保护和低电压保护。同步电动机尚应装设失步保护</p> <p>(2) 直流电动机应装设短路保护, 并可根据需要装设过载保护。他励、并励及复励电动机宜装设弱磁或失磁保护。串励电动机和被拖动机械有超速危险的电动机应装设超速保护</p>
1.2	相间短路保护器件的装设要求	<p>(1) 每台交流电动机应分别装设相间短路保护; 但符合下列条件之一时, 数台交流电动机可共用一套短路保护电器:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 总计算电流不超过 20A, 且允许无选择地切断时;</li> <li>2) 根据工艺要求, 必须同时起停的一组电动机, 不同时切断将危及人身设备安全时</li> </ol> <p>(2) 交流电动机的短路保护器件, 宜采用熔断器或低压断路器的瞬动过电流脱扣器; 必要时, 可采用带瞬动元件的过电流继电器。保护器件的装设应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 短路保护兼作接地故障保护时, 应在每个不接地的相线上装设;</li> <li>2) 仅作相间短路保护时, 熔断器应在每个不接地的相线上装设, 过电流脱扣器或继电器应至少在两相上装设;</li> <li>3) 当只在两相上装设时, 在有直接电气联系的同一网络中, 保护器件应装设在相同的两相上</li> </ol> <p>(3) 当交流电动机正常运行、正常起动或自起动时, 短路保护器件不应误动作。为此, 应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 正确选择保护电器的使用类别; 熔断器、低压断路器和过电流继电器宜采用保护电动机型;</li> <li>2) 熔断体的额定电流应大于电动机的额定电流, 且其安秒特性曲线及偏差后略高于电动机起动电流和起动时间的交点<sup>[注]</sup>。当电动机频繁起动和制动时, 熔断体的额定电流应再加大 1~2 级;</li> <li>3) 瞬动过电流脱扣器或过电流继电器瞬动元件的整定电流, 应取电动机起动电流的 2~2.5 倍</li> </ol> <p>[编者注] 熔断器熔体电流的选择, 通常还是采用起动电流乘一个小于 1 的计算系数的方法, 如表 7-2 序号 1 所述。文献 [4] 和 [5] 则是采用起动电流除以一个大于 1 的计算系数 (起动时间不长时除以 2.5~3, 起动时间长或频繁起动时除以 1.6~2), 也是为了简化计算</p>
1.3	接地故障保护器件的装设要求	<p>交流电动机的接地故障保护应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 每台电动机应分别装设接地故障保护, 但共用一套短路保护电器的数台电动机, 可共用一套接地故障保护器件</li> <li>(2) 接地故障保护应符合现行国家标准《低压配电设计规范》的规定</li> <li>(3) 当电动机的短路保护器件满足接地故障保护要求时, 应采用短路保护兼作接地故障保护</li> </ol>
1.4	过载保护器件的装设要求	<p>(1) 交流电动机的过载保护装设应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 运行中容易过载的电动机, 起动或自起动条件困难而要求限制起动时间的电动机, 应装设过载保护。额定功率大于 3kW 的连续运行电动机宜装设过载保护, 但断电导致损失比过载更大时, 不宜装设过载保护, 或使过载保护动作于信号;</li> <li>2) 短时工作或断续周期工作的电动机, 可不装设过载保护; 当电动机运行中可能堵转时, 应装设保护电动机堵转的过载保护</li> </ol> <p>(2) 交流电动机过载保护器件的动作特性应与电动机过载特性相配合。过载保护器件宜采用热过载继电器 (以下简称“热继电器”) 或反时限特性的过载脱扣器, 亦可采用反时限过电流继电器。有条件时, 可采用温度保护或其他适当的保护</p> <p>(3) 当交流电动机正常运行、正常起动或自起动时, 过载保护器件不应误动作, 并应符合下列规定:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 热继电器或过载脱扣器的整定电流, 应接近但不小于电动机的额定电流;</li> <li>2) 过载保护的動作时限应躲过电动机的正常起动或自起动时间。过电流继电器的整定电流应按下式确定:</li> </ol> $I_{op(OL)} = \frac{K_{rel}K_w}{K_{re}K_i} I_{N.M}$ <p>式中 <math>I_{op(OL)}</math> 为过电流继电器的整定电流; <math>I_{N.M}</math> 为电动机额定电流; <math>K_{rel}</math> 为可靠系数, 动作于跳闸时取 1.2, 动作于信号时取 1.05; <math>K_w</math> 为接线系数, 接于相电流时取 1.0, 接于相电流差时取 <math>\sqrt{3}</math>; <math>K_{re}</math> 为继电器返回系数, 取 0.85; <math>K_i</math> 为电流互感器变流比;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3) 必要时, 可在起动过程的一定时限内短接或切除过载保护器件</li> </ol>



续表

序号	项 目	说 明
1.5	断相保护器件的装设要求	交流电动机的断相保护应符合下列规定： (1) 连续运行的三相电动机，当采用熔断器保护时，应装设断相保护。当采用低压断路器保护时，宜装设断相保护；当低压断路器兼作电动机控制电器时，可不装设断相保护 (2) 短时工作或断续周期工作的电动机或额定功率不超过 3kW 的电动机，可不装设断相保护 (3) 断相保护器件宜采用断相保护热继电器，亦可采用温度保护或专门的断相保护装置
1.6	低电压保护器件的装设要求	交流电动机的低电压保护应符合下列规定： (1) 按工艺或安全条件不允许自起动的电动机，或为保证重要电动机自启动而需要切除的次要电动机，应装设低电压保护。次要电动机宜装设瞬时动作的低电压保护。不允许自启动的重要电动机，应装设短延时的低电压保护，其时限可取 0.5~1.5s (2) 需要自启动的重要电动机，不宜装设低电压保护；但按工艺或安全条件在长时间停电后不允许自启动时，应装设长延时的低电压保护，其时限可取 9~20s (3) 低电压保护器件宜采用低压断路器的欠电压脱扣器或接触器的电磁线圈；必要时，可采用低电压继电器和时间继电器。当采用电磁线圈作低电压保护时，其控制回路宜由电动机主回路供电；当由其他电源供电，主回路失压时，应自动断开控制电源 (4) 对于不装设低电压保护或装设延时低电压保护的重要电动机，当电源电压中断后在规定的时限内恢复时，其接触器应维持吸合状态或者能重新吸合
1.7	失步保护的装设要求	同步电动机应装设失步保护。失步保护宜动作于断开电源，亦可动作于失步再整步装置。失步保护可装设在转子回路中或用定子回路的过载保护兼作失步保护；必要时，应在转子回路中加装失磁保护和强行励磁装置
2	高压电动机的保护 (据 GB50062—1992)	
2.1	高压交流电动机的应装设的保护种类	对电压 3kV 及以上的异步电动机和同步电动机的下列故障及异常运行方式，应装设相应的保护装置： (1) 定了绕组的相间短路 (2) 定子绕组的单相接地 (3) 定子绕组过负荷 (4) 定子绕组低电压 (5) 同步电动机失步 (6) 同步电动机失磁 (7) 同步电动机出现非同步冲击电流
2.2	相同短路保护装置的装设要求	对电动机绕组及引出线的相间短路，装设相应的保护装置，应符合下列规定： (1) 2MW 以下的电动机，宜采用电流速断保护，保护装置宜采用两相式 (2) 2MW 及以上的电动机，或电流速断保护灵敏系数不符合要求的 2MW 以下电动机，应装设纵联差动保护 (3) 保护装置应动作于跳闸；对于具有自动灭磁装置的同步电动机，保护装置尚应动作于灭磁
2.3	单相接地故障保护装置的装设要求	(1) 当接地电流大于 5A 时，应装设有选择性的单相接地保护 (2) 当接地电流小于 5A 时，可装设接地检测装置 (即绝缘监视装置) (3) 单相接地电流为 10A 及以上时，保护装置动作于跳闸；单相接地电流为 10A 以下时，保护装置可动作于跳闸或信号
2.4	过负荷保护装置的装设要求	(1) 生产过程中易发生过负荷的电动机应装设过负荷保护；保护装置应根据负荷特性，带时间作用于信号或跳闸 (2) 启动或自启动困难、需要防止启动或自启动时间过长的电动机，应装设过负荷保护，保护装置应动作于跳闸
2.5	低电压保护装置的装设要求	(1) 当电源电压短时降低或短中中断后又恢复时，需要断开的次要电动机和有备用自动投入机械的电动机，应装设低电压保护 (2) 根据生产过程不允许或不需要自起动的电动机，应装设低电压保护 (3) 在电源电压长时间消失后须从电网中自动断开的电动机，应装设低电压保护 (4) 保护装置应动作于跳闸
2.6	同步电动机失步保护和失磁保护的装设要求	(1) 对同步电动机失步，应装设失步保护，失步保护应带时限动作。对于重要电动机，动作于再同步控制回路；不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机，应动作于跳闸 (2) 对同步电动机失磁可能引起母线电压严重降低时，宜装设失磁保护。失磁保护应带时限动作于跳闸

续表

序号	项目	说明
2.7	同步电动机防止非同步冲击电流保护的装设要求	2MW及以上以及不允许非同步冲击的同步电动机,应装设防止电源短时中断而恢复时造成非同步冲击的保护 保护装置应确保在电源恢复前动作。重要电动机的保护装置,应作用于再同步控制回路;不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机,保护装置应动作于跳闸

3 高压电动机保护装置接线示例

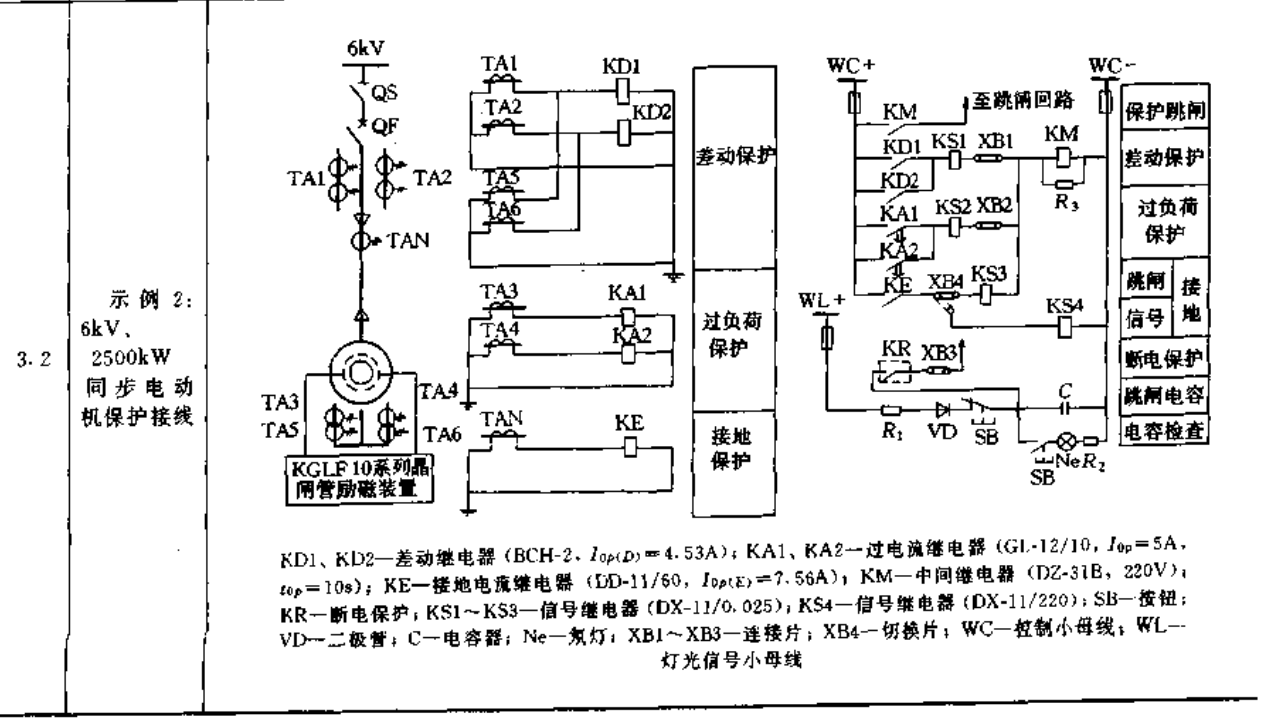
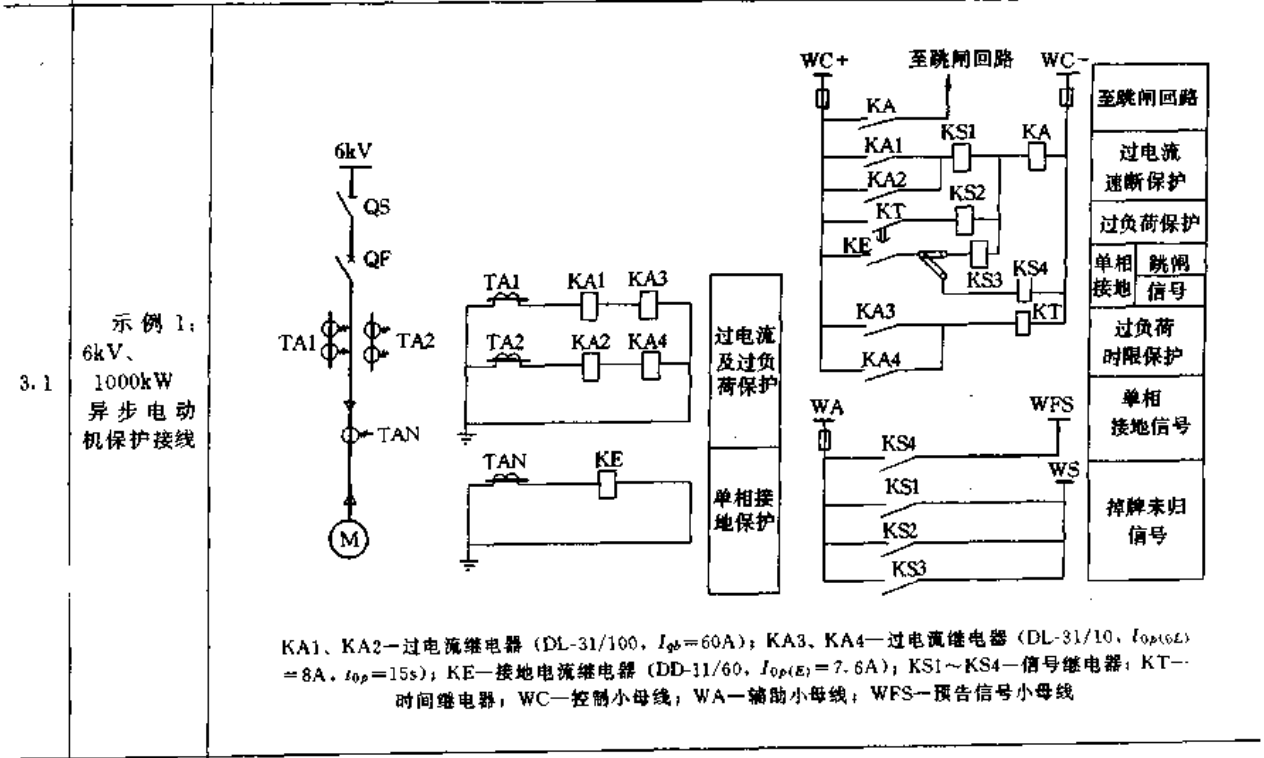


表 9-7 Y 系列 (IP44 或 IP23') 系列电动机启动、保护电器及导线的选择<sup>[6]</sup>

型号 Y	额定 功率 (kW)	额定 电流 (A)	启动 电流 (A)	轻载全压启动						BLX、BLV 型 导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 钢管直径 G (mm)																																																																		
				熔管电流/ 熔体电流 (A)		断路器电流/ 脱扣器电流 (A)		接触器-热继电器 和磁力启动 器额定电流 (A)		25℃	30℃	35℃																																																																
				RT0	RL6	DZ20	TO、TG	CJ20 JR0	QC10																																																																			
801-4	0.55	1.51	10	50/5	25/16	100/16	100/15 (C45N-4) 40/3	10, 1.6	2/16 2.4	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																																																
801-2	0.75	1.81	13	50/10				25/10					100/15 (C45N-4) 40/5	10	2/6 3.5	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																																										
802-4		2.01	13											2.4					10 3.5	2/6 3.5	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																																					
90S-6		2.25	14											10 5										2/6 5	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																																	
802-2	1.1	2.52	18																									50/15	25/16	100/15 (C45N-4) 40/10	10	2/6 5	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																									
90S-4		2.75	18																												7.2					10 7.2	2/6 7.2	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																				
90L-6		3.15	19																												100/15 (C40N-4) 40/10										2/6 11	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																																
90S-2	1.5	3.44	24																																										50/20	25/20	100/15 (C40N-4) 40/15	10	2/6 11	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																								
90L-4		3.65	24																																													10 11					2/6 11	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15																				
100L-6		3.97	24																																																						100/20 (C40N-4) 40/15	3/6 16	2.5 G15	2.5 G15	2.5 G15															
90L-2	2.2	4.74	33		50/30	63/35	100/20 (C40N-4) 40/15		10	3/6 16	2.5 G15	2.5 G15																																																		2.5 G15														
100L <sub>1</sub> -4		5.03	33	50/40				63/50	100/20 (C40N-4) 40/20				16		3/6 24	4 G20	4 G20	4 G20																																																										
112M-6		5.61	34										50/50						63/63	100/32	100/40	7.2	4 G20																																								4 G20	4 G20	4 G20											
132S-8	5.81	32	50/60											100/80								100/40		100/50	10	4 G20	4 G20																																							4 G20	4 G20									
100L-2	3.0	6.39																							45			50/80	100/80	100/40		100/50	10	4 G20	4 G20																																	4 G20	4 G20							
100L <sub>2</sub> -4		6.82																							48								50/100			100/80	100/40	100/50	11	4 G20																														4 G20	4 G20	4 G20				
132S-6		7.23																							47						50/120								100/80		100/40	100/50	11	4 G20																													4 G20	4 G20	4 G20	
132M-6	7.72	43																							50/150																		100/80		100/40	100/50	11		4 G20	4 G20	4 G20	4 G20																								
112M-2	4.0	8.17																																													57	50/200					100/80	100/40	100/50	10																				4 G20
112M-4		8.77																																													61									50/250	100/80	100/40	100/50	11	4 G20															
132M <sub>1</sub> -6		9.40			61	50/300	100/80			100/40	100/50	11																																			4 G20													4 G20		4 G20														
160M <sub>1</sub> -8	9.91	60		50/400	100/80			100/40	100/50			11			4 G20	4 G20	4 G20	4 G20																																																										
132S <sub>1</sub> -2	5.5	11.1										78	50/500						100/80	100/40	100/50		16																																								4 G20	4 G20	4 G20											
132S <sub>1</sub> -4		11.6	81									50/600		100/80								100/40	100/50	16		4 G20	4 G20																																							4 G20	4 G20									
132M <sub>2</sub> -6		12.6	82																					50/700				100/80	100/40	100/50		16		4 G20	4 G20																																	4 G20	4 G20							
160M <sub>2</sub> -8	13.3	80	50/800																													100/80	100/40			100/50	16	4 G20		4 G20																														4 G20	4 G20					
* 160M-8	13.7	75																													50/900						100/80		100/40		100/50	16		4 G20																												4 G20	4 G20	4 G20		
132S <sub>2</sub> -2	7.5	15																							105																	50/1000	100/80		100/40	100/50			16	4 G20	4 G20	4 G20																							4 G20	
132M-4		15.4																							108																							50/1200	100/80				100/40	100/50	16																					4 G20
160M-6		17																							111																														50/1500	100/80	100/40	100/50	16		4 G20															
* 160M-6	17	111				50/1800	100/80			100/40	100/50														16																						4 G20												4 G20	4 G20		4 G20														
160L-8	17.7	97		50/2000	100/80			100/40	100/50						16	4 G20	4 G20	4 G20							4 G20																																																			
160M <sub>1</sub> -2	11	21.8											153		50/2500				100/80	100/40	100/50																																										25.22	4 G20	4 G20											
160M-4		22.6										158	50/3000	100/80								100/40	100/50			4/6	4 G20																																				4 G20			4 G20	4 G20									
160L-6		24.6										160												50/3500		100/80		100/40	100/50	24				4 G20	4 G20																																	4 G20	4 G20							
180L-8	25.1	151	50/4000									100/80																		100/40		100/50	4/6			4 G20		4 G20		4 G20																														4 G20						
* 160M-4	22.6	158																													50/4500		100/80				100/40		100/50		33			4 G20																											4 G20	4 G20	4 G20			
* 160L-6	24.5	159																																							50/5000	100/80	100/40		100/50	4/6, 24				4 G20	4 G20	4 G20																						4 G20		
* 180M-8	26.1	157																																												50/5500		100/80	100/40				100/50	4/6, 24																					4 G20	4 G20
160M <sub>2</sub> -2	15	29.4																																																				206	50/6000	100/80	100/40	100/50			4/6															
160L-4		30.3				212	50/7000			100/80	100/40																																				100/50							33					4 G20	4 G20	4 G20	4 G20														
180L-6		31.4		204	50/8000	100/80		100/40	100/50							33	4 G20	4 G20							4 G20																													4 G20																						

续表

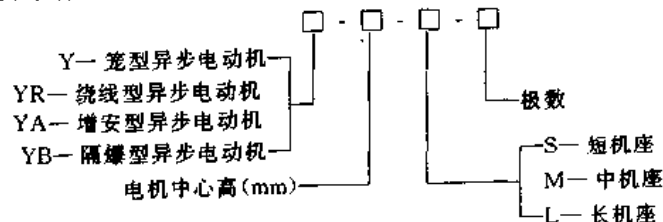
型号 Y	额定 功率 (kW)	额定 电流 (A)	起动 电流 (A)	轻载全压启动						BLX、BLV型 导线截面(mm <sup>2</sup> ) 钢管直径G(mm)					
				熔管电流/ 熔体电流 (A)		断路器电流/ 脱扣器电流 (A)		接触器-热继电器 和磁力启动 器额定电流 (A)		25 C	30 C	35 C			
				RT0	RL6	DZ20	TO、TG	CJ20 JR0	QC10						
200L-8	15	34.1	205	100/60	100/80	100/40	100/50	40,45	4/6,45	10, G25	10 G25	10 G25			
* 160M-2		29.6	207					40	4/6	6					
* 160L <sub>1</sub> -4		30.1	211					32	33	G20					
* 180M-6		32	208												
* 180L-8		34.5	207												
160L-2	18.5	35.5	249	100/80	100/100	100/50	100/60	40 45	4/6 45	10 G25	10 G25	16,G32			
180M-4		35.9	251												
200L <sub>1</sub> -6		37.7	245												
225S-8		41.3	248												
* 160L <sub>1</sub> -2		35.7	250												
* 160L <sub>2</sub> -4		36.9	258												
* 180L-6		38.3	249												
* 200M-8		40.7	244												
180M-2	22	42.2	295	200/125	100/80	100/63	100/75	60 45	5/6 50	16 G32	16 G32	16,G30			
180L-4		42.5	299												
200L <sub>2</sub> -6		44.6	290												
225M-8		47.6	286					60,63							
* 160L <sub>2</sub> -2		42.2	295												
* 180M-4		43.7	306					60 45							
* 200M-6		44.2	287												
* 200L-8		48.2	289					60,63							
200L <sub>1</sub> -2	30	56.9	398	100/100	100/80	100/100	63 63	5/6 72	25 G32	25 G32	25 G32	25 G32			
200L-4		56.8	398												
225M-6		59.5	387												
250M-8		63.0	378										63.85	6/6,72	
* 180M-2		57.2	400												
* 180L-4		58.2	407				63 63	5/6 72							
* 200L-6		59.2	385												
* 225M-8		63.7	382				63.85								
200L <sub>2</sub> -2	37	69.8	487	200/120	200/160	100/100	225/125	100 85	6/6 72	35 G32	35 G32	35 G32			
225S-4		69.8	487												
250M-6		72	468										6/6 100		

续表

型号 Y	额定 功率 (kW)	额定 电流 (A)	起动 电流 (A)	轻载全压起动						BLX、BLV型 导线截面(mm <sup>2</sup> ) 钢管直径G(mm)		
				熔管电流/ 熔体电流 (A)		断路器电流/ 脱扣器电流 (A)		接触器-热继电器 和磁力启动 器额定电流 (A)		25℃	30℃	35℃
				RT0	RL6	DZ20	TO、TG	CJ20 JR0	QC10			
280S-8	37	78.2	469	200/120	200/160	100/100	225/125	100	6/6	35	35	35
* 180L-2		70.2	491						6/6			
* 200M-4		71.4	500						72			
* 225M-6		72.2	469						6/6			
* 250S-8		78.1	469						100			
225M-2	45	83.9	587	200/150	200/160	200/125	225/150	100	6/6	35	50	50
225M-4		84.2	589						100			
280S-6		85.4	555						120			
280M-8		93.2	559						6/6			
* 200M-2		84.9	594						100			
* 200L-4		86.4	605						100			
* 250S-6		87.4	568						100			
* 250M-8		94.4	566						100			
250M-2	55	103	721	200/200	200/160	200/160	225/175	160	7/6	50	70	70
250M-4		103	721						120			
280M-6		104	676						120			
315S-8		111	722						7/6			
* 200L-2		103.2	722						120			
* 225M-4		103.8	727						120			
* 250M-6		105.6	686						120			
* 280S-8		114.8	689						120			
280S-2	75	140	980	400/250	200/200	200/180	225/200	160	7/6	70	95	95
280S-4		140	980						160			
315S-6		141	912						160			
315M-8		150	975						7/6			
* 225M-2		139.9	979						160			
* 250S-4		140.8	986						160			
* 280S-6		143.1	930						160			
* 280M-8		155.7	934						160			

注意，在表 9-7 中：

(1) 异步电动机型号的表示和含义



(2) 低压断路器 DZ20 系列按其极限分断能力分为：Y—一般型，J—较高型，G—最高型；TO 系列中 O—一般分断能力型，TG 系列中 G—高分断能力型。

(3) 表中型号前标有“\*”号者，表示该电动机的外壳防护等级为 IP23；未标者，防护等级为 IP44。

(4) 表中加括号者为 C45N-4 型低压断路器的“断路器电流/脱扣器电流 (A)”数据。

表 9-8 YR 系列 (IP23 或 IP44) 电动机启动、保护电器及导线的选择<sup>(6)</sup>

型号 YR	额定 功率 (kW)	定子 电流 (A)	转子 电压 (V)	转子 电流 (A)	控制箱 (柜) 型号规格	BLX、BLV 型导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 及钢管管径 G (mm)											
						定 子		转 子		轻 载		重 载					
						30°C 截面	G	35°C 截面	G	截面	G	截面	G				
(IP23)						(热元件应改为:											
160M-8	4	10.7	262	11	XQP□-14	3×2.5	15	3×2.5	15	3×2.5	15	3×2.5	15				
160M-6	5.5	13.2	279	13		11A	3×2.5	15	3×4	20	3×4	20	3×6	20			
160L-8		14.4	243	15		16A											
160M-4	16.3	260	19	24A		3×4	20	3×4	20	3×4	20	3×4	20	3×6	20		
160L <sub>1</sub> -6	17.6	260	19		33A	3×6	20	3×6	20	3×6	20	3×6	20	3×2.5	15		
180M-8	19.2	105	49	37	XQP□-17	3×10	25	3×10	25	3×10	25	3×4	20	3×4	20		
160L <sub>1</sub> -4	23.1	275	26			33A	3×10	25	3×10	25	3×10	25	3×2.5	15	3×2.5	15	
180M-6	25.4	146	50				3×4	20	3×4	20	3×4	20	3×4	20	3×6	20	
180L-8	27.6	140	53	3×6	20		3×6	20	3×6	20	3×6	20	3×6	20			
160L <sub>2</sub> -4	31.4	260	37	64	XQP□-20~22	3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×4	20	3×4	20		
180L-6	33.7	187	53			3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×6	20	3×6	20
200M-8	36.7	153	64			3×10	25	3×10	25	3×10	25	3×10	25	3×6	20	3×6	20
180M-4	37.1	197	61	64	XQP□-20~22 或 GTT6121-10E <sub>2</sub> 3	3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×6	20	3×6	20		
200M-6	40.4	187	65			3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×6	20	3×6	20
200L-8	44.8	187	64			3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×6	20	3×6	20
180L-4	43.2	232	61	90	XQP□-28~30 或 GTT6121-10E <sub>2</sub> 3	3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×10	25	3×10	25		
200L-6	46.6	224	63			3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×6	20	3×10	25
225M <sub>1</sub> -8	49.8	161	90			3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×10	25	3×16	32
200M-4	58.2	255	76	97	XQP□-28~30 或 GTT6121-10E <sub>2</sub> 3	3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×6	20	3×10	25		
225M <sub>1</sub> -6	61.3	227	86			3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×6	20	3×10	25
225M <sub>2</sub> -8	66.3	200	97			3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×10	25	3×16	32

续表

型号 YR	额定 功率 (kW)	定子 电流 (A)	转子 电压 (V)	转子 电流 (A)	控制箱(柜)型号规格	BLX、BLV型导线截面(mm <sup>2</sup> )及钢管管径G(mm)											
						定 子			转 子								
						30C		35C		轻 载		重 载					
						截面	G	截面	G	截面	G	截面	G				
(IP23)																	
200L-4		71.8	346	74	XQP□-40或GTT6121-15E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×35	32	3×35	32	3×6	20	3×10	25				
225M <sub>2</sub> -6	37	74.7	287	82	XQP□-45或GTT6121-15 <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×50	50	3×50	50	3×10	25	3×25	32				
250S-8		81.3	218	110						3×16	32	3×16	32	3×10	25	3×25	32
225M <sub>1</sub> -4		88.3	240	120	XQP□-55~60或GTT6121-15E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×70	50	3×70	50	3×16	32	3×25	32				
250S-6	45	90.4	307	93						3×10	25	3×16	32	3×10	25	3×25	32
250M-8		97.8	264	109						3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×35	32
225M <sub>2</sub> -4		106.7	288	121						3×70	70	3×95	70	3×10	25	3×16	32
250M-6	55	108.6	359	97	XQP□-65~75或GTT6121-25E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×95	70	3×95	70	3×16	32	3×25	32				
280S-8		117.4	279	125						3×16	32	3×25	32	3×16	32	3×25	32
315S-10		113	241	141.9						3×16	32	3×16	32	3×16	32	3×35	32
250S-4		143.1	449	105						3×120	70	3×120	70	3×10	25	3×16	32
280S-6	75	144.7	392	121	XQP□-95~100或GTT6121-25E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	2(3×50)	2(50)	2(3×70)	2(50)	3×16	32	3×25	32				
280M-8		156.3	359	131						3×35	32	3×35	32	3×10	25	3×25	32
315M <sub>1</sub> -10		154	316	146.1						3×35	32	3×35	32	3×10	25	3×25	32
250M-4		170.8	524	107						2(3×50)	2(50)	2(3×70)	2(50)	3×10	25	3×25	32
280M-6	90	170.8	481	168	2(3×50)	2(50)	2(3×70)	2(50)	2(50)	3×25	32						
315S-8		179	160	201						3×35	32	3×35	32	3×35	32	3×50	50
315M <sub>2</sub> -10		188	343	162.3						3×25	32	3×25	32	3×25	32	3×25	32

续表

型号 YR	BLX、BLV 型导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 及钢管管径 G (mm)												
	额定 功率 (kW)	定子 电流 (A)	转子 电压 (V)	转子 电流 (A)	控制箱 (柜) 型号规格	定 子		转 子		G			
						30 C		35 C			轻 载	重 载	
						截面	G	截面	G				截面
280S-4		205.2	349	196	XQP□-110~115 或 GTT6121-25E <sub>2</sub> 3	2(3×50)	2(50)	2(3×70)	2(50)	3×50	50		
315S-6	110	210	359	190.7								3×35	32
315M <sub>1</sub> -8		218	192	203									
280M-1		243.6	419	194	XQP□-130~135 或 GTT6121-40E <sub>2</sub> 3	2(3×70)	2(50)	2(3×95)	2(70)	3×50	50		
315M <sub>1</sub> -6	132	217	410	199.5								3×35	32
315M <sub>2</sub> -8		257	213	220									
315S-4	160	295	451.1	240.7	XQP□-180~185 或 GTT6121-60E <sub>2</sub> 3	2(3×95)	2(70)	2(3×120)	2(70)	3×50	50		
315M <sub>2</sub> -6		298	479	206.3								3×35	32
315M <sub>1</sub> -4	185	339	521.3	219.3	XQP□-180~185 或 GTT6121-60E <sub>2</sub> 3	2(3×120)	2(70)	2(BX <sub>3</sub> ×95) 2(BV <sub>3</sub> ×95)	2(70)	3×50	50		
	200	362	521	237.2								3×35	32
315M <sub>2</sub> -4	220	397	595.5	226.1	XQP□-210~225 或 GTT6121-60E <sub>2</sub> 3	2(BX <sub>3</sub> ×95) 2(BV <sub>3</sub> ×95)	2(70)	2(BX <sub>3</sub> ×120) 2(BV <sub>3</sub> ×120)	2(70)	3×50	50		
	250	451	595.7	258		2(BX <sub>3</sub> ×120) 2(BV <sub>3</sub> ×120)	2(70)	2(BX <sub>3</sub> ×150) 2(BV <sub>3</sub> ×150)	2(70)				

(IP23)





续表

型号 YR	额定 功率 (kW)	定子 电流 (A)	转子 电压 (V)	转子 电流 (A)	控制箱(柜)型号规格	BLX、BLV型导线截面(mm <sup>2</sup> )及钢管管径G(mm)							
						定 子			转 子				
						30℃ 截面	G	截面	35℃ 截面	G	截面	轻 载	G
(IP44)													
200L <sub>2</sub> -4		43.2	293	47	XQP□-20~22或GTT6121-10E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×16	32	3×16	32	3×4	20	3×6	20
225M <sub>2</sub> -6	22	45	224	61		3×16	32	3×16	32	3×6	20	3×10	25
250M <sub>1</sub> -8		48.7	210	65.5									
225M <sub>2</sub> -4		57.6	360	51.5				3×25	32	3×4	20	3×6	20
250M <sub>1</sub> -6	30	60.3	282	66	XQP□-20~30或GTT6121-10E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×25	32	3×25	32			3×10	25
250M <sub>2</sub> -8		66.1	270	69									
250M <sub>1</sub> -4		71.4	289	79						3×6	20	3×16	32
250M <sub>2</sub> -6	37	73.9	331	69	XQP□-40或GTT-15E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×35	32	3×35	32			3×10	25
280S-8		78.2	281	81.5								3×16	32
250M <sub>2</sub> -4		85.9	340	81		3×35	32					3×16	32
280S-6	45	87.9	362	76	XQP□-45或GTT6121-15E <sup>2</sup> <sub>3</sub>				50	3×6	20	3×10	25
280M-8		92.9	359	76		3×50	50	3×50	50				
280S-4		93.8	485	70									
280M-6	55	106.9	423	80	XQP□-55~60或GTT6121-15E <sup>2</sup> <sub>3</sub>				50			3×16	32
280M-4	75	140	354	128	XQP□-65~75或GTT6121-25E <sup>2</sup> <sub>3</sub>	3×70	50	3×95	65	3×16	32	3×25	32

\* 绕线型电动机启动后电刷不短接时，转子回路导线应按转子电流选择导线截面，表内转子回路导线截面按环境温度35℃时选择的。  
 \*\* 表中型号XQP后面的框为负载分类代号，用数字表示：1、2代表轻载，4代表重载，表中型号GTT6121-□E后面的2或3代表控制回路电压为220V或380V。



续表

型号 YA	额定功率 (kW)	额定电流 (A)	起动电流 (A)	随转时间 (s)	熔管电流/熔体电流 (A)			轻载全压启动			热继电器额定 电流(A)			BX、BV型导线截面 (mm <sup>2</sup> )钢管直径G(mm)				
					断路器电流/脱扣器 电流(A)			热继电器额定 电流(A)	热继电器额定 电流(A)	25°C			30°C			35°C		
					NT	RT0	RL6			DZ20□-T□-(C45N-4)	3UA59e-..	25°C	30°C	35°C				
132S <sub>2</sub> -2		14.3	92.9	8														
132M-4		15.2	114	8														
160M-6	7.5	17	102	10	0/32	50/40			100/20	(40/20)	25	12.5-20	2.5	2.5	G15			
160L-8		17.7	108	10			63/63									4	G20	
160M <sub>2</sub> -2		21	147	7												4	G20	
160M-4	11	22.6	158	5.5	0/40	50/50			100/32	100/40		20-32	4	G20				
180L-8		25.4	175	8							40	25-40	6	G20				
180L-6	15	31.4	232	10	0/50	100/60	100/80		100/40	100/50			6	G20				
200L-8		34.1	211	10														
180M-2		34.9	289	10														
180M-4		35.9	298	10														
200L <sub>1</sub> -6	18.5	37.7	253	10	0/63	100/80	100/100		100/50	100/60		32-45	10	G25				
225S-8		41.3	215	10														
180M-2		42.2	376	10														
180L-4		42.5	327	10														
200L <sub>2</sub> -6	22	44.6	285	7	0/80	100/100	200/125		100/63	100/75		40-57	10	G25				
225M-8		47.6	257	10														
200L <sub>1</sub> -2		56.9	449	10														
200L <sub>2</sub> -2		56	375	7														
200L-4	30	56.8	398	10	0/100	100/120			100/80	100/100		50-63	16	G32				
225S-4		57.8	403	6														

\* 表中YA系列电动机型号及系数均由南阳防爆电器研究所提供。  
 \*\* 3UA59e系列热继电器为增安型电动机保护用热过载继电器，苏州机床电器厂生产。

#### 四、低压交流电动机的主回路及控制回路要求

如表 9-10 所示。

表 9-10 低压交流电动机的主回路及控制回路要求(据 GB50055—1993)

序号	项 目	说 明
1	低压交流电动机的主回路要求	
1.1	隔离电器的装设要求	<p>隔离电器的装设应符合下列规定:</p> <p>(1) 每台电动机的主回路上应装设隔离电器。当符合下列条件之一时, 数台电动机可共用一套隔离电器: ① 共用一套短路保护电器的一组电动机; ② 由同一配电箱(屏)供电且允许无选择地断开的一组电动机</p> <p>(2) 电动机及其控制电器宜共用一套隔离电器。符合隔离要求的短路保护电器可兼作隔离电器。移动式 and 手握式设备可采用插头和插座作为隔离电器</p> <p>(3) 隔离电器宜装设在控制电器附近或其他便于操作和维修的地点。无载开断的隔离电器应能防止无关人员误操作</p>
1.2	短路保护电器的装设要求	<p>(1) 短路保护电器应与其负荷侧的控制电器和过载保护电器协调配合, 短路保护电器宜采用接触器或起动器产品标准中规定的型式和规格</p> <p>(2) 短路保护电器的装设位置应符合 GB50054—1995《低压配电设计规范》的规定<sup>[编者注]</sup>。</p> <p>1) 保护电器应装设在操作维护方便、不易受机械损伤、不靠近可燃物的地方, 并采取避免保护电器运行时意外损坏对周围人员造成伤害的措施;</p> <p>2) 保护电器应装设在被保护线路与电源线路的连接处, 但为了操作与维护方便, 可设置在离开连接点的地方, 并应符合下列规定: 线路长度不超过 3m; 采用将短路危险减至最小的措施; 不靠近可燃物;</p> <p>3) 短路保护电器应装设在低压配电路不接地的各相(或极)上, 但对于中性点不接地且 N 线不引出的三相三线配电系统, 可只在两相(或极)上装设保护电器;</p> <p>4) 在 TT 或 TN-S 系统中, 当 N 线的截面与相线相同, 或虽小于相线但已能为相线上的保护电器所保护, N 线上可不装设保护; 当 N 线不能被相线保护电器所保护时, 应另在 N 线上装设保护电器保护, 将相应相线电路断开, 但不必断开 N 线;</p> <p>5) 在 TN-C 系统中, 严禁断开 PEN 线, 不得装设断开 PEN 线的任何电器, 当需要在 PEN 线上装设电器时, 只能相应断开相线回路</p>

续表

序号	项 目	说 明
1.2	短路保护电器的装设要求	<p>[编者注] GB50055—1993 在此原文为“短路保护电器的分断能力应符合现行国家标准《低压配电设计规范》的规定”。但查 GB50054—1995《低压配电设计规范》, 并无有关“短路保护电器的分断能力”的规定, 却有“保护电器的装设位置”的规定, 故予以修改和补充如上</p>
1.3	控制电器及过载保护电器的装设要求	<p>控制电器及过载保护电器的装设, 应符合下列规定:</p> <p>(1) 每台电动机应分别装设控制电器; 当工艺需要或使用条件许可时, 一组电动机可共用一套控制电器</p> <p>(2) 控制电器宜采用接触器、起动器或其他电动机专用控制开关。起动次数少的电动机可采用低压断路器兼作控制电器。当符合控制和保护要求时, 3kW 及以下的电动机可采用封闭式负荷开关(铁壳开关)</p> <p>(3) 控制电器应能接通和断开电动机的堵转电流, 其使用类别和操作频率应符合电动机的类型和机械的工作制</p> <p>(4) 控制电器宜装设在电动机附近或其他便于操作和维修的地点。过载保护电器宜靠近控制电器或其组成部分</p>
1.4	导线或电缆的选择要求	<p>导线(含电缆)的选择应符合下列规定:</p> <p>(1) 电动机主回路导线的载流量不应小于电动机的额定电流。当电动机经常接近满载工作时, 导线载流量宜有适当的裕量。当电动机为短时工作或断续工作时, 应使导线在短时负载下或断续负载下的载流量不小于电动机的短时工作电流或额定负载持续率下的额定电流</p> <p>(2) 电动机主回路的导线应按机械强度和电压损失进行校验。对于必须确保可靠的线路, 尚应校验导线在短路条件下的热稳定</p> <p>(3) 绕线转子电动机转子回路导线的载流量, 应符合下列规定:</p> <p>1) 起动后电刷不短接时, 不应小于转子额定电流。当电动机为断续工作时, 应采用导线在断续负载下的载流量;</p> <p>2) 起动后电刷短接, 当机械的起动静阻转矩不超过电动机额定转矩的 50% 时, 不宜小于转子额定电流的 35%; 当机械的起动静阻转矩超过电动机转矩的 50% 时, 不宜小于转子额定电流的 50%</p>
2	低压交流电动机的控制回路要求	
2.1	隔离电器及短路保护电器的装设要求	<p>电动机的控制回路应装设隔离电器和短路保护电器, 但由电动机主回路供电且符合下列条件之一时, 可不另装设:</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.1	隔离电器及短路保护电器的装设要求	(1) 主回路短路保护器件的额定电流不超过 20A 时 (2) 控制回路接线简单、线路很短且有可靠的机械防护时 (3) 控制回路断电会造成严重后果时
2.2	对控制回路的电源及接线方式的要求	控制回路的电源及接线方式应安全可靠、简单适用, 并应符合下列规定: (1) 当 TN 或 TT 系统中的控制回路发生接地故障时, 控制回路的接线方式应能防止电动机意外起动或不能停车。必要时, 可在控制回路中装设隔离变压器 (2) 对可靠性要求高的复杂控制回路, 可采用直流电源。直流控制回路宜采用不接地系统, 并应装设绝缘监视装置 (3) 额定电压不超过交流 50V 或直流 120V 的控制回路的接线和布线, 应能防止引入较高的电位
2.3	为保证人身和设备安全的若干基本规定	(1) 电动机的控制按钮或开关, 宜装设在电动机附近便于操作和观察的地点。当需在不能观察电动机或机

续表

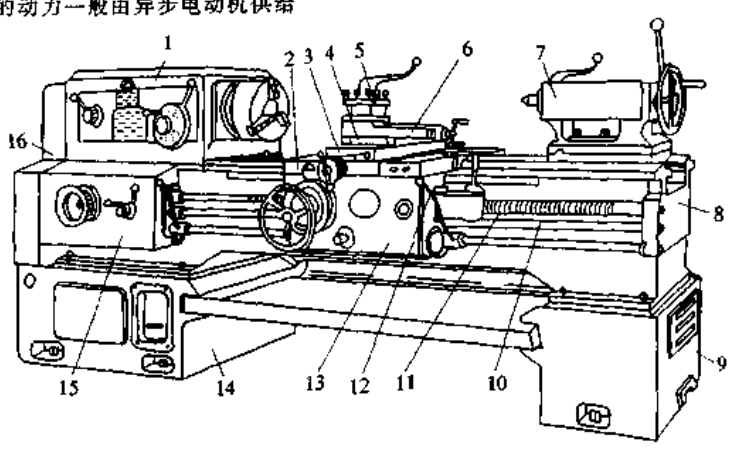
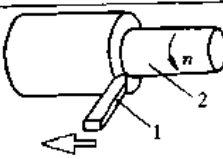
序号	项 目	说 明
2.3	为保证人身和设备安全的若干基本规定	械的地点进行控制时, 应在控制点装设指示电动机工作状态的灯光信号或仪表 (2) 电动机的测量仪表应符合现行国家标准《电力装置的电测量仪表装置设计规范》的规定 (3) 自动控制或联锁控制的电动机, 应有手动控制和解除自动控制或联锁控制的措施 (4) 远方控制的电动机, 应有就地控制和解除远方控制的措施 (5) 当突然启动可能危及周围人员安全时, 应在机械旁装设启动预告信号和应急断电开关或自锁式按钮

## 第二节 机床设备及其配电

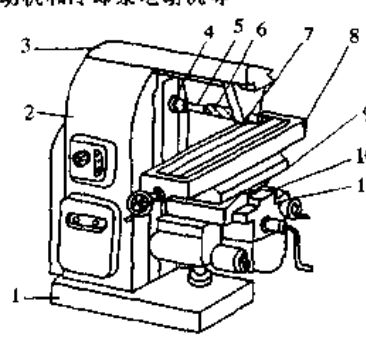
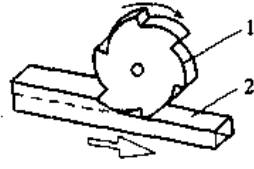
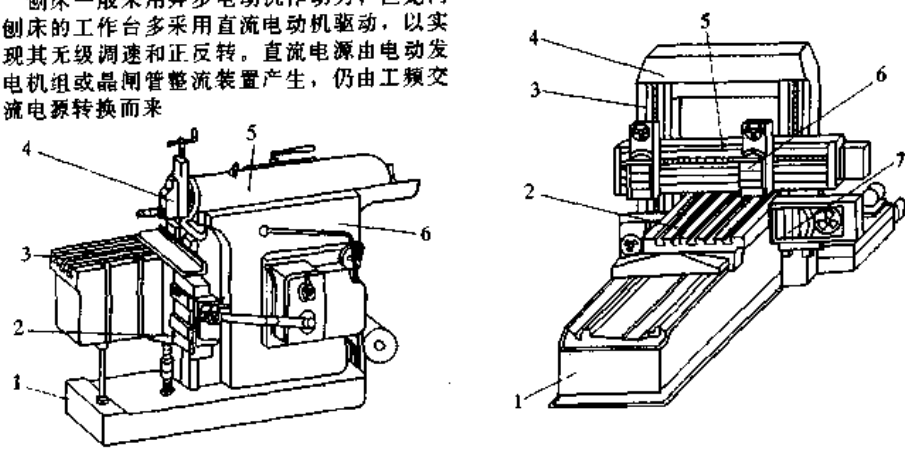
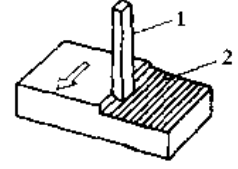
### 一、常见金属切削机床的基本结构和加工特点

如表 9-10 所示。

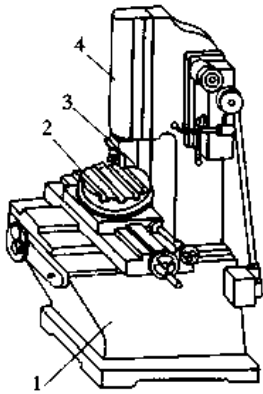
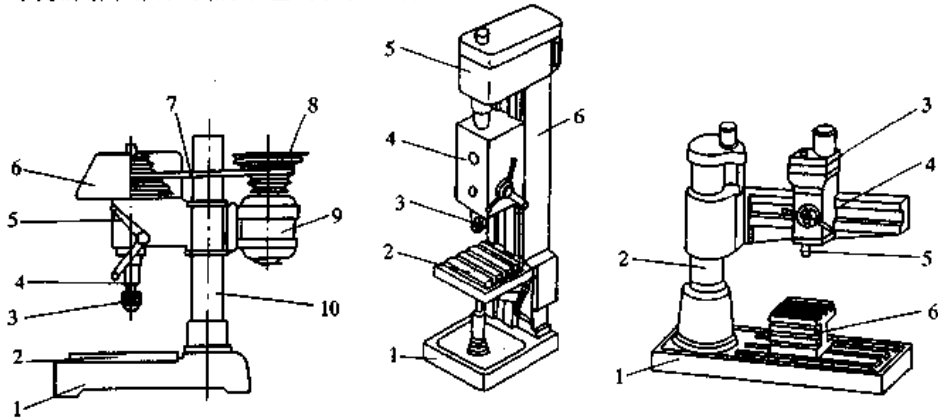
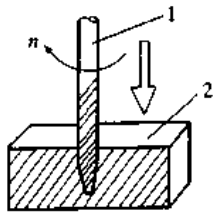
表 9-10 常见金属切削机床的基本结构和加工特点

序号	项 目	说 明
1		车 床
1.1	基本结构	<p>常见的车床有卧式车床、立式车床、自动车床等。下图为 CA6140 型普通卧式车床的外形结构。车床的动力一般由异步电动机供给</p>  <p>CA6140 型普通车床 1—主轴箱; 2—纵溜板; 3—横溜板; 4—转盘; 5—刀架; 6—小溜板; 7—尾座; 8—床身; 9—右床座; 10—光杠; 11—丝杠; 12—操纵手柄; 13—溜板箱; 14—左床座; 15—进给箱; 16—挂轮架</p>
1.2	加工特点	<p>车床以车刀为刀具, 主要用来车削各种回转表面如外圆柱面、内圆柱面、端平面、端锥面等, 亦用来加工外螺纹, 还可进行钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹等工作。工作时, 一般是工件作旋转运动, 刀具作进给运动, 如右图所示, 以切削掉工件上多余的金属, 使工件获得规定的形状和尺寸。但进行钻孔、扩孔、攻螺纹等工作时, 则一般是刀具作旋转运动, 工件作进给运动</p>  <p>1—车刀; 2—工件</p>

续表

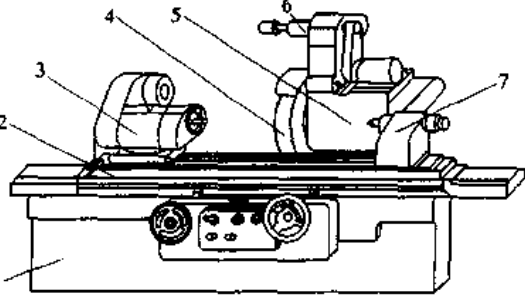
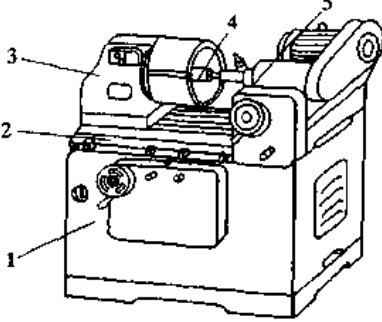
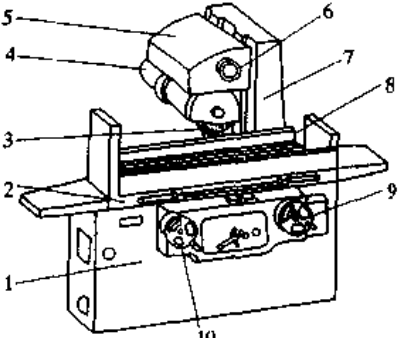
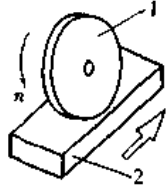
序号	项 目	说 明
2		<b>铣 床</b>
2.1	基本结构	<p>铣床有卧式铣床、立式铣床、龙门铣床、万能铣床等多种型式                      下图为万能铣床的外形结构。铣床的动力一般由异步电动机供给，电动机包括主轴电动机、进给电动机和冷却泵电动机等</p>  <p>1—底座；2—床身；3—横梁；4—主轴；                      5—刀杆；6—铣刀；7—支架；8—工作台；                      9—回转盘；10—滑鞍；11—升降台</p>
2.2	加工特点	<p>铣床使用具有多刃的棒状或盘状铣刀进行铣削加工，可铣削平面、曲面和各种凹槽如齿轮的齿等。工作时，刀具旋转，工件移动，如右图所示</p>  <p>1—铣刀；2—工件</p>
3		<b>刨 床</b>
3.1	基本结构	<p>常见的刨床有牛头刨床和龙门刨床。下面图 a 为牛头刨床的外形结构，图 b 为龙门刨床的外形结构。龙门刨床有多个刀架，因此可同时加工多个表面，有利于提高各表面间相互位置的精度和提高生产率                      刨床一般采用异步电动机作动力；但龙门刨床的工作台多采用直流电动机驱动，以实现其无级调速和正反转。直流电源由电动发电机组或晶闸管整流装置产生，仍由工频交流电源转换而来</p>  <p style="text-align: center;"><b>牛头刨床</b>                      1—底座；2—横梁；3—工作台；4—刀架；                      5—滑枕；6—床身</p> <p style="text-align: center;"><b>龙门刨床</b>                      1—床身；2—工作台；3—立柱；4—顶梁；                      5—横梁；6—上刀架；7—侧刀架</p>
3.2	加工特点	<p>刨床以刨刀为刀具来进行刨削加工，主要用于刨削平面，也可刨削其他形状的表面。工作时，刨刀与工件作相对的往复切削运动和进给运动，如右图所示</p>  <p>1—刨刀；2—工件</p>

续表

序号	项 目	说 明
4		<b>插 床</b>
4.1	基本结构	<p>插床的外形结构如下图所示。插床一般采用异步电动机作动力</p>  <p>1—床身；2—工作台； 3—刀架；4—滑枕</p>
4.2	加工特点	<p>插床以插刀为刀具，对固定工件作上下往复的切削运动，工件夹紧在工作台上，可作纵向、横向或旋转的进给运动。通常用于插削方孔、键槽等 插床的插削与刨床的刨削相类似，只是刨床为水平往复刨削，而插床为垂直往复插削</p>
5		<b>钻 床</b>
5.1	基本结构	<p>常见的钻床有台式钻床、立式钻床和摇臂钻床等型式。钻床也采用异步电动机作动力</p>  <p><b>台式钻床</b> 1—底座；2—工作台；3—钻夹头； 4—主轴；5—进给手柄；6—罩； 7—传动带；8—带轮；9—电动机； 10—立柱</p> <p><b>立式钻床</b> 1—底座；2—工作台； 3—主轴；4—进给箱； 5—主轴箱；6—立柱</p> <p><b>摇臂钻床</b> 1—底座；2—立柱；3—主轴箱； 4—摇臂；5—主轴；6—工作台</p>
5.2	加工特点	<p>钻床以钻头为刀具，用于加工工件的孔。工作时，工件固定不动，钻头同时作旋转和进给运动，如右图所示。 钻床主要用于钻孔，也可用于铰孔、扩孔或攻螺纹</p>  <p>1—钻头；2—工件</p>
6		<b>磨 床</b>
6.1	基本结构	<p>常见的磨床有外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、无心磨床及一些专用磨床如螺纹磨床、球面磨床、齿轮磨床、导轨磨床等</p>



续表

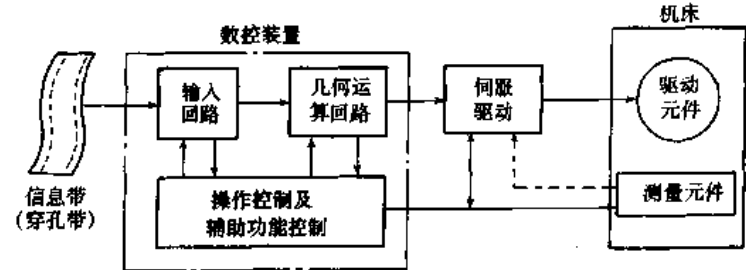
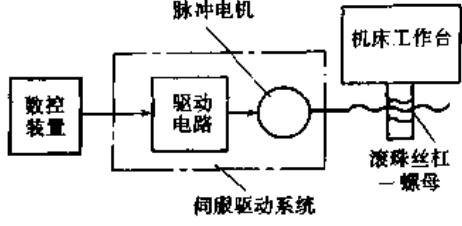
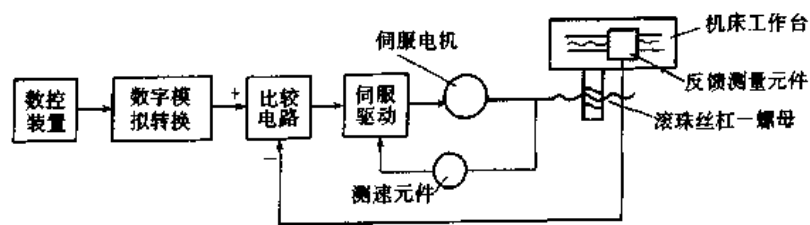
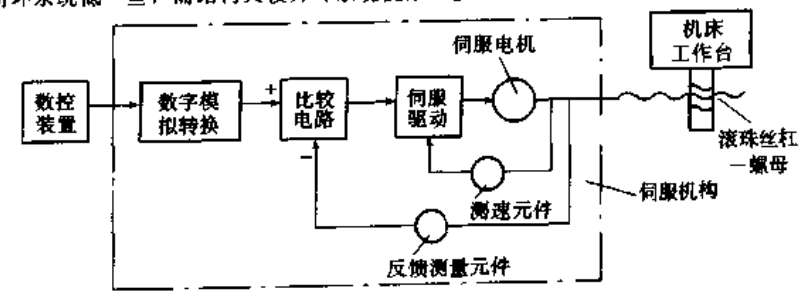
序号	项 目	说 明
6.1	基本结构	<p>(1) 万能外圆磨床的外形结构</p>  <p>万能外圆磨床的外形结构 1—床身；2—工作台；3—头架； 4—砂轮；5—砂轮架；6—内圆磨 具；7—尾架</p> <p>(2) 内圆磨床的外形结构</p>  <p>内圆磨床 1—床身；2—工作台；3—头架； 4—砂轮；5—砂轮架</p> <p>(3) 平面磨床的外形结构</p>  <p>平面磨床 1—床身；2—工作台；3—砂轮；4—砂轮架； 5—滑座（拖板）；6—横向进给手轮；7—立 柱；8—电磁吸盘（吸附工件用）；9—垂直 进给手轮；10—驱动工作台手轮</p>
6.2	加工特点	<p>磨床以砂轮为刀具来加工工件表面。砂轮相对于工件作高速旋转的磨削运动和低速的进给运动，如右图所示。工件经磨削后，可达到较高的精度和较小的表面粗糙度（较高的光洁度）</p>  <p>1—砂轮；2—工件</p>

## 二、数控机床简介

如表 9-11 所示。

表 9-11 数控机床简介

序号	项 目	说 明
1	机床数控的概念	<p>机床数控是将机床的各种操作（如主轴起停、换刀、冷却液开关等）、工艺参数（如主轴转速、进给速度等）及加工尺寸控制都用数字形式表示出来，通过信息载体（如穿孔纸带）输入专用数字计算机（即数控装置），经其计算和变换，发出各种指令，控制机床按预定操作程序依次动作，自动进行加工。若要加工新零件，除了重新装上被加工零件和更新刀具外，只需改变纸带上的程序即可。采用数控机床生产，能大大提高生产率，减轻劳动强度，且能获得较高的加工精度</p>

序号	项 目	说 明
2	机床数控装置框图 <sup>[7]</sup>	
3	机床数控的控制 系统	<p>机床数控系统按其伺服机构的控制方式分,有开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统三种:</p> <p>(1) 开环控制系统: 数控装置根据穿孔带上的数据指令,经过运算,发出指令脉冲,使脉冲电机(伺服电机)转动一定角度,再通过驱动机构,使机床工作台移动一定距离。这种不带位置测量装置,也不将被控制量的实际值反馈回去与指令值进行比较的系统,称为“开环控制系统”,其框图如右图所示。其优点是系统简单,工作稳定,易于运行维护;缺点是定位精度的提高受到系统的限制</p> <p style="text-align: center;">机床数控的开环控制系统框图</p>  <p>(2) 闭环控制系统: 数控装置不仅要根据穿孔带上的指令要求,向伺服机构发出控制信号使机床运动,而且还要通过机床上的测量装置检测出机床工作台的实际位移量,经反馈回路再送回数控装置去与指令值进行比较,用其差值进行控制,直到差值消除时工作台才停止移动。这种控制系统称为“闭环控制系统”,又称“直接反馈系统”,其框图如下图所示。这种控制系统的优点是定位精度高,速度快;缺点是系统复杂,且存在一个伺服机构稳定性问题,调试维修比较困难。一般高精度的数控机床大都采用这种闭环控制系统</p> <p style="text-align: center;">机床数控的闭环控制系统框图</p>  <p>(3) 半闭环控制系统: 它也是一种差值控制系统,不过对机床工作台的实际位移量不是直接检测而是间接检测和转换得到的,所以又称“间接反馈系统”,其框图如下图所示。其定位精度较闭环系统低一些,而结构又较开环系统复杂一些</p> <p style="text-align: center;">机床数控的半闭环控制系统框图</p> 
4	穿孔纸带及纸带 端码	<p>穿孔带是数控机床传送信息的载体。常用的标准穿孔纸带有五单位和八单位两种。五单位纸带只有五列代码孔,其信息量较少,只能用于功能较少的数控机床。八单位纸带有八列代码孔,能记录较多的信息量,因此应用广泛。对八单位纸带,目前国际上通用的编码有两种:一种是美国电子工业学会制定的EIA代码,另一种是国际标准化协会制定的ISO代码。我国规定统一采用ISO代码</p>

续表

序号	项 目	说 明
5	数控机床的发展趋势	数控机床经过几十年的发展,品种日益增多,性能不断完善,特别是自动换刀及工作台自动转位的数控加工中心机床的发展更为迅速;后又发展了自适应控制机床,使数控机床加工能达到最好的技术经济效果。随着计算机技术的迅速发展,产生了自动编程系统、计算机数控系统、计算机群控系统,并向机械制造自动化的更高阶段,即设计制造一体化(CAD/CAM)的方向发展

续表

### 三、机床设备的配电要求

机床设备的动力都采用电动机,关于电动机的启动、保护及主回路和控制回路等配电要求已在本章第一节中讲述,不再重复。关于机床设备电源线的保护及导线的选择,如表 9-12 所示。

表 9-12 机床设备电源线的保护及导线的选择<sup>[6]</sup>

设 备 总功率 (kW)	最大一 台电动 机功率 (kW)	熔体 电 流 (A)	BLX、BLV 型导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 及管径 G (mm)							
			30 C			35 C				
			截面	G	DG	截面	G	DG		
1.1	0.6	5								
6.1	0.8	10								
5.2	1.0	10								
4.2	1.1	10								
3.5	1.5	15	2.5	15	20	2.5	15	20		
1.9	1.0	15								
6.2	1.5	15								
6.0	1.7	20								
5.8	2.2	20								
3.6	1.7	20								
6.4	1.7	20				4	20	25		
6.3	2.2	20				2.5	15	20		
7.6	2.8	20	4	20	25	4	20	25		
6.4	3.0	20	2.5	15	20	4	20	25		
6.8	3.0	20				4	20	25		
8.6	2.8	30								
5.7	3.0	30	2.5	15	20	2.5	15	20		
4.6	2.8	30				4	20	25		
6.8	3.0	30				2.5	15	20		
7.2	4.0	30				4	20	25		
8.8	4.5	30	2.5	15	20	2.5	15	20		
7.0	4.5	30				4	20	25		
7.4	4.5	30				4	20	25		
9.0	4.5	30				2.5	15	20		
5.5	4.5	30				4	20	25		
7.2	4.5	30				2.5	15	20		
7.6	4.5	30				4	20	25		
9.3	4.5	30				2.5	15	20		
7.2	4.5	30				4	20	25		
7.6	4.5	30				2.5	15	20		
8.2	4.5	30				4	20	25		

设 备 总功率 (kW)	最大一 台电动 机功率 (kW)	熔体 电 流 (A)	BLX、BLV 型导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 及管径 G (mm)							
			30 C			35 C				
			截面	G	DG	截面	G	DG		
7.5	5.5	30	2.5	15	20	2.5	15	20		
7.9	5.5	30								
9.0	5.5	40	4	20	25	4	20	25		
9.5	5.5	40				6	20	25		
13	5.5	40				10	32	32		
14	5.5	40				6	20	25		
15	5.5	40	10	32	32	10	32	32		
7.7	7.0	50	2.5	15	20	2.5	15	20		
8.0	7.0	50				4	20	25		
10	7.0	50				2.5	15	20		
8.0	7.5	50				4	20	25		
8.3	7.5	50				6	20	25		
10	7.5	50				10	32	32		
13	7.5	50				6	20	25		
17	7.5	50	10	32	32	10	32	32		
14	7.5	50				6	20	25		
18	7.5	50	10	32	32	10	32	32		
10	10	60	4	20	25	4	20	25		
11	10	60				6	20	25		
14	10	60				10	32	32		
15	11	60	6	20	25	6	20	25		
15	11	60				6	20	25		
14	13	60				10	32	32		
15	13	60	10	32	32	10	32	32		
19	13	60				6	20	25		
15	14	60				10	32	32		
16	14	60				10	32	32		
19	14	60				10	32	32		
20	17	80	10	32	32					
21	18.5	80				16	32	32		
22	22	100								
26	22	100	16	32	32					
33	28	120				25	32	40		
33	30	120	26	32	40					
36	30	120				35	32	50		
42	37	150				50	50	50		
42	40	150	35	32	50					
44	40	150				50	50	50		

续表

设备 总功率 (kW)	最大一 台电动 机功率 (kW)	熔体 电流 (A)	BLX、BLV 型导线截面 (mm <sup>2</sup> ) 及管径 G (mm)					
			30 C			35 C		
			截面	G	DG	截面	G	DG
50	40	150	50	50	50	50	50	50
52	45	200				70	50	50
57	55							

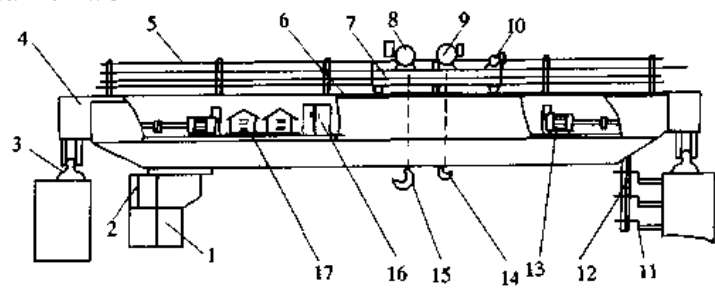
注 本表按三相交流 380V 机床设备用电动机编制, 但笼型电动机链式供电可参用本表。

### 第三节 起重运输设备及其配电

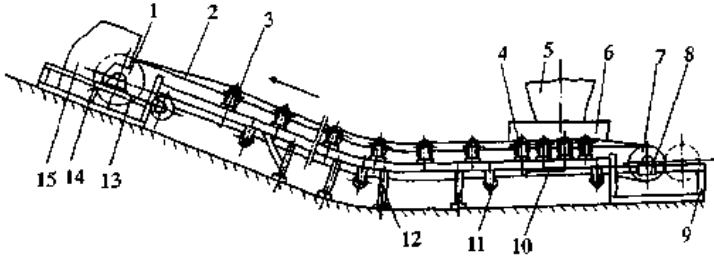
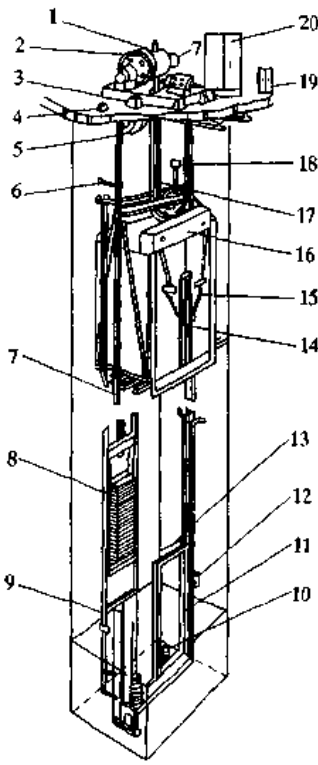
#### 一、起重运输设备的类别、结构及其电气传动

如表 9-13 所示。

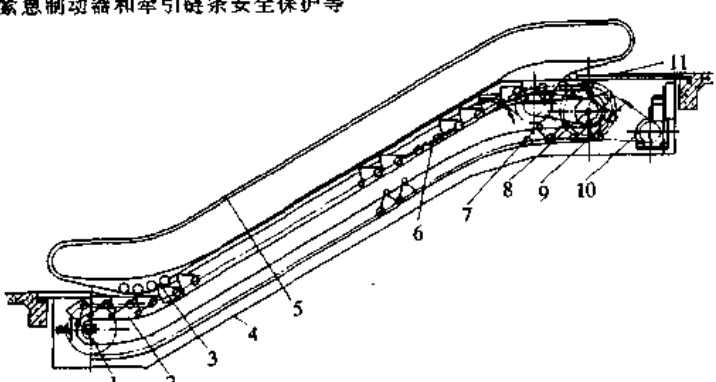
表 9-13 起重运输设备的类别、结构及其电气传动

序号	项 目	说 明										
1		<b>起 重 机</b>										
1.1	起重机的类型及结构示例	<p>起重机是起吊和搬运物料的设备, 分别由提升、运行、变幅、回转等机构组成, 大多采用电气传动</p> <p>起重机的基本类型, 有桥式、梁式、门式、塔式和小型电动葫芦等多种, 下图为工厂大型厂房内应用较广的一种桥式起重机 (又称“行车”) 的外形结构</p>  <p style="text-align: center;"><b>15/3t 桥式起重机的外形结构</b></p> <p>1—驾驶室; 2—控制、保护装置; 3—大车轨道; 4—大车; 5—小车导电滑触线; 6—小车轨道; 7—小车; 8—主钩卷扬 (提升) 机构; 9—副钩卷扬 (提升) 机构; 10—小车驱动机构; 11—主滑触线; 12—主集电装置; 13—大车驱动机构; 14—副钩; 15—主钩; 16—电气控制箱; 17—电阻箱</p> <p>注: 型号中“15/3t”表示主钩起吊 15t, 副钩起吊 3t (额定值)</p>										
1.2	起重机用的电动机	<p>起重机的驱动电动机多采用绕线型异步电动机。上述 15/3t 桥式起重机就都采用的绕线型电动机, 大车由两台电动机同时驱动, 并可同时正反转, 使大车沿轨道双向运动。小车由一台电动机驱动, 亦可正反转, 使小车沿固定在大车桥架上的小车轨道双向运动。主钩 (15t) 升降由一台最大容量的电动机驱动, 而副钩 (3t) 升降由一台较小容量的电动机驱动。绕线型异步电动机具有起动转矩较大和调速性能较好的特点, 因此适于起重机使用</p> <p>对于大型起重机及要求调速范围更广的起重机, 则采用直流电动机, 由晶闸管整流设备或直流发电机供电。对于起动次数较少的某些小型起重机械, 可采用笼型异步电动机驱动</p> <p>起重机用电动机的工作属反复短时工作制, 其负荷持续率 <math>\epsilon</math> 与起重机的工作类型有关, 如下面附表所示:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>附表 起重机构的负荷持续率</caption> <thead> <tr> <th>起重机工作类型</th> <th>轻 级</th> <th>中 级</th> <th>重 级</th> <th>特重级</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>负荷持续率 (%)</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	起重机工作类型	轻 级	中 级	重 级	特重级	负荷持续率 (%)	15	25	40	60
起重机工作类型	轻 级	中 级	重 级	特重级								
负荷持续率 (%)	15	25	40	60								
1.3	起重机对电气传动的基本要求	<p>起重机对电气传动的基本要求是: 能调速, 能平稳、频繁和迅速地起动和制动, 能实现大车运行机构的电气同步及防止倾斜等。此外, 还应设置各种保护装置, 如过电流保护、超速保护及安全限位、防碰撞保护等, 以确保其运行安全</p>										
2		<b>输 送 机</b>										
2.1	输送机的类型及结构示例	<p>输送机是连续搬运各种物料装置, 它有带式、链式、螺旋式、流体等多种类型。其中带式输送机输送能力大, 功耗小, 结构简单, 对物料适应性强, 应用范围广。下图为带式输送机外形结构:</p>										

续表

序号	项 目	说 明
2.1	输送机的类型及结构示例	 <p style="text-align: center;"><b>带式输送机的外形结构</b></p> <p>1—传动滚筒；2—输送带；3—上托辊；4—缓冲托辊；5—漏斗；6—导料挡板；7—改向滚筒；8—螺旋张紧装置；9—尾架；10—空载段清扫器；11—下托辊；12—中间架；13—头架；14—弹簧清扫器；15—头罩</p>
2.2	输送机的电气传动	<p>带式输送机有单滚筒、双滚筒和多滚筒三种传动方式。单滚筒传动的应用最为广泛，由电动机、联轴器、减速器和传动滚筒等组成，一般采用封闭式笼型电动机。在要求起动平稳时，可配以液力耦合器或粉末联轴器。功率大于200kW或要求起动电流小、力矩大的场合，可采用绕线型电动机。双滚筒传动有采用一台电动机的集中传动方式和采用两台电动机各传动一台滚筒的单独传动方式。适用于大功率输送机，以使张力分散。特大型输送机为减小带内张力，提高其传动系统系列化、通用化水平及便于安装等，则采用多电动机多滚筒传动。采用双电机或多电动机时，要注意各系统间速度协调和合理分配功率。常用的方法是笼型电动机配以液力耦合器或者绕线型电动机转子绕组串电阻，使传动系统的联合工作特性较软，以合理分配各电动机的负载</p>
3	<b>电 梯 及 自 动 扶 梯</b>	
3.1	电梯的类型及结构示例	<p>电梯是垂直运输客货的交通工具，在高层建筑中得到广泛应用。电梯按用途分为客梯、货梯、客货两用梯、医用梯、杂物梯及建筑施工梯等类型。下图为电梯的结构简图</p>  <p>1—电梯牵引电动机；2—电磁制动器；3—限速器；4—极限开关；5—控制绳轮；6—限位开关；7—电梯导轨；8—对重（又称配置）；9—对重导轨；10—缓冲器；11—厅门；12—厅门呼梯按钮；13—厅门楼层指示器；14—轿架；15—载客（载货）厢体；16—开门机构；17—牵引钢丝绳；18—平层器；19—控制继电器屏；20—控制柜</p> <p style="text-align: center;"><b>电梯结构简图</b></p>

续表

序号	项目	说明
3.2	电梯的电气传动	<p>电梯常用的电气传动系统有以下几种：</p> <p>(1) 交流单速梯和双速梯：其起动、制动及运行控制采用继电器—接触器串阻抗、变极对数和双绕组切换等方式来实现，一般适用于货梯和简易客梯，速度较低</p> <p>(2) 笼型电动机晶闸管定子调压系统：此方案优点是价廉，维修方便，运行平稳舒适，但低速运行时能耗大，功率因数低，在中速电梯中应用较广</p> <p>(3) 直流电动机晶闸管电枢供电系统：调整性能好，效率高，噪声小，但功率因数随速度下降而下降，对电网运行有影响，此系统用于直流高速电梯</p> <p>(4) 交流变压变频调速系统：采用交流变压变频（VVVF）调速的交流客梯，可使电梯从低速到高速都能无级调速和高精度地运行，对电网没有什么不良影响，且速度高，舒适平稳，是目前电梯电气传动的发展方向，但成本较高，维修较复杂</p>
3.3	自动扶梯及其电气传动	<p>自动扶梯是一种客运工具，广泛应用于车站、码头、机场、百货商场、公共大厅及地铁、隧道等处，其输送能力大，能连续运送乘客。下图为自动扶梯的结构简图</p> <p>自动扶梯采用交流电动机传动，连续工作制，提升高度小的采用高转矩笼型异步电动机，大、中高度的采用绕线型异步电动机。为保证乘客安全，自动扶梯应装设过电流保护、过速保护、紧急制动器和牵引链条安全保护等</p>  <p>1—张紧装置；2—梯级导轨；3—梯级；4—金属骨架；5—扶手系统；6—牵引链条；7—扶手传动链条；8—驱动主轴；9—驱动链条；10—驱动装置；11—梳板前盖板</p> <p style="text-align: center;">自动扶梯结构简图</p>

续表

## 二、起重机的配电要求

如表 9-14 所示

表 9-14 起重机的配电要求（据 GB50055—1993）

序号	项目	说明
1	电动起重机的电源线种类	电动桥式起重机、电动梁式起重机和电动葫芦宜采用绝缘式安全滑触线供电，亦可采用固定式裸钢材滑触线供电。在对金属有强烈腐蚀作用的环境中或小型电动葫芦，宜采用软电缆供电
2	隔离电器和短路保护电器的装设	滑触线或软电缆的电源线，应装设隔离电器和短路保护电器，并应装设在滑触线或软电缆附近，便于操作和维修的地点
3	滑触线或软电缆的截面选择	滑触线或软电缆的截面选择，应符合下列要求： (1) 载流量不应小于负荷计算电流 (2) 满足机械强度的要求 (3) 自配电变压器的低压母线至起重机电动机端子的电压损失，在尖峰电流时，不宜超过额定电压的 15%

序号	项目	说明
4	减少供电线路电压损失的措施	为减少起重机供电线路的电压损失，可根据具体情况采取下列措施： (1) 电源线尽量接至滑触线的中部 (2) 采用绝缘式安全滑触线 (3) 适当增大滑触线截面或增设辅助导线 (4) 增加滑触线供电点或分段供电 (5) 增大电源线或软电缆截面
5	滑触线跨越建筑物伸缩缝的处理措施	固定式滑触线跨越建筑物伸缩缝处，固定式裸钢材滑触线在其长度每隔 30~50m 处，应装设膨胀补偿装置，其间隙宜为 20mm。绝缘式安全滑触线装设膨胀补偿装置的要求，应根据产品技术参数确定
6	角钢作滑触线的规格要求	采用角钢作固定式滑触线时，其规格应符合下列要求： (1) 3t 及以下的电动梁式起重机和电动葫芦，当固定点的间距不大于 1.5m 时，角钢规格不应小于 25mm×4mm (2) 10t 及以下的电动桥式起重机，当固定点的间距不大于 3m 时，角钢规格不应小于 40mm×4mm

续表

续表

序号	项 目	说 明
6	角钢作滑触线的规格要求	(3) 10t 以上至 50t 的电动桥式起重机, 当固定点的间距不大于 3m 时, 角钢规格不应小于 50mm×5mm (4) 50t 以上的电动桥式起重机, 当固定点的间距不大于 3m 时, 角钢规格不应小于 63mm×6mm (5) 滑触线的角钢规格, 不宜大于 75mm×8mm。当需要更大截面时, 宜采用轻型钢轨或工字钢
7	分段滑触线的分段间隙要求	分段供电的固定式裸钢材滑触线, 各分段电源当允许并联运行时, 分段间隙宜为 20mm; 当不允许并联运行时, 分段间隙应大于集电器滑触块的宽度, 并应采取防止滑触块落入间隙的措施
8	滑触线检修段的设置要求	两台及以上的起重机在共同的固定式滑触线上工作时, 宜在起重机轨道的两端设置检修段; 中间检修段的设置, 应根据生产、检修的需要和可能确定。检修段长度应比起重机桥身宽度大 2m。采用绝缘式安全滑触线, 且起重机上的集电器能与滑触线脱离时, 可不设置检修段
9	滑触线工作段与检修段的隔离要求	固定式裸钢材滑触线的工作段与检修段之间的绝缘间隙, 宜为 50mm。工作段与检修段之间应装设隔离电器, 隔离电器应装设在安全和便于操作的地方
10	滑触线与起重机驾驶室的相对位置	(1) 装于吊车架的固定式裸滑触线, 宜装于起重机驾驶室的对侧; 当装于同侧时, 对人员上下可能触及的滑触线段, 必须采取防护措施 (2) 绝缘式安全滑触线宜与起重机驾驶室装于同侧, 并可采取防护措施
11	裸滑触线的安全距离与灯光信号	(1) 裸滑触线距离地面的高度, 不应低于 3.5m; 在屋外跨越汽车通道处, 不应低于 6m。当不能满足要求时, 必须采取防护措施 (2) 固定式裸滑触线应在适当地点装设灯光信号
12	门式起重机配电方式的选择原则	门式起重机可按下列原则选择配电方式: (1) 移动范围较大、容量较大的门式起重机, 可根据生产环境, 采用地沟固定式滑触线或悬挂式滑触线供电 (2) 移动范围不大、容量较小的门式起重机, 可根据生产环境, 采用悬挂式软电缆或卷筒式软电缆供电 (3) 抓斗门式起重机, 当贮料场有上通廊时, 宜在上通廊顶部装设固定式滑触线供电, 集电器应采用软连接
13	起重机用软电缆及悬挂式滑触线的选择	(1) 卷筒式的软电缆宜采用重型橡套电缆; 悬挂式的软电缆可根据具体情况采用重型或中型橡套电缆 (2) 悬挂式滑触线宜采用钢丝绳吊挂双沟形钢电车线

序号	项 目	说 明
14	起重机轨道的接地	(1) 起重机轨道的接地, 应按现行国家标准《电力装置的接地设计规范》执行。轨道的伸缩缝或断开处, 应采用足够截面的跨接线连接, 并形成可靠通路 (2) 当有不导电灰尘沉积或其他原因造成车轮与轨道不可靠的电气连接时, 宜增设一根接地用滑触线。当起重机装于露天时, 其轨道除采取上述措施外, 且应使其接地点不少于两处
15	防止意外触电的措施	当采用固定式裸钢材滑触线, 且起重机的吊钩钢绳摆动能触及到滑触线时, 或多层布置时的各下层滑触线, 应采取防止意外触电的防护措施

### 三、胶带输送机运输线（以下简称“胶带运输线”）的配电要求

如表 9-15 所示。

表 9-15 胶带运输线的配电要求  
(据 GB50055--1993)

序号	项 目	说 明
1	供电电源的要求	(1) 同一胶带运输线的电气设备的供电电源, 宜取自同一供电母线。若胶带运输线较长或电气设备较多时, 可按工艺分段, 采用多回路供电 (2) 当主回路和控制回路由不同线路或不同电源供电时, 应装设联锁装置
2	电动机的启动要求	胶带运输线的电动机启动时, 启动电压应符合表 9-5 序号 1 和序号 2 的规定。当多台同时启动不能满足要求时, 应分批启动
3	胶带运输线的信号设置	胶带运输线中的料流信号及胶带跑偏、打滑、纵向撕裂、断带、超速、堵料等信号检测装置, 应由工艺根据需要设置, 电气设计应满足其要求
4	胶带运输线的启动和停车要求	胶带运输线启动和停止的程序, 应按工艺要求确定。运行中, 任何一台联锁机械故障停车时, 应使给料方向的联锁机械立即停车。当运输线设有中间储料装置时, 可不立即停车
5	胶带运输线的联锁要求	(1) 胶带运输线的电气联锁必须满足工艺和安全的要求, 并应可靠、经济 (2) 胶带运输线应能解除联锁, 实现机旁控制。单机调试起停按钮或开关的安装地点, 应根据操作、维修的需要确定
6	胶带运输线控制方式的选择要求	胶带运输线控制方式的选择, 应符合下列规定: (1) 当联锁机械少且分散时, 宜采用联锁分散控制 (2) 当联锁机械较少且集中或者联锁机械虽较多但工艺允许分段控制时, 宜按系统或按工艺分段, 采用联锁局部集中控制

续表

序号	项 目	说 明
6	胶带运输线控制方式的选择要求	(3)当联锁机械多、工艺流程复杂时,宜在控制室内集中控制或自动控制。控制装置宜采用可编程序控制器或计算机
7	胶带运输线上的除铁器和除尘风机的运行要求	(1)胶带运输线上的除铁器应在胶带输送机起动前先接通电源。当采用悬挂式除铁器时,应在联锁线停车后人工断电 (2)胶带运输线上的除尘风机,应在胶带输送机起动前先起动,并在胶带输送机停车后延时停风机
8	胶带运输线的安全措施	(1)沿线设置起动预告信号 (2)在值班点设置事故信号、设备运行信号、允许起动信号 (3)控制箱(屏、台)面上设置事故断电开关或自锁式按钮 (4)根据具体情况在联锁机械旁设置事故断电开关或自锁式按钮。事故断电开关宜采用钢丝绳操作的限位开关或防尘密闭式开关。当采用防尘密闭式开关或自锁式按钮时,宜每隔20~30m设置一个
9	控制室(点)和控制箱(屏、台)的设置要求	(1)控制室或控制点与有关场所的联系,宜采用声光信号;当联系频繁时,宜设置通信设备 (2)控制箱(屏、台)面板上的电气元件,应按控制顺序布置;较复杂的控制系统,宜设置模拟图。当采用可编程序控制器或计算机控制时,可采用电子显示器或终端装置 (3)控制室或控制点位置的确定,应符合下列要求: 1)便于观察、操作和调度; 2)通风、采光良好; 3)振动小,灰尘少; 4)线路短,进出线及检修方便
10	卸料小车等的供电	胶带卸料小车及移动式配合胶带输送机,宜采用悬挂式软电缆供电
11	胶带运输线上电气设备的接地	胶带运输线上各电气设备的接地应符合现行国家标准《电力装置的接地设计规范》的规定。胶带卸料小车及移动式胶带输送机的接地,宜采用移动电缆的第四根芯线作接地线。可编程序控制器和计算机的接地应符合产品要求

#### 四、电梯和自动扶梯的配电要求

如表 9-16 所示。

表 9-16 电梯和自动扶梯的配电要求

(据 GB50055—1993)

序号	项 目	说 明
1	电源线装设隔离和短路保护电器的要求	每台电梯或自动扶梯的电源线,应装设隔离电器和短路保护电器。有多路电源进线的电梯机房,每路进线均应装设隔离电器,并应装设在电梯机房内便于操作和维修的地点

续表

序号	项 目	说 明
2	供电导线选择时载流量的确定原则	选择电梯或自动扶梯供电导线时,应由电动机铭牌额定电流及其相应的工作制确定,并应符合下列规定: (1)单台交流电梯供电导线的连续工作载流量,应大于其铭牌连续工作制额定电流的140%或铭牌0.5h(或1h)工作制额定电流的90% (2)单台直流电梯供电导线的连续工作载流量,应大于交直流变频器的连续工作制交流额定输入电流的140% (3)向多台电梯供电,应计入同时系数 (4)自动扶梯应按连续工作制计
3	轿厢照明电源的要求	轿厢的照明电源,可从电梯的动力电源隔离电器前取用,并应装设隔离电器和短路保护电器
4	电梯井道内线路的敷设要求	(1)向电梯供电的电源线路,不应敷设在电梯井道内。除电梯的专用线路外,其他线路不得沿电梯井道敷设 (2)明敷在电梯井道内的电缆应采用阻燃型;明敷的穿线管、槽应是阻燃的
5	电梯的接地要求	电梯机房、轿厢和井道的接地,应符合下列规定: (1)机房和轿厢的电气设备、井道内的金属件与建筑物的用电设备采用同一接地体 (2)轿厢和金属件应采用等电位联结 (3)当轿厢接地线采用电缆芯线时,不得少于两根

### 第四节 电焊、电镀及其配电

#### 一、电焊和电镀简介

如表 9-17 所示。

表 9-17 电焊和电镀简介

序号	项 目	说 明
1	电焊及电焊机简介	
1.1	电焊的基本概念	电焊是利用电能加热金属件连接处而进行焊接的方法总称,包括利用电弧的高温进行焊接的电弧焊,利用电流通过金属连接处产生的电阻高温进行焊接的电阻焊(或称“接触焊”)以及利用电流通过熔化的焊剂(熔渣)产生的热能进行焊接的电渣焊等
1.2	电焊机的类别	(1)电弧焊机:有手动电弧焊机、自动电弧焊机、氩弧焊机、二氧化碳弧焊机、等离子弧焊机等类型 (2)电阻焊机:有点焊机、凸焊机、缝焊机、对焊机 etc 类型 (3)其他还有电渣焊机、钎焊机、摩擦焊机、电子束焊机、激光焊机等



续表

序号	项 目	说 明
1.3	电焊机 用电的特点	<p>(1) 其交流单机负荷较多, 功率较大, 380V 单相电焊机的功率可达 400kVA, 三相电焊机功率最大可达 1000kVA 以上</p> <p>(2) 大多数电焊机的功率因数很低, 弧焊机为 0.3~0.35, 阻焊机为 0.4~0.85, 埋弧自动焊机为 0.6~0.7, 直流弧焊机为 0.8~0.9, 一般均需考虑改善功率因数措施</p> <p>(3) 电焊机的工作属反复短时工作制, 负荷波动较大, 应考虑其对其他设备运行的影响</p> <p>(4) 除专用电焊机及大型电焊机外, 一般电焊机的配置不稳定, 经常移动</p> <p>(5) 电渣焊用电容量较大, 焊机应尽量靠近电源变压器, 以减少线路长度和电能损耗, 并要求在焊接过程中尽可能连续供电</p>
2	电镀及镀层的质量要求	
2.1	电镀的 基本概念	<p>电镀是采用电解的方法, 将待镀的金属零件作为阴极, 浸于电镀槽的电镀液内, 使金属零件表面沉积一层金属或合金, 以防止腐蚀, 增加美观, 提高零件的耐磨性或导电性等, 例如镀铜、镀锌、镀铬、镀镍、镀铜锡合金、镀铜锌合金等。塑料、半导体、陶瓷等非金属材料表面, 经过适当处理形成导电层后, 也可以进行电镀。镀层的厚度, 由电镀的时间和通过的电流密度等而定</p>
2.2	常用的 电镀方式	<p>(1) 吊镀: 将待镀零件夹紧在挂具上, 然后吊挂于电镀槽的阴极导电杆上进行电镀。多用于较大的零件</p> <p>(2) 滚镀: 将待镀零件装入带有孔的桶中, 然后浸入电镀液。在电镀过程中, 滚桶不断转动, 使零件连续翻转, 彼此接触而导电, 并能保证镀层厚度均匀。适用于螺钉、螺帽等小零件的电镀</p> <p>(3) 连续镀: 对于线型和带型材料, 可将它作为连续移动的阴极, 不断地通过电镀液进行电镀</p> <p>(4) 刷镀: 又称“笔镀”或“无槽电镀”。对于只需局部电镀的机件, 不必将整个机件浸入镀槽, 而采用刷镀, 即将机件作为阴极, 将欲镀的金属制成可移动的阳极(刷笔), 阳极外面包有纤维材料。当此阳极外的纤维材料吸满电镀液时, 即可导电进行电镀</p>
2.3	镀层的 外观检查 和质量检测	<p>(1) 外观检查: 通过目力观察镀层表面有无针孔、麻点、起皮、起泡、暗影、烧焦、枝晶、缺镀等情况。对装饰性镀层, 应特别观察其表面的色泽、光亮。如质量不合格, 即作为废品或废品处理, 或设法补救</p> <p>(2) 质量检测: 在外观检查合格后的电镀零件, 需进一步对电镀层进行质量检测。质量检测项目主要包括镀层厚度、孔隙率、耐蚀性、结合力、硬度等; 此外针对零件的具体使用要求, 还可能有选择地检测镀层的耐磨性、减摩性、可焊性和脆性等</p>

## 二、电焊机的配电要求

如表 9-18 所示。

表 9-18 电焊机的配电要求 (据 GB50055—1993)

序号	项 目	说 明
1	电源线 装设隔离 电器、开 关和短路 保护电器 的要求	<p>每台电焊机的电源线, 应按下列规定装设隔离电器、开关和短路保护电器:</p> <p>(1) 手动弧焊变压器或弧焊整流器的电源线, 应装设隔离电器、开关和短路保护电器</p> <p>(2) 自动弧焊变压器、电渣焊机或电阻焊机的电源线, 应装设隔离电器和短路保护电器</p> <p>(3) 隔离电器、开关和短路保护电器, 应装设在电焊机附近便于操作和维修的地点</p>
2	保护交 流电焊机 的熔体电 流选择	<p>单台交流弧焊变压器、弧焊整流器或电阻焊机采用熔断器保护时, 其熔体的额定电流, 宜按下列公式确定:</p> <p>(1) 对交流弧焊变压器、弧焊整流器, 其熔断器熔体电流:</p> $I_{N-FE} \geq K I_{N-EW} \sqrt{\epsilon_{N-EW}}$ <p>式中 <math>K</math> 为计算系数, 一般取 1.25; <math>I_{N-EW}</math> 为电焊机 (EW) 一次侧额定电流 (A); <math>\epsilon_{N-EW}</math> 为电焊机额定负载持续率 (取小数)</p> <p>(2) 对电阻焊机, 其熔断器熔体电流:</p> $I_{N-FE} \geq 0.7 I_{N-EW}$ <p>式中 <math>I_{N-EW}</math> 为电焊机一次侧额定电流 (A)</p>
3	直流弧 焊电动发 电机组的 配电要求	直流弧焊电动发电机组的配电, 应符合表 9-6 序号 1 和表 9-10 的有关规定
4	电焊机 电源线载 流量的确 定	<p>(1) 电焊机电源线的载流量不应小于电焊机的额定电流</p> <p>(2) 断续周期工作制的电焊机的额定电流, 应为其额定负载持续率下的额定电流, 其导线载流量应为断续负载下的载流量</p>
5	单相电 焊机在三 相线路上的 配置	多台单相电焊机宜均匀地接在三相线路上
6	大容量 电焊机的 供电	<p>(1) 电渣焊机、容量较大的电阻焊机, 宜采用专用线路供电</p> <p>(2) 大容量的电焊机, 可采用专用变压器供电</p>
7	空载自 停装置的 装设	空载运行次数较多和空载持续时间超过 5min 的中小型电焊机, 可装设空载自停装置
8	电焊机 的无功补 偿	连接多台电焊机且无功功率较大的线路上, 宜装设电力电容器进行补偿

续表

## 三、电镀设备的配电要求

如表 9-19 所示。

表 9-19 电镀设备的配电要求(据 GB50055—1993)

序号	项 目	说 明
1	直流电源的方式	电镀用的直流电源,应采用整流管或晶闸管整流设备
2	整流设备的选择	<p>整流设备的选择,应符合下列规定:</p> <p>(1) 直流额定电压应大于并接近于镀槽所需的电压。对需要冲击电流的镀槽,整流设备的电压尚应符合冲击的要求</p> <p>(2) 直流额定电流不应小于镀槽所需的电流。对需要冲击电流的镀槽,整流设备的额定电流应根据镀槽冲击电流值及电源设备短时允许过载能力确定。当多槽共用整流设备时,其额定电流不应小于各槽所需电流之和乘以同时使用系数及负荷系数</p> <p>(3) 整流设备的整流接线方式,应根据电镀工艺的要求确定</p> <p>(4) 当工艺需要自动换向电镀时,应采用带有自动换向的晶闸管整流设备</p>
3	整流管整流设备调压方式的选择	<p>整流管整流设备调压方式的选择,应符合下列规定:</p> <p>(1) 工艺要求电流调节精度高,并经常使用在低负荷的镀槽,可采用自耦变压器或感应调压器的调压方式</p> <p>(2) 经常工作在 30% 以上负荷的镀槽,可采用饱和电抗器调压方式</p>
4	整流设备台数的选择	<p>(1) 电镀电源宜采用一台整流设备供给一个镀槽。当工艺条件许可时,对电压等级相同的小电流镀槽,亦可采用一台整流设备供给几个镀槽用电</p> <p>(2) 对不同时使用的两个镀槽,其电压电流参数相近,位置又接近时,可合用一台整流设备供电</p>

序号	项 目	说 明
5	整流设备型式的选择	<p>(1) 放置在电镀间内的整流设备应采用防腐型</p> <p>(2) 集中放置在电源室内的整流设备可采用普通型</p>
6	整流设备调控测量装置的设置	<p>(1) 当一台整流设备向一个镀槽供电,且整流设备集中放置时,应在镀槽附近设置电流调节装置、测量仪表和开停整流设备的控制按钮</p> <p>(2) 当一台整流设备向几个镀槽同时供电时,应在每个镀槽附近设置电流调节装置及测量仪表</p>
7	直流母线和导线截面的选择	<p>直流线路的母线或导线截面的选择,应符合下列规定:</p> <p>(1) 母线或导线的允许载流量不应小于镀槽的计算电流</p> <p>(2) 线路的电压损失不宜大于镀槽额定电压的 10%</p>
8	电源线装设隔离和保护电器的要求	每台整流设备的电源线,应装设隔离电器和短路保护电器。隔离电器额定电流及电源导线载流量不应小于整流设备的额定输入电流
9	整流设备电源室的位置与通风	集中放置整流设备的电源室,应接近负荷中心,并宜靠近外墙。当自然通风不能满足要求时,应采用机械通风

## 第五节 电热设备及其配电

## 一、电热设备的类型、特点及其应用范围

如表 9-20 所示。

表 9-20 电热设备的类型、特点及其应用范围

序号	类 别	特 点	应 用 范 围
1		电 阻 加 热 炉	
1.1	直接加热式电阻炉	<p>(1) 炉料或工件本身通电加热,加热快,效率高</p> <p>(2) 接触电极附近温度低,且对工件形状有一定的要求</p>	主要用于石墨电极和碳化硅制造、粉末冶金压制及金属管、棒的加热处理
1.2	间接加热式电阻炉	<p>(1) 加热部分结构简单,易于实现温度控制</p> <p>(2) 加热过程中炉料的氧化、脱碳比较严重</p>	用于一般热处理、加热和烧结,如机器零件、金属毛坯、型材等的加热处理
1.3	控制气氛电阻加热炉	<p>(1) 基本上可防止炉料的氧化和脱碳,从而节省材料、提高生产率</p> <p>(2) 可进行气体化学热处理</p> <p>(3) 某些气体易燃易爆,对人体有一定危害</p>	用于零件、材料的无氧化和不脱碳的加热,某些化学热处理,各种烧结和钎焊,钨、钼等金属的加热
1.4	预抽真空电阻加热炉	将真空技术应用与控制气氛炉,先抽真空后充气,可缩短洗炉时间,节约控制气体	

续表

序号	类别	特点	应用范围
1.5	间接加热式电阻炉	真空电阻加热炉 (1) 比控制气氛炉更有效地保护炉料, 并具有除气和净化表面的作用 (2) 实现大批量、连续性生产的难度较大	用于钛、锆等活泼金属、难熔金属及某些合金、不锈钢等的热处理, 高速钢、工具钢的淬火、真空烧结及化学处理等
1.6		电热浴炉(以盐浴炉应用最广) (1) 以熔融的盐或碱、油、铅作为加热介质进行加热, 加热快而均匀, 且能局部加热 (2) 结构简单, 不用耐热钢, 且有一定的防氧化作用 (3) 工作条件差, 工作处理后需仔细清洗	广泛用于工具、量具、模具等的热处理
1.7		流动粒子炉 (1) 利用石墨、金属粒子或砂粒作为加热介质, 升温快, 耗电省, 炉温均匀 (2) 石墨粒子对工件有保护作用 (3) 需配备通风、防尘等设施	用于各种热处理, 特别适于时开时停的小批量、多品种生产的场合
2	电 弧 炉		
2.1	交流炼钢电弧炉	炼钢电弧炉与平炉或转炉相比, 其熔化速度快, 合金烧损少, 炉气、炉温 and 合金成分更易于控制, 不会有从燃料和热风中带入的杂质	主要用于熔炼合金钢, 近年也开始大量用于熔炼普通钢, 也可用来熔炼铁合金
2.2	直流电弧炉	(1) 结构上的最大特点是只有一根中心石墨电极和一个炉底电极, 从而使与电极相关的结构较之交流电弧炉的结构简化 (2) 电极材料的消耗量也较之交流电弧炉大幅度降低 (3) 耐火材料消耗量也明显降低, 炉村的使用寿命延长 (4) 噪声减小, 在输入功率相同的条件下, 直流电弧炉的噪声也比交流电弧炉低 (5) 电压闪变减小, 仅为交流电弧炉的 1/3~1/2	同序号 2.1 交流炼钢电弧炉
2.3	埋弧炉(电弧电阻炉)	(1) 工作时电极下部埋在炉料中, 除利用电极与炉料之间发生电弧产生的热量外, 还利用电流通过炉料由炉料电阻产生的热量 (2) 大多是连续作业, 即连接加料, 电极也随着端部消耗而连续进入炉中	适用于高电阻率矿石的熔炼。如硅铁炉的炉料为硅石、废铁和焦炭, 制成品为硅铁; 电石炉的炉料为生石灰和焦炭, 制成品为电石
3	感 应 炉		
3.1	感应熔炼设备	无芯感应熔炼炉 (1) 无芯炉有工频(50Hz)、中频(400~800Hz)和高频(200kHz及以上)之分, 主要部件为感应线圈, 无铁芯 (2) 无芯炉的炉体通常做成立式, 由炉架、坩埚、感应线圈和导体(仅适于工频炉)等部分组成。感应线圈多用紫铜管绕制, 管内通水冷却 (3) 坩埚按工作温度分为: 低温类(<400℃), 用于熔炼铅、锌等; 中温类(400~700℃), 用于熔炼铝、镁等; 高温类(>700℃), 用于熔炼钢、铁、铜及某些稀有金属、贵金属和合金	用于熔炼钢、铁、铜、铝、镁、铅、锌及有关合金; 高频炉还用于熔炼稀有金属和贵金属
3.2		有芯感应熔炼炉 (1) 有芯炉一般都采用工频(50Hz)电源 (2) 有芯炉的炉体由感应线圈、闭合磁路的导体(铁芯)和溶沟等组成 (3) 由于使用时炉内必须留有一定量的起熔体(液体金属), 因此有芯炉必须连续熔炼, 不适于多品种、间歇性生产	用于铸铁和铜、铝、锌等有色金属及其合金的熔炼、保温和浇铸
3.3		真空感应熔炼炉 主要由带真空密封炉壳的炉体部分、真空系统、电源设备和控制设备等几部分组成	可用于熔炼化学成分均匀、纯度高、质量好的金属材料
3.4		等离子感应熔炼炉 在感应熔炼炉顶部安装等离子枪, 利用等离子弧对炉料进行辅助加热, 可加速合金化过程, 减少有害杂质, 提高金属的机械强度, 并降低损耗	可用于黑色金属和有色金属及合金的熔炼, 可生产优质材料
3.5		冷坩埚感应熔炼炉 采用水冷组合式金属坩埚, 可排除坩埚材料对熔料的污染。坩埚多用紫铜管并组而成。电源可以是不同频率, 炉子可以是真空或非真空	多用于熔炼高纯度金属, 主要是难熔和活泼金属以及生产各种金属和非金属单晶体

续表

序号	类别	特点	应用范围
3.6	感应透热炉	(1) 感应透热炉按送料方式分, 有间隙式、步进式和连续式; 按电源频率分, 有工频、中频和高频; 按炉体结构分, 有立式和卧式 (2) 透热炉一般由炉架、感应器(线圈)和上、下料机构组成。上、下料可采用手动、气动、液动或电动等多种形式	主要用于金属热塑加工(锻、挤、轧等)前的加热, 也可用于某些材料的热处理工艺
3.7	感应热处理设备	其中应用最广的是表面淬火。淬火感应器通常用裸铜管制成, 一般只有一匝或数匝。有的感应器在管壁适当位置开有许多小孔, 供喷水淬火用, 也有的是另附淬火用喷水器	用于机械零件和材料的各种热处理加热, 包括淬火、退火等技术
3.8	感应烧结炉	一般为真空炉, 与真空熔炼炉类似。坩埚和料盘多用石墨制成, 不倾动, 因此结构比较简单。为使烧结温度均匀, 多采用较高频率的电源	用于粉末冶金零件的烧结和加压成型
3.9	感应焊接设备	感应加热可以完成各种焊接工艺, 包括钎焊、对焊等。现在感应加热在焊管工业中得到了广泛应用。中小直径的直缝焊管多采用螺旋式感应线圈, 而大型管的螺旋缝焊则采用平面感应器	用于各种金属管缝的焊接
4	其他电热设备		
4.1	电子束炉	利用被电场加速的高速电子束轰击炉料所产生的热能来加热或熔炼炉料。其功率密度大, 温度高, 并可精确调节和控制。炉料在真空室内加热或熔化, 没有耐火材料及其他污染, 适于高纯材料的熔炼。但设备复杂, 且需采取防护 X 射线对人体伤害的措施	主要用来熔炼钨、钼、铌、钽、钛、锆及其合金, 并用来生产优质合金钢和超纯铁素体不锈钢, 制取半导体材料和高温合金的单晶以及蒸发镀膜和热处理等
4.2	等离子炉	利用高频感应、弧光放电或电子束等方法使工作气体转化为等离子体, 然后在气流或电场的作用下, 使等离子体以很高的速度射向炉料, 再利用等离子体中自由电子与正离子复合时所释放出来的能量, 加上弧光放电或电子束的能量将炉料加热、熔化。其功率密度大, 温度高(可达 10000℃ 以上), 加热速度快。炉子的工作电压低, 比较安全, 但材料消耗较大, 费用较高	主要用于熔炼钨、钼、钽、铌、钛、锆等难熔金属和活泼金属及工具钢、耐热钢、耐蚀钢、高强度钢等优质合金钢
4.3	介质加热设备	利用高频电场对电介质材料作用, 使电介质内部的电偶极子高速振动产生热能使材料加热。它使材料表里加热均匀, 加热快, 热效率高, 但设备费用较贵, 且需采取防护措施, 防止高频电场对人体的伤害及对附近广播、电视及其他电子设备的危害和干扰	主要用于木材、纸板、布匹和铸造泥芯等的干燥, 鱼肉食品的干冻, 聚氯乙烯塑料的焊接及塑料粉的预热等
4.4	红外线加热设备	利用红外线加热比较迅速, 且节约电能。红外线加热元件可灵活方便地组合成各种加热设备如热水器、烤箱、暖箱, 也可用于大型器件的局部加热	主要用于食品的烘烤和取暖, 也广泛用于油漆等涂料的烘烤、玻璃的退火及某些工业品加工过程中的干燥、加温等
4.5	激光加热设备	激光束是一种可以精确控制的能量密度很高的热源, 其加热速度很快, 工件的加热变形小。由于激光束的能量密度很高, 可用于拉线模和人造宝石的打孔。但设备较复杂, 成本高	主要用于激光打孔, 也可用于金属表面“自身淬火”方式的硬化处理

续表

## 二、电热设备的配电要求

如表 9-21 所示。

表 9-21 电热设备的配电要求(据 GB50056—1993)

序号	项目	说明
1	电热设备电力负荷级别	(1) 电热设备电力装置(以下简称“电热装置”)一般属于二级或三级负荷。当事故停电将对国民经济造成重大损失的多台大型电热装置宜属于一级负荷 (2) 电热装置辅助设备的负荷等级, 应根据事故停电所造成损失或影响的程度而定

序号	项目	说明
2	电热装置的一般配置要求	(1) 电热装置的变压器、变频或变流装置与电炉或加热器的距离应小, 但应便于操作、维护和检修 (2) 电热装置的继电保护、测量仪表、控制电器及导体的设置, 应便于操作、监视和维修, 并应避免受热、受潮、受电磁感应、受撞击和积累灰尘 (3) 电热装置用高频、中频电流及工频大电流导体的截面选择和布置, 应减少由于集肤效应和邻近效应所引起的导体中电流的分布不均匀

续表

序号	项 目	说 明
2	电热装置的一般配置要求	(4) 电热装置导体的支架、保护遮板、套管、铠装、紧固件和邻近的金属部件的设置和材料的选择, 当在频率较高或电流较大时, 应减小感应发热的影响 (5) 电热装置短网的配置, 应做到电阻和电抗较小, 并使三相阻抗平衡
3	电热装置的无功补偿要求	(1) 单台功率为 400kW 及以上的电热装置, 当其自然功率因数较低时, 应装设单独的无功补偿装置。若经技术经济比较采用集中补偿更有利或当工厂、车间的无功功率富裕时, 可不装设单独的无功补偿装置 (2) 电热装置无功补偿采用电力电容器时, 电容器性能的选择和接线方式应计入无功负荷的变化和高次谐波的影响。防止电力电容器过负荷或烧毁, 并应避免因接入容量较大的电力电容器而使系统产生高次谐波谐振
4	电阻炉配线路及其控制保护设备容量的计算	电阻炉配线路的导线载流量, 开关设备和熔断器熔体的额定电流, 宜按下列条件计算: (1) 无电炉变压器的金属发热元件电阻炉, 按电阻炉额定功率的 1.1 倍 (2) 有电炉变压器的电阻炉, 按变压器最高档电压的容量或按电阻炉额定功率的 1.2~1.3 倍
5	电弧炉装置主电路容量的计算	三相电弧炉装置主电路系统的导体载流量应按变压器(专用)额定容量的 120% 计算; 其开关设备和互感器的额定电流可按大于 120% 选择
6	电弧炉装置应采用具有频繁操作性能的断路器	炼钢电弧炉的负荷很不稳定, 熔化期间由于工作短路经常使操作断路器带负荷跳闸。此外空载调压的电炉变压器在切换二次电压或改变串接电抗器的接线方式时也要操作断路器。据调查, 每炉钢的操作次数一般平均达 7~10 次, 多则数十次, 因此电弧炉装置应采用具有频繁操作性能的断路器

续表

序号	项 目	说 明
7	电弧炉等应采取的限制操作过电压措施	电弧炉和矿热炉变压器应采取下列限制操作过电压的措施: (1) 在电炉变压器与操作断路器间装设氧化锌避雷器或压敏电阻 (2) 在三绕组电炉变压器的三次侧装设氧化锌避雷器或压敏电阻和阻容吸收装置 (3) 在电炉变压器的二次侧装设阻容吸收装置
8	对电炉装置短网的母线、连接线及紧固件等的要求	(1) 经常有工作短路的电炉装置, 应采用铜母线。负荷平稳的电炉装置可采用铝母线, 但应设置可靠的铜铝过渡接头 (2) 从硬母线引至电炉可动接线板的软电缆, 应防止磨损和短路; 5t 及以上的三相电弧炉, 宜采用水冷软电缆 (3) 矿热炉的母线, 应设置防止炉料飞溅或热辐射的防护措施 (4) 对短网母线紧固, 其垫块应采用绝缘浸渍处理的石棉水泥板或纤维压板; 当电压在 500V 以下时, 可采用绝缘浸渍处理的木材
9	感应电热装置采用的导体材质	(1) 工频感应电热装置的硬母线, 可采用铝导体(铝母线) (2) 固定敷设的中频感应电热装置的线路宜采用铝导体(含中频同轴铝芯电缆、同轴布置的铝质管形母线和平行布置的矩形铝母线) (3) 对高频感应电热装置的导体材质没有规定
10	三相电路中单相电热装置的配置要求	(1) 多台单相电热装置应均匀地接在三相电路上 (2) 单相电热装置的容量较大时, 应验算电热装置引起的负序电流和负序电压对电网的影响; 当超过现行国家标准的允许值时, 应将单相负荷连接到更大短路容量的电网点或设置相平衡装置。当在运行过程中不经常产生不平衡时, 应装设三相电网间可切换单相负荷的切换电器。当工艺过程允许采用直流加热时, 可将单相负荷由三相交流整流后以直流供电

# 第十章 电气照明及其配电

续表

## 第一节 照明技术的有关概念

### 一、光和光谱简介

如表 10-1 所示。

表 10-1 光和光谱

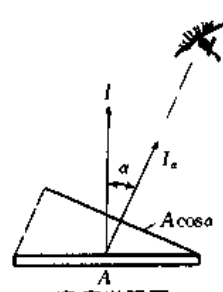
序号	项目	说明
1	光	通常指能引起人的视觉的波长在 780~380nm 的电磁波, 即“可见光” 物理学上所指的“光”, 是指 1mm~1nm 的电磁波, 包括红外线、可见光和紫外线三部分。红外线和紫外线虽不能引起人的视觉, 但可用光学仪器测定其光学性质 必须说明, 光的波长范围界限并不十分确定, 因此各说不一
2	光谱	光谱的大致范围为波长 1mm~1nm 光谱包括: (1) 红外线——波长 1mm~780nm (2) 可见光——波长 780~380nm (3) 紫外线——波长 380~1nm
3	可见光谱	可见光包括 7 种单色光: (1) 红色光——波长 780~640nm (2) 橙色光——波长 640~600nm (3) 黄色光——波长 600~570nm (4) 绿色光——波长 570~490nm (5) 青色光——波长 490~450nm (6) 蓝色光——波长 450~430nm (7) 紫色光——波长 430~380nm
4	人眼最敏感的可见光辐射	正常人眼对波长为 555nm 的黄绿色光最敏感, 即这种黄绿色光的辐射能引起人眼的最大视觉。波长偏离 555nm 越远的光辐射, 可见度越小

### 二、光度量的名称、符号、定义和单位

如表 10-2 所示。

表 10-2 光度量的名称、符号、定义和单位

序号	名称	符号	定义和公式	SI 单位	备注
1	光通量	$\Phi$	单位时间内辐射出的产生光感的能量; $\Phi \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ}{dt}$	流明 (lm)	$Q$ 为人眼能感知的辐射能, 单位为 $\text{lm} \cdot \text{s}$ (流明·秒)

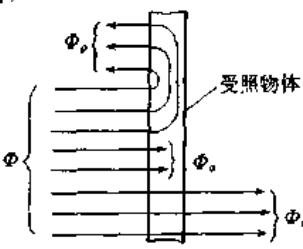
序号	名称	符号	定义和公式	SI 单位	备注
2	发光强度 (光强)	$I$	单位立体角中辐射出的光通量: $I \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d\Phi}{d\Omega}$	坎德拉 (cd)	$\Omega$ 为立体角, 单位为 sr (球面度)
3	照度	$E$	单位受照面上投射的光通量: $E \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d\Phi}{dA}$	勒克斯 (lx)	$A$ 为受照表面面积, 单位为 $\text{m}^2$ (平方米)
4	亮度	$L$	发光体 (含光源及反光体) 在人眼视线方向 (见右图) 单位投影面上的发光强度: $L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{I_x}{A_x}$ $= \frac{I}{A}$ 亮度与视线无关	坎/米 <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> )	 <p>亮度说明图</p>
5	色温	$T_c$	光源的“色温”是指光源辐射的光的颜色与黑体 (能全部吸收光辐射而无反射和透射的理想物体) 所辐射的光的颜色相同时黑体的温度	K (开尔文)	

### 三、物体的光照性能

如表 10-3 所示。

表 10-3 物体的光照性能

续表

序号	项目	说明	
1	光的反射、吸收和透射	<p>当光通量 <math>\Phi</math> 投射到物体上时，一部分光通量 <math>\Phi_r</math> 从物体表面反射回去，一部分光通量 <math>\Phi_a</math> 被物体吸收，而余下一部分光通量 <math>\Phi_t</math> 则透过物体（当这种物体材料为透明或半透明材料时）</p> 	
2	表征物体材料光照性能的参数	反射比（反射系数） $\rho = \Phi_r / \Phi$ 吸收比（吸收系数） $\alpha = \Phi_a / \Phi$ 透射比（透射系数） $\tau = \Phi_t / \Phi$	三个参数之间关系 $\rho + \alpha + \tau = 1$

序号	类别	名称	反射比 $\rho$ (%)	吸收比 $\alpha$ (%)
2	漫反射材料	硫酸钡	95	5
		氧化镁	97.5	2.5
		碳酸镁	94	6
		氧化亚铅	87	13
		石膏	87	13
		电解铝（无光）	62	38
3	建筑材料	铝喷漆	35~40	60~65
		木材（白木）	40~60	40~60
		白灰粉刷墙壁	75	25
		红砖墙	30	70
		灰砖墙	24	76
		混凝土	25	75
		白瓷砖	65~80	20~35
无色透明玻璃	$\approx 0$	$\approx 0$		
4	其他	白色搪瓷	4~5（定向）， 60~70（漫反射）	25~35
		白色无光漆	84	16
		白色有光漆	4~5（定向）， 60~80（漫反射）	15~40
		淡黄色油漆	4~5（定向）， 65~70（漫反射）	25~35
		白色塑料	91	9

四、部分材料的反射比和吸收比

如表 10-4 所示。

表 10-4 部分材料的反射比和吸收比

序号	类别	名称	反射比 $\rho$ (%)	吸收比 $\alpha$ (%)
1	定向反射材料	银	92	8
		铬	65	35
		铝（普通）	60~73	27~40
		铝（电解抛光）	75~84	16~25
		镍	55	45
		玻璃镜	82~88	12~18

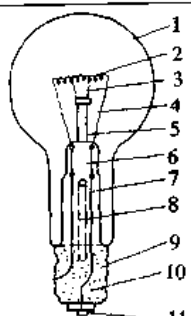
第二节 电光源和灯具

一、常用的照明电光源

照明电光源按其发光原理分，有热辐射光源和气体放电光源两大类。

(1) 热辐射光源。包括白炽灯和卤钨灯两种，如表 10-5 所示。

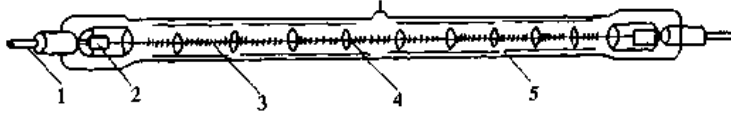
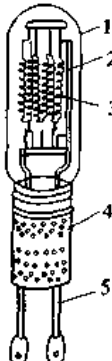
表 10-5 热辐射光源

序号	项目	说明	
1		白 炽 灯	
1.1	结构		1—玻壳；2—灯丝（钨丝）；3—支架（钨丝）； 4—电极（镍丝）；5—玻璃芯柱；6—杜美丝（钢铁镍合金丝）；7—引入线（铜丝）； 8—抽气管；9—灯头；10—封端胶泥；11—锡焊接触端
1.2	型式	PZ—普通照明白炽灯（单螺旋灯丝） PZS—普通照明白炽灯（双螺旋灯丝） JZ—局部照明白炽灯（单螺旋灯丝） JZS—局部照明白炽灯（双螺旋灯丝）	灯头型式 { B—插口式 E—螺口式
1.3	原理	利用灯丝通过电流时发热达到白炽状态而产生可见光。其热损耗较大，发光效率较低	

续表

序号	项目	说明			
		灯泡型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定光通量 (lm)
1.4	普通白炽灯的主要技术数据 <sup>[23]</sup> (注: 平均使用寿命均为1000h)	PZ220-10	220	10	65
		PZ220-15		15	110
		PZ220-25		25	220
		PZ220-40		40	350
		PZ220-60		60	630
		PZ220-100		100	1250
		PZ220-150		150	2090
		PZ220-200		200	2920
		PZ220-300		300	4610
		PZ220-500		500	8300
		PZ220-1000	1000	18600	
		PZS 110-36	110, 220	36	350
		PZS 110-40		40	415
		PZS 110-55		55	630
PZS 110-60	60	715			
PZS 110-94	94	1250			
PZS 110-100	100	1350			
PZS 220-100	100	1350			

2 卤钨灯

2.1	结构	 <p>1—引入电极; 2—钨箔; 3—钨丝; 4—支架; 5—石英玻管 (内充微量卤素如碘或溴)</p>
	一端引入	 <p>1—石英玻璃泡 (内充微量卤素如碘或溴); 2—金属支架; 3—排丝状灯丝 (钨丝); 4—散热罩; 5—引入电极</p>

2.2 卤钨循环”原理

卤钨灯 (含碘钨灯) 利用“卤钨循环” (碘钨循环) 原理来提高其发光效率和使用寿命 (相对于白炽灯而言)

当卤钨灯工作时, 灯丝温度很高, 蒸发出钨分子, 使之移向玻壳内壁。钨分子在壳壁与卤素 (碘或溴) 相作用, 生成气态的卤化钨, 卤化钨就由玻壳壁向灯丝迁移。当卤化钨进入灯丝的高温 (1600°C 以上) 区域后, 就分解为钨分子和卤素, 钨分子就沉积在灯丝上。当钨分子沉积的数量恰等于灯丝蒸发出的钨分子数量时, 就形成平衡状态。这一过程就称为“卤钨循环”

由于“卤钨循环”关系, 钨分子沉积在玻壳上的数量较之白炽灯少, 玻壳不易发黑, 因此其发光效率较白炽灯高; 而且钨丝损耗较之白炽灯慢, 因此其使用寿命较白炽灯长。但是为了均匀地进行“卤钨循环”, 管形卤钨灯的装设要求保持水平状态, 倾斜角不得大于 4°, 否则将严重影响使用寿命

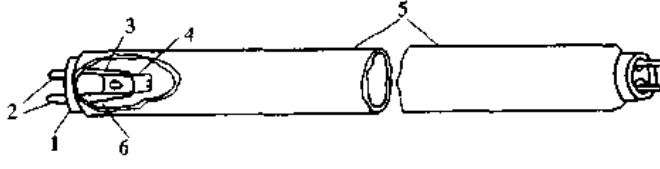
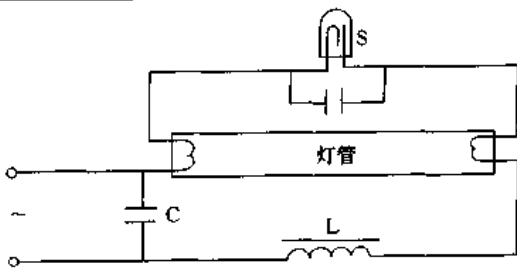
2.4	管形卤钨灯的主要技术数据 <sup>[23]</sup>	灯管型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定光通量 (lm)	平均使用寿命 (h)
		LZG220-500	220	500	8500	1000
LZG220-1000	19000	1500				
LZG220-2000	40000	1000				
LZG36-300	36	300		6000	600	



(2)气体放电光源。包括辉光放电光源和弧光放电光源两类。辉光放电光源有氖灯、霓虹灯。弧光放电光源又分低压气体放电灯和高压气体放电灯两类；低压气

体放电灯有荧光灯、低压钠灯；高压气体放电灯也称高强度气体放电灯，有高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯和氙灯。表 10-6 介绍电气照明常用的几种气体放电灯。

表 10-6 气体放电光源

序号	项 目	说 明																																								
1		荧 光 灯																																								
1.1	结构(直管形)	 <p>1—灯头；2—灯脚；3—芯柱；4—灯丝（钨丝）；5—玻管（内充惰性气体，内壁涂荧光粉）；6—汞（少量）</p>																																								
1.2	常用荧光灯电路及其组成元件	 <p>S—起辉器；L—镇流器；C—电容器</p>																																								
1.2	常用荧光灯电路及其组成元件	<p>(1) 起辉器：在一充有氖的小玻璃泡内，装有两个电极，其中一个弯成 U 形的电极为双金属片。当荧光灯接上电压后，起辉器首先产生辉光放电，致使双金属片加热伸开，造成两极短接，从而使电流通过灯丝。灯丝加热后发射电子，同时使灯管的少量汞气化</p> <p>(2) 镇流器：实质上是一铁芯电感线圈。当起辉器两极短接后，其辉光放电停止，双金属片冷却收缩，从而骤然断开灯丝加热回路，使镇流器两端感生很高的电动势，连同电源电压加于灯管两端，使充满汞蒸汽的灯管击穿，产生弧光放电。由于灯管启燃后管内压降很小，因此又要借助镇流器来消耗大部分电压，以维持灯管稳定的电流，不致因电流过大而烧毁灯管</p> <p>(3) 电容器：用来提高电路的功率因数。不接电容器时，电路功率因数只有 0.5 左右；接上电容器后，功率因数可提高到 0.95 以上</p>																																								
1.3	荧光灯工作原理	<p>荧光灯是一种低气压气体放电灯，利用灯管内的汞蒸气在外加电压作用下产生弧光放电，发出少量可见光和大量紫外线。紫外线又激励灯管内壁涂覆的荧光粉，使之再辐射出大量的可见光。由此可见，荧光灯的发光效率比白炽灯的要高得多，其使用寿命也比白炽灯长得多</p>																																								
1.4	荧光灯型式	<p>YZ—直管形荧光灯 YU—U 型荧光灯 YDN—紧凑型荧光灯</p> <p>灯光颜色代号：RR—日光色，RL—冷白色，RN—暖白色</p> <p>YH—环型荧光灯</p> <p>YDN□H 为 H 形，其中□为瓦数；YDN□ZD（或 2DH□）为 2D 形，其中□为瓦数</p>																																								
1.5	直管形和环形荧光灯的主要技术数据 <sup>[3,23]</sup>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型 号</th> <th>额定电压 (V)</th> <th>额定功率 (W)</th> <th>灯管工作电压 (V)</th> <th>灯管电流 (A)</th> <th>额定光通量 (lm)</th> <th>平均使用寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>YZ6RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">6</td> <td rowspan="3">50</td> <td rowspan="3">0.14</td> <td>160</td> <td rowspan="3">1500</td> </tr> <tr> <td>YZ6RL</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>YZ6RN</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>YZ8RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">8</td> <td rowspan="3">60</td> <td rowspan="3">0.15</td> <td>250</td> <td rowspan="3">1500</td> </tr> <tr> <td>YZ8RL</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>YZ8RN</td> <td>285</td> </tr> <tr> <td>YZ15RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">15</td> <td rowspan="3">51</td> <td rowspan="3">0.33</td> <td>450</td> <td rowspan="3">300</td> </tr> <tr> <td>YZ15RL</td> <td>490</td> </tr> <tr> <td>YZ15RN</td> <td>510</td> </tr> </tbody> </table>	型 号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	灯管工作电压 (V)	灯管电流 (A)	额定光通量 (lm)	平均使用寿命 (h)	YZ6RR	220	6	50	0.14	160	1500	YZ6RL	175	YZ6RN	180	YZ8RR	220	8	60	0.15	250	1500	YZ8RL	280	YZ8RN	285	YZ15RR	220	15	51	0.33	450	300	YZ15RL	490	YZ15RN	510
型 号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	灯管工作电压 (V)	灯管电流 (A)	额定光通量 (lm)	平均使用寿命 (h)																																				
YZ6RR	220	6	50	0.14	160	1500																																				
YZ6RL					175																																					
YZ6RN					180																																					
YZ8RR	220	8	60	0.15	250	1500																																				
YZ8RL					280																																					
YZ8RN					285																																					
YZ15RR	220	15	51	0.33	450	300																																				
YZ15RL					490																																					
YZ15RN					510																																					

续表

序号	项 目	说 明						
		型 号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	灯管工作电压 (V)	灯管电流 (A)	额定光通量 (lm)	平均使用寿命 (h)
1.5	直管形和环形荧光灯的主要技术数据 <sup>[3,28]</sup>	YZ20RR	220	20	57	0.37	775	3000
		YZ20RL					835	
		YZ20RN					880	
		YZ30RR	220	30	81	0.41	1295	5000
		YZ30RL					1415	
		YZ30RN					1465	
		YZ40RR	220	40	103	0.43	2000	5000
		YZ40RL					2200	
		YZ40RN					2285	
		YH20RR	220	20	57	0.37	800	2000
		YH30RR		30	81	0.41	1400	
YH40RR	40	103		0.43	2300			

2

高 压 汞 灯

2.1	荧光高压汞灯的结构和接线	<p>(a) 结构; (b) 接线</p> <p>1—第一主电极; 2—第二主电极; 3—金属支架; 4—内层石英玻壳(内充适量汞和氙); 5—外层石英玻壳(内壁涂荧光粉,内外玻壳间充氩); 6—辅助电极(触发极); 7—限流电阻; 8—灯头; L—镇流器(通常进线上并联)电容器</p>
-----	--------------	--

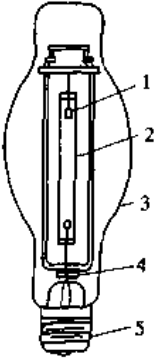
2.2	高压汞灯的类型	GGY—荧光高压汞灯(参看序号2.1) GYZ—自镇流高压汞灯(利用自身的灯丝兼作镇流器) GYF—反射型高压汞灯(接近灯头的玻壳内壁镀反射层,使光线集中均匀地定向反射)
-----	---------	---

2.3 高压汞灯的原理

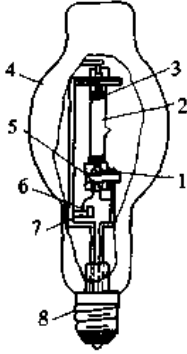
高压汞灯是一种利用高压汞蒸气、白炽体和荧光粉三种发光物质同时发光的复合光源,而其主要辐射来自汞原子受激后产生的大量紫外线和少量可见光,紫外线又激励外玻壳内壁涂覆的荧光粉,使之产生大量可见光

序号	项 目	型 号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定光通量 (lm)	启动稳定时间 (min)	再启动稳定时间 (min)	平均使用寿命 (h)
GGY-80	80	2800						
GGY-125	125	4750						
GGY-175	175	7000						
GGY-250	250	10500						
GGY-400	400	20000						
GGY-700	700	35000						
GGY-1000	1000	50000						
GYZ-160	220	160	2560	4~8	10	2500		
GYZ-250		250	4900					
GYZ-450		450	11000					
GYZ-750		750	22500					
GYF-50	220	50	1250	4~8	5~10	3000		
GYF-80		80	2300					
GYF-125		125	3900					
GYF-400		400	16500					

续表

序号	项目	说明																																																																																										
3		高压钠灯																																																																																										
3.1	结构	 <p>高压钠灯接线与高压汞灯接线相同 1—主电极；2—半透明陶瓷放电管 (内充钠、汞及氙或氩氦混合气)； 3—外玻壳(内外两层间充氙)；4—消气剂；5—灯头</p>																																																																																										
3.2	型式	NG—普通型高压钠灯 NGX—显色改进型高压钠灯 NGG—高显色型高压钠灯 注：型号后面加“/M”者为漫射椭圆形，其他未加者则为直筒形																																																																																										
3.3	原理	高压钠灯利用高压的钠蒸气放电发光，其辐射光谱集中在人的视觉较为敏感的区域，因此其发光效率比高压汞灯还高1倍左右，且使用寿命长，但普通高压钠灯的显色性比高压汞灯还差																																																																																										
3.4	主要技术数据 <sup>[3.23]</sup>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型号</th> <th>额定电压(V)</th> <th>额定功率(W)</th> <th>额定光通量(lm)</th> <th>启动稳定时间(min)</th> <th>再启动时间(min)</th> <th>平均使用时间(h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>NG-35</td><td rowspan="20">220</td><td>35</td><td>2250</td><td rowspan="19">5~6</td><td rowspan="19">≥1</td><td rowspan="6">16000</td></tr> <tr><td>NG-35/M</td><td>35</td><td>2150</td></tr> <tr><td>NG-50</td><td>50</td><td>4000</td></tr> <tr><td>NG-50/M</td><td>50</td><td>3500</td></tr> <tr><td>NG-70</td><td>70</td><td>6000</td></tr> <tr><td>NG-70/M</td><td>70</td><td>5600</td></tr> <tr><td>NG-100</td><td>100</td><td>9000</td></tr> <tr><td>NG-100/M</td><td>100</td><td>8500</td></tr> <tr><td>NG-150</td><td>150</td><td>16000</td></tr> <tr><td>NG-150/M</td><td>150</td><td>14500</td></tr> <tr><td>NG-250</td><td>250</td><td>28000</td></tr> <tr><td>NG-250/M</td><td>250</td><td>25000</td></tr> <tr><td>NG-400</td><td>400</td><td>48000</td></tr> <tr><td>NG-400/M</td><td>400</td><td>46000</td></tr> <tr><td>NG-1000</td><td>1000</td><td>130000</td></tr> <tr><td>NG-1000/M</td><td>1000</td><td>120000</td></tr> <tr><td>NGX-150</td><td>150</td><td>13000</td></tr> <tr><td>NGX-150/M</td><td>150</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-250</td><td>250</td><td>22500</td></tr> <tr><td>NGX-250/M</td><td>250</td><td>21500</td></tr> <tr><td>NGX-400</td><td>400</td><td>38000</td></tr> <tr><td>NGX-400/M</td><td>400</td><td>36000</td></tr> <tr><td>NGG-250</td><td>250</td><td>21500</td></tr> <tr><td>NGG-400</td><td>400</td><td>36000</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>5</td><td></td><td>12000</td></tr> </tbody> </table>	型号	额定电压(V)	额定功率(W)	额定光通量(lm)	启动稳定时间(min)	再启动时间(min)	平均使用时间(h)	NG-35	220	35	2250	5~6	≥1	16000	NG-35/M	35	2150	NG-50	50	4000	NG-50/M	50	3500	NG-70	70	6000	NG-70/M	70	5600	NG-100	100	9000	NG-100/M	100	8500	NG-150	150	16000	NG-150/M	150	14500	NG-250	250	28000	NG-250/M	250	25000	NG-400	400	48000	NG-400/M	400	46000	NG-1000	1000	130000	NG-1000/M	1000	120000	NGX-150	150	13000	NGX-150/M	150	12000	NGX-250	250	22500	NGX-250/M	250	21500	NGX-400	400	38000	NGX-400/M	400	36000	NGG-250	250	21500	NGG-400	400	36000					5		12000
型号	额定电压(V)	额定功率(W)	额定光通量(lm)	启动稳定时间(min)	再启动时间(min)	平均使用时间(h)																																																																																						
NG-35	220	35	2250	5~6	≥1	16000																																																																																						
NG-35/M		35	2150																																																																																									
NG-50		50	4000																																																																																									
NG-50/M		50	3500																																																																																									
NG-70		70	6000																																																																																									
NG-70/M		70	5600																																																																																									
NG-100		100	9000																																																																																									
NG-100/M		100	8500																																																																																									
NG-150		150	16000																																																																																									
NG-150/M		150	14500																																																																																									
NG-250		250	28000																																																																																									
NG-250/M		250	25000																																																																																									
NG-400		400	48000																																																																																									
NG-400/M		400	46000																																																																																									
NG-1000		1000	130000																																																																																									
NG-1000/M		1000	120000																																																																																									
NGX-150		150	13000																																																																																									
NGX-150/M		150	12000																																																																																									
NGX-250		250	22500																																																																																									
NGX-250/M		250	21500																																																																																									
NGX-400	400	38000																																																																																										
NGX-400/M	400	36000																																																																																										
NGG-250	250	21500																																																																																										
NGG-400	400	36000																																																																																										
				5		12000																																																																																						

续表

序号	项目	说明																																																																																																																																											
4		金属卤化物灯																																																																																																																																											
4.1	结构	 <p>1—主电极； 2—放电管（内充汞、稀有气体和金属卤化物）； 3—保温罩； 4—石英玻壳； 5—消气剂； 6—启动电极； 7—限流电阻； 8—灯头</p>																																																																																																																																											
4.2	型式	NTI—钠铊镨灯；ZJD—高光效金属卤素灯；DDG—日光色镨灯 KNG—钪钠灯 { KNG—250、400 为椭球形 KNG—1000、2000 为管形																																																																																																																																											
4.3	原理	金属卤化物灯的主要辐射，来自充填在其放电管中的铟、镨、铊、钠等金属的卤化物，在高温下分解产生的金属蒸气和汞蒸气混合物的激发，产生大量可见光																																																																																																																																											
4.4	主要技术数据 <sup>[2,3]</sup>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型号</th> <th>额定电压 (V)</th> <th>额定功率 (W)</th> <th>额定光通量 (lm)</th> <th>启动稳定时间 (min)</th> <th>再启动时间 (min)</th> <th>平均使用寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NTI-400</td> <td rowspan="3">220</td> <td>400</td> <td>24000</td> <td rowspan="3">10</td> <td rowspan="3">8~10</td> <td rowspan="3">1000</td> </tr> <tr> <td>NTI-1000</td> <td>1000</td> <td>75000</td> </tr> <tr> <td>NTI-2000</td> <td>2000</td> <td>140000</td> </tr> <tr> <td>NTI-3500</td> <td>380</td> <td>3500</td> <td>240000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DDG-125</td> <td rowspan="10">220</td> <td>125</td> <td>6500</td> <td rowspan="10">5~10</td> <td rowspan="10">10~15</td> <td rowspan="5">1500</td> </tr> <tr> <td>DDG-250</td> <td>250</td> <td>18000</td> </tr> <tr> <td>DDG-250/H, HB</td> <td>250</td> <td>13500</td> </tr> <tr> <td>DDG-250/V</td> <td>250</td> <td>16000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400</td> <td>400</td> <td>35000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400/H, HB</td> <td>400</td> <td>24000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400/V</td> <td>400</td> <td>28000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DDG-1000</td> <td>1000</td> <td>70000</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>DDG-1000/HB</td> <td>1000</td> <td>70000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>DDG-2000</td> <td rowspan="4">380</td> <td>2000</td> <td>150000</td> <td></td> <td></td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>DDG-2000/HB</td> <td>2000</td> <td>150000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DDG-3500</td> <td>3500</td> <td>280000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>DDG-3500/HB</td> <td>3500</td> <td>280000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>KNG-250</td> <td rowspan="3">220</td> <td>250</td> <td>15000</td> <td rowspan="3">—</td> <td rowspan="3">—</td> <td>1500</td> </tr> <tr> <td>KNG-400</td> <td>400</td> <td>28000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>KNG-1000</td> <td>1000</td> <td>70000</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>KNG-2000</td> <td>380</td> <td>2000</td> <td>150000</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ZJD-100</td> <td rowspan="6">220</td> <td>100</td> <td>7800</td> <td rowspan="6">—</td> <td rowspan="6">—</td> <td rowspan="6">10000</td> </tr> <tr> <td>ZJD-150</td> <td>150</td> <td>11500</td> </tr> <tr> <td>ZJD-175</td> <td>175</td> <td>14000</td> </tr> <tr> <td>ZJD-250</td> <td>250</td> <td>20500</td> </tr> <tr> <td>ZJD-400</td> <td>400</td> <td>36000</td> </tr> <tr> <td>ZJD-1000</td> <td>1000</td> <td>110000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ZJD-1500</td> <td>220, 380</td> <td>1500</td> <td>155000</td> <td></td> <td></td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>	型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定光通量 (lm)	启动稳定时间 (min)	再启动时间 (min)	平均使用寿命 (h)	NTI-400	220	400	24000	10	8~10	1000	NTI-1000	1000	75000	NTI-2000	2000	140000	NTI-3500	380	3500	240000				DDG-125	220	125	6500	5~10	10~15	1500	DDG-250	250	18000	DDG-250/H, HB	250	13500	DDG-250/V	250	16000	DDG-400	400	35000	DDG-400/H, HB	400	24000	2000	DDG-400/V	400	28000		DDG-1000	1000	70000	500	DDG-1000/HB	1000	70000	1000	DDG-2000	380	2000	150000			500	DDG-2000/HB	2000	150000				DDG-3500	3500	280000				DDG-3500/HB	3500	280000				KNG-250	220	250	15000	—	—	1500	KNG-400	400	28000	1000	KNG-1000	1000	70000	800	KNG-2000	380	2000	150000				ZJD-100	220	100	7800	—	—	10000	ZJD-150	150	11500	ZJD-175	175	14000	ZJD-250	250	20500	ZJD-400	400	36000	ZJD-1000	1000	110000		ZJD-1500	220, 380	1500	155000			3000
型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	额定光通量 (lm)	启动稳定时间 (min)	再启动时间 (min)	平均使用寿命 (h)																																																																																																																																							
NTI-400	220	400	24000	10	8~10	1000																																																																																																																																							
NTI-1000		1000	75000																																																																																																																																										
NTI-2000		2000	140000																																																																																																																																										
NTI-3500	380	3500	240000																																																																																																																																										
DDG-125	220	125	6500	5~10	10~15	1500																																																																																																																																							
DDG-250		250	18000																																																																																																																																										
DDG-250/H, HB		250	13500																																																																																																																																										
DDG-250/V		250	16000																																																																																																																																										
DDG-400		400	35000																																																																																																																																										
DDG-400/H, HB		400	24000			2000																																																																																																																																							
DDG-400/V		400	28000																																																																																																																																										
DDG-1000		1000	70000			500																																																																																																																																							
DDG-1000/HB		1000	70000			1000																																																																																																																																							
DDG-2000		380	2000			150000			500																																																																																																																																				
DDG-2000/HB	2000		150000																																																																																																																																										
DDG-3500	3500		280000																																																																																																																																										
DDG-3500/HB	3500		280000																																																																																																																																										
KNG-250	220	250	15000	—	—	1500																																																																																																																																							
KNG-400		400	28000			1000																																																																																																																																							
KNG-1000		1000	70000			800																																																																																																																																							
KNG-2000	380	2000	150000																																																																																																																																										
ZJD-100	220	100	7800	—	—	10000																																																																																																																																							
ZJD-150		150	11500																																																																																																																																										
ZJD-175		175	14000																																																																																																																																										
ZJD-250		250	20500																																																																																																																																										
ZJD-400		400	36000																																																																																																																																										
ZJD-1000		1000	110000																																																																																																																																										
ZJD-1500	220, 380	1500	155000			3000																																																																																																																																							

续表

序号	项目	说明																																																																							
5		单灯混光灯																																																																							
5.1	结构类型及性能	<p>单灯混光灯是近几年发展起来的一种高效节能型新光源。它有下列三种系列:</p> <p>(1)HXJ系列金卤钠灯——由一支金属卤化物灯管芯和一支中显钠灯管芯串联构成,吸取了中显钠灯和金属卤化物灯光效高、寿命长等优点,又克服了这两种光源光色差、特别是金属卤化物灯在使用后期光通量衰减和变色严重的缺点,是一种光色好、光线柔和、寿命长及色温、显色指数等技术指标均优于中显钠灯和金属卤化物灯的新型混光光源</p> <p>(2)HXG系列中显钠汞灯——由一支中显钠灯管芯和一支汞灯管芯串联构成,克服了汞灯、钠灯和金属卤化物灯光色不太适应人的视觉习惯或光效偏低、显色性差、寿命短等缺点,是一种光效高、光色好、显色指数高、寿命长的部分技术指标优于汞灯、钠灯和金属卤化物灯的新型混光光源</p> <p>(3)HJJ系列双管芯金属卤化物灯——具有两支金属卤化物灯管芯。当其中一支管芯失效时,另一支管芯会自动起动,从而提高了其可靠性和使用寿命,并减少了维修工作量。因此这种光源特别适用于体育馆、高大厂房等可靠性要求较高及维修比较困难的场所</p>																																																																							
5.2	主要技术数据 <sup>[23]</sup>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型号</th> <th>额定电压 (V)</th> <th>额定功率 (W)</th> <th>光通量 (lm)</th> <th>色温 (K)</th> <th>显色指数 Ra (%)</th> <th>平均使用寿命 (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HXJ 200</td> <td rowspan="6">220</td> <td>200</td> <td>15500</td> <td rowspan="6">3400</td> <td rowspan="6">70~80</td> <td rowspan="6">10000</td> </tr> <tr> <td>HXJ 250</td> <td>250</td> <td>21000</td> </tr> <tr> <td>HXJ 300</td> <td>300</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>HXJ 400</td> <td>400</td> <td>37000</td> </tr> <tr> <td>HXJ 650</td> <td>650</td> <td>65000</td> </tr> <tr> <td>HXJ 800</td> <td>800</td> <td>81000</td> </tr> <tr> <td>HXG 100</td> <td rowspan="6">220</td> <td>100</td> <td>5000</td> <td rowspan="6">3100~3300</td> <td rowspan="6">60~72</td> <td rowspan="6">10000</td> </tr> <tr> <td>HXG 200</td> <td>200</td> <td>14000</td> </tr> <tr> <td>HXG 250</td> <td>250</td> <td>19500</td> </tr> <tr> <td>HXG 300</td> <td>300</td> <td>23200</td> </tr> <tr> <td>HXG 400</td> <td>400</td> <td>31000</td> </tr> <tr> <td>HXG 650</td> <td rowspan="2">380</td> <td>650</td> <td>51000</td> </tr> <tr> <td>HXG 800</td> <td>800</td> <td>62000</td> </tr> <tr> <td>HJJ 150</td> <td rowspan="4">220</td> <td>150</td> <td>11500</td> <td rowspan="4">—</td> <td rowspan="4">—</td> <td rowspan="4">10000</td> </tr> <tr> <td>HJJ 175</td> <td>175</td> <td>14000</td> </tr> <tr> <td>HJJ 250</td> <td>250</td> <td>20500</td> </tr> <tr> <td>HJJ 400</td> <td>400</td> <td>36000</td> </tr> </tbody> </table>	型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	光通量 (lm)	色温 (K)	显色指数 Ra (%)	平均使用寿命 (h)	HXJ 200	220	200	15500	3400	70~80	10000	HXJ 250	250	21000	HXJ 300	300	25000	HXJ 400	400	37000	HXJ 650	650	65000	HXJ 800	800	81000	HXG 100	220	100	5000	3100~3300	60~72	10000	HXG 200	200	14000	HXG 250	250	19500	HXG 300	300	23200	HXG 400	400	31000	HXG 650	380	650	51000	HXG 800	800	62000	HJJ 150	220	150	11500	—	—	10000	HJJ 175	175	14000	HJJ 250	250	20500	HJJ 400	400	36000
型号	额定电压 (V)	额定功率 (W)	光通量 (lm)	色温 (K)	显色指数 Ra (%)	平均使用寿命 (h)																																																																			
HXJ 200	220	200	15500	3400	70~80	10000																																																																			
HXJ 250		250	21000																																																																						
HXJ 300		300	25000																																																																						
HXJ 400		400	37000																																																																						
HXJ 650		650	65000																																																																						
HXJ 800		800	81000																																																																						
HXG 100	220	100	5000	3100~3300	60~72	10000																																																																			
HXG 200		200	14000																																																																						
HXG 250		250	19500																																																																						
HXG 300		300	23200																																																																						
HXG 400		400	31000																																																																						
HXG 650		380	650				51000																																																																		
HXG 800	800		62000																																																																						
HJJ 150	220	150	11500	—	—	10000																																																																			
HJJ 175		175	14000																																																																						
HJJ 250		250	20500																																																																						
HJJ 400		400	36000																																																																						

(3) 常用电光源的技术性能比较。如表 10-7 所示。

表 10-7 常用电光源的技术性能比较

序号	性能参数	白炽灯	卤钨灯	荧光灯	高压汞灯	高压钠灯	金属卤化物灯	氙灯
1	额定功率 (W)	10~1000	500~2000	6~125	50~1000	35~1000	125~3500	1500~100000
2	发光效率 (lm/W)	10~15	20~25	40~90	30~50	70~100	60~90	20~40
3	平均使用寿命 (h)	1000	1500	1500~5000	2500~6000	3000~160000	500~1000	1000
4	一般显色指数 Ra (%)	97~100	95~99	70~90	30~50	20~25	65~90	95~97
5	启动稳定时间 (min)	瞬时	瞬时	1~4s	4~8	5~6	5~10	瞬时
6	再启动时间 (min)	瞬时	瞬时	1~4s	5~10	10~15	10~15	瞬时
7	功率因数	1.0	1.0	0.33~0.7	0.44~0.67	0.44	0.4~0.6	0.4~0.9
8	频闪效应	无	无	有	有	有	有	有
9	表面亮度	大	大	小	较大	较大	大	大
10	电压变化对光通量的影响	大	大	较大	较大	大	较大	较大
11	环境温度对光通量的影响	小	小	大	较小	较小	较小	小
12	耐振性能	较差	差	较好	好	较好	好	好
13	所需附件	无	无	镇流器 起辉器	镇流器	镇流器	镇流器 触发器	镇流器 触发器

号命名方法》规定,照明灯具型号的组成及有关代号含义如表 10-8 所示。

## 二、常用的照明灯具

(1) 照明灯具的型号。按 GB6859—1986《灯具型

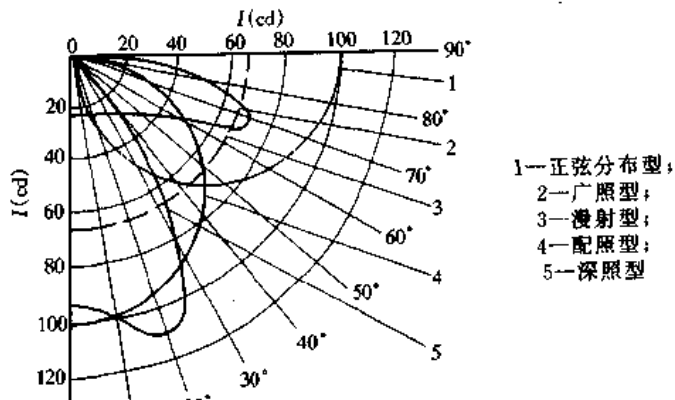
表 10-8 照明灯具的型号说明 (据 GB6859—1986)

序号	项 目	说 明					
1	型号组成格式	□ 灯具类 型代号	□ 灯种 代号	□ 序号及 变型代号	□ 光源 代号	□ 光源 功率	× □ 光源个数 (1个不标)
2	灯具类 型代号	G	工矿灯具	M	民用建筑灯具	Z	公共场所灯具
		C	船用灯具	S	水面水下灯具	H	航空灯具
		L	陆上交通灯具	B	防爆灯具	Y	医疗灯具
		X	摄影灯具	W	舞台灯具	N	农用灯具
		J	军用灯具				
3	民用建 筑灯具的 灯种代号	B	壁灯	C	床头灯	D	吊灯
		L	落地灯	M	门灯	Q	嵌入式顶灯
		T	台灯	X	吸顶灯		
4	工矿灯 具的灯种 代号	B	标志灯	C	厂房照明灯	G	工作台灯
		H	行灯	J	机床灯	T	投光灯
		Y	应急灯				
5	公共场 所灯具的 灯种代号	B	标志灯	D	道路照明灯	G	广场灯
		S	射灯	T	庭院灯	Y	通用照明灯
		W	未列入类				
6	光源代 号	—	白炽灯 (不标)	Y	荧光灯	L	卤钨灯
		G	汞灯	N	钠灯	J	金属卤化物灯
		X	氙灯	H	混光光源		

(2) 照明灯具的分类。如表 10-9 所示。

表 10-9 照明灯具的分类

序号	类 别	说 明
1	按结构特点分类	
1.1	开启型	其光源与外界空间相通, 如一般的配照型灯、广照型灯、深照型灯管
1.2	闭合型	其光源被透明罩包含, 但内外空气仍能流通, 如球形灯、双罩型灯、吸顶灯等
1.3	密闭型	其光源被透明罩密封, 内外空气不能对流, 如防潮灯、防水防尘灯等
1.4	防爆型	其光源被高强度透明罩密封, 且灯具能承受足够的压力, 能安全地使用在有爆炸危险介质的场所
1.5	隔爆型	其光源被高强度透明罩封闭, 但不是靠其密封性来防爆, 而是在灯座的法兰与灯罩的法兰之间有一隔爆间隙。当气体在灯罩内部爆炸时, 高温气体经过隔爆间隙被充分冷却, 从而不致引起外部爆炸性混合气体爆炸, 因此隔爆型灯也能安全地使用在有爆炸危险介质的场所
2	按灯具的配光曲线形状分类	
2.1	正弦分布型	光强是角度的正弦函数, 并且在 $\theta=90^\circ$ (水平方向) 时光强最大, 如右图中曲线 1 所示
2.2	广照型	最大光强分布在较大角度上, 可在较广的面积上形成较均匀的照度, 如右图中曲线 2 所示
2.3	漫射型	各个角度的光强基本一致, 如右图中曲线 3 所示
2.4	配照型	光强是角度的余弦函数, 并且在 $\theta=0^\circ$ (垂直向下) 时光强最大, 如右图中曲线 4 所示
2.5	深照型	光强和光通量集中在 $0^\circ\sim 30^\circ$ 的狭小立体角内, 如右图中曲线 5 所示
3	按灯具向下和向上投射光通量比值分类	



续表

序号	类别	说明
3.1	直接照明型	灯具向下投射的光通量占总光通量的90%~100%，而向上投射的光通量很少。此类灯具简称直照型灯具
3.2	半直接照明型	灯具向下投射的光通量占总光通量的60%~90%，向上投射的光通量只有10%~40%
3.3	均匀漫射型	灯具向下投射的光通量与向上投射的光通量差不多相等，各为40%~60%
3.4	半间接照明型	灯具向上投射的光通量占总光通量的60%~90%，向下投射的光通量只有10%~40%
3.5	间接照明型	灯具向上投射的光通量占总光通量的90%~100%，而向下投射的光通量很少

(3) 部分常用灯具的主要技术数据。如表 10-10 所示。

表 10-10 部分常用灯具的主要技术数据

序号	灯具类型名称	光源类型功率 (W)	灯具遮光角	灯具效率%	光通量比 (%)		最大允许距高比
					上射	下射	
1*	GC1-A-B-1 型配照灯	PZ220-50、100	24°	62	0	62	1.38
2	GC1-A-B-1 型配照灯	PZ220-150	8.7°	85	0	85	1.25
3	GC1-A-B-1 型配照灯	GGY-125	0°	72	0	72	1.41
4	GC1-A-B-2 型配照灯	PZ220-150 200	11.7°	68	0	68	0.88
5	GC1-A-B-2 型配照灯	GGY-125	0°	66	0	66	1.35
6	GC3-A-B-2 型广照灯	PZ220-150 200	0°	91	5	86	1.02
7	GC3-A-B-2 型广照灯	GGY-125	0°	76	6	70	0.98
8	GC5-A-B-2 型深照灯	PZ220-150 200	32.7°	63	0	63	1.37
9	GC5-A-B-2 型深照灯	GGY-125	16.7°	54	0	54	1.5
10	GC5-A-B-3 型深照灯	PZ220-300	12.2°	77	0	77	1.4
11	GC5-A-B-3 型深照灯	GGY-250	1.3°	69	0	69	1.45
12	GC5-A-B-4 型深照灯	PZ220-300 500	18.6° 15.8°	67	0	67	1.4
13	GC5-A-B-4 型深照灯	GGY-400	0°	65	0	65	1.23
14	GC9-A-B-1 型防水防尘灯	PZ220-60 100	5.9° 6.5°	78	0	78	0.87
15	GC33 型防潮灯	PZ220-100	0°	82	31	51	1.67
16	JS-300 型镜面深照灯	PZ220-300	22.4°	84.6	0	84.6	1.36
17	JS-300 型镜面深照灯	GGY-250	0°	87.8	0	87.8	1.4
18	B3C-200-1 型防爆灯	PZ220-200	0°	61.6	16.8	44.8	1.68
19	GB3C-125 型防爆灯	GGY-125	0°	49	1	48	1.71
20	DH-22 型明月罩吊灯	PZ220-100	0°	86	41	45	1.3
21	DH-30 型乳白玻璃吊灯	PZ220-100	0°	88	35	53	1.4
22	JDD11 型扁圆罩吊灯	PZ220-100	0°	82	39	43	1.28
23	JDD12 型梯形罩吊灯	PZ220-100	0°	85	44	41	1.38
24	JXD3-2 型半扁罩吸顶灯	PZ220-100	0°	49	13	36	1.38
25	JXD5-2 型平圆形吸顶灯	PZ220-100	0°	57	22	35	1.32
26	TP-1 型扁圆天棚灯	PZ220-60 100	0°	63	14	49	1.3
27	TP-2 型半圆天棚灯	PZ220-60 100	0°	40	7	33	1.54
28*	YG1-1 型筒式荧光灯	YZ-40	0°	80	21	59	1.62 ⊥ 1.22
29	YG2-1 型筒式荧光灯	YZ-40	4.6°	88	0	88	1.60 ⊥ 1.28
30	YG2-2 型筒式荧光灯	2×YZ-40	1.25°	97	0	97	1.33 ⊥ 1.28

续表

序号	灯具类型名称	光源类型功率 (W)	灯具遮光角	灯具效率%	光通量比 (%)		最大允许距离比
					上射	下射	
31	YG4-1 型密封型荧光灯	YZ-40	5°	84	0	84	1.52 <sub>上</sub> 1.27 <sub>下</sub>
32	YG4-2 型密封型荧光灯	2×YZ-40	0°	80	0	80	1.41 <sub>上</sub> 1.26 <sub>下</sub>
33	YG6-2 型吸顶式荧光灯	2×YZ-40	0°	86	22	64	1.22 <sub>上</sub> 1.48 <sub>下</sub>
34	YG6-3 型吸顶式荧光灯	3×YZ-40	0°	86	21	65	1.25 <sub>上</sub> 1.50 <sub>下</sub>
35	YG15-2 型嵌入式铝格栅荧光灯	2×YZ-40	31°	63	0	63	1.25 <sub>上</sub> 1.20 <sub>下</sub>
36	YG15-3 型塑料格栅荧光灯	3×YZ-40	32.6°	45	0	45	1.07 <sub>上</sub> 1.05 <sub>下</sub>
37	CXGC202-GN360 型混光灯具	GGY-250+NG-110	12°	75	2	73	2.4 <sub>上</sub> 2.3 <sub>下</sub>
38	CXGC202-GN650 型混光灯具	GGY-400+NG-250	10°	72	1	71	1.64 <sub>上</sub> 1.52 <sub>下</sub>
39	CXTG203-GN360 型混光灯	GGY-250+NG-110	26°	71	0	71	1.30 <sub>上</sub> 1.30 <sub>下</sub>
40	CXTG203-GN650 型混光灯	GGY-400+NG-250	21°	70	0	70	0.76 <sub>上</sub> 0.76 <sub>下</sub>
41	SHGD-101 型混光灯具	GGY-400+NG-215	20°	71	0	71	2.20 <sub>上</sub> 2.27 <sub>下</sub>
42	SHGD-102 型混光灯具	GGY-250+NG-110	20°	72	0	72	2.40 <sub>上</sub> 2.53 <sub>下</sub>
43	JDD01-DN650 型混光灯具	DDG-400+NGG-250	35°	53	0	53	1.22 <sub>上</sub> 1.22 <sub>下</sub>
44	JDD02-DL900 型混光灯具	DDG-400+LSG-500	38°	52	0	52	1.20 <sub>上</sub> 1.20 <sub>下</sub>
45	JDD06-DN360 型混光灯具	DDG-250+NG-110	45°	41	0	41	1.13 <sub>上</sub> 1.23 <sub>下</sub>
46	DNHD-201 型混光灯具	DDG-400+NGG-250	39°	51	0	51	1.32 <sub>上</sub> 1.32 <sub>下</sub>
47	DNHD-202 型混光灯具	DDG-400+NGG-400	39°	49	0	49	1.34 <sub>上</sub> 1.34 <sub>下</sub>
48	HNK-500 型混光灯具	KNG-250+NG-250	32°	53	0	53	1.30 <sub>上</sub> 1.50 <sub>下</sub>
49	HGD-653-6 型混光灯具	DDG-400+NGG-250	40°	60	0	60	1.26 <sub>上</sub> 1.62 <sub>下</sub>
50	HGD-400-1 型混光灯具	KNG-250+NG-150	42°	55	0	55	1.26 <sub>上</sub> 1.42 <sub>下</sub>

注 \* 序号 1~14 中 GC 型号中“A”表示管吊式、“B”表示链吊式。  
 \*\* 序号 28~50 中距离比中“上”指与灯具轴线的垂直方向，“下”指与灯具轴线的平行方向。

续表

### 第三节 照明质量与照度标准

#### 一、照明质量

(1) 照明质量的基本要求。如表 10-11 所示。

表 10-11 照明质量的基本要求

序号	项目	说 明
1		照 度 水 平 要 求
1	合 适 的 照 度	合适的照度,有利于保护人的视力,提高作业效率和产品质量,作业面上的照度不得低于有关标准规定的照度标准(表 10-18~表 10-24)
2	照 度 均 匀 度	照度均匀度,以给定的作业平面上的最小照度与平均照度的比值来量度。照度差别太大,会造成视觉不舒服。照度均匀度应符合有关标准的要求(表 10-12)

序号	项目	说 明
3	照 度 的 稳 定 性	照度不稳定会影响视觉和人们的情绪,从而影响正常作业。照度不稳定是由于光源的光通量的变化,而光源光通量的变化是由于电源电压波动造成的。因此要提高照度的稳定性,必须维持电源电压的稳定,电压波动不得超过有关标准的要求(表 1-26)
4	频 闪 的 除 除	气体放电光源的光通量会随着交流电周期性变化而变化,即灯管(或灯泡)电流经过零值时(交流电每周期有两次过零),光通量为零,因此产生频繁的灯光闪烁现象,这就是“频闪效应”。频闪效应容易使人眼产生错觉,可能将一些旋转的物体误为固定不动的物体,从而造成人身安全事故。所以频闪效应必须予以消除,消除频闪效应的最简便的办法,是在一个灯具内安装两支或三支灯管,而各支灯管分别接到不同相位的电源线路上,或者将相邻灯具分别接到不同相位的电源线路上



续表

序号	项目	说明
5	眩光的限制	眩光是指由于视野中出现的高亮度或未被遮蔽的光源而引起视觉降低和不舒适的一种现象。眩光对视力影响很大,可严重降低目标的可见度,因此必须加以限制。限制眩光的措施有限制光源亮度,降低灯具表面亮度,加大灯具的遮光角,提高灯具的悬挂高度等(表10-13~15)
6	光源光色与显色性	光源的光色与人的感觉有密切关系。合适的光色可以改善人的情绪,减轻疲劳,提高工作效率,减少事故率。 对于要求正确辨别色彩的场所,要选用显色指数较高的光源(表10-16)
7	工作房间表面的反射比	在长时间连续作业的房间内,房间表面(顶棚、墙面、地面)的反射比(表10-17)不宜过低,宜符合有关标准的规定,以提高被照物体面上来自空间不同方向的光通量

(2) 照度均匀度的要求。按 GB50034—1992《工业企业照明设计标准》规定,如表 10-12 所示。

(3) 眩光限制的质量等级和要求。按 GB50034—1992 规定,直接眩光限制等级如表 10-13 所示;灯具最小遮光角如表 10-14 所示;室内一般照明灯具的最低悬挂高度如表 10-15 所示。

表 10-12 照度均匀度的要求(据 GB50034—1992)

序号	照明环境	照度均匀度要求
1	作业区域的一般照明	作业区域的一般照明照度均匀度,不宜小于 0.7
2	非作业区域的一般照明	工作场所内走道和非作业区域的一般照明照度,不宜小于作业区域一般照明照度的 1/5
3	工作面的一般照明	局部照明与一般照明共用时,工作面上一般照明的照度值宜为总照度值的 1/3~1/5,且不宜低于 50lx (GBJ133—1990 规定)
4	体育场地的照明	在体育运动场地内的主要摄像方向上,垂直照度最小值与最大值之比不宜小于 0.4,平均垂直照度与平均水平照度之比不宜小于 0.25;场地水平照度最小值与最大值之比不宜小于 0.5;体育场所观众席的垂直照度不宜小于场地垂直照度的 0.25 (GBJ133—1990 规定)

表 10-13 直接眩光限制等级(据 GB50034—1992)

质量等级	眩光程度	作业或活动的类型
A	无眩光	很严格的视觉作业
B	刚刚感到的眩光	视觉要求高的作业;视觉要求中等但集中注意力要求高的作业
C	轻度眩光	视觉要求和集中注意力要求中等的作业,并且工作人员有一定程度的流动性

续表

质量等级	眩光程度	作业或活动的类型
D	不舒适眩光	视觉要求和集中注意力要求低的作业,工作人员在有限的区域内频繁走动
E	一定的眩光	工作人员不限于一个工作岗位而是来回走动,并且视觉要求低的房间,不是由同一批人连续使用的房间
附录		GBJ133—1990《民用建筑照明设计标准》规定,直接眩光限制质量等级分以下三级: I 级(无眩光感)——适用场所为有特殊要求的高质量照明房间,如计算机房、制图室等 II 级(有轻微眩光)——适用场所为照明质量要求一般的房间,如办公室和候车(船)室等 III 级(有眩光感)——适用场所为照明质量要求不高的房间,如仓库、厨房等

表 10-14 灯具的最小遮光角(据 GB50034—1992)

序号	灯具出光口的平均亮度 ( $10^3\text{cd}/\text{m}^2$ )	眩光限制等级		光源类型	
		A、B、C	D、E		
1	$L \leq 20$	20°	10°	管状荧光灯	
2	$20 < L \leq 500$	25°	15°	涂荧光粉或漫射光玻璃的高强气体放电灯	
3	$L > 500$	30°	20°	透明玻璃壳的高强气体放电灯,透明玻璃白炽灯	
附录	GBJ133—1990《民用建筑照明设计标准》规定的直接型灯具的最小遮光角如下表所示:				
	灯具出光口的平均亮度 ( $10^3\text{cd}/\text{m}^2$ )	眩光限制等级			应用光源举例
		I	II	III	
	$L \leq 20$	20°	10°		荧光灯管
	$20 < L \leq 500$	25°	20°	15°	涂荧光粉或漫射光玻璃的高强光气体放电灯
	$L > 500$	30°	25°	20°	透明玻璃壳的高强光气体放电灯、透明玻璃壳的白炽灯、卤钨灯

表 10-15 室内一般照明灯具的最低悬挂高度(据 GB50034—1992)

序号	光源种类	灯具型式	灯具遮光角	光源功率 (W)	最低悬挂高度 (m)
1	白炽灯	有反射罩	10°~30°	≤100	2.5
				150~200	3.0
				300~500	3.5
		乳白玻璃漫射罩	—	≤100	2.0(2.2)*
				150~200	2.5
				300~500	3.0

续表

序号	光源种类	灯具型式	灯具遮光角	光源功率 (W)	最低悬挂高度 (m)
2	荧光 灯	无反射罩	—	≤40	2.0(2.2)*
				>40	3.0
		有反射罩	—	≤40	2.0(2.2)*
				>40	2.0(2.2)*
3	荧光 高压汞 灯	有反射罩	10°~ 30°	<125	3.5
				125~250	5.0
				≥400	6.0
		有反射罩 带格栅	>30°	<125	3.0
				125~250	4.0
				≥400	5.0
4	金属 卤化物 灯、高压 钠灯、混 光光源	有反射罩	10°~ 30°	<150	4.5
				150~250	5.5
				250~400	6.5
		有反射罩 带格栅	>30°	<150	4.0
				150~250	4.5
				250~400	5.5
				>400	6.5

\* 括号内数字系 JB16—1996《机械工厂电力设计规范》规定。

(4) 光源的色表和显色指数。按 GB50034—1992《工业企业照明设计标准》规定，如表 10-16 所示。

表 10-16 光源的色表和显色指数 (据 GB50034—1992)

序号	项目	说明		
1	光源的 色表 类别	室内照明光源的色表可按其相关色温分成三类，其光源色表类别宜按下表确定：		
		色表类别	色表特征	相关色温 (K)
		Ⅰ	暖	<3300
		Ⅱ	中间	3300~5300
		Ⅲ	冷	>5300
				适用场所举例
				车间局部照明、工厂辅助生活设施等
				除要求使用冷色、暖色以外的各类车间
				高照度水平、热加工车间等

表 10-18 工作场所作业面上的照度标准值 (据 GB50034—1992)

视觉作业特性	识别对象的最小尺寸 d (mm)	视觉作业分类等	亮度对比	照度范围 (lx)					
				混合照明			一般照明		
				甲	乙	丙	甲	乙	丙
特别精细作业	d ≤ 0.15	Ⅰ	小	1500	2000	3000	—	—	—
				1000	1500	2000	—	—	—
很精细作业	0.15 < d ≤ 0.3	Ⅱ	小	750	1000	1500	200	300	500
				500	750	1000	150	200	300
精细作业	0.3 < d ≤ 0.6	Ⅲ	小	500	750	1000	150	200	300
				300	500	750	100	150	200

续表

序号	项目	说明			
2	光源的 一般显色 指数类别	根据视觉作业对颜色辨别的要求，选用不同显色性的光源。光源的一般显色指数类别宜按下表确定：			
		显色类别	一般显色指数范围	适用场所举例	
		Ⅰ	A	Ra ≥ 90	颜色匹配、颜色检验等
			B	90 > Ra ≥ 80	印刷、食品分检、油漆等
		Ⅱ	80 > Ra ≥ 60	机电装配、表面处理、控制室等	
		Ⅲ	60 > Ra ≥ 40	机械加工、热处理、铸造等	
N	40 > Ra ≥ 20	仓库、大件金属库等			
3	相对照度 系数值	对颜色识别有要求的工作场所，当使用照度在 500lx 及以下，采用光源的显色指数较低时，宜提高其照度标准值为规定的标准值乘以下表的相对照度系数值：			
		一般显色指数 Ra	照度标准值 (lx)		
			300 ≤ E ≤ 500	E < 300	
		80 > Ra ≥ 60	1.20	1.25	
	60 > Ra ≥ 40	1.30	1.40		

(5) 工作房间表面的反射比。按 GB50034—1992《工业企业照明设计标准》规定，在长时间连续作业的房间内，其表面反射比宜按表 10-17 确定。

## 二、照度标准

(1) 工作场所作业面上的照度标准值。按 GB50034—1992《工业企业照明设计标准》规定，工作场所作业面上的照度标准值，应符合表 10-18 的规定。

(2) 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值。按 GB50034—1992 规定，应按表 10-19 选取。

表 10-17 工作房间表面的反射比 (据 GB50034—1992)

表面名称	反射比	表面名称	反射比
顶棚	0.70~0.80	地面	0.20~0.40
墙面	0.50~0.70	设备	0.25~0.45

续表

视觉作业特性	识别对象的最小尺寸 $d$ (mm)	视觉作业分类		亮度 对比	照度范围 (lx)					
		等	级		混合照明			一般照明		
一般精细作业	$0.6 < d \leq 1.0$	IV	甲	小	300	500	750	100	150	200
			乙	大	200	300	500	75	100	150
一般作业	$1.0 < d \leq 2.0$	V	—	—	150	200	300	50	75	100
较粗糙作业	$2.0 < d \leq 5.0$	VI	—	—	—	—	—	30	50	75
粗糙作业	$d > 5.0$	VII	—	—	—	—	—	20	30	50
一般观察生产过程	—	VIII	—	—	—	—	—	10	15	20
大件贮存	—	IX	—	—	—	—	—	5	10	15
有自行发光材料的车间	—	X	—	—	—	—	—	30	50	75

表 10-19 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值  
(据 GB50034—1992)

车间和作业场所		视觉作业等级	照度范围 (lx)								
			混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
金属机械加工车间	粗加工	III 乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	精加工	I 乙	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
	精密	I 乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—
机电装配车间	大件装配	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	小件装配、试车台	II 乙	500	750	1000	75	100	150	—	—	—
	精密装配	I 乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—
焊接车间	手动焊接、切割、接触焊、电焊焊	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	自动焊接、一般划线	IV 乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	精密划线	I 甲	750	1000	1500	75	100	150	—	—	—
	备料(如有冲压、剪切设备则参照冲压剪切车间)	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
钣金车间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100	
冲压剪切车间	IV 乙	200	300	500	30	50	75	—	—	—	
锻工车间	X	—	—	—	—	—	—	30	50	75	
热处理车间	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75	
铸工车间	熔化、浇铸	X	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	型砂处理、清理、落砂	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	手工造型	III 乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	机器造型	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
木工车间	机床区	III 乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	锯木区	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	木模区	IV 甲	300	500	750	50	75	100	—	—	—
表面处理车间	电镀槽间、喷漆间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	酸洗间、发兰间、喷砂间	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	抛光间	III 甲	500	750	1000	50	75	100	150	200	300
	电泳涂漆间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
电修车间	一般	IV 甲	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	精密	III 甲	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
	拆卸、清洗场地	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
实验室	理化室	III 乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
	计量室	I 乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
动力站房	压缩机房	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	泵房、风机机、乙炔发生站	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	锅炉房、煤气站的操作层	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
配变电所	变压器室、高压电容器室	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	高低压配电室、低压电容器室	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	值班室	IV 乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	电缆间(夹层)	VII	—	—	—	—	—	—	10	15	20

续表

车间和作业场所		视觉作业等级	照度范围 (lx)								
			混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
电源室	电动发电机室、整流间、柴油发电机室	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	蓄电池室	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
控制室	一般控制室	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	主控制室	I乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
	热工仪表控制室	II乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
电话站	人工交换台、转接台	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	自动电话交换机室	IV甲	—	—	—	—	—	—	100	150	200
	广播室	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
仓库	大件储存	IX	—	—	—	—	—	—	5	10	15
	中小件储存	VIII	—	—	—	—	—	—	10	15	20
	精细件储存、工具库		—	—	—	—	—	—	30	50	75
	乙炔瓶库、氧气瓶库、电石库		—	—	—	—	—	—	10	15	20
汽车库	停车间		—	—	—	—	—	—	10	15	20
	充电室		—	—	—	—	—	—	20	30	50
	检修间		—	—	—	—	—	—	30	50	75

注 1. 冲压剪切车间、铸工车间、手工造型工段、锅炉房及煤气站操作层为了安全起见，照度应选最高值。  
 2. 表中加“\*”号者，表示被照面的计算高度为零。其他未加“\*”号者，计算高度距地 0.75m。

表 10-20 工业企业辅助建筑的照度标准值 (据 GB50034—1992)

类别	规定照度的作业面	照度范围 (lx)						
		混合照明			一般照明			
办公室、资料室、会议室、报告厅	距地 0.75m	—	—	—	75	100	150	
工艺室、设计室、绘图室	距地 0.75m	300	500	750	100	150	200	
打字室	距地 0.75m	500	750	1000	150	200	300	
阅览室、陈列室	距地 0.75m	—	—	—	100	150	200	
医务室	距地 0.75m	—	—	—	75	100	150	
食堂、车间休息室、单身宿舍	距地 0.75m	—	—	—	50	75	100	
浴室、更衣室、厕所、楼梯间	地面	—	—	—	10	15	20	
盥洗室	地面	—	—	—	20	30	50	
托儿所、幼儿园	卧室	距地 0.4~0.5m	—	—	—	20	30	50
	活动室	距地 0.4~0.5m	—	—	—	75	100	150

续表

(3) 工业企业辅助建筑的照度标准值。按 GB50034—1992 规定，应按表 10-20 选取。

(4) 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值。按 GB50034—1992 规定，应按表 10-21 选取。

表 10-21 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值 (据 GB50034—1992)

类别	规定照度的平面	照度范围 (lx)		
		30	50	75
视觉要求较高的工作	作业面	30	50	75
用眼睛检查质量的金属焊接	作业面	15	20	30
用仪器检查质量的金属焊接	作业面	10	15	20
间断的检查仪表	作业面	10	15	20
装卸工作	地面	5	10	15
露天堆场	地面	0.5	1	2

类别	规定照度的平面	照度范围 (lx)		
		2	3	5
道路和广场	主干道	2	3	5
	次干道	1	2	3
	厂前区	3	5	10
站台	视觉要求较高的站台	3	5	10
	一般站台	1	2	3
装卸码头	地面	5	10	15

(5) 民用建筑的照度标准值。GBJ133—1990《民用建筑照明设计标准》规定了各类民用建筑的照度标准值。与 GB50034—1992 一样，照度标准值规定了高、中、低三个值。设计人员应根据建筑等级、功能要求和使用条件，从中选取适当的标准值，一般情况下应取中间值。图书馆建筑照明的照度标准值如表 10-22 所示；商店建筑照明的照度标准值如表 10-23 所示；住宅建

筑照明的照度标准值如表 10-24 所示，其余从略。

表 10-22 图书馆建筑照明的照度标准值 (据 GBJ133—1990)

类别	参考平面及其高度	照度范围 (lx)		
		150	200	300
一般阅览室、少年儿童阅览室、研究室、装裱修整间、美工室	0.75m 水平面	150	200	300
老年读者阅览室、善本书和舆图阅览室	0.75m 水平面	200	300	500
陈列室、目录厅(室)、出纳厅(室)、视听室、缩微阅览室	0.75m 水平面	75	100	150
读者休息室	0.75m 水平面	30	50	75
书库	0.25m 垂直面	20	30	50
开敞式运输传送设备	0.75m 水平面	50	75	100

表 10-23 商店建筑照明的照度标准值 (据 GBJ123—1990)

类别	参考平面及其高度	照度范围 (lx)			
		75	100	150	
一般商店营业厅	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
	柜台	柜台面上	100	150	200
	货架	1.5m 垂直面	100	150	200
	陈列柜、橱窗	货物所处平面	200	300	500
室内菜市场营业厅	0.75m 水平面	50	75	100	
自选商场营业厅	0.75m 水平面	150	200	300	
试衣室	试衣位置 1.5m 高处 垂直面	150	200	300	
收款处	收款台面	150	200	300	
库房	0.75m 水平面	30	50	75	

①陈列柜和橱窗是指展出重点、时新商品的展柜和橱窗。

表 10-24 住宅建筑照明的照度标准值 (据 GBJ133—1990)

类别	参考平面及其高度	照度范围 (lx)			
		20	30	50	
起居室、卧室	一般活动室	0.75m 水平面	20	30	50
	书写、阅读	0.75m 水平面	150	200	300
	床头阅读	0.75m 水平面	75	100	150
	精细作业	0.75m 水平面	200	300	500
餐厅或方厅、厨房	0.75m 水平面	20	30	50	
卫生间	0.75m 水平面	10	15	20	
楼梯间	地面	5	10	15	

## 第四节 照明的设计计算

### 一、照明设计概述

照明设计的原则、内容与程序，如表 10-25 所示。

表 10-25 照明设计的原则、内容与程序

序号	项目	说明
1	电气照明设计的一般原则	
1.1	遵循有关设计标准，保证照明质量	照明设计必须遵循有关设计标准，包括 GB50034—1992《工业企业照明设计标准》、GBJ133—1990《民用建筑照明设计标准》及有关行业标准，以满足人们的生产、工作、学习、生活（统称作业）对照度标准、眩光限制、显色性等的要求，保证视觉作业所需的照明质量
1.2	选用高效节能、经济实用产品	照明装置应首选高效节能产品，但也要考虑到经济实用，尽可能降低工程投资
1.3	合理布置灯具，使用安全方便	灯具应合理布置，限制眩光，照度力求均匀，使视觉舒适。同时照明装置的控制和保护，要合理装设，确保灯具使用安全，维护方便
1.4	与环境协调，给建筑增辉	照明装置应与周围环境协调和谐。在满足照度标准、照明质量及安全经济等前提下，应尽可能讲究艺术，给建筑增辉，给人以美感
2	电气照明设计的基本内容	
2.1	照明的光照设计	包括照明方式和种类的选择、照度标准的确定、照明光源和灯具的选择与布置、照度的计算等
2.2	照明的电气设计	包括照明供配电线路接线方案的确定、导线类型及截面的选择、线路控制和保护装置的选择等
3	电气照明设计的一般程序	
3.1	收集原始资料	(1) 照明设计对象（如车间、住宅等）的平面、立面或剖面图 (2) 生产车间等设计对象的设备布置图 (3) 生产工艺或其他作业对电气照明的要求 (4) 电气照明的供电电源
3.2	照明的光照设计	(1) 根据建筑类别和作业要求或设计任务书的规定，选择照明方式和照明种类，确定照度标准 (2) 根据环境条件及作业对光色的要求，选择照明光源和灯具 (3) 初步确定布灯方案，并进行照度计算。如照度达不到标准要求，则改选光源或改选灯具，也可调整布灯方案
3.3	照明的电气设计	(1) 根据布灯方案选择照明线路的接线方案，确定照明配电箱的装设位置 (2) 选择照明线路的导线类型和截面 (3) 选择照明线路的控制和保护装置
4	设计文件的编制	
4.1	编写设计说明书	设计说明书是初步设计阶段结束时必须提出的文件，以供上级审核，并作为施工设计的依据
4.2	绘制设计图纸	设计图纸是电气照明工程施工安装依据的技术图样，包括电气照明供配电系统图、电气照明平面布置图、非标准件安装制作大样图及设备材料表等
4.3	编制工程概、预算	在初步设计阶段结束时，应编制工程概算；在施工设计阶段结束时，应编制工程预算。一些小的照明工程，只有施工设计，因此只编制工程预算

## 二、照明方式和种类的选择

(1) 照明方式及其选择。如表 10-26 所示。

表 10-26 照明方式及其选择

序号	项目	说 明
1	照明方式及其选择	
1	照明方式的分类	(1) 一般照明: 指不考虑特殊局部的需要, 为照亮整个场地而设置的照明方式 (2) 分区一般照明: 指根据需要, 提高特定区域照度的一般照明方式 (3) 局部照明: 指为满足某些部位(如工作面)的特殊需要而设置的照明方式 (4) 混合照明: 指一般照明与局部照明组合的照明方式
2	照明方式的选择	(1) 当生产条件受到限制、工作地点附近不可能固定灯具而难以采用混合照明, 或者当工作位置密度不大、采用混合照明不合理时, 或者不需要考虑特殊局部的需要而使整个工作场所能获得均匀照度时, 宜装设单一的一般照明 (2) 在同一照明场所内, 当工作场所内某一部分需要高于一般照明的照度时, 可采用分区一般照明 (3) 对于照度要求较高、而工作场所内工作位置密度不大, 并且要求光线照射方向能随意改变时, 采用单一的一般照明显然不合理, 应增设局部照明, 即采用混合照明方式

(2) 照明种类及其选择。如表 10-27 所示。

表 10-27 照明种类及其选择

序号	项目	说 明
1	照明种类	(1) 正常照明: 指在正常情况下使用的室内外照明 (2) 应急照明: 指因正常照明的电源发生故障而启用的照明。包括: 1) 备用照明: 是在当正常照明因故障熄灭后将造成爆炸、火灾和人身伤亡等严重事故的场所装设的供继续工作用的照明, 或在火灾时为了保证救火能正常进行而装设的照明; 2) 安全照明: 是在正常照明发生故障而使人们处于危险状态下, 能确保人员安全而装设的照明; 3) 疏散照明: 是在正常照明因故障熄灭后, 为了确保安全出口通道能被有效地辨认和应用, 使人们安全撤离建筑物而装设的照明 (3) 警卫照明: 一般工矿企业中不必设置, 但对某些有特殊要求的厂区、仓库及其他有警戒任务的场所, 应设置警卫照明 (4) 障碍照明: 指为了保障飞行起降安全和船舶航行安全而在机场周围高耸建筑物如烟囱、水塔上面和在航道两侧建筑物规定部位装设的信号照明
2	照明种类的选择	(1) 当正常照明因故障熄灭后, 对需要确保正常工作或活动继续进行的场所, 应装设备用照明 (2) 当正常照明因故障熄灭后, 对需要确保处于危险之中的人员安全的场所, 应装设安全照明 (3) 当正常照明因故障熄灭后, 对需要确保人员安全疏散的出口和通道, 应装设疏散照明 (4) 警卫照明应根据实际需要, 在警卫范围内装设 (5) 障碍照明应按所在地区航空部门或航运部门的有关规定装设

## 三、照度标准值的确定

(1) 照度标准值的确定原则。如表 10-28 所示,

(2) 影响照度的维护系数值。由于照明灯具的运行期间, 其光源的光通量要逐渐衰减, 灯具的积尘和房间表面的脏污也将使照度值逐渐降低, 因此在照明设计时, 设计用的计算照度值应取为标准照度值除以表 10-29 所示的维护系数(又称“减光系数”)值。

表 10-28 照度标准值的确定原则

序号	项目	说 明
1	一般宜取照度范围的中值	作业面上的照度标准值, 一般情况下宜采用每一照度范围(参看表 10-18~表 10-24)的中间值
2	采用照度范围高值的条件	凡符合下列条件之一时, 作业面上的照度标准值应采用照度范围的高值: (1) 表 10-18 所列 I~V 等视觉作业, 当眼睛至识别对象的距离大 500mm 的 (2) 连续长时间紧张的视觉作业, 对视觉器官有不良影响的 (3) 识别对象在活动面上, 识别时间短促而辨认困难的 (4) 工作需要特别注意操作安全的 (5) 识别对象反射比小的 (6) 当作业精度要求较高且产生差错会造成很大损失的
3	采用照度范围低值的条件	凡符合下列条件之一时, 作业面上的照度标准值应采用照度范围的低值: (1) 临时性工作 (2) 当精度和速度无关重要的
4	若干情况照度标准值的采用要求(据 GB50034-1992)	(1) 当采用高强度气体放电灯作为一般照明时, 在经常有人工作的生产车间, 其照度标准值不宜低于 50lx (2) 混合照明中的一般照明, 其照度值应按该等级混合照明照度值的 5%~15% 选取, 且不宜低于 30lx。但一般照明采用高强度气体放电灯时, 不宜低于 50lx (3) 对于备用照明的照度标准值, 不应低于表 10-18 中一般照明的 10%; 安全照明的照度标准值, 不应低于表 10-18 中的一般照明的 5%; 疏散照明主要通道上的疏散照明的照度标准值, 不应低于 0.5lx

表 10-29 维护系数值(据 GB50034-1992)

环境污染特征	类 别	灯具擦洗次数(次/年)	维护系数
清洁	仪器、仪表的装配车间, 电子元器件的装配车间, 实验室, 办公室, 设计室	2	0.8
一般	机械加工车间, 机械装配车间, 织布车间	2	0.7
污染严重	锻工车间, 铸工车间, 碳化车间, 水泥厂球磨车间	3	0.6
室外	道路和广场	2	0.7

### 四、照明光源和灯具的选择与布置

(1) 照明光源的选择要求。如表 10-30 所示。

表 10-30 照明光源的选择要求 (据 GB50034—1992)

序号	项目	说明																																								
1	宜采用的照明光源类别	照明光源宜采用荧光灯、白炽灯、高强气体放电灯 (高压钠灯、金属卤化物灯、荧光高压汞灯) 等																																								
2	按悬挂高度选择光源类别	(1) 当悬挂高度在 4m 及以下时, 宜采用荧光灯 (2) 当悬挂高度在 4m 以上时, 宜采用高强气体放电灯; 当不宜采用高强气体放电灯时, 也可采用白炽灯																																								
3	宜采用白炽灯的场所	(1) 局部照明的场所 (2) 防止电磁波干扰的场所 (3) 因光源频闪效应影响视觉效果的场所 (4) 经常开闭灯的场所 (5) 照度不高、且照明时间较短的场所																																								
4	应急照明光源的选择	(1) 应急照明应采用能瞬时可靠点燃的白炽灯、荧光灯等 (2) 当应急照明作为正常照明的一部分经常点燃且不需要切换电源时, 可采用其他光源																																								
5	混光光源的选择	当采用一种光源不能满足光色或显色性要求时, 可采用两种光源形式的混光光源。混光光源的混光光通量比, 宜按以下附表选取: 附表 混光光源的混光光通量比																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>混光光源</th> <th>光通量比 (%)</th> <th>一般显色指数 <math>R_a</math></th> <th>色彩辨别效果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DDG+NGX</td> <td>40~60</td> <td rowspan="2"><math>\geq 80</math></td> <td rowspan="2">除个别颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”</td> </tr> <tr> <td>DDG+NG</td> <td>60~80</td> </tr> <tr> <td>KNG+NG</td> <td>50~80</td> <td>60~70</td> <td rowspan="4">除部分颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”</td> </tr> <tr> <td>DDG+NG</td> <td>30~60</td> <td>60~80</td> </tr> <tr> <td>KNG+NGX</td> <td>40~60</td> <td>70~80</td> </tr> <tr> <td>GGY+NGX</td> <td>30~40</td> <td>60~70</td> </tr> <tr> <td>ZJD+NGX</td> <td>40~60</td> <td>70~80</td> <td rowspan="4">除个别颜色为“可以”外, 其他颜色为“中等”</td> </tr> <tr> <td>GGY+NG</td> <td>40~60</td> <td>40~50</td> </tr> <tr> <td>KNG+NG</td> <td>30~50</td> <td>40~60</td> </tr> <tr> <td>GGY+NGX</td> <td>40~60</td> <td>40~60</td> </tr> <tr> <td>ZJD+NG</td> <td>30~40</td> <td>40~50</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	混光光源	光通量比 (%)	一般显色指数 $R_a$	色彩辨别效果	DDG+NGX	40~60	$\geq 80$	除个别颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”	DDG+NG	60~80	KNG+NG	50~80	60~70	除部分颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”	DDG+NG	30~60	60~80	KNG+NGX	40~60	70~80	GGY+NGX	30~40	60~70	ZJD+NGX	40~60	70~80	除个别颜色为“可以”外, 其他颜色为“中等”	GGY+NG	40~60	40~50	KNG+NG	30~50	40~60	GGY+NGX	40~60	40~60	ZJD+NG	30~40	40~50	
		混光光源	光通量比 (%)	一般显色指数 $R_a$	色彩辨别效果																																					
		DDG+NGX	40~60	$\geq 80$	除个别颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”																																					
		DDG+NG	60~80																																							
		KNG+NG	50~80	60~70	除部分颜色为“中等”外, 其他颜色为“良好”																																					
		DDG+NG	30~60	60~80																																						
		KNG+NGX	40~60	70~80																																						
		GGY+NGX	30~40	60~70																																						
		ZJD+NGX	40~60	70~80	除个别颜色为“可以”外, 其他颜色为“中等”																																					
		GGY+NG	40~60	40~50																																						
		KNG+NG	30~50	40~60																																						
GGY+NGX	40~60	40~60																																								
ZJD+NG	30~40	40~50																																								
备注: (1) GGY—荧光高压汞灯; DDG—钠灯; KNG—钪钠灯; NG—高压钠灯; NGX—中显色性高压钠灯; ZJD—高光效金属卤素灯 (2) 混光光通量比系指前一种光源光通量与两种光源光通量的和之比 (3) 色彩辨别效果的顺序: 良好—中等—可以																																										

(2) 照明灯具的选择要求。如表 10-31 所示。

表 10-31 照明灯具的选择要求 (据 GB50034—1992)

序号	项目	说明
1	对照明灯具的要求	照明灯具应具有完整的光度参数, 其机械、电气、防火等性能应分别符合现行国家标准《灯具通用安全要求和试验》和《灯具外壳防护等级分类》等的有关规定
2	灯具优先选用原则	应优先选用配光合理、效率较高的灯具。室内开启式灯具的效率不宜低于 70%; 带有包含式灯罩的灯具的效率不宜低于 55%; 带格栅灯具的效率不宜低于 50%
3	灯具按环境条件选择与装设的要求	(1) 在特别潮湿的场所, 应采用防潮灯具或带防水灯头的开启式灯具 (2) 在有腐蚀性气体和蒸汽的场所, 宜采用耐腐蚀性材料制成的密闭式灯具。若采用开启式灯具时, 各部分应有防腐防水措施 (3) 在高温场所, 宜采用带有散热孔的开启式灯具 (4) 在有尘埃的场所, 应按防尘的保护等级分类来选择合适的灯具 (5) 在装有银锤、重级工作制桥式吊车等振动、摆动较大场所的灯具, 应有防震措施和保护网, 防止灯泡自动松脱与掉下 (6) 在易受机械损伤场所的灯具, 应加保护网 (7) 在有爆炸和火灾危险场所所使用的灯具, 应符合现行国家标准和规范的有关规定

(3) 照明灯具的布置方案与要求。如表 10-32 所示。

表 10-32 照明灯具的布置方案与要求

序号	项目	说明
1	室内一般照明灯具的布置方案	(1) 均匀布置: 灯具在整个受照房间内均匀分布, 其布置与生产设备位置或工作位置无关。均匀布置又分矩形布置和菱形布置两种。在有局部照明的房间内, 其一般照明灯具通常采用均匀布置 (2) 选择布置: 灯具的布置与生产设备位置或工作位置有关, 大多按作业面对称布置, 力求使作业面上能获得最有利的通光方向, 并消除影响作业的阴影
2	照明灯具布置的一般要求 (据 JBJ6—1996)	(1) 照明灯具在车间内均匀布置时, 灯具的距离 $L$ 与灯具的计算高度 $H$ 之比 $L/H$ (距高比), 不宜超过被选用灯具的最大允许值 (参看表 10-10) (2) 照明灯具布置时, 应注意建筑结构型式、工艺设备和其他管道等布置情况以及安全维修等要求 (3) 高大厂房内的照明灯具, 宜采用顶灯与投光灯 (泛光型灯具) 或顶灯与壁灯相组合的方案。只装壁灯不装顶灯的方案不宜采用 (4) 在维护不安全和无法维修的地方以及配、变电所母线的上方不应装设照明灯具

续表

序号	项目	说明
2	照明灯具布置的一般要求 (根据 JB16-1996)	(5) 照明灯具不宜设置在有工业气流或自然气流经常冲击的场所 (6) 灯具和镇流器表面的高温部位靠近可燃物时, 应采取隔热、散热等防火保护措施 (7) 对有防电磁干扰要求的洁净厂房, 当采用白炽灯不能满足照度要求时, 宜采用荧光灯等气体放电光源, 并将镇流器等灯具附件集中设置在无防电磁干扰要求的房间内 (8) 高强气体放电灯的触发器宜装在靠近灯具的位置

### 五、照度计算

(1) 照度计算的常用方法及其适用范围。如表 10-33 所示。

(2) 按单位容量法进行照度计算。如表 10-34 所示。常用的配照灯、广照灯、深照灯和 YG2-1 型荧光灯的单位容量 (比功率), 如表 10-35~表 10-38 所示。

表 10-33 照度计算的常用方法及其适用范围

序号	计算方法	计算特点	适用范围
1	单位容量法 (比功率法)	计算简便, 但较粗略, 且只计算水平照度	只用于方案比较和初步设计的近似计算, 且只计算均匀布置灯具的水平照度
2	利用系数法	计算较简便, 也较准确, 但也只计算水平照度	适用于均匀布置灯具的一般照明, 且只计算水平照度
3	概算曲线法	实质是利用系数法的实用简化	与利用系数法的适用范围相同
4	逐点计算法	计算较麻烦, 但能较准确地计算任一指定点的任一倾斜面 (包括水平面和垂直面) 的照度	适用于任意布置灯具的任一倾斜面的照度计算和局部照明的照度计算

表 10-34 按单位容量法进行照度计算

序号	计算步骤	计算公式或图表	符号含义
1	确定照明方案及水平作业面上的平均照度标准 $E_N$	$E_N$ 可查表 10-18~24 等	$E_N$ ——标准所规定的平均照度 (lx) $p_0$ ——照明灯具的单位安装容量 (W/m <sup>2</sup> ) $A$ ——受照房间的面积 (m <sup>2</sup> ) $n$ ——灯具盏数 $P_N$ ——每灯的光源容量 (W)
2	根据灯具型式与受照房间面积及平均照度标准 $E_N$ 查出单位容量 $p_0$	$p_0$ 可查表 10-35~38 等	
3	确定每盏灯的容量 (额定功率) 或根据每盏灯的容量确定灯的盏数	$P_N \geq \frac{p_0 A}{n}$ $n \geq \frac{p_0 A}{P_N}$	

表 10-35 配照型灯具的单位容量<sup>[3]</sup> (W/m<sup>2</sup>)

计算高度 $h$ (m)	房间面积 $A$ (m <sup>2</sup> )	平均照度 $E_{av}$ (lx)							
		5	10	15	20	30	50	75	
2~3	10~15	3.3	6.2	8.4	11	15	22	30	
	15~25	2.7	5.0	6.8	9.0	12	18	25	
	25~50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21	
	50~150	2.0	3.8	5.3	6.7	9.0	13	18	
	150~300	1.8	3.4	4.7	6.0	8.0	12	17	
3~4	300 以上	1.7	3.2	4.5	5.8	7.5	11	16	
	10~15	4.3	7.5	9.6	12.7	17	26	36	
	15~20	3.7	6.4	8.5	11	14	22	31	
	20~30	3.1	5.5	7.2	9.3	13	19	27	
	30~50	2.5	4.5	6.0	7.5	10.5	15	22	
	50~120	2.1	3.8	5.1	6.3	8.5	13	18	
	125~300	1.8	3.3	4.4	5.5	7.5	12	16	
300 以上	1.7	2.9	4.0	5.0	7.0	11	15		
4~6	10~17	5.2	8.9	11.4	15	21	33	48	
	17~25	4.1	7.0	9.0	12	16	27	37	
	25~35	3.4	5.8	7.7	10	14	22	32	
	35~50	3.0	5.0	6.8	8.5	12	19	27	
	50~80	2.4	4.1	5.6	7.0	10	15	22	
	80~150	2.0	3.3	4.8	5.8	8.5	12	17	
	150~400	1.7	2.8	3.9	5.0	7.0	11	15	
	400 以上	1.5	2.5	3.5	4.0	6.0	10	14	
6~8	25~35	4.2	6.9	9.1	12.3	17	28	41	
	35~50	3.4	5.7	7.9	10.5	15	23	35	
	50~65	2.9	4.9	6.8	9.1	13	20	30	
	65~90	2.5	4.3	6.2	8.0	11	17	26	
	90~135	2.2	3.7	5.1	6.5	9.0	14	22	
	135~250	1.8	3.0	4.2	5.4	7.5	12	18	
	250~500	1.5	2.8	3.6	4.5	6.5	10	16	
	500 以上	1.4	2.4	3.2	4.0	5.5	9.5	15	

表 10-36 广照型灯具的单位容量<sup>[3]</sup> (W/m<sup>2</sup>)

计算高度 $h$ (m)	房间面积 $A$ (m <sup>2</sup> )	平均照度 $E_{av}$ (lx)							
		5	10	15	20	30	50	75	
2~3	10~15	3.3	6.2	9.2	11	15	22.5	30	
	15~25	2.7	6.0	7.5	9.0	12	18	25	
	25~50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21	
	50~150	2.0	3.8	5.3	6.7	9.0	13	18	
	150~300	1.8	3.4	5.0	6.0	8.0	12	17	
3~6	300 以上	1.7	3.2	4.5	5.8	7.5	11.5	16	
	10~15	4.3	7.5	10.1	12.7	17	26	36	
	15~20	3.7	6.4	8.2	11	14.5	22.5	31	
	20~30	3.1	5.5	7.4	9.3	13	19	27	
	30~50	2.5	4.5	6.0	7.5	10.5	15.5	22	
	50~120	2.1	3.8	5.0	6.3	8.5	13	18.5	
	125~300	1.8	3.3	4.4	5.5	7.5	12	16	
300 以上	1.7	2.9	4.0	5.0	7.0	11	15		



续表

计算高度 h (m)	房间面积 A (m <sup>2</sup> )	平均照度 E <sub>av</sub> (lx)						
		5	10	15	20	30	50	75
4~6	10~17	5.2	8.9	12	15	21	33	48
	17~25	4.1	7.0	9.5	12	16.5	27	37
	25~35	3.4	5.8	7.9	10	14	22.5	32
	35~50	3.0	5.0	6.8	8.5	12	19	27
	50~80	2.4	4.1	5.6	7.0	10	15	22
	80~150	2.0	3.3	4.6	5.8	8.5	12.5	17.5
	150~400	1.7	2.8	3.9	5.0	7.0	11	15.5
6~8	400以上	1.5	2.5	3.5	4.5	6.8	10	14
	25~35	4.2	6.9	9.6	12.3	17.6	28	41
	35~50	3.4	5.7	8.1	10.5	15.5	23	35
	50~65	2.9	4.9	7.0	9.1	13	20	30
	65~90	2.5	4.3	6.2	8.0	11.5	17.5	26
	90~135	2.2	3.7	5.1	6.5	9.0	14.5	22.5
	135~250	1.8	3.0	4.2	5.4	7.5	12	18
8~12	250~500	1.5	2.6	3.6	4.6	6.5	10.5	16
	500以上	1.4	2.4	3.2	4.0	5.5	9.5	15

表 10-37 深照型灯具的单位容量<sup>[3]</sup> (W/m<sup>2</sup>)

计算高度 h (m)	房间面积 A (m <sup>2</sup> )	平均照度 E <sub>av</sub> (lx)						
		5	10	15	20	30	50	75
4~6	10~17	5.2	9.3	12	5	22	34	47
	17~25	4.2	7.2	10.2	11.8	17	26	36
	25~35	3.5	5.9	8.0	10	14	23	30
	35~50	3.0	5.0	7.7	8.7	12	19	25
	50~80	2.5	4.2	5.7	7.2	10	16	21
	80~150	2.1	3.6	4.9	6.2	8.7	13	19
	150~400	1.9	3.2	4.3	5.4	7.5	12	16
6~8	400以上	1.6	2.8	3.7	4.6	6.7	10.5	14
	25~35	4.2	7.2	10	12.8	18	28	40
	35~50	3.5	6.0	8.4	10.8	15	23	34
	50~65	3.0	5.0	7.0	9.1	13	20	29
	65~90	2.5	4.4	6.2	8.0	11.5	18	25
	90~135	2.2	3.8	5.3	6.9	10	15	21
	135~250	1.9	3.3	4.6	5.8	8.2	12.5	17
8~12	250~500	1.7	2.8	3.9	5.1	7.2	11	15
	500以上	1.4	2.5	3.4	4.4	6.2	9.5	13
	50~70	3.7	6.3	8.9	11.5	17	27	40
	70~100	3.0	5.3	7.5	9.7	15	23	34
	100~130	2.5	4.4	6.2	8.0	12	19	28
	130~200	2.1	3.8	5.3	6.9	10	16	23
	200~300	1.8	3.2	4.5	5.8	8.2	13	19
8~12	300~600	1.6	2.8	3.9	5.0	7.0	11	17
	600~1500	1.4	2.4	3.3	4.3	6.0	9.5	15
	1500以上	1.2	2.2	3.0	3.8	5.2	8.5	12.5

(3) 按利用系数法进行照度计算。如表 10-39 所示。常用的几种照明灯具的利用系数表如表 10-41~45 所示, 其余灯具的利用系数可查有关手册资料。表

10-40 列出墙壁、顶棚和地板的反射比近似值, 供确定利用系数值参考。

表 10-38 控制式 (YG2-1 型) 荧光灯的单位容量<sup>[3]</sup> (W/m<sup>2</sup>)

计算高度 h (m)	房间面积 A (m <sup>2</sup> )	平均照度 E <sub>av</sub> (lx)					
		30	50	75	100	150	200
2~3	10~15	3.2	5.2	7.8	10.4	15.6	21
	15~25	2.7	4.5	6.7	8.9	13.4	18
	25~50	2.4	3.9	5.8	7.7	11.6	15.4
	50~150	2.1	3.4	5.1	6.8	10.2	13.6
	150~300	1.9	3.2	4.7	6.3	9.4	12.5
	300以上	1.8	3.0	4.5	5.9	8.9	11.8
3~4	10~15	4.5	7.5	11.5	15	23	30
	15~25	3.8	6.2	9.3	12.4	19	25
	20~30	3.2	5.3	8.0	10.8	15.9	21.2
	30~50	2.7	4.5	6.8	9.0	13.6	18.1
	50~120	2.4	3.9	5.8	7.7	11.6	15.4
	120~300	2.1	3.4	5.1	6.8	10.2	13.8
	300以上	1.9	3.2	4.9	6.3	9.5	12.6

表 10-39 按利用系数法进行照度计算

序号	项目	说 明
1		利用系数法的有关概念
1.1	照明灯具的利用系数	<p>照明灯具的利用系数 <math>u</math> 为投射到作业面上的有效光通量 (含反射光通) <math>\Phi_e</math> 与所有光源发出的光通量 <math>n\Phi_N</math> 之比:</p> $u = \frac{\Phi_e}{n\Phi_N}$ <p>式中 <math>\Phi_N</math> 为每盏灯的额定光通量; <math>n</math> 为总的灯数</p>
1.2	室空间比 (RCR)	<p>照明灯具的利用系数值与灯具型式、受照房间的结构特征及其表面 (顶棚、墙壁、地板) 的反射比等有关</p> <p>受照房间的结构特征用“室空间比” (RCR) 来表征 (参看下图):</p> $RCR = \frac{5h_{RC}(l+b)}{l \cdot b}$ <p>式中 <math>h_{RC}</math> 为室空间高度; <math>l</math> 为房间长度; <math>b</math> 为房间宽度</p> <p>计算 RCR 的说明图</p>
2		已确定照明灯具布置方案, 按利用系数法验算照度
2.1	计算受照房间的 RCR	室空间比 RCR 的计算公式参看序号 1.2

续表

序号	项目	说明
2.2	确定灯具的利用系数 $u$	根据装设的灯具型式、光源功率及受照房间表面的反射比 $\rho_w$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_f$ (参看表 10-40) 和 RCR, 查对应的利用系数表 (表 10-41~表 10-45), 确定其利用系数 $u$
2.3	计算作业面的实际水平照度 $E_{av}$	水平作业面上的实际平均照度 $E_{av}$ 按下式计算: $E_{av} = \frac{uK \cdot n\Phi_N}{l \cdot b}$ 式中 $K$ 为灯具的维护系数 (减光系数), 查表 10-29
2.4	校验照度	如 $E_{av} \geq E_N$ (照度标准), 则说明灯具布置方案符合照度要求 如 $E_{av} < E_N$ , 则需改选灯具或光源, 或者调整灯具布置方案, 并重新验算照度, 直至满足照度标准为止
3	根据照度标准, 按利用系数法确定灯具盏数	
3.1	试选灯具和光源	根据照明要求和环境条件试选灯具型式和光源
3.2	计算受照房间的 RCR	室空间比 RCR 的计算公式参看序号 1.2
3.3	确定灯具的利用系数 $u$	参看序号 2.2

续表


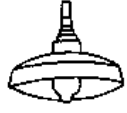
序号	项目	说明
3.4	计算灯具数	根据照度标准 $E_N$ , 按下式计算灯具盏数: $n = \frac{E_N \cdot l \cdot b}{uK \cdot \Phi_N}$ 式中 $K$ 为灯具的维护系数, 查表 10-29
3.5	设计布灯方案	按计算出的灯具数 $n$ 设计布灯方案, 灯数根据布灯方案可略作调整 (一般是适当增加), 设计布灯方案时, 需考虑灯具的距高比
3.6	验算作业面的实际水平照度	按序号 2.3 公式计算 $E_{av}$ ; 并按序号 2.4 进行校验

表 10-40 墙壁、顶棚和地板的反射比近似值<sup>[3]</sup>

序号	房屋表面情况	反射比 $\rho$
1	刷白的墙壁、顶棚, 窗子挂有白色窗帘	70%
2	刷白的墙壁, 但窗子未挂窗帘, 或挂深色窗帘; 刷白的顶棚, 但房间潮湿; 墙壁和顶棚虽未刷白, 但洁净光亮	50%
3	有窗子的水泥墙壁、水泥顶棚; 木墙壁、木顶棚; 糊有浅色纸的墙壁、顶棚; 水泥地面	30%
4	有大量深色灰尘的墙壁、顶棚; 无窗帘遮蔽的玻璃窗; 未粉刷的砖墙; 糊有深色纸的墙壁、顶棚; 较脏污的水泥地面; 广漆、沥青等地面	10%


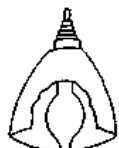
注 墙壁反射比表示为  $\rho_w$ , 顶棚反射比表示为  $\rho_t$ , 地板反射比表示为  $\rho_f$ 。

表 10-41 GC1-A-B-1 型配照灯的利用系数<sup>[3]</sup>


灯具型号外形特性和光源型号功率	$\rho_t$ (%)	70			50			30			0
	$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
 GC1-A-B-1 型 遮光角 8.7° $L/H \leq 1.25$ $\eta = 85\%$ 白炽灯 PZ-150	RCR	利用系数 $u$ ( $\rho_f = 20\%$ ) <sup>*</sup>									
	1	0.85	0.82	0.78	0.82	0.79	0.76	0.78	0.76	0.74	0.70
	2	0.73	0.68	0.63	0.70	0.66	0.61	0.68	0.63	0.60	0.57
	3	0.64	0.57	0.51	0.61	0.55	0.50	0.59	0.54	0.49	0.46
	4	0.56	0.49	0.43	0.54	0.48	0.43	0.52	0.46	0.42	0.39
	5	0.50	0.42	0.36	0.48	0.41	0.36	0.46	0.40	0.35	0.33
	6	0.44	0.36	0.31	0.43	0.36	0.31	0.41	0.35	0.30	0.28
	7	0.39	0.32	0.26	0.38	0.31	0.26	0.37	0.30	0.26	0.24
	8	0.35	0.28	0.23	0.34	0.28	0.23	0.33	0.27	0.23	0.21
	9	0.32	0.25	0.20	0.31	0.24	0.20	0.30	0.24	0.20	0.18
	10	0.29	0.22	0.17	0.28	0.22	0.17	0.27	0.21	0.17	0.16
 GC1-A-B-1 型 遮光角 0° $L/H \leq 1.41$ $\eta = 72\%$ 荧光高压汞灯 GGY-125	RCR	利用系数 $u$ ( $\rho_f = 20\%$ )									
	1	0.72	0.68	0.66	0.69	0.66	0.63	0.66	0.64	0.62	0.58
	2	0.62	0.57	0.52	0.59	0.55	0.51	0.56	0.53	0.50	0.47
	3	0.53	0.47	0.42	0.51	0.46	0.42	0.49	0.44	0.41	0.38
	4	0.47	0.40	0.35	0.45	0.39	0.35	0.43	0.38	0.34	0.32
	5	0.41	0.34	0.30	0.39	0.34	0.29	0.38	0.33	0.29	0.27
	6	0.36	0.30	0.25	0.35	0.29	0.25	0.34	0.28	0.24	0.23
	7	0.32	0.26	0.21	0.31	0.25	0.21	0.30	0.25	0.21	0.19
	8	0.29	0.23	0.18	0.28	0.22	0.18	0.27	0.22	0.18	0.16
	9	0.26	0.20	0.16	0.25	0.20	0.16	0.24	0.19	0.15	0.14
	10	0.24	0.18	0.14	0.23	0.17	0.14	0.22	0.17	0.13	0.12

\* 当  $\rho_f \neq 20\%$  时, 应乘以表 10-45 的修正系数。


表 10-42 GC5-A-B-4 型深照灯の利用系数<sup>[3]</sup>

灯具型号外形特 性和光源型号功率	$\rho_e$ (%)	70			50			30			0
	$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
 <p>GC5-A-B-4 型</p> <p>遮光角 18.6° (300W) 15.8° (500W) <math>L/H \leq 1.4</math> <math>\eta = 67\%</math></p> <p>白炽灯 PZ-300、PZ-500</p>	RCR	利用系数 $u$ ( $\rho_f = 20\%$ ) <sup>*</sup>									
	1	0.69	0.66	0.64	0.66	0.64	0.62	0.63	0.61	0.60	0.57
	2	0.60	0.56	0.52	0.58	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	0.47
	3	0.52	0.47	0.43	0.50	0.46	0.42	0.48	0.45	0.41	0.39
	4	0.46	0.40	0.36	0.44	0.39	0.36	0.43	0.39	0.35	0.33
	5	0.40	0.35	0.30	0.39	0.34	0.30	0.38	0.33	0.30	0.28
	6	0.36	0.30	0.26	0.34	0.29	0.25	0.33	0.29	0.25	0.23
	7	0.32	0.26	0.22	0.31	0.25	0.21	0.30	0.25	0.21	0.20
	8	0.28	0.23	0.19	0.28	0.22	0.19	0.27	0.22	0.18	0.17
	9	0.26	0.20	0.16	0.25	0.20	0.16	0.24	0.19	0.16	0.15
	10	0.23	0.18	0.14	0.22	0.17	0.14	0.22	0.17	0.14	0.13
 <p>GC5-A-B-4 型</p> <p>遮光角 0° <math>L/H \leq 1.23</math> <math>\eta = 65\%</math></p> <p>荧光高压汞灯 GGY-400</p>	RCR	利用系数 $u$ ( $\rho_f = 20\%$ )									
	1	0.65	0.62	0.59	0.62	0.59	0.57	0.59	0.57	0.56	0.52
	2	0.56	0.51	0.47	0.53	0.49	0.46	0.51	0.48	0.45	0.43
	3	0.48	0.43	0.38	0.46	0.41	0.38	0.44	0.40	0.37	0.35
	4	0.42	0.36	0.32	0.40	0.35	0.31	0.39	0.35	0.31	0.29
	5	0.37	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.24
	6	0.33	0.27	0.22	0.31	0.26	0.22	0.30	0.25	0.22	0.20
	7	0.29	0.23	0.19	0.28	0.22	0.18	0.27	0.22	0.18	0.17
	8	0.26	0.20	0.16	0.25	0.20	0.16	0.24	0.19	0.16	0.14
	9	0.23	0.18	0.14	0.22	0.17	0.14	0.22	0.17	0.14	0.12
	10	0.21	0.15	0.12	0.20	0.15	0.12	0.20	0.15	0.12	0.10

\* 当  $\rho_f \neq 20\%$  时, 应乘以表 10-45 的修正系数。表 10-43 YG2- $\frac{1}{2}$  型荧光灯的利用系数<sup>[3]</sup>

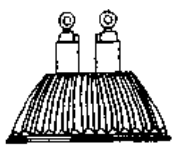
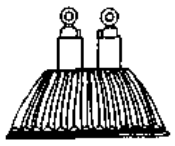
灯具型号外形特 性和光源型号功率	$\rho_e$ (%)	70			50			30			0
	$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
 <p>YG2-1 型</p> <p>遮光角 46° <math>H: L/H \leq 1.28</math> <math>L: L/H \leq 1.6</math> <math>\eta = 88\%</math></p> <p>荧光灯单管 1 × 40W</p>	RCR	利用系数 $u$ ( $\rho_f = 20\%$ ) <sup>*</sup>									
	1	0.80	0.86	0.83	0.85	0.83	0.80	0.82	0.80	0.78	0.73
	2	0.79	0.73	0.69	0.75	0.71	0.67	0.73	0.69	0.65	0.62
	3	0.70	0.63	0.58	0.67	0.61	0.57	0.65	0.60	0.56	0.53
	4	0.61	0.54	0.49	0.59	0.53	0.48	0.57	0.52	0.47	0.45
	5	0.55	0.47	0.42	0.53	0.46	0.41	0.51	0.45	0.41	0.39
	6	0.49	0.42	0.36	0.48	0.41	0.36	0.46	0.40	0.36	0.34
	7	0.44	0.37	0.32	0.43	0.36	0.31	0.42	0.36	0.31	0.29
	8	0.40	0.33	0.27	0.39	0.32	0.27	0.37	0.32	0.27	0.25
	9	0.36	0.29	0.24	0.35	0.29	0.24	0.34	0.28	0.24	0.22
	10	0.32	0.25	0.20	0.31	0.24	0.20	0.30	0.24	0.20	0.18

续表

灯具型号外形特性和光源型号功率	$\rho_c$ (%)	70			50			30			0
	$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
 <p>YG2-2型</p> <p>遮光角 1.25°                      // : L/H ≤ 1.28                      ⊥ : L/H ≤ 1.33                      η = 97%</p> <p>荧光灯双管 2×40W</p>	RCR	利用系数 u (ρ <sub>f</sub> = 20%)									
	1	1.00	0.96	0.93	0.96	0.93	0.90	0.92	0.89	0.87	0.83
	2	0.88	0.83	0.78	0.85	0.80	0.75	0.82	0.78	0.74	0.71
	3	0.79	0.72	0.67	0.76	0.70	0.65	0.73	0.68	0.64	0.61
	4	0.70	0.62	0.57	0.67	0.61	0.56	0.65	0.60	0.55	0.52
	5	0.63	0.55	0.49	0.60	0.54	0.48	0.59	0.52	0.48	0.45
	6	0.56	0.48	0.43	0.55	0.48	0.42	0.53	0.47	0.42	0.40
	7	0.51	0.43	0.37	0.49	0.42	0.37	0.48	0.41	0.37	0.34
	8	0.46	0.38	0.32	0.44	0.37	0.32	0.43	0.37	0.32	0.30
	9	0.42	0.34	0.29	0.40	0.33	0.29	0.39	0.33	0.28	0.26
	10	0.36	0.29	0.24	0.35	0.28	0.24	0.34	0.28	0.23	0.22

\* 当 ρ<sub>f</sub> ≠ 20% 时, 应乘以表 10-45 的修正系数。

表 10-44 CXGC204 型混光灯具的利用系数<sup>[3]</sup>

灯具型号外形特性和光源型号功率	$\rho_c$ (%)	70			50			30			0
	$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
 <p>CXGC204-GN360 型</p> <p>遮光角 32°                      // : L/H ≤ 1.23                      ⊥ : L/H ≤ 0.98                      η = 76%</p> <p>光源 GGY-250+NG-110</p>	RCR	利用系数 u (ρ <sub>f</sub> = 20%)									
	1	0.80	0.78	0.76	0.77	0.76	0.74	0.74	0.73	0.72	0.68
	2	0.73	0.70	0.67	0.71	0.68	0.65	0.68	0.66	0.64	0.61
	3	0.66	0.62	0.58	0.64	0.60	0.57	0.62	0.59	0.56	0.54
	4	0.60	0.55	0.52	0.59	0.54	0.51	0.57	0.53	0.50	0.48
	5	0.55	0.50	0.46	0.53	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.38
	6	0.50	0.44	0.40	0.48	0.44	0.40	0.47	0.43	0.40	0.34
	7	0.45	0.39	0.35	0.44	0.39	0.35	0.43	0.39	0.35	0.32
	8	0.41	0.35	0.31	0.40	0.35	0.31	0.39	0.34	0.31	0.30
	9	0.37	0.32	0.28	0.36	0.31	0.28	0.36	0.31	0.28	0.25
	10	0.34	0.28	0.25	0.33	0.28	0.25	0.32	0.28	0.25	0.23
 <p>CXGC204-GN650 型</p> <p>遮光角 30°                      // : L/H ≤ 1.55                      ⊥ : L/H ≤ 1.37                      η = 76.9%</p> <p>光源 GGY-400+NG-250</p>	RCR	利用系数 u (ρ <sub>f</sub> = 20%)									
	1	0.82	0.80	0.78	0.79	0.77	0.75	0.76	0.74	0.73	0.70
	2	0.75	0.72	0.69	0.72	0.70	0.67	0.70	0.68	0.66	0.63
	3	0.68	0.64	0.61	0.63	0.57	0.60	0.64	0.61	0.59	0.56
	4	0.63	0.58	0.54	0.61	0.57	0.53	0.59	0.56	0.53	0.51
	5	0.57	0.52	0.48	0.56	0.51	0.48	0.54	0.50	0.47	0.46
	6	0.52	0.47	0.43	0.51	0.46	0.43	0.50	0.46	0.42	0.41
	7	0.47	0.32	0.38	0.46	0.36	0.38	0.45	0.44	0.38	0.36
	8	0.43	0.38	0.34	0.42	0.41	0.34	0.42	0.37	0.34	0.33
	9	0.39	0.34	0.30	0.39	0.37	0.39	0.38	0.33	0.30	0.29
	10	0.36	0.34	0.27	0.35	0.31	0.27	0.35	0.30	0.27	0.26

\* 当 ρ<sub>f</sub> ≠ 20% 时, 应乘以表 10-45 的修正系数。

表 10-45 灯具利用系数在  $\rho_f \neq 20\%$  时的修正系数<sup>(3)</sup>  
(对表 10-41~表 10-44)

$\rho_r$ (%)	70			50			30		
$\rho_w$ (%)	50	30	10	50	30	10	50	30	10
RCR	$\rho_f = 30\%$ 时的修正系数								
1	1.970	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023
2	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017
3	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012
4	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010
5	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008
6	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006
7	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005
8	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004
9	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004
10	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.008	1.003
RCR	$\rho_f = 10\%$ 时的修正系数								
1	0.939	0.943	0.948	0.956	0.960	0.963	0.973	0.976	0.979
2	0.949	0.957	0.963	0.962	0.968	0.974	0.976	0.980	0.985
3	0.957	0.966	0.973	0.967	0.975	0.981	0.978	0.983	0.988
4	0.963	0.973	0.980	0.972	0.980	0.986	0.980	0.986	0.991
5	0.968	0.978	0.985	0.975	0.983	0.989	0.981	0.988	0.993
6	0.972	0.982	0.989	0.977	0.985	0.992	0.982	0.989	0.995
7	0.975	0.985	0.991	0.979	0.987	0.994	0.983	0.990	0.996
8	0.977	0.987	0.993	0.981	0.988	0.995	0.984	0.991	0.997
9	0.979	0.989	0.994	0.983	0.990	0.996	0.985	0.992	0.998
10	0.980	0.990	0.995	0.984	0.991	0.997	0.986	0.993	0.998

(4) 按概算曲线法进行照度计算。如表 10-46 所示。常用的几种照明灯具的概算图表如表 10-47 所示。

(5) 按逐点计算法进行照度计算。如表 10-48 所示。表 10-49 列出 GC1- $\frac{A}{B}$ -2 型配照灯的空间等照度曲线, 表 10-50 列出 YJK-1/40-2 型简易控照荧光灯和 DNHD-201 型混光灯的平面相对照度曲线, 作为示例。

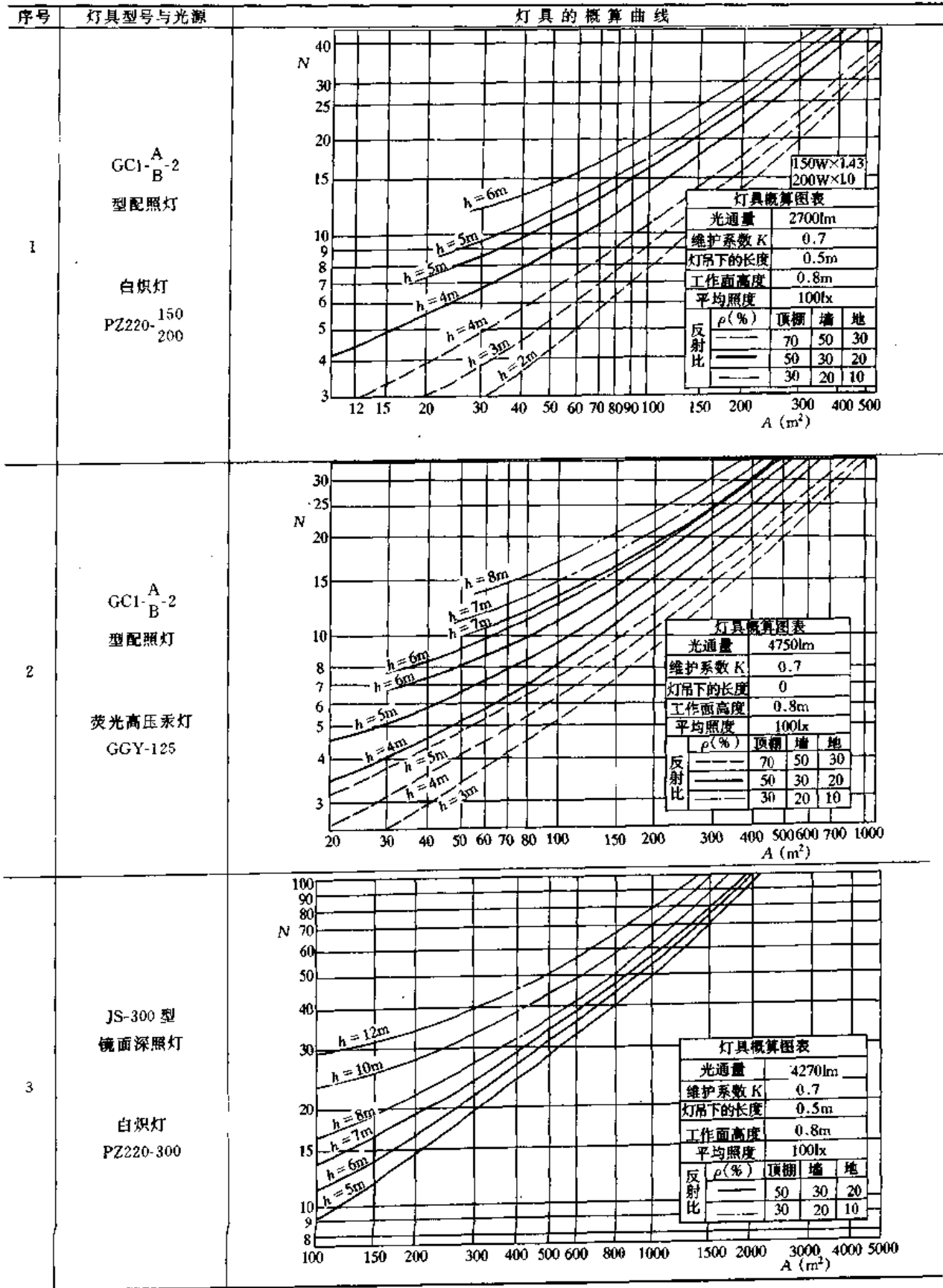
表 10-46 按概算曲线法进行照度计算

序号	项目	说 明
1	已确定照明灯具布置方案, 按概算曲线法验算照度	
1.1	计算受照房间面积 $A$	$A = l \cdot b$ 式中 $l$ 为房间长度; $b$ 为房间宽度
1.2	确定计算灯数 $N$	根据灯具型式、计算高度及房间表面反射比 $\rho_c$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_f$ 和房间面积 $A$ , 查对应的灯具概算曲线, 得计算灯数 $N$
1.3	计算作业面的实际水平照度 $E_w$	水平作业面上的实际平均照度 $E_w$ 按下式计算: $E_w = \frac{100K \cdot n}{K'N}$ 式中 $K$ 为灯具实际的维护系数 (表 10-29); $K'$ 为灯具概算曲线依据的维护系数 (一般取 0.7); 100 为灯具概算曲线依据的平均照度 100lx, $n$ 为实际的灯数

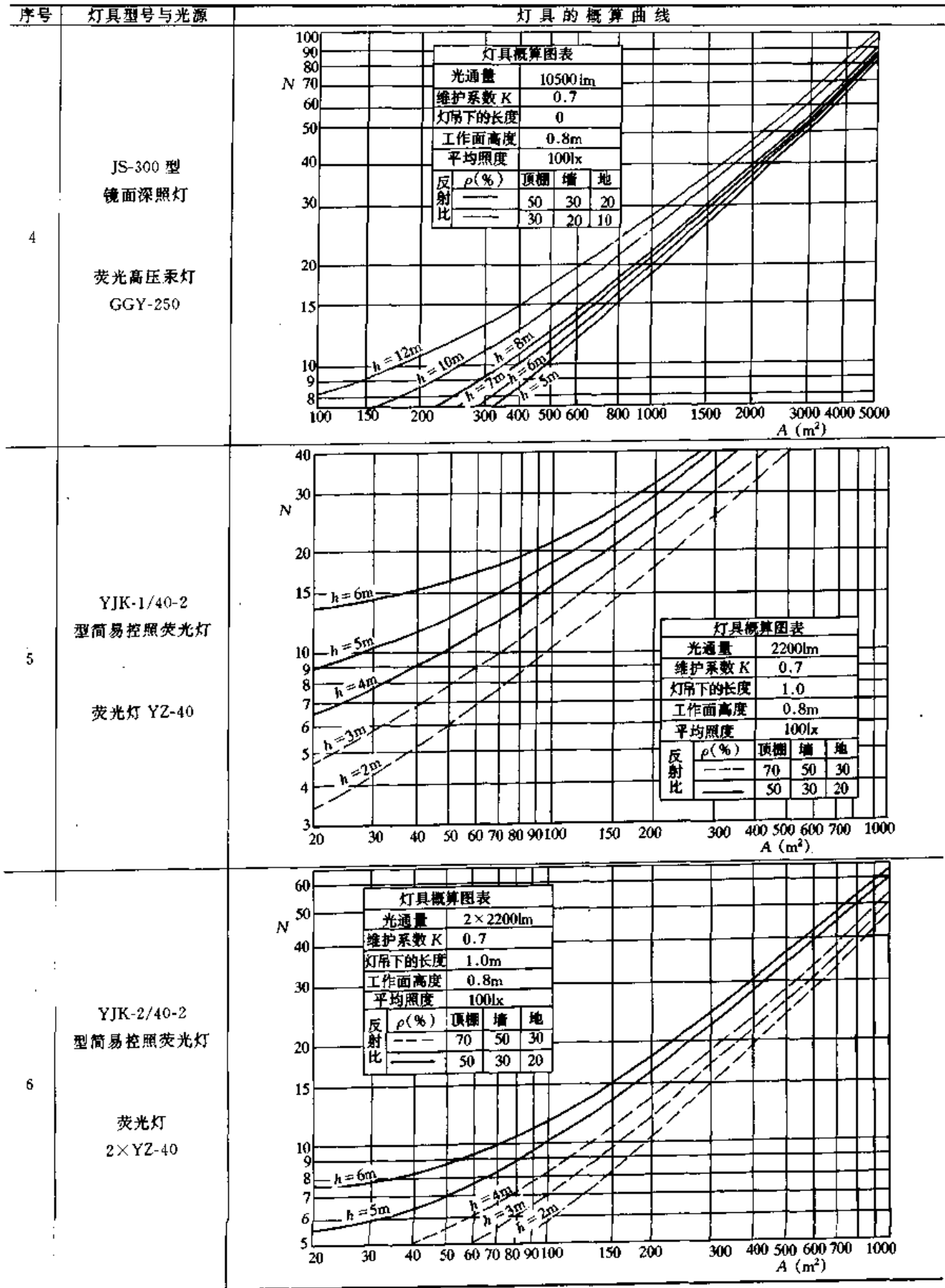
续表

序号	项目	说 明
1.4	校验照度	与表 10-39 序号 2.4 相同
2	根据照度标准, 按概算曲线法确定灯具盏数	
2.1	试选灯具和光源	与表 10-39 序号 3.1 相同
2.2	计算受照房间面积 $A$	与本表序号 1.1 相同
2.3	确定计算灯数 $N$	与本表序号 1.2 相同
2.4	计算实际灯数	根据照度标准 $E_N$ , 按下式计算实际灯数: $n = \frac{E_N \cdot K'}{100K} N$ 式中 $K$ 为实际的维护系数; $K'$ 为概算曲线依据的维护系数 (一般取 0.7)
2.5	设计布灯方案	与表 10-39 序号 3.5 相同
2.6	验算实际照度	与表 10-39 序号 3.6 相同

表 10-47 几种常用灯具的概算曲线图表<sup>[3.29]</sup>



续表



续表

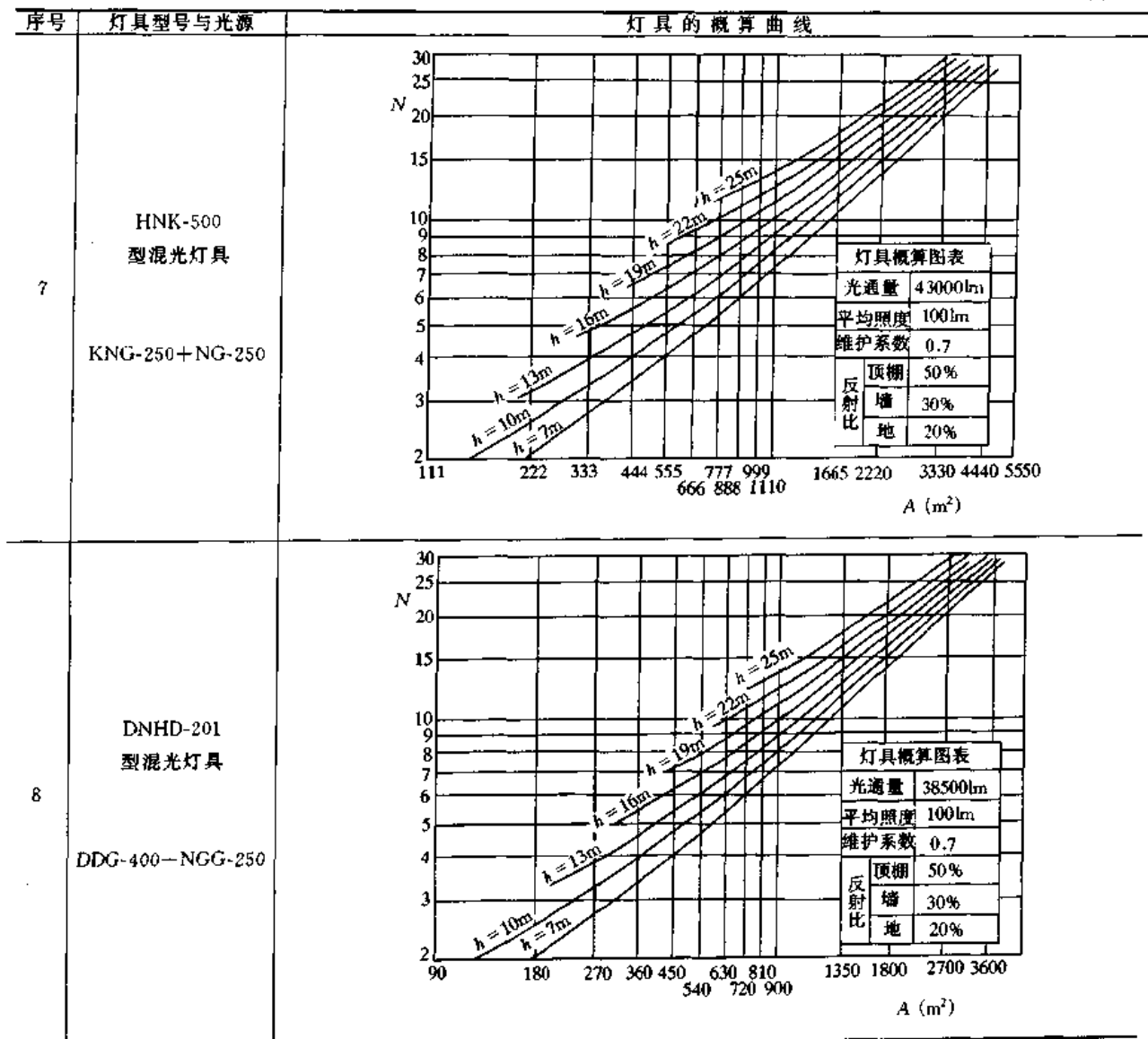
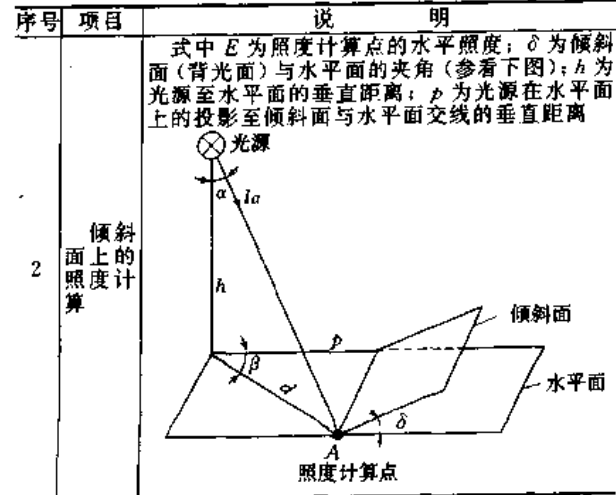


表 10-48 按逐点计算法进行照度计算

续表

序号	项目	说 明
1	逐点计算法的特点	逐点计算法是一种逐一计算附近各个光源对照度计算点的照度, 然后进行叠加, 得其总照度的计算方法 逐点计算点有以下特点: (1) 假设灯具的光源为“点光源”。当光源发光体的尺寸不超过照度计算点到光源发光体距离的 1/5 时, 就可将此光源视为“点光源” (2) 可计算任一倾斜面包括垂直面上的照度, 但只计算光源的直射照度 (不含反射光通引起的照度), 因此只适于带反射罩的灯具照明
2	倾斜面上的照度计算	任意倾斜面上的照度 $E_s$ 按下式计算: $E_s = E \left( \cos\delta + \frac{p}{h} \sin\delta \right)$





续表

续表

序号	项目	说明
3	垂直面上的照度计算	<p>垂直面上的照度 <math>E_{\perp}</math> 可按下式计算:</p> $E_{\perp} = \frac{p}{h} E$ <p>式中 <math>E</math> 为照度计算点的水平照度; <math>p</math> 和 <math>h</math> 含义参看下图, 与序号 2 含义相同</p>
4	逐点计算法的计算步骤	
4.1	选择照度计算点	根据所确定的照明灯具布置方案, 选择几个有检验意义的照度计算点
4.2	利用灯具的空间等照度曲线或平面相对等照度曲线求水平面上的假想照度	根据每盏灯至计算点的水平距离 $d$ 和垂直距离 $h$ , 从有关灯具的空间等照度曲线 (参看表 10-49) 上查得各灯具的假想光源 (其 $\Phi = 1000\text{lm}$ ) 在计算点的水平面上产生的假想照度 $E_{ima}$ ; 或者根据每盏灯对计算点的 $d/h$ 比值和灯具对计算点的水平面位置角 $\beta$ , 从灯具的平面相对等照度曲线 (参看表 10-50) 上查得各灯具的假想光源 (其 $\Phi = 1000\text{lm}$ ) 在计算点的水平面上产生的假想照度 $E_{ma}$

序号	项目	说明
4.3	计算各灯具在计算点水平面上产生的实际照度	<p>(1) 利用灯具的空间等照度曲线计算时按下式计算:</p> $E = \frac{K\Phi_N \cdot E_{ima}}{1000}$ <p>(2) 利用灯具的平面相对等照度曲线计算时按下式计算:</p> $E = \frac{K\Phi_N \cdot E_{ima}}{1000 \cdot h^2}$ <p>式中 <math>\Phi_N</math> 为灯具光源的额定光通量 (lm); 1000 为假想光源的光通量 (lm); <math>h</math> 为灯具光源至计算点水平面的垂直距离 (m); <math>K</math> 为维护系数</p>
4.4	计算总的水平照度	<p>计算点水平面上由所有光源直射光通产生的总的水平照度:</p> $E_x = \sum E_i$ <p>式中 <math>E_i</math> 为各灯对计算点产生的水平照度 <math>E</math></p>
4.5	计算总的倾斜面上照度或垂直面上照度	<p>按序号 2 或序号 3 所示公式分别计算各灯对计算点产生的倾斜面上照度 <math>E_s</math> 或垂直面上照度 <math>E_{\perp}</math>, 然后按下列公式计算计算点总的倾斜面上或垂直面上照度:</p> $E_{s,x} = \sum E_s$ <p>或</p> $E_{\perp,x} = \sum E_{\perp}$

表 10-49 GC1-B-2 型配照灯的空间等照度曲线<sup>[3]</sup>

序号	灯具型号与光源	灯具的空间等照度曲线
1	GC1-A-B-2 型 配照灯  白炽灯 PZ-150, PZ-200	

续表

序号	灯具型号与光源	灯具的空间等照度曲线
2	GCI-A B-2型 配照灯 荧光高压汞灯 GGY-125	

表 10-50 两种灯具的平面相对等照度曲线<sup>[3]</sup>

序号	灯具型号与光源	平面相对等照度曲线
1	YJK-1/40-2型 简易控照荧光灯 单管 YZ-40	
2	DNHD-201型 混光灯 DDG-400+NGG-250	

表 10-51 所示。

## 第五节 照明供配电系统

## 二、照明供配电系统的组成与接线

照明供配电系统的组成与接线,如表 10-52 所示。

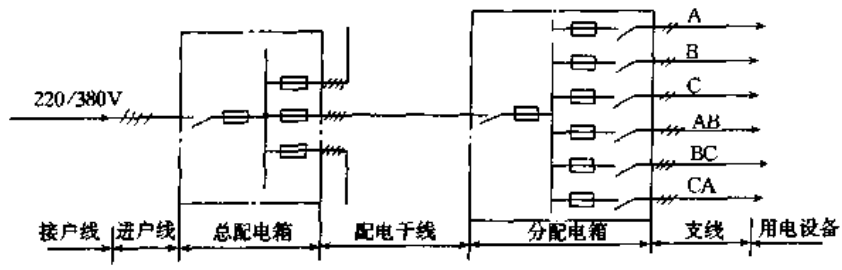
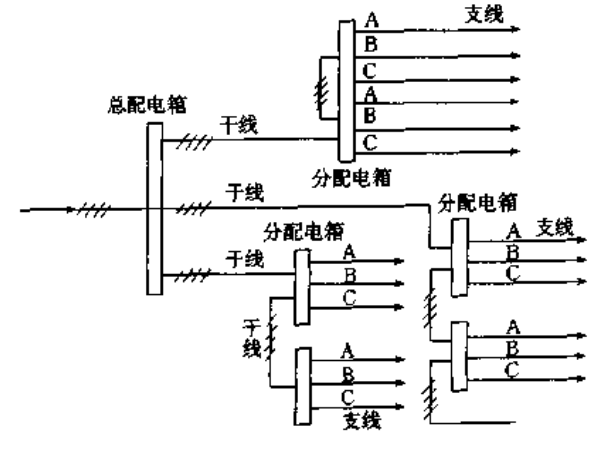
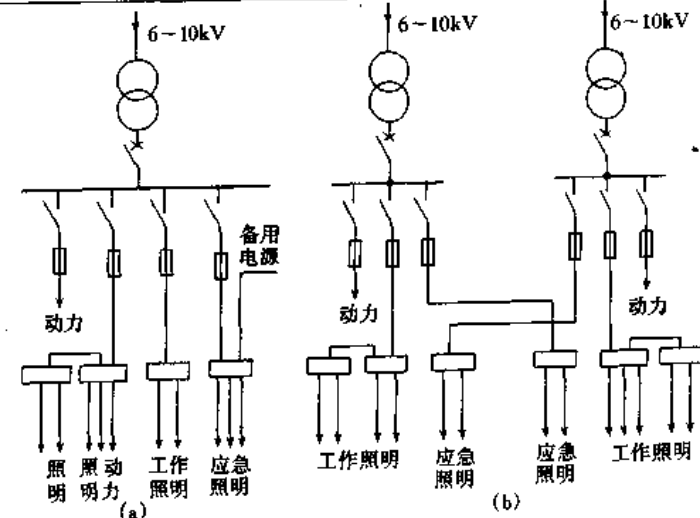
## 一、照明配电的一般要求

按 GB50034—1992 规定,照明配电的一般要求如

表 10-51 照明配电的一般要求 (据 GB50034—1992)

序号	项 目	说 明
1	灯的端电压偏差要求	灯的端电压一般不宜高于其额定电压的 105%, 亦不宜低于其额定电压的下列数值: (1) 一般工作场所为 95% (2) 露天工作场所、远离变电所的小面积工作场所的照明难于满足 95% 时, 可降到 90% (3) 应急照明、道路照明、警卫照明及电压为 12~42V 的照明为 90%
2	灯具应采用不超过 24V 电的情况	容易触及而又无防止触电措施的固定式或移动式灯具, 其安装高度距地面为 2.2m 及以下, 且具有下列条件之一时, 其使用电压不应超过 24V: (1) 特别潮湿的场所 (2) 高温场所 (3) 具有导电灰尘的场所 (4) 具有导电地面的场所
3	手提行灯电压不应超过 12V 的情况	在工作场所的狭窄地点, 且作业者接触大块金属面, 如在锅炉、金属容器内等, 使用的手提行灯电压不应超过 12V
4	安全电压电源的电路、隔离要求	在 42V 及以下安全电压的局部照明的电源和手提行灯的电源, 其输入电路与输出电路必须实行电路上的隔离
5	减小冲击负荷对照明影响的措施	为减小冲击电压波动和闪变对照明的影响, 宜采取下列措施: (1) 较大功率的冲击性负荷或冲击性负荷群与照明负荷, 分别由不同的配电变压器或照明专用变压器供电 (2) 当冲击性负荷和照明负荷共用变压器供电时, 照明负荷宜用专线供电
6	对照明线路装设和容量的要求	(1) 建筑物照明电源线路的进户处, 应装设带有保护装置的总开关 (2) 由公共低压电网供电的照明负荷, 线路电流不超过 30A 时, 可用 220V 单相供电, 否则, 应以 220/380V 三相四线供电 (3) 室内照明线路, 每一单相分支回路的电流, 一般情况下不宜超过 15A, 所接灯头数不宜超过 25 个, 但花灯、彩灯、多管荧光灯除外。插座宜单独设置分支回路 (4) 对高强度气体放电灯的照明, 每一单相分支回路的电流不宜超过 30A, 并按启动及再启动特性, 选择保护电器和验算线路的电压损失值 (5) 对气体放电灯供电的三相四线照明线路, 其中性线截面应按最大一相电流选择
7	应急照明供电方式的选择要求	应急照明的电源, 应区别于正常照明的电源。不同用途的应急照明电源, 应采用不同的切换时间和连续供电时间。应急照明的供电方式, 宜按下列之一选用: (1) 独立于正常电源的发电机组 (2) 蓄电池 (3) 供电网络中有效地独立于正常电源的馈电线路 (4) 应急照明灯自带直流逆变器 (5) 当装有两台及以上变压器时, 应与正常照明的供电干线分别接自不同的变压器 (6) 仅装有一台变压器时, 应与正常照明的供电干线自变电所的低压屏上(或母线上)分开。当建筑物内未设变压器时, 则在建筑物电源进户处与正常照明回路分开, 并不得与正常照明共用一个总开关 对重要场所的应急照明供电方式, 应按上述 (1)~(4) 之一选用
8	应急照明的控制要求	(1) 应急照明作为正常照明的一部分同时使用时, 应有单独的控制开关 (2) 应急照明不作为正常照明的一部分同时使用时, 当正常照明因故障停电, 应急照明电源宜自动投入

表 10-52 照明供配电系统的组成与接线

序号	项 目	说 明
1	照明供配电系统的组成	 <p style="text-align: center;">照明配电系统图</p>
2	照明供配电系统的接线方式	<p>(1) 放射式接线：总配电箱至各分配电箱各用一条干线直接相连</p> <p>(2) 树干式接线：总配电箱至各分配电箱用同一条干线连接</p> <p>(3) 混合式接线：总配电箱至各分配电箱既有放射式的也有树干式的接线，如图所示</p>  <p style="text-align: center;">混合式照明配电系统</p>
3	设有应急照明的照明系统（示例）	 <p style="text-align: center;">设有应急照明的照明系统</p> <p style="text-align: center;">(a) 由一台变压器供电；(b) 由两台变压器供电</p>

续表

序号	项 目	说 明
4	应急照明的备用电源自动投入 (APD) 控制电路 (示例)	<p>当工作电源停电时, 接触器 KM1 因失电而跳开, 同时其常闭触点 KM1 1-2 闭合, 使时间继电器 KT 动作 (接触器 KM2 的常闭触点 1-2 原已闭合), 其延时闭合触点 KT 1-2 经 0.5s 闭合, 使接触器 KM2 接通, 其主触点闭合, 从而投入备用电源。KM2 的常开触点 3-4 同时闭合, 保持 KM2 接通; 而且其常闭触点 1-2 断开, 切断 KT 的回路, KT 触点 1-2 断开。同时 KM2 的常闭触点 5-6 断开, 切断 KM1 的回路</p> <p style="text-align: center;">应急照明的备用电源自动投入装置 (APD) 控制回路图</p>

### 三、照明线路导线的选择计算

(1) 照明线路导线类型的选择。如表 10-53 所示。

(2) 照明线路导线截面的选择计算。如表 10-54 所示。

表 10-53 照明线路导线类型的选择

序号	项 目	说 明
1	导体材质的选择	<p>一般情况下宜选用铝芯导线 下列情况下宜选用铜芯导线:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 移动灯具的配电线路及连接灯头的软线</li> <li>(2) 爆炸危险场所的照明线路</li> <li>(3) 剧烈振动场所的照明线路</li> <li>(4) 重要场所、居住建筑的照明线路</li> </ol>
2	绝缘导线的类别、型号选择	
2.1	橡皮绝缘导线	<p>(1) BX 型铜芯橡皮绝缘线和 BLX 型铝芯橡皮绝缘线; 由于其耐热性能较好, 因此适于高温场所敷设及易燃场所穿管敷设; 但由于其生产工艺复杂, 且耗费大量橡胶和棉纱, 因此成本较高, 一般正常环境不宜采用 (2) BXF 型铜芯氯丁橡皮绝缘线和 BLXF 型铝芯氯丁橡皮绝缘线; 由于它具有良好的耐气候老化性能和耐燃性, 并且具有一定的耐油、耐腐蚀性, 因此特别适于室外敷设, 但其绝缘层的机械强度较差, 不宜穿管敷设</p>

续表

序号	项 目	说 明
2.1	橡皮绝缘导线	(3) BXR 型铜芯橡皮软线; 适于室内要求导线较柔软的场所使用, 如灯头线
2.2	聚氯乙烯绝缘导线 (或称塑料导线)	<p>(1) BV 型铜芯聚氯乙烯绝缘线和 BLV 型铝芯聚氯乙烯绝缘线; 由于其耐油和耐酸碱腐蚀性较 BX 型和 BLX 型好, 而且制造工艺简便, 成本较低, 因此在一般正常环境宜优先选用; 但由于聚氯乙烯绝缘不耐高温, 且易老化, 因此不宜用于高温和室外场所 (2) BVV 型铜芯聚氯乙烯绝缘护套导线和 BLVV 型铝芯聚氯乙烯绝缘护套导线; 其性能与 BV 型和 BLV 型相同, 且由于加有聚氯乙烯护套, 因此不仅适于一般正常环境固定敷设, 而且可直接埋地敷设 (3) BV-105 型铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘线和 BLV-105 型铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘线; 适用于高温场所固定敷设 (4) BVR 型铜芯聚氯乙烯绝缘软线; 适于室内安装, 要求导线较柔软的场所用</p>
2.3	阻燃型塑料导线	ZR-BV 型阻燃型铜芯聚氯乙烯绝缘导线和 ZR-BVR 型阻燃型铜芯聚氯乙烯绝缘软线; 均适于在有高阻燃要求的场所安装使用, ZR-BV 型用于固定安装, ZR-BVR 用于要求导线柔软的场所

表 10-54 照明线路导线截面的选择计算

序号	项目	说 明																						
1	均一照明线路导线截面的选择计算	<p>照明线路可近似地视为“无感”(即 <math>\cos\varphi \approx 1</math>) 线路。全线均一照明线路导线截面的选择计算程序如下:</p> <p>(1) 相线截面按允许电压损耗选择, 选择计算公式为:</p> $A \geq \frac{\Sigma M}{C \Delta U_{al} \%}$ <p>式中 <math>\Sigma M</math> 为线路的功率矩 (<math>\text{kW} \cdot \text{m}</math>); <math>C</math> 为计算系数, 查表 6-58 中序号 2 的附表</p> <p>(2) 校验机械强度, 导线截面不得小于表 6-32 所示的最小截面</p> <p>(3) 校验发热条件, 导线的允许载流量不得小于线路的计算电流</p>																						
2	有分支照明线路导线截面的选择计算	<p>对有分支的照明线路, 宜采用按有色金属消耗量最小条件来确定导线截面的方法, 该法也是以满足允许电压损耗条件为前提</p> <p>按允许电压损耗选择有分支照明线路干线截面的近似公式为:</p> $A = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha M'}{C \Delta U_{al} \%}$ <p>式中 <math>\Sigma M</math> 为计算线段及其后面各段 (具有与计算线段相同导线根数的线段) 的功率矩 (<math>M = Pl</math>) 之和; <math>\Sigma \alpha M'</math> 为由计算线段供电而导线根数与计算线段不同的所有分支线的功率矩之和, 这些功率矩应分别乘以对应的功率矩换算系数 <math>\alpha</math> (见下面附表) 后再相加; <math>\Delta U_{al} \%</math> 为从计算线段的首端起至整个线路末端止的允许电压损耗对线路额定电压的百分值; <math>C</math> 为计算系数, 亦查表 6-58 中序号 2 的附表</p> <p style="text-align: center;">附表 功率矩换算系数 <math>\alpha</math> 值</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">干 线</th> <th rowspan="2">分支线</th> <th colspan="2">功率换算系数</th> </tr> <tr> <th>代 号</th> <th>数 值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>三相四线</td> <td>单相</td> <td><math>\alpha_{1-1}</math></td> <td>1.83</td> </tr> <tr> <td>三相四线</td> <td>两相三线</td> <td><math>\alpha_{1-2}</math></td> <td>1.37</td> </tr> <tr> <td>两相三线</td> <td>单相</td> <td><math>\alpha_{3-1}</math></td> <td>1.33</td> </tr> <tr> <td>三相三线</td> <td>两相三线</td> <td><math>\alpha_{3-2}</math></td> <td>1.15</td> </tr> </tbody> </table> <p>应用上述近似公式进行计算时, 应从靠近电源的第一段干线开始, 依次往后选择计算各分支线段的导线截面</p> <p>每段导线截面计算出来后, 应选取相近而偏大的额定截面, 以弥补上述公式因简化而带来的误差</p> <p>每段导线截面均应按机械强度和发热条件进行校验</p> <p>在某段导线截面选定以后, 即可按下式计算该段线路的实际电压损耗:</p> $\Delta U \% = \frac{\Sigma M}{CA}$ <p>在计算下一段线路的导线截面时, 后边线路总的允许电压损耗为:</p> $\Delta U'_{al} \% = \Delta U_{al} \% - \Delta U' \%$	干 线	分支线	功率换算系数		代 号	数 值	三相四线	单相	$\alpha_{1-1}$	1.83	三相四线	两相三线	$\alpha_{1-2}$	1.37	两相三线	单相	$\alpha_{3-1}$	1.33	三相三线	两相三线	$\alpha_{3-2}$	1.15
干 线	分支线	功率换算系数																						
		代 号	数 值																					
三相四线	单相	$\alpha_{1-1}$	1.83																					
三相四线	两相三线	$\alpha_{1-2}$	1.37																					
两相三线	单相	$\alpha_{3-1}$	1.33																					
三相三线	两相三线	$\alpha_{3-2}$	1.15																					
3	有分支照明线路导线截面的选择计算示例	<p>某照明供电系统如下图所示。线路电压为 220/380V, 允许电压损耗为 2.5%, 当地环境温度为 +25℃。拟采用 BLV-500 型铝芯塑料线明敷</p> <p style="text-align: center;">备注: 图中线段长度单位为 m, 负荷单位为 kW</p>																						

续表

序号	项目	说 明																								
3	有分支照明线路导线截面的选择计算示例	<p>解：(1) 计算各线段的功率矩：</p> <p>AB段 <math>M_{AB}=6.2\text{kW}\times 60\text{m}=372\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>BC段 <math>M'_{BC}=1\text{kW}\times 40\text{m}=40\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>BD段 <math>M'_{BD}=1\text{kW}\times 28\text{m}=28\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>BE段 <math>M_{BE}=4.2\text{kW}\times 50\text{m}=210\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>EF段 <math>M_{EF}=1.5\text{kW}\times 25\text{m}=37.5\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>EG段 <math>M'_{EG}=1.2\text{kW}\times 20\text{m}=24\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>EH段 <math>M'_{EH}=1.5\text{kW}\times 30\text{m}=45\text{kW}\cdot\text{m}</math></p> <p>(2) 选择 AB 线段的导线截面：</p> $A_{AB}=\frac{\Sigma M+\Sigma \alpha M'}{C\Delta U_{al}\%}$ $=\frac{M_{AB}+M_{BE}+M_{EF}+\alpha_{4,2}M'_{EH}+\alpha_{4,1}(M'_{BC}+M'_{BD}+M'_{EG})}{C\Delta U_{al}\%}$ $=\frac{372+210+37.5+1.37\times 45+1.83\times (40+28+24)}{46.2\times 2.5}\text{mm}^2$ $=7.36\text{mm}^2$ <p>因此 AB 线段的相线初选为 <math>10\text{mm}^2</math>，PEN 线也选为 <math>10\text{mm}^2</math>。相线的允许载流量 <math>I_{al}=59\text{A}</math>（查表 6-36），而实际电流为 <math>9.4\text{A}</math>，满足发热条件。允许最小截面为 <math>2.5\text{mm}^2</math>（查表 6-32），也满足机械强度要求</p> <p>(3) 计算 AB 线段的电压损耗及 B 点以后的允许电压损耗：</p> $\Delta U_{AB}\%=\frac{M_{AB}}{CA_{AB}}=\frac{372}{46.2\times 10}=0.81\%$ $\Delta U_{al(B\rightarrow\text{end})}\%=\Delta U_{al}\%-\Delta U_{AB}\%$ $=2.5\%-0.81\%=1.69\%$ <p>(4) 选择 BC、BD、BE 各线段的导线截面：</p> $A_{BC}=\frac{M'_{BC}}{C\Delta U_{al(B\rightarrow\text{end})}\%}=\frac{40}{7.74\times 1.69}\text{mm}^2=3.1\text{mm}^2$ <p>因此 BC 线段的相线和 PEN 线均选为 <math>4\text{mm}^2</math>。校验发热条件和机械强度，均满足要求。类似的方法，BD 线段的相线和 PEN 线选为 <math>2.5\text{mm}^2</math>，BE 线段的相线和 PEN 线选为 <math>6\text{mm}^2</math></p> <p>(5) 计算 BE 线段的电压损耗及 E 点以后的允许电压损耗：</p> $\Delta U_{BE}\%=\frac{M_{BE}}{CA_{BE}}=\frac{210}{46.2\times 6}=0.76\%$ $\Delta U_{al(E\rightarrow\text{end})}\%=\Delta U_{al(B\rightarrow\text{end})}\%-\Delta U_{BE}\%$ $=1.69\%-0.76\%=0.93\%$ <p>(6) 选择 EF、EG、EH 各线段的导线截面：略去计算，并考虑满足机械强度的要求，EF 线段的相线和 PEN 线均选为 <math>2.5\text{mm}^2</math>，EG 线段的相线和 PEN 线选为 <math>4\text{mm}^2</math>，EH 线段的相线和 PEN 线选为 <math>2.5\text{mm}^2</math></p> <p>(7) 所选结果如附表所示：</p> <p style="text-align: center;">附表 各线段的导线规格</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>线段代号</th> <th colspan="2">导 线 规 格</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AB</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 10+1\times 10</math></td> </tr> <tr> <td>BC</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 4+1\times 4</math></td> </tr> <tr> <td>BD</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 2.5+1\times 2.5</math></td> </tr> <tr> <td>BE</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 6+1\times 6</math></td> </tr> <tr> <td>EF</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 2.5+1\times 2.5</math></td> </tr> <tr> <td>EG</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 4+1\times 4</math></td> </tr> <tr> <td>EH</td> <td>BLV-500</td> <td><math>3\times 2.5+1\times 2.5</math></td> </tr> </tbody> </table>	线段代号	导 线 规 格		AB	BLV-500	$3\times 10+1\times 10$	BC	BLV-500	$3\times 4+1\times 4$	BD	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$	BE	BLV-500	$3\times 6+1\times 6$	EF	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$	EG	BLV-500	$3\times 4+1\times 4$	EH	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$
线段代号	导 线 规 格																									
AB	BLV-500	$3\times 10+1\times 10$																								
BC	BLV-500	$3\times 4+1\times 4$																								
BD	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$																								
BE	BLV-500	$3\times 6+1\times 6$																								
EF	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$																								
EG	BLV-500	$3\times 4+1\times 4$																								
EH	BLV-500	$3\times 2.5+1\times 2.5$																								

# 第十一章 安全用电、节约用电与计划用电

续表

## 第一节 供用电的管理原则与要求

### 一、供用电运营管理的一般规定

如表 11-1 所示。

表 11-1 供用电运营管理的一般规定

序号	项目	说 明
1		《电力法》关于供用电运营管理的有关规定
1.1	我国电力建设、生产、供应和使用的总方针	<p>(1) 电力事业应当适应国民经济和社会发展的需要,适当超前发展</p> <p>(2) 电力建设、生产、供应和使用应当依法保护环境,采用新技术,减少有害物质排放,防治污染和其他公害</p> <p>(3) 国家鼓励和支持利用可再生能源和清洁能源发电</p> <p>(4) 电力建设企业、电力生产企业、电网经营企业依法实行自主经营、自负盈亏,并接受电力管理部门的监督</p> <p>(5) 国家帮助和扶持少数民族地区、边远地区和贫困地区发展电力事业</p> <p>(6) 国家鼓励在电力建设、生产、供应和使用过程中,采用先进的科学技术和方法</p>
1.2	电力生产与电网运行的管理原则	<p>(1) 电力生产与电网运行应当遵循安全、优质、经济的原则。电网运行应当连续、稳定,保证供电可靠性</p> <p>(2) 电力企业应当加强安全生产管理,坚持安全第一、预防为主的方针,建立、健全安全生产责任制</p> <p>(3) 电网运行实行统一调度、分级管理。任何单位和个人不得非法干预电网调度</p> <p>(4) 国家提倡电力生产企业与电网、电网与电网并网运行。并网运行必须符合国家标准或者电力行业标准</p>
1.3	供用电的管理原则与要求	<p>(1) 国家对电力供应与使用,实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则</p> <p>(2) 供用电双方应当根据平等自愿、协商一致的原则,按照国务院制定的电力供应与使用办法签订供用电合同,确定双方的权利和义务</p> <p>(3) 供电企业应当保证供给用户的供电质量符合国家标准。用户对供电质量有特殊要求的,供电企业应当根据其必要性和电网的可能,提供相应的电力</p>

序号	项目	说 明
1.3	供用电的管理原则与要求	<p>(4) 供电企业在发电、供电系统正常的情况下,应当连续向用户供电,不得中断。因供电设施检修、依法限电或者用户违法用电等原因,需要中断供电时,供电企业应当按照国家有关规定事先通知用户</p> <p>(5) 用户应当安装用电计量装置。用户受电装置的设计、施工安装和运行管理,应当符合国家标准或者电力行业标准</p> <p>(6) 用户用电不得危害供电、用电安全和扰乱供电、用电秩序。对危害供电、用电安全和扰乱供电、用电秩序的,供电企业有权制止</p> <p>(7) 供电企业应当按照国家核准的电价和用电计量装置的记录,向用户计收电费</p>
2		《电力供应与使用条例》关于供用电运营管理的有关规定
2.1	加强监督管理,做好“三电”工作,保证供电质量	<p>(1) 供电企业和用户应当遵守国家有关规定,采取有效措施,做好安全用电、节约用电、计划用电工作。</p> <p>(2) 电力管理部门应当加强对供用电的监督管理,协调供用电各方关系,禁止危害供用电安全和非法侵占电能的行为</p> <p>(3) 用户受电端的供电质量应当符合国家标准或者电力行业标准</p> <p>(4) 用户对供电质量有特殊要求的,供电企业应当根据其必要性和电网的可能,提供相应的电力</p>
2.2	申请用电和变更用电的要求	<p>申请新装用电、临时用电、增加用电容量、变更用电和终止用电,均应当到当地供电企业办理手续,并按照国家有关规定交付费用;供电企业没有不予供电的合理理由的,应当供电。供电企业应当在其营业场所公告用电的程序、制度和收费标准</p>
2.3	用户受送电装置设计施工与验收的要求	<p>供电企业应当按照国家标准或者电力行业标准参与用户受送电装置设计图纸的审核,对用户受送电装置隐蔽工程的施工过程实施监督,并在该受送电装置工程竣工后进行检验;检验合格的,方可投入使用</p>
2.4	电价类别及用电计量与电费计收	<p>(1) 供电企业应当按照国家有关规定实行分类电价、分时电价</p> <p>(2) 用户应当安装用电计量装置。用户使用的电力、电量,以计量检定机构依法认可的用电计量装置的记录为准</p> <p>(3) 供电企业应当按照国家核准的电价和用电计量装置的记录,向用户计收电费</p>



续表

续表

序号	项目	说明
2.5	供电企业因故障停电时事先通知用户的要求	<p>在发电、供电系统正常运行的情况下(除《条例》另有规定外),供电企业应当连续向用户供电;因故需要停止供电时,应当按照下列要求事先通知用户或者进行公告:</p> <p>(1)因供电设施计划检修需要停电时,供电企业应当提前7天通知用户或者进行公告</p> <p>(2)因供电设施临时检修需要停止供电时,供电企业应当提前24小时通知重要用户</p> <p>(3)因发电、供电系统发生故障需要停电、限电时,供电企业应当按照事先确定的限电序位进行停电或者限电。引起停电或者限电的原因消除后,供电企业应当尽快恢复供电</p>
2.6	签订和履行《供用电合同》	<p>(1)供电企业和用户应当在供电前根据用户需要和供电企业的供电能力签订供用电合同</p> <p>(2)供电企业应当按照合同约定的数量、质量、时间、方式、合理调度和安全供电。用户应当按照合同约定的数量、条件用电,交付电费和规定的其他费用</p> <p>(3)供用电合同的变更或者解除,应当依照有关法律,行政法规和本《条例》的规定办理</p>
2.7	加强对供用电有关人员和单位的监督管理	<p>(1)电力管理部门应当加强对供用电的监督管理。供用电监督检查工作人员必须具备相应的条件。供用电监督检查工作人员执行公务时,应当出示证件。供用电监督检查管理的具体办法,由国务院电力管理部门另行制定。(编者注:1996年5月19日电力工业部发布了《供用电监督管理办法》)</p> <p>(2)在用户受电装置上作业的电工必须经电力管理部门考核合格,取得电力管理部门颁发的《电工进网作业许可证》,方可上岗作业</p> <p>(3)承装、承修、承试供电设施和受电设施的单位,必须经电力管理部门考核合格,取得电力管理部门颁发的《承装(修)电力设施许可证》后,方可向工商行政管理部门申请营业执照</p>

## 二、用户受电设施建设与维护管理的要求

如表 11-2 所示。

表 11-2 用户受电设施建设与维护管理的要求 (据《供电营业规则》)

序号	项目	说明
1	用户受电设施建设的一般要求	<p>(1)用户受电设施的建设与改造应当符合城乡电网建设与改造规划。对规划中安排的线路走廊和变电站建设用电,应当优先满足公用供电设施建设的需要,确保土地和空间资源得到有效利用</p> <p>(2)用户新装、增装或改装受电工程的设计、安装、试验与运行应符合国家有关标准;国家尚未制订标准的,应符合电力行业标准;国家和电力行业尚未制定标准的,应符合省(自治区、直辖市)电力管理部门的规定和规程</p>

序号	项目	说明
1	用户受电设施建设的一般要求	<p>(3)用户受电工程设计文件和有关资料(参看序号2)应一式两份送交供电企业审核。供电企业对用户送审的受电工程设计文件和有关资料,应根据本《规则》的有关规定进行审核。审核的时间,对高压供电的用户最长不超过一个月;对低压供电的用户最长不超过十天。供电企业对用户的受电工程设计文件和有关资料的审核意见,应以书面形式连同审核过的一份受电工程设计文件和有关资料一并退还用户,以便用户据以施工。用户若更改审核后的设计文件时,应将变更后的设计再送供电企业复核。用户受电工程的设计文件,未经供电企业审核同意,用户不得据以施工,否则,供电企业将不予检验和接电</p>
2	用户应提供的受电工程设计文件和有关资料	<p>(1)高压供电的用户在建设其受电设施时应提供供给供电企业审核的工程设计文件和有关资料有:①受电工程设计及说明书;②用电负荷分布图;③负荷组成、性质及保安负荷;④影响电能质量的用电设备清单;⑤主要电气设备一览表;⑥节能篇及主要生产、生产工艺耗电及允许中断供电时间;⑦高压受电装置一、二次接线图与平面布置图;⑧用电功率因数计算及无功补偿方式;⑨继电保护、过电压保护及电能计量装置的方式;⑩隐蔽工程设计资料;⑪配电网络布置图;⑫自备电源及接线方式;⑬供电企业认为必须提供的其他资料</p> <p>(2)低压供电的用户在建设其受电设施时应提供供给供电企业审核的资料主要为:负荷组成和用电设备清单</p>
3	用户受电工程施工检查及竣工验收	<p>(1)用户受电工程在施工期间,供电企业应根据审核同意的设计和有关施工标准,对用户受电工程中的隐蔽工程进行中间检查。如有不符合规定的,应以书面形式向用户提出意见。用户应按设计和施工标准的规定予以改正</p> <p>(2)用户受电工程施工、试验完工后,应向供电企业提出工程竣工报告,报告应包括:①工程竣工图及说明;②电气试验及保护整定调试记录;③安全用具的试验报告;④隐蔽工程的施工及试验记录;⑤运行管理的有关规定和制度;⑥值班人员名单及资格;⑦供电企业认为必要的其他资料或记录</p> <p>(3)供电企业接到用户的受电装置竣工报告及检验申请后,应及时组织检验。对检验不合格的,供电企业应以书面形式一次性通知用户改正,改正后方予以再次检验,直至合格。但自第二次检验起,每次检验前用户须按规定交纳重复检验费。检验合格后的10天内,供电企业应派员装表接电</p>
4	用户受电设施建成后的运行维护管理要求	<p>用户受电设施建成后,其运行维护管理按以下规定确定:</p> <p>(1)属于公用性质或占用公用线路规划走廊的,由供电企业统一管理</p> <p>(2)属于用户专用性质,但在公用变电站内的供电设施,由用户运行维护管理。如用户运行维护管理确有困难,可与供电企业协商,就委托供电企业代为运行维护管理有关事项签订协议</p> <p>(3)属于用户共用性质的供电设施,由拥有产权的用户共同运行维护管理。如用户共同运行维护管理确有困难,可与供电企业协商,就委托供电企业代为运行维护管理有关事项签订协议</p>

续表

序号	项目	说明
4	用户受电设施建成后的运行维护管理要求	(4) 在公用变电站内由用户投资建设的供电设备,如变压器、通信设备、开关、刀闸等,由供电企业统一经营管理。建成投运前,双方应就运行维护、检修、备品备件等事项签订交接协议 (5) 属于临时用电等其他性质的供电设施,原则上由产权所有者运行维护管理,或由双方协商确定,并签订协议

## 第二节 安全用电及触电急救

### 一、安全用电的有关概念

如表 11-3 所示。

表 11-3 安全用电的有关概念

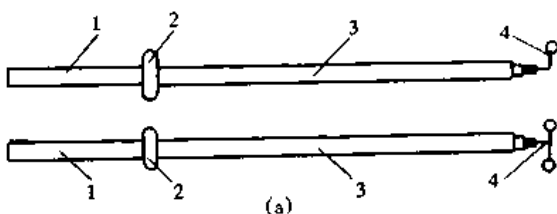
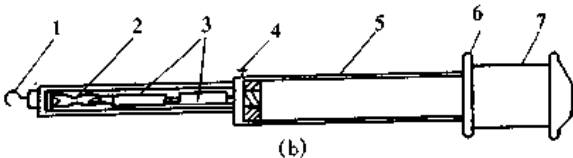
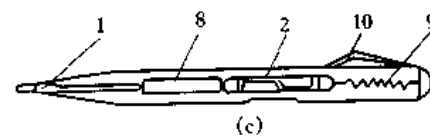
序号	项目	说明																	
1	人体触电(电击)的类别及危害性	人体触电可分两种情况:①雷击和高压触电,较大的电流通过人体,将使人的肌体遭受严重的电灼伤、组织碳化坏死甚至死亡;②低压触电,通过人体的电流相对较小,能使人的肌体产生一定的病理生理反应,轻的有针刺痛感,或出现痉挛、血压升高、心律不齐以致昏迷等暂时性的功能失常,重的可引起呼吸停止、心跳骤停、心室纤维性颤动等危及生命的伤害																	
2	50Hz 交流通过人体的电流-时间效应分区(IEC 提出)	<p>图中:①人体无反应区;②人体一般无病理生理性反应区;③人体一般无心室纤维性颤动和器质性损伤区;④人体可能发生心室纤维性颤动区</p> <p>由图所示可以看出,人体触电反应可分四个区域,其中①、②、③区可视为“安全区”,③区与④区间的一条曲线,称为“安全曲线”。④区是致命危险区,但③区也并非绝对安全的</p>																	
3	安全电流值及其影响因素	安全电流是人体触电后的最大摆脱电流。我国一般采用 30mA (50Hz) 为安全电流值,但其触电时间按不超过 1s 计,因此这安全电流也称为 30mA·s 一般认为, 50mA·s 对人有致命危险;而 100mA·s 通常要致人死命 安全电流主要与下列因素有关: (1) 触电时间:时间越长,对人体的危害越大 (2) 电流性质:50~60Hz 的工频电流对人体的危害最为严重 (3) 电流路径:以电流从手到脚特别是电流从一手到另一手对人最为危险 (4) 体重和健康状况:健康人的心脏与衰弱病人的心脏对电流损害的抵抗能力是大不一样的。人的心理状态、情绪好坏以及人的体重等,也使电流对人体的危害程度有所差异																	
4	安全电压	安全电压就是不致使人直接致死或致残的电压 国标 GB3805—1983《安全电压》规定的安全电压等级如以下附表所示																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">安全电压有效值 (V)</th> <th rowspan="2">选用举例</th> </tr> <tr> <th>额定值</th> <th>空载上限值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>42</td> <td>50</td> <td rowspan="2">在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等</td> </tr> <tr> <td>36</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>29</td> <td rowspan="3">可供某些具有人体可能偶然触及带电体的设备选用</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	安全电压有效值 (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	24	29	可供某些具有人体可能偶然触及带电体的设备选用	12	15	6	8
安全电压有效值 (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																		
24	29	可供某些具有人体可能偶然触及带电体的设备选用																	
12	15																		
6	8																		
		在一般正常环境条件下,其中的交流 50V 电压,通常称为可允许持续接触的“安全特低电压”。这一电压是从人身安全的角度来考虑的。由于人体电阻平均为 1700~2000Ω,而安全电流为 30mA,按人体电阻 1700Ω 计算,故安全电压为: $U_{mf} = 30\text{mA} \times 1700\Omega \approx 50\text{V}$																	
5	直接接触电防护和间接接触电防护	(1) 直接接触电防护(直接接触防护,基本防护):指对人或动物直接接触危险的带电部分的防护,例如对带电导体加隔离栅栏或加保护网罩等的防护措施 (2) 间接接触电防护(间接接触防护,附加防护):指对人或动物与外露可导电部分及故障时可变成带电体的外部可导电部分的接触防护,例如将电气设备的金属外壳(属外露可导电部分)及不是电气装置一部分的金属构架(属外部可导电部分)等予以接地,并装设接地故障保护等防护措施																	

## 二、安全用电措施与安全用具

(2) 保证安全的组织措施。如表 11-5 所示。

(1) 安全用电的一般措施。如表 11-4 所示。

表 11-4 安全用电的一般措施

序号	项目	说明
1	加强电气安全教育	电能够造福于人,但如果使用不当,或稍有疏失,就可能造成严重的人身触电(或称“电击”)事故,甚至致人死命,或者引发火灾和爆炸,给国家和人民带来巨大的损失。因此必须加强电气安全教育,人人树立“安全第一”的思想,力争消灭电气安全事故
2	严格执行安全工作规程	国家颁布的和现场制订的电气安全工作规程,是确保工作安全的基本依据。只有严格执行安全工作规程,才能确保工作安全。例如在变配电所工作,就必须严格执行 DL408—1991《电力安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)》的有关规定;如果从事电力线路工作,则必须严格执行 DL409—1991《电业安全工作规程(电力线路部分)》的有关规定(注:两规程对同项目的安全要求是一致的)
3	严格遵循设计安装规范	国家制订的设计、安装规范,是确保设计、安装质量的基本依据。例如进行企业供配电设计,就必须遵循 GB50052—1995《供配电系统设计规范》、GB50053—1994《10kV 及以下变电所设计规范》、GB50054—1995《低压配电设计规范》……等一系列设计规范;而进行供配电工程的安装,则必须遵循 GBJ148—1990《电气装置安装工程·电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范》、GB50168—1992《电气装置安装工程·电缆线路施工及验收规范》、GB50169—1992《电气装置安装工程·接地装置施工及验收规范》、GB50171—1992《电气装置安装工程·盘、柜及二次回路结线施工及验收规范》……等一系列施工及验收规范(参看表 1-2 序号 3)
4	加强供用电设备的运行维护和检修试验工作	加强供用电设备的运行维护和检修试验工作,对于确保供配电系统的安全运行也至关重要。这方面也应遵循有关规程,例如电气设备的交接试验,应遵循 GB50150—1991《电气装置安装工程·电气设备交接试验标准》的规定
5	采用安全电压及符合安全要求的相应电器和导线电缆	(1) 对于容易触电及有触电危险的场所,应采用相应的安全电压(参看表 11-3 序号 4),并按 GB/T12501—1990《电工电子设备防触电保护分类》(参看表 4-2)的要求,对设备采取安全措施 (2) 对于有爆炸和火灾危险的环境中使用的电气设备和导线、电缆,应采用符合安全要求的相应设备和导线、电缆,具体要求参看 GB50058—1992《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》及 GB50257—1996《电气装置安装工程·爆炸和火灾危险环境电气装置施工及验收规范》
6	按规定使用电气安全用具	<p>电气安全用具分基本安全用具和辅助安全用具两大类;</p> <p>(1) 基本安全用具:其绝缘足以承受电气设备的工作电压,操作人员必须使用它,才允许操作带电设备,例如操作高压隔离开关的绝缘棒(如图 a 示)和用来装拆低压 RTO 型熔断器熔管的绝缘手柄等</p> <p>(2) 辅助安全用具:其绝缘不足以完全承受电气设备工作电压的作用,但是操作人员使用它,可使人身安全有进一步的保障,例如绝缘手套、绝缘靴、绝缘地毯、绝缘垫台、高压验电器(图 a)、低压试电笔(图 b)、临时接地线及各种标示牌(见表 11-8)等</p>  <p>(a) 绝缘棒(俗称“令克棒”)</p> <p>1—手柄; 2—护环; 3—绝缘杆; 4—金属钩</p>  <p>(b) 高压验电器; (c) 低压试电笔</p>  <p>1—触头; 2—氖灯; 3—电容器; 4—接地螺钉; 5—绝缘杆; 6—护环; 7—手柄; 8—碳质电阻; 9—弹簧; 10—金属挂钩(握柄)</p>

续表

序号	项目	说明
7	普及安全用电常识	(1) 不得随意加大熔体规格, 不得随意更换熔体材质 (例如以铜丝或铁丝来代替原来的铅锡合金丝) (2) 不得长时间超负荷用电; 多台大容量设备宜错开使用时间, 以免出现过负荷 (3) 电线上不得晾晒衣物, 以免电线绝缘损坏漏电伤人 (4) 不得在架空线路和室外变配电装置附近放风筝; 也不得用鸟枪或弹弓射击架空线路上的鸟 (5) 不得擅自攀登电杆和变配电装置的构架 (6) 移动电器和手持电具的插座, 一般应采用带有保护接地 (PE) 插孔的插座 (7) 当带电导线断落在地上时, 不可走近。对落地的高压线, 应离开其落地点 8~10m 以上, 更不得接触。遇此断线接地故障, 应划定禁止通行区, 派人看守, 并通知电工或供电部门前来处理 (8) 如遇有人触电, 应按规定方法进行急救处理
8	正确处理电气火灾事故	电气失火有两个特点: ①失火的电气设备可能带电, 因此灭火时要防止触电, 应尽快断开失火设备的电源; ②失火的电气设备可能充有大量的可燃油, 可导致爆炸, 使火势蔓延 带电灭火的措施和注意事项如下: (1) 应使用二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )、四氯化碳 (CCl <sub>4</sub> ) 或 1211 (二氟一氯一溴甲烷) 等灭火器。这些灭火器的灭火剂均不导电, 可直接用来扑灭带电设备的失火。但使用二氧化碳灭火器时, 要防止冻伤和窒息, 因为其二氧化碳是液态的, 灭火时它喷射出来后, 强烈扩散, 大量吸热, 形成温度很低 (可低至 -78.5℃) 的雪花状干冰, 降温灭火, 并隔绝空气。因此使用二氧化碳灭火器时, 要打开门窗, 并要离开火区 2~3m, 勿使干冰沾着皮肤, 以防冻伤。使用四氯化碳灭火器时, 要特别防止中毒, 因为四氯化碳 (CCl <sub>4</sub> ) 受热时, 与空气中的氧 (O <sub>2</sub> ) 作用, 将产生有毒的光气 (COCl <sub>2</sub> ) 和氯气 (Cl <sub>2</sub> ), 因此在使用四氯化碳灭火器时, 应打开周围门窗, 有条件时最好戴上防毒面具 (2) 不能用普通的泡沫灭火器灭火, 因为其灭火剂 (水溶液) 为稀硫酸 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), 具有一定的导电性, 而且对电气绝缘有一定的腐蚀性。一般也不能用水进行带电灭火, 因水中通常含有导电杂质, 容易造成触电事故 (3) 小面积的电气失火, 可使用干砂覆盖熄灭 (4) 带电灭火时, 应采取防触电的可靠措施。如遇有人触电, 应立即进行触电急救

表 11-5 保证安全的组织措施 (据 DL408-1991)

续表

序号	项目	说明	序号	项目	说明
1		措施之一——工作票制度			
1.1	电气设备上工作前履行的手续 (方式)	在电气设备上工作, 应填用工作票或按命令执行, 其方式有下列三种: (1) 填用第一种工作票 (见表 11-7 序号 1) (2) 填用第二种工作票 (见表 11-7 序号 2) (3) 口头或电话命令	1.3	工作票的填写和收执要求	(1) 工作票要用钢笔或圆珠笔填写一式两份, 应正确清楚, 不得任意涂改。如有个别错、漏字需要修改时, 应字迹清楚 (2) 两份工作票中的一份必须经常保存在工作地点, 由工作负责人收执, 另一份由值班员收执, 按值移交。值班员应将工作票号码、工作任务、许可工作时间及完工时间记入操作记录簿中。在无人值班的设备上工作时, 第二份工作票由工作许可人收执
1.2	各种工作票或命令适用的工作范围	(1) 填用第一种工作票的工作为: 1) 高压设备上工作需要全部停电或部分停电者; 2) 高压室内的二次接线和照明等回路上的工作, 需要将高压设备停电或做安全措施者 (2) 填用第二种工作票的工作为: 1) 带电作业和在带电设备外壳上的工作; 2) 控制盘和低压配电箱、配电箱、电源干线上的工作; 3) 二次接线回路上的工作, 无需将高压设备停电者 4) 转动中的发电机、同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作 5) 非当值值班人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳形电流表测量高压回路的电流 (3) 其他工作用口头或电话命令。口头或电话命令, 必须清楚正确。值班员应将发令人、负责人及工作任务详细记入操作记录簿中, 并向发令人复诵核对一遍	1.4	工作票的发放要求	(1) 一个工作负责人只能发给一张工作票, 工作票上所列的工作地点, 以一个电气连接部分为限。如施工设备属于同一电压、位于同一楼层、同时停送电, 且不会触及带电导体时, 则允许在几个电气连接部分共用一张工作票 开工前工作票内的全部安全措施应一次做完 建筑工、油漆工等非电气人员进行工作时, 工作票发给监护人 (2) 在几个电气连接部分上依次进行不停电的同一类型的工作, 可以发给一张第二种工作票 (3) 若一个电气连接部分或一个配电装置全部停电, 则所有不同地点的工作, 可以发给一张工作票, 但要详细填写主要工作内容。几个班同时进行工作时, 工作票可发给一个总的负责人, 在工作班成员栏内只填写各班的负责人, 不必填写全部工作人员名单

续表

序号	项目	说明
1.4	工作票的发放要求	<p>若至预定时间,一部分工作尚未完成,仍须继续工作而不妨碍送电者,在送电前,应按照送电后现场设备带电情况,办理新的工作票,布置好安全措施后,方可继续工作</p> <p>(4)事故抢修工作可不用工作票,但应记入操作记事簿内,在开始工作前必须按规定做好安全措施,并应指定专人负责监护</p> <p>(5)线路、用户检修班或基建施工单位在发电厂或变电所进行工作时,必须由所在单位(发电厂、变电所或工区)签发工作票并履行工作许可手续</p> <p>(6)第一种工作票应在工作前一日交给值班员。临时工作可在工作开始以前直接交给值班员。第二种工作票应在进行工作的当天预先交给值班员</p>
1.5	工作票的有效期限及延期手续	<p>第一、二种工作票的有效时间,以批准的检修期为限。第一种工作票至预定时间工作尚未完成时,应由工作负责人办理延期手续。延期手续应由工作负责人向值班负责人申请办理,主要设备检修延期要通过值长办理</p> <p>工作票有破损不能继续使用时,应补填新的工作票</p>
1.6	工作票所列人员的安全责任	<p>(1)工作票签发人的安全责任:①工作必要性;②工作是否安全;③工作票上所填安全措施是否正确完备;④所派工作负责人和工作班人员是否适当和足够、精神状态是否良好</p> <p>(2)工作负责人(监护人)的安全责任:①正确安全地组织工作;②结合实际进行安全思想教育;③督促、监护工作人员遵守本规程;④负责检查工作票所载安全措施是否正确完备和值班员所做的安全措施是否符合现场实际条件;⑤工作前对工作人员交代安全事项;⑥工作班人员变动是否合适</p> <p>(3)工作许可人的安全责任:①负责审查工作票所列安全措施是否正确完备,是否符合现场条件;②工作现场布置的安全措施是否完善;③负责检查停电设备有无突然来电的危险;④对工作票中所列内容即使发生很小的疑问,也必须向工作票签发人询问清楚,必要时应要求作详细补充</p> <p>(4)值长的安全责任:负责审查工作的必要性和检修工期是否与批准期限相符以及工作票所列安全措施是否正确完备</p> <p>(5)工作班成员的安全责任:认真执行本规程和现场安全措施,互相关心施工安全,并监督本规程和现场安全措施的实施</p>
2	措施之二——工作许可制度	
2.1	工作许可人的职责	<p>工作许可人(值班员)在完成施工现场的安全措施后,还应:①会同工作负责人到现场再次检查所做的安全措施;②对工作负责人指明带电设备的位置和注意事项;③与工作负责人在工作票上分别签名。完成上述许可手续后,工作班方可开始工作</p>
2.2	有关“变更”的许可制度	<p>工作负责人、工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施,值班人员不得变更有关检修设备的运行接线方式。工作中如有特殊情况需要变更时,应事先取得对方的同意</p>

续表

序号	项目	说明
3	措施之三——工作监护制度	
3.1	工作负责人(监护人)的职责	<p>完成工作许可手续后,工作负责人(监护人)应向工作班人员交代现场安全措施、带电部位和其他注意事项。工作负责人(监护人)必须始终在工作现场,对工作班人员的安全认真监护,及时纠正违反安全的动作</p>
3.2	对高压区工作的限制和要求	<p>所有工作人员(包括工作负责人)不许单独留在高压室内和室外变电所高压设备区内。如果工作需要(如测量极性、回路导通试验等),且现场设备具体情况允许时,可以准许工作班中有实际经验的一人或几人同时在他室进行工作,但工作负责人应在事前将有关安全注意事项予以详尽的指示</p>
3.3	加强监护工作的几项规定	<p>(1)工作负责人(监护人)在全部停电时,可以参加工作班工作。在部分停电时,只有在安全措施可靠,人员集中在一个工作地点,不致误碰带电部分的情况下,方可参加工作</p> <p>(2)工作票签发人或工作负责人,应根据现场的安全条件、施工范围、工作需要等具体情况,增设专人监护和批准被监护的人数</p> <p>(3)专责监护人不得兼做其他工作</p>
3.4	工作负责人的离开与交接	<p>工作期间,工作负责人若因故必须离开工作地点时,应指定能胜任的人员临时代替;离开前应将工作现场交代清楚,并告知工作班人员。原工作负责人返回工作地点时,也应履行同样的交接手续。如果工作负责人需长时间离开现场,应由原工作票签发人变更新工作负责人,两工作负责人应做好必要的交接</p>
3.5	对违规和危险情况的处理	<p>值班员如发现工作人员违反安全规程或任何危及工作人员安全的情况,应向工作负责人提出改正意见,必要时可暂时停止工作,并立即报告上级</p>
4	措施之四——工作间断、转移和终结制度	
4.1	工作间断与复工的要求	<p>工作间断时,工作班人员应从工作现场撤出,所有安全措施保持不动,工作票仍由负责人执存。间断后继续工作,无需通过工作许可人。每日收工,应清扫工作地点,开放已封闭的通路,并将工作票交回值班员。次日复工时,应得值班员许可,取回工作票,工作负责人必须事前重新认真检查安全措施是否符合工作票的要求后,方可工作。若无工作负责人或监护人带领,工作人员不得进入工作地点</p>
4.2	工作间断时合闸送电的安全措施	<p>在未办理工作票终结手续以前,值班员不准将施工设备合闸送电</p> <p>在工作间断期间,若有紧急需要,值班员可在工作票未交回的情况下合闸送电,但应先将工作班全体人员已经离开工作地点的确切根据通知工作负责人或电气分场负责人,在得到他们可以送电的答复后方可执行,并应采取下列措施:</p> <p>(1)拆除临时遮栏,接地线和标示牌,恢复常设遮栏,换挂“止步,高压危险!”的标示牌</p> <p>(2)必须在所有通路派专人守候,以便告诉工作班人员“设备已经合闸送电,不得继续工作”;守候人员在工作票未交回以前,不得离开守候地点</p>

续表

续表

序号	项目	说 明
4.3	检修工作结束前设备加压试验的手续	<p>检修工作结束前，若需将设备试加工作电压，可按下列条件进行：</p> <p>(1) 全体工作人员撤离工作地点</p> <p>(2) 将该系统的所有工作票收回，拆除临时遮栏、接地线和标示牌，恢复常设遮栏</p> <p>(3) 应在工作负责人和值班员进行全面检查无误后，由值班员进行加压试验</p> <p>工作班若需继续工作时，应重新履行工作许可手续</p>
4.4	转移注意事项	<p>在同一电气连接部分用同一工作票依次在几个工作地点转移工作时，全部安全措施由值班员在开工前一次做完，不需再办理转移手续；但工作负责人在转移工作地点时，应向工作人员交代带电范围、安全措施和注意事项</p>
4.5	工作终结的手续	<p>(1) 全部工作完毕后，工作班应清扫、整理现场。工作负责人应先周密的检查，待全体工作人员撤离工作地点后，再向值班员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在问题等，并与值班员共同检查设备状况、有无遗留物件、是否清洁等，然后在工作票上填明工作终结时间，经双方签名后，工作票方告终结</p> <p>(2) 只有在同一停电系统的所有工作票结束，拆除所有接地线、临时遮栏和标示牌，恢复常设遮栏，并得到值班调度员或值班负责人的许可命令后，方可合闸送电</p> <p>(3) 已结束的工作票，保存三个月</p>

(3) 保证安全的技术措施。如表 11-6 所示。

表 11-6 保证安全的技术措施 (据 DL408—1991)

序号	项目	说 明																																
1		措施之一——停电																																
1.1	工作地点必须停电的设备	<p>工作地点，必须停电的设备如下：</p> <p>(1) 检修的设备</p> <p>(2) 与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于以下附表 1 规定的设备</p> <p>附表 1 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离</p> <table border="1"> <tr> <td>电压等级 (kV)</td> <td>10 及以下 (13.8)</td> <td>20~35</td> <td>44</td> <td>60~110</td> <td>154</td> <td>220</td> <td>330</td> </tr> <tr> <td>安全距离 (m)</td> <td>0.35</td> <td>0.60</td> <td>0.90</td> <td>1.50</td> <td>2.00</td> <td>3.00</td> <td>4.00</td> </tr> </table> <p>(3) 在 44kV 以下的设备上工作，上述安全距离虽大于附表 1 的规定，但小于附表 2 的规定，同时又无安全遮栏措施的设备</p> <p>附表 2 设备不停电时的安全距离</p> <table border="1"> <tr> <td>电压等级 (kV)</td> <td>10 及以下 (13.8)</td> <td>20~35</td> <td>44</td> <td>60~110</td> <td>154</td> <td>220</td> <td>330</td> </tr> <tr> <td>安全距离 (m)</td> <td>0.70</td> <td>1.00</td> <td>1.20</td> <td>1.50</td> <td>2.00</td> <td>3.00</td> <td>4.00</td> </tr> </table> <p>(4) 带电部分在工作人员后面或两侧无可靠安全措施的设备</p>	电压等级 (kV)	10 及以下 (13.8)	20~35	44	60~110	154	220	330	安全距离 (m)	0.35	0.60	0.90	1.50	2.00	3.00	4.00	电压等级 (kV)	10 及以下 (13.8)	20~35	44	60~110	154	220	330	安全距离 (m)	0.70	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00	4.00
		电压等级 (kV)	10 及以下 (13.8)	20~35	44	60~110	154	220	330																									
		安全距离 (m)	0.35	0.60	0.90	1.50	2.00	3.00	4.00																									
		电压等级 (kV)	10 及以下 (13.8)	20~35	44	60~110	154	220	330																									
		安全距离 (m)	0.70	1.00	1.20	1.50	2.00	3.00	4.00																									

序号	项目	说 明
1.2	断开电源的技术要求	<p>(1) 将检修设备停电，必须把各方面的电源完全断开（任何运用中的星形接线设备的中性点必须视为带电设备）。禁止在只经断路器（开关）断开电源的设备上工作，必须拉开隔离开关（刀闸），使各方面至少有一个明显的断开点。与停电设备有关的变压器和电压互感器，必须从高、低压两侧断开，防止向停电检修设备反送电</p> <p>(2) 断开断路器（开关）和隔离开关（刀闸）的操作能源，隔离开关（刀闸）的操作把手必须锁住</p>
2		措施之二——验电
2.1	使用验电器的注意事项	<p>(1) 验电时，必须用电压等级合适而且合格的验电器，在检修设备进出线两侧各相分别验电。验电前，应先在有电设备上进行试验，确证验电器良好。如果在木杆、木梯或木架构上验电，不接地线不能指示者，可在验电器上接地线，但必须经值班负责人许可</p> <p>(2) 高压验电必须戴绝缘手套，验电器应使用相应电压等级的专用验电器。330kV 及以上的电气设备，在没有相应等级的专用验电器的情况下，可使用绝缘棒来代替验电器。根据绝缘棒端有无火花和放电辟啪声来判断有无电压</p>
2.2	不得以电压表或有关信号指示作为无电根据	<p>表示设备断开和允许进入间隔的信号、经常接入的电压表等，不得作为设备无电压的根据。但如果指示有电，则禁止在该设备上工作</p>
3		措施之三——装设接地线
3.1	检修设备接地短路的作用	<p>当验明设备确已无电压后，应立即将检修设备接地并三相短路。这是保护工作人员在工作地点防止突然来电的可靠安全措施，同时设备断开部分的剩余电荷，亦可因接地而放尽</p>
3.2	接地线装设地点和数量的要求	<p>(1) 对于可能送电至停电设备的各方面或停电设备可能产生感应电压的都要装设接地线，所装接地线与带电部分应符合安全距离的规定</p> <p>(2) 检修母线时，应根据母线的长短和有无感应电压等实际情况确定地线数量。检修 10m 及以下的母线，可以只装设一组接地线，在门型架构的线路侧进行停电检修，如工作地点与所装接地线的距离小于 10m，工作地点虽在接地线外侧，也可不另装接地线</p> <p>(3) 检修部分若分为几个在电气上不相连接的部分（如分段母线以隔离开关或断路器隔开分成几段），则各段应分别验电接地短路。接地线与检修部分之间不得连有断路器或熔断器。降压变电所全部停电时，应将各个可能来电侧的部分接地短路，其余部分不必每段都装设接地线</p> <p>(4) 在室内配电装置上，接地线应装在该装置导电部分的规定地点，这些地点的油漆应刮去，并划下黑色记号。所有配电装置的适当地点，均应设有接地网的接头。接地电阻必须合格</p>

续表

续表

序号	项目	说 明
3.3	装、拆接地线的操作要求	(1) 装设接地线必须由两人进行。若为单人值班,只允许使用接地刀闸接地,或使用绝缘棒合接地刀闸 (2) 装设接地线必须先接接地端,后接导体端,且必须接触良好。拆除接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒,并戴绝缘手套
3.4	接地线的材质、截面及其连接的要求	(1) 接地线应用多股软裸铜线,其截面应符合短路电流的要求,但不得小于 25mm <sup>2</sup> 。接地线在每次装设以前应经过详细检查。损坏的接地线应及时修理或更换。禁止使用不合规定的导线作接地或短路之用 (2) 接地线必须使用专用的线夹固定在导体上,严禁用缠绕的方法进行接地或短路
3.5	拆除高压回路上接地线的要求	高压回路上的工作,需要拆除全部或部分接地线后始能进行工作者(如测量母线和电缆的绝缘电阻、检查开关触头是否同时接触),如:①拆除一相接地线;②拆除接地线,保留短路线;③将接地线全部拆除或拉开接地刀闸,必须征得值班员的许可,方可进行;根据调度员命令装设的接地线,则必须征得调度员的许可。工作完毕后应立即恢复
3.6	接地线的保管与使用记录	(1) 每组接地线均应编号,并存放在固定地点。存放位置亦应编号。接地线号码与存放位置号码必须一致 (2) 装、拆接地线,应做好记录,交接班时应交代清楚
4	措施之四 一悬挂标示牌和装设遮栏	
4.1	“禁止合闸,有人工作!”标示牌的悬挂要求	在一经合闸即可送电到工作地点的断路器和隔离开关的操作把手上,均应悬挂“禁止合闸,有人工作!”的标示牌(见表 11-8) 如果线路上有人工作,应在线路断路器和隔离开关操作把手上悬挂“禁止合闸,线路有人工作!”的标示牌 标示牌的悬挂和拆除,应按调度员的命令执行
4.2	部分停电时临时遮栏的装设要求	部分停电的工作,安全距离小于本表序号 1.1 中附表 2 规定距离以内的未停电设备,应装设临时遮栏。临时遮栏与带电部分的距离,不得小于本表序号 1.1 中附表 1 的规定数值。临时遮栏可用干燥木材、橡胶或其他坚韧绝缘材料制成,装设应牢固,并悬挂“止步,高压危险!”的标示牌 35kV 及以下设备的临时遮栏,如因工作特殊需要,可用绝缘挡板与带电部分直接接触,但此种挡板必须具有高度的绝缘性能,并符合表 11-9 的要求
4.3	在室内高压设备上或架构上工作时的安全措施	(1) 在室内高压设备上工作,应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和禁止通行的过道上悬挂“止步,高压危险!”的标示牌 (2) 在室外地面高压设备上工作,应在工作地点四周用绳子做好围栏。围栏上悬挂适当数量的“止步,高压危险!”的标示牌,标示牌必须朝向围栏里面

序号	项目	说 明
4.3	在室内高压设备上或架构上工作时的安全措施	(3) 在工作地点悬挂“在此工作!”的标示牌 (4) 在室外架构上工作,则应在工作地点邻近带电部分的横梁上,悬挂“止步,高压危险!”的标示牌。此项标示牌在值班人员的监护下,由工作人员悬挂。在工作人员上下铁架和梯子上应悬挂“从此上下!”的标示牌。在邻近其他可能误登的带电架构上,应悬挂“禁止攀登,高压危险!”的标示牌 (5) 严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌

(4) 发电厂(变电所)工作票格式。如表 11-7 所示。

表 11-7 发电厂(变电所)工作票格式(据 DL408-1991)

序号	项目	格 式								
1	第一种工作票格式	<p style="text-align: center;"><b>发电厂(变电所)</b> <b>第一种工作票 第___号</b></p> <p>1. 工作负责人(监护人): _____ 班组: _____</p> <p>2. 工作班人员: _____ 共 _____ 人</p> <p>3. 工作内容和工作地点: _____ _____</p> <p>4. 计划工作时间: 自 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分 至 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分</p> <p>5. 安全措施: 下列由工作票签发人填写                      下列由工作许可人(值班员)填写</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器和隔离开关(注明编号)</td> <td>已拉断路器和隔离开关(注明编号)</td> </tr> <tr> <td>应装接地线(注明确实地点)</td> <td>已装接地线(注明接地线编号和装设地点)</td> </tr> <tr> <td>应设遮栏、应挂标示牌</td> <td>已设遮栏、已挂标示牌(注明地点)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>工作地点保留带电部分和补充安全措施</td> </tr> </table> <p>工作票签发人签名: _____ 收到工作票时间: _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 时 _____ 分 值班负责人签名: _____</p> <p>工作许可人签名: _____ 值班负责人签名: _____</p>	应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器和隔离开关(注明编号)	已拉断路器和隔离开关(注明编号)	应装接地线(注明确实地点)	已装接地线(注明接地线编号和装设地点)	应设遮栏、应挂标示牌	已设遮栏、已挂标示牌(注明地点)		工作地点保留带电部分和补充安全措施
应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器和隔离开关(注明编号)	已拉断路器和隔离开关(注明编号)									
应装接地线(注明确实地点)	已装接地线(注明接地线编号和装设地点)									
应设遮栏、应挂标示牌	已设遮栏、已挂标示牌(注明地点)									
	工作地点保留带电部分和补充安全措施									

续表

序号	项目	格式
1	第一种工作票格式	<p>6. 许可开始工作时间：____年____月____日____时____分 工作许可人签名：____工作负责人签名：____</p> <p>7. 工作负责人变动： 原工作负责人____离去，变更____为工作负责人。 变动时间：____年____月____日____时____分 工作票签发人签名：____。</p> <p>8. 工作票延期，有效期延长到：____年____月____日，____时____分 工作负责人签名：____值长或值班负责人签名：____</p> <p>9. 工作终结： 工作班人员已全部撤离，现场已清理完毕。 全部工作于____年____月____日____时____分结束。 工作负责人签名：____工作许可人签名：____接地线共____组已拆除。 值班负责人签名：____</p> <p>10. 备注：_____ _____ _____</p>
2	第三种工作票格式	<p style="text-align: center;"><b>发电厂（变电所）第二种工作票 编号：_____</b></p> <p>1. 工作负责人（监护人）：____班组： _____ 工作班人员：_____</p> <p>2. 工作任务：_____</p> <p>3. 计划工作时间： 自____年____月____日____时____分 至____年____月____日____时____分</p> <p>4. 工作条件（停电或不停电）： _____</p> <p>5. 注意事项（安全措施）：_____ _____</p> <p style="text-align: center;">工作票签发人签名：_____</p> <p>6. 许可开始工作时间：____年____月____日____时____分 工作许可人（值班员）签名：____工作负责人签名：____</p> <p>7. 工作结束时间：____年____月____日____时____分 工作负责人签名：____工作许可人（值班员）签名：____</p> <p>8. 备注：_____ _____ _____</p>

(5) 标示牌式样。如表 11-8 所示。

表 11-8 标示牌式样 (据 DL408-1991)

序号	名称	悬挂处所	式样		
			尺寸 (mm)	颜色	字样
1	禁止合闸，有人工作！	一经合闸即可送电到施工设备的断路器（开关）和隔离开关（刀闸）操作把手上	200×100和80×50	白底	红字
2	禁止合闸，线路有人工作！	线路断路器（开关）和隔离开关（刀闸）把手上	200×100和80×50	红底	白字
3	在此工作！	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底，中有直径210mm白圆圈	黑字，写于白圆圈中
4	止步，高压危险！	施工地点临近带电设备的遮栏上；室外工作地点的围栏上；禁止通行的过道上；高压试验地点；室外构架上；工作地点临近带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字，有红色箭头
5	从此上下！	工作人员上下的铁架、梯子上	250×250	绿底，中有直径210mm白圆圈	黑字，写于白圆圈中
6	禁止攀登，高压危险！	工作人员上下的铁架临近可能上下的另外铁架上，运行中电力变压器的梯子上	250×200	白底红边	黑字

(6) 常用电气绝缘工具试验一览表。如表 11-9 所示。

表 11-9 常用电气绝缘工具试验一览表 (据 DL408-1991)

序号	名称	电压等级 (kV)	试验周期	交流耐压 (kV)	时间 (min)	泄漏电流 (mA)	附注
1	绝缘棒	6~10	每年一次	44	5		
		35~154		4倍相电压			
		220		3倍相电压			
2	绝缘档板	6~10	每年一次	30	5		
		35		80			
		(20~44)					



续表

序号	名称	电压等级 (kV)	试验周期	交流耐压 (kV)	时间 (min)	泄漏电流 (mA)	附注
3	绝缘罩	35 (20~44)	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35 以下	每年一次	3倍线电压	5		
		110		260			
		220		440			
5	验电器	6~10	每六个月一次	40	5		发光电压不高于额定电压的25%
		20~25		105			
6	绝缘手套	高压	每六个月一次	8	1	≤9	
		低压		2.5		≤2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每六个月一次	15	1	≤7.5	
8	核相器电阻管	6	每六个月一次	6	1	1.7~2.4	
		10		10		1.4~1.7	
9	绝缘绳	高压	每六个月一次	105/ 0.5m	5		

\* DL5009.3-1997《电力建设安全工作规程(变电所部分)》规定橡胶绝缘鞋的交流耐压试验时间为2min,其余相同。

(7) 登高安全工具试验标准表。如表 11-10 所示。

表 11-10 登高安全工具  
试验标准表 (据 DL408-1991)

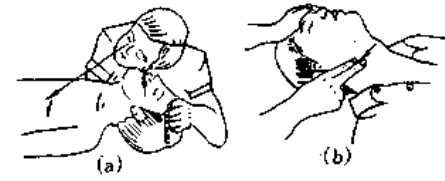
序号	名称	试验静拉力 (N)	试验周期	外表检查周期	试验时间 (min)
1	安全带	2205	半年一次	每月一次	5
	大皮带	1470			
2	安全绳	2205	半年一次	每月一次	5
3	升降板	2205	半年一次	每月一次	5
4	脚扣	980	半年一次	每月一次	5
5	竹(木)梯	试验荷重	半年一次	每月一次	5
		1765N (180kg)			

\* DL5009.3-1997《电力建设安全工作规程(变电所部分)》规定的试验静拉力标准为:安全绳(带)——2.25kN, 225kgf;升降板——2.25kN, 225kgf;脚扣——1kN, 100kgf;竹(木)梯——1.8kN, 180kgf。按 1kgf≈9.8N 计算,DL408-1991 规定的试验静拉力 N 值与 DL5009.3-1997 规定的 kgf 值是相互对应的。

### 三、触电急救

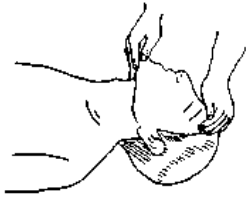
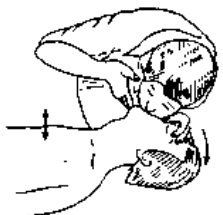

如表 11-11 所示。


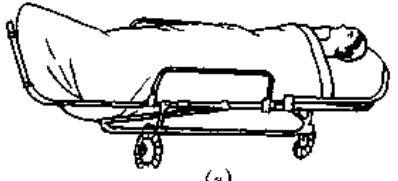
表 11-11 触电急救 (据 DL408-1991)

序号	项目	说明
1	触电急救的原则要求	<p>触电急救必须分秒必争,立即就地迅速用心肺复苏法进行抢救,并坚持不断地进行,同时及早与医疗部门联系,争取医务人员接替救治。在医务人员未接替救治前,不应放弃现场抢救,更不能只根据没有呼吸或脉搏擅自判定伤员死亡,放弃抢救。只有医生有权做出伤员死亡的诊断</p>
2	脱离电源的注意事项	<p>(1) 触电急救,首先要使触电者迅速脱离电源,越快越好,因为电流作用的时间越长,伤害越重 (2) 脱离电源就是要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、刀闸或其他断路设备断开,或设法将触电者与带电设备脱离。在脱离电源中,救护人员既要救人,也要注意保护自己 (3) 如触电者处于高处,解脱电源后会自高处坠落,因此要采取预防措施 (4) 救护触电伤员切除电源时,有时会同时使照明失电,因此应考虑事故照明、应急灯等临时照明。新的照明要符合使用场所防火、防爆的要求,但不能因此延误切除电源和进行急救</p>
3	脱离电源后的处理	<p>(1) 触电伤员如神志清醒者,应使其就地躺平,严密观察,暂时不要使其站立或走动 (2) 触电伤员如神志不清者,应使其就地仰面躺平,且确保其气道通畅,并用 5s 时间,呼叫伤员或轻拍其肩部,以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员 (3) 需要抢救的伤员,应立即就地坚持正确抢救,并设法联系医疗部门接替救治</p>
4	呼吸、心跳情况的判定	 <p>(a) 看、听; (b) 试</p> <p>(1) 触电伤员如意识丧失,应在 10s 内,用看、听、试的方法(见 a、b)来判定伤员的呼吸、心跳情况: 1) 看——看伤员的胸部、腹部有无起伏动作; 2) 听——用耳贴近伤员的口鼻处,听有无呼吸声音; 3) 试——试测口鼻有无呼气的气流,再用两手指轻试一侧(左或右)喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动 (2) 若看、听、试结果,既无呼吸又无颈动脉搏动,可判定呼吸心跳停止</p>
5	心肺复苏法	
5.1	心肺复苏的三项基本措施	<p>触电伤员呼吸和心跳均停止时,应立即按心肺复苏法支持生命的三项基本措施,正确进行就地抢救: (1) 通畅气道 (2) 口对口(鼻)人工呼吸 (3) 胸外按压(人工循环)</p>

续表

续表

序号	项目	说明
5.2	通畅气道	<p>(1) 触电伤员呼吸停止,重要的是始终确保气道通畅。如发现伤员口内有异物,可将其身体及头部同时侧转,迅速用一个手指或用两手指交叉从口角处插入,取出异物;操作中要注意防止将异物推到咽喉深部</p> <p>(2) 通畅气道可采用仰头抬颌法(见图示)。严禁用枕头或其他物品垫在伤员头下,使头部抬高前倾,将加重气道阻塞,且会使胸外按压时流向脑部的血流减少,甚至消失</p>  <p>仰头抬颌法</p>
5.3	口对口(鼻)人工呼吸	<p>(1) 在保持伤员气道通畅的同时,救护人员用放在伤员额上的手指捏住伤员鼻翼。救护人员深吸气后,与伤员口对口紧合,在不漏气的情况下,先连续大口吹气两次,每次1~1.5s。如两次吹气后试测颈动脉仍无搏动,可判断心跳已经停止,要立即同时进行胸外按压</p> <p>(2) 除开始时大口吹气两次外,正常口对口(鼻)呼吸的吹气量不需过大,以免引起胃膨胀。吹气和放松时要注意伤员胸部应有起伏的呼吸动作(见图示)。吹气时如有较大阻力,可能是伤员头部后仰不够,应及时纠正</p> <p>(3) 触电伤员如牙关紧闭,可口对鼻人工呼吸。口对鼻吹气时,要将伤员嘴唇紧闭,防止漏气</p>  <p>口对口人工呼吸</p>
5.4	胸外按压	<p>(1) 正确的按压位置是保证胸外按压效果的重要前提。确定正确按压位置的步骤:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 右手的食指和中指沿触电伤员的右侧肋弓下缘向上,找到肋脊和胸骨接合处的中点;</li> <li>2) 两手指并齐,中指放在切迹中点(剑突底部),食指平放在胸骨下部;</li> <li>3) 另一只手的掌根紧挨食指上缘,置于胸骨上,即为正确按压位置(见图示)</li> </ol>  <p>胸外按压的正确位置</p>

序号	项目	说明
5.4	胸外按压	<p>(2) 正确的按压姿势是达到胸外按压效果的基本保证。正确的按压姿势:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 使触电伤员仰面躺在平硬的地方,救护人员立或跪在伤员一侧肩旁,救护人员的两肩位于伤员胸骨正上方,两臂伸直,肘关节固定不屈,两手掌根相叠,手指翘起,不接触伤员胸壁(见图示);</li> </ol>  <p>正确的按压姿势与用力方法</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2) 以髋关节为支点,利用上身的重力,垂直将正常成人胸骨压陷3~5cm(儿童和瘦弱者酌减)</li> <li>3) 压至要求程度后,立即全部放松,但放松时救护人员的掌根不得离开胸壁</li> <li>4) 按压必须有效,有效的标志是按压过程中可以触及颈动脉的搏动</li> </ol> <p>(3) 按压的操作频率:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 胸外按压要以均匀速度进行,每分钟80次左右,每次按压和放松的时间相等;</li> <li>2) 胸外按压宜与口对口(鼻)人工呼吸同时进行,其节奏为:单人抢救时,每按压15次后吹气2次(15:2),反复进行;双人抢救时,每按压5次后由另一人吹气1次(5:1),反复进行</li> </ol>
6	抢救过程中的再判定	<p>(1) 按压吹气1min后(相当于单人抢救时做了4个15:2压吹循环),应用看、听、试的方法在5~7s时间内完成对伤员呼吸和心跳是否恢复的再判定</p> <p>(2) 若判定颈动脉已有搏动但无呼吸,则暂停胸外按压,而再进行2次口对口人工呼吸,接着每5s吹气一次(即每分钟12次)。如果脉搏和呼吸均未恢复,则继续坚持心肺复苏法抢救</p> <p>(3) 在抢救过程中,要每隔数分钟再判定一次,每次判定时间均不得超过5~7s。在医务人员未接替抢救前,不得放弃现场抢救</p>
7	抢救过程中的伤员移动与转院	<p>(1) 心肺复苏应在现场就地坚持进行,不要为方便而随意移动伤员;如确有需要移动时,抢救中断时间不应超过30s</p> <p>(2) 移动伤员或将伤员送医院时,应使伤员平躺在担架上并在其背部垫以平硬阔木板(见图a),不得采用图b所示的搬运方式。而且在移动和送往医院的过程中,应继续抢救,心跳呼吸停止者要继续心肺复苏法抢救,在医务人员未接替救治前不能中止</p>  <p>(a)</p>

续表

序号	项目	说明
7	抢救过程中伤员的移动与转院	 <p>(a) 用担架搬运伤员; (b) 错误的搬运伤员方法</p> <p>(3) 应创造条件,用塑料袋装入砸碎冰屑作成帽状包绕在伤员头部,露出眼睛,使脑部温度降低,争取心肺脑完全复苏</p>
8	伤员初期恢复后的处理	如伤员的心跳和呼吸经抢救后均已恢复,可暂停止心肺复苏法操作。但心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停,因此应严密监护,不能麻痹,要随时准备再次抢救。伤员初期恢复后,神志不清或精神恍惚、躁动,应设法使之安静

### 第三节 节约用电及并联电容器的装设与运行

#### 一、节电、节能的有关概念

如表 11-12 所示。

表 11-12 节电、节能的有关概念

序号	项目	说明
1	我国的能源总方针	我国的能源总方针是:开发与节约并重,把节约放在首位,依法保护和合理使用能源,提高能源利用率,实现其持续利用和发展
2	能源及其类别	<p>能源是指能够产生能量如机械能、热能、电能、化学能等等的物质资源</p> <p>能源按其来源方式分为一次能源和二次能源:</p> <p>(1) 一次能源:是自然界中以天然的形式存在的、未经加工转换的能源,例如原煤、原油、天然气、油页岩、核燃料、植物秸秆、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等</p> <p>(2) 二次能源:是由一次能源直接或间接转换而得来的其他形式的能源,例如电力、煤气、汽油、蒸汽、甲醇等等,也称为“人工能源”</p>
3	能源管理	能源管理是指有关组织机构通过一套有关能源管理制度和法规,对地区或单位的能源使用和消耗进行管理和调控,以达到合理利用能源、节约能源的目的
4	经济运行	经济运行是指能使电力系统的电能损耗减少、经济效益提高的一种运行方式,例如两台并列运行的电力变压器,在低负荷时切除一台以减少变压器电能损耗的运行方式

续表

序号	项目	说明
5	自然功率因数	自然功率因数是指电气设备不装设任何无功补偿设备(如并联电容器)时运行所呈现的功率因数,也就是此时其有功功率与其视在功率的比值
6	无功补偿	无功补偿即“无功功率人工补偿”的简称,指人为地装设补偿无功功率、提高系统功率因数的设备(如电容器等)的措施。这些电容器等即称为“无功补偿设备”
7	无功功率经济当量	<p>为了计算电气设备的无功功率损耗在电力系统中引起的有功功率损耗增加量,故引入“无功功率经济当量”,其含义是电力系统发送 1kvar 的无功功率,相应地使系统增加有功功率损耗的 kW 数</p> <p>无功功率经济当量 <math>K_q</math> 值,与电力系统的容量、结构及计算点距离发电厂的远近等诸多因素有关:</p> <p>(1) 由发电厂直配的用户,可取 <math>K_q=0.02\sim 0.04\text{kW/kvar}</math></p> <p>(2) 由发电厂经两级变压供电的用户,可取 <math>K_q=0.05\sim 0.08\text{kW/kvar}</math></p> <p>(3) 由发电厂经三级及以上变压供电的用户,可取 <math>K_q=0.1\sim 0.15\text{kW/kvar}</math></p> <p>(4) 当用户具体位置不详或作为一般情况,可取 <math>K_q=0.1\text{kW/kvar}</math></p>

#### 二、节约用电的一般措施

如表 11-13 所示。

表 11-13 节约用电的一般措施

序号	项目	说明
1		加强供用电系统的科学管理
1.1	加强节约用电,建立节电奖惩制度	按照国家经济贸易委员会和国家发展计划委员会 2000 年 12 月颁布的《节约用电管理办法》的规定,加强节约用电管理;加强对高耗电行业的监督和引导,督促其采取有效的节电措施;禁止生产、销售国家明令淘汰的低效高耗电的产品;禁止在新建或改建工程项目中采用国家明令淘汰的低效高耗电的工艺、技术和产品;并依法建立节电奖惩制度
1.2	实行计划用电,提高电能利用率	电能是一种特殊商品,对国民经济和人民生产、生活影响极大,因此国家对电能的生产、分配和使用必须实行宏观调控。计划用电就是宏观调控的一种手段。企业用电,应当按照企业与当地供电企业签订的《供用电合同》,实行计划用电;当地供电电网,可依法对企业采取必要的限电措施。对企业内部的供配电系统来说,各车间用电也要按照企业下达的用电指标实行计划用电。实行计划用电,可以促使用户尽量降低能耗,提高电能的利用率
1.3	实行负荷调整,移峰填谷,提高供电能力	实行负荷调整(调荷),就是根据供电电网的供电情况及各类用户的不同用电规律,合理地有计划地安排各类用户的用电时间,以降低负荷高峰,填补负荷低谷(即“移峰填谷”),充分发挥发电、变电设备的能力,提高电力系统的供电能力。负荷调整是一项带全局性的工作,也是宏观调控的一种手段。有些地区现已实行并将全面推行的“分时电价制”,就是运用电价这一经济杠杆对负荷进行调整的一种有效措施。低谷时段用电的电价大大低于高峰时段的电价,比平时段的电价也低不少,因此可大大激发用户避开高峰时间用电的积极性

续表

序号	项目	说明
1.3	实行负荷调整、错峰、移峰、填谷、提高系统供电能力	企业内部的调荷措施有： (1) 错开各车间的上下班时间和进餐时间等，使各车间的高峰负荷分散 (2) 调整各车间的生产班次和工作时间，特别是有的大容量设备应安排在低谷时使用，实行高峰让电 实行负荷调整，“移峰填谷”，可提高电力变压器的负荷率和功率因数，既提高供电能力，又实现电能节约
1.4	实行经济运行方式，全面降低系统能耗	所谓经济运行方式，就是能使整个电力系统的电能损耗减少、经济效益提高的一种运行方式。例如对负荷长期偏低（如小于额定负荷30%时）的电力变压器，可以考虑换以较小容量的电力变压器。如果运行条件许可，两合并列运行的电力变压器，可以考虑在低负荷时切除一台。对负荷率长期偏低的电动机，也可以考虑换以较小容量的电动机。如此处理，均可减少电能损耗，达到节电节能的目的。但是负荷率具体低到多少时才宜于“以大换小”或“以单代双”，需进行核算（参看表 11-14 等）
1.5	加强运行维护，提高设备的检修质量	节电工作，与供用电系统的运行维护和检修质量也有很大关系。例如电力变压器通过大修，消除了铁芯过热的故障，就降低了铁损，节约了电能。又如电动机通过检修，使其转子与定子间的气隙均匀或减小，或者减小了转轴的转动摩擦，也能减少电能损耗。再如将配电线路中接头的接触不良、严重发热的问题解决了，不仅能保证安全供电，而且能使线路的电能损耗减少。对于其他的动力设施，加强维护保养，减少水、气、热等能源的跑、冒、滴、漏，也能直接节约电能。从广义节能的概念来说，所有节约原材料和保养好生产设备的措施，乃至爱护一切物质财富的行动，都属于节电节能的范畴，因为一切物质财富，都需要能源（包括电能）才能创造出来。所以，要切实作好企业的节电节能工作，单靠少数能源管理人员或电工人员是不行的，一定要动员全体职工重视才行。只有人人重视节能，时时注意节能，处处作到节能，全体上下形成一种节电节能的新风尚，才能真正开创节电节能的新局面
2		搞好供用电系统的技术改造
2.1	逐步更新淘汰现有低效耗能的供用电设备	以高效节能的电气设备来取代低效耗能的电气设备，这是节电节能的一项基本措施，其经济效益十分明显。例如同是 10kV、1000kVA 的配电变压器，过去采用热轧硅钢片的 SJL 老型变压器，其空载损耗为 3.9kW，而采用冷轧硅钢片的 S9 型低损耗变压器，其空载损耗仅为 1.7kW。如果以 S9 型来替换 SJL 型，则仅是其空载损耗（铁芯损耗）一年就可节电 $(3.9 - 1.7) \text{kW} \times 8760 \text{h} = 19272 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，相当可观。又如电动机，新型 Y 系列电动机与老型号的 JO2 系列电动机相比，效率提高 0.413%。如果全国按年产量 $20 \times 10^6 \text{kW}$ 计算，年工作时间考虑为 4000h，则全国一年就可因此节电 $20 \times 10^6 \text{kW} \times 4000 \text{h} \times 0.413 / 100 \approx 3.3 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，即 3.3 亿度电

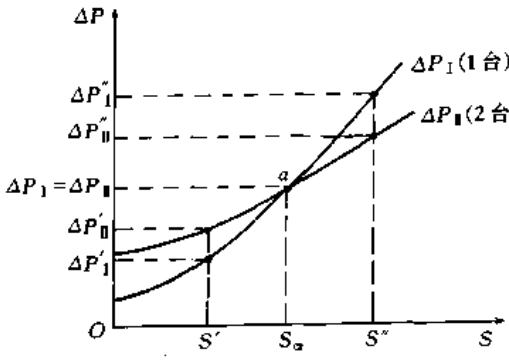
续表

序号	项目	说明
2.2	改造现有能耗大的供用电设备和不合理的供配电系统	(1) 对能耗大的电气设备进行技术改造，也是节电的一项有效措施。例如交流弧焊机，是间歇性工作的，其空载时间往往长于工作时间，而空载时的功率因数只有 0.1~0.3，造成系统很大的电能损耗。如果加装空载自停装置，平均每台一年可节约有功电能 1000kW·h，节约无功电能 3500kvar·h，效果十分明显 (2) 对现有不合理的供配电系统进行技术改造，尽可能地降低线路损耗，也是节电的一项有效措施。例如：将迂回配电的线路，改为直配线路；将截面偏小的导线更换为截面稍大的导线；将绝缘破损、漏电较大的绝缘导线予以换新；在技术经济指标合理的条件下将配电系统升压运行；改造变电所所址，或者增设变电所所址，使配电变压器更接近负荷中心等，都能有效地节约电能，且能改善供电质量
2.3	合理选择供用电设备的容量，或进行技术改造，提高设备的负荷率	合理选择设备容量，发挥设备潜力，提高设备的负荷率和使用效率，也是节电的一项基本措施。例如合理选择电力变压器的容量，使之接近于经济运行状态，这是比较理想的。如果变压器的负荷率长期偏低，则应按经济运行条件进行考核，适当更换较小容量的变压器。又如感应电动机，若长期轻载运行而其定子绕组为三角形联结，则可将其改为星形联结，这样其转矩只有原转矩的 1/3，但由于其定子每相绕组承受的电压只有原承受电压的 $1/\sqrt{3}$ ，定子旋转磁场也降为原来旋转磁场的 $1/\sqrt{3}$ ，因此电动机的铁损相应减小，从而节约了电能。如果电动机所带机械的生产工艺条件允许，也可将绕线转子改接为励磁绕组，使之同步化运行，这可大大提高功率因数，节约电能
2.4	改革落后工艺，改进操作方法	生产工艺不仅影响到产品的质量和产量，而且影响到产品的耗电量。例如在机械加工中，有的零件加工以铣代刨的工艺，就可使耗电量减少 30%~40%；在铸造中，有的零件用精密铸造工艺来减少金属切削余量，可使耗电量减少 50% 左右 改进操作方法也是节电节能的一条有效途径。例如在电加热处理中，电炉的连续作业就比间歇作业消耗的电能少
2.5	采用无功补偿设备，人工提高功率因数	以上序号 2.1~2.4 所述的各项措施均为提高自然功率因数的措施，不需增设无功补偿设备，最为经济，因此应予优先采用。但是当其功率因数尚达不到规定的要求时（参看表 3-18 序号 4.1），则必须采用无功补偿设备 一般情况下，应采用并联电容器作为无功补偿，而且宜就地平衡补偿。补偿企业单位基本无功功率的电容器组，宜在变配电所集中补偿（参看表 3-18 序号 4.2）

### 三、供用电设备的电能节约

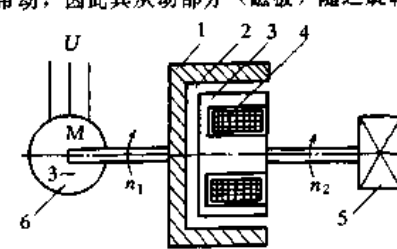
(1) 电力变压器的电能节约。如表 11-14 所示。

表 11-14 电力变压器的电能节约

序号	项目	说明
1	电力变压器的一般措施	(1) 选用新型低损耗(即节能型,如S9系列等)电力变压器,淘汰或改造老式电力变压器 (2) 合理选择电力变压器的容量,既要满足当前负荷的需要,又要考虑5~10年负荷发展的要求 (3) 实行电力变压器的经济运行方式 (4) 加强电力变压器的运行维护和检修试验工作
2	一台变压器的经济负荷	变压器运行的经济负荷,是使变压器的有功损耗和无功损耗在电力系统中造成的有功损耗最小的负荷值,其中变压器的无功损耗在系统中造成的有功损耗是通过无功功率经济当量 $K_q$ (参看表11-12序号7)换算而得的 一台变压器的经济负荷为: $S_{cr.T} = S_{N.T} \sqrt{\frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ 式中 $S_{N.T}$ 为变压器额定容量; $\Delta P_0$ 为变压器的空载损耗; $\Delta P_k$ 为变压器的短路损耗; $\Delta Q_0$ 为变压器空载时的无功损耗, $\Delta Q_0 \approx (I_0\%/100) \cdot S_{N.T}$ ,这里 $I_0\%$ 为变压器空载电流占额定电流百分值; $\Delta Q_N$ 为变压器额定负荷时无功损耗, $\Delta Q_N \approx (U_k\%/100) \cdot S_{N.T}$ ,这里 $U_k\%$ 为变压器短路电压(阻抗电压)占额定电压百分值 一般电力变压器的经济负荷为50%左右
3	多台变压器经济运行的临界负荷	多台变压器经济运行的临界负荷,是变压器多一台运行与少一台运行在电力系统中造成的有功损耗正好相等的一个负荷值,如图所示中 $S_{cr}$ 。系统的有功损耗除包括变压器有功损耗造成的以外,还包括变压器无功损耗造成的(通过无功功率经济当量 $K_q$ 变换的)有功损耗 
3	多台变压器经济运行的临界负荷	判别 $n$ 台运行与 $n-1$ 台运行有功损耗(含无功损耗换算值)最小的临界负荷为: $S_{cr} = S_{N.T} \sqrt{(n-1)n \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ 判别两台变压器经济运行的临界负荷为: $S_{cr} = S_{N.T} \sqrt{2 \times \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ 以上式中各符号含义与序号2相同

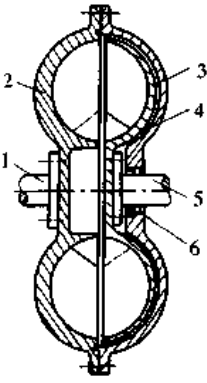
(2) 电动机的电能节约。如表 11-15 所示。

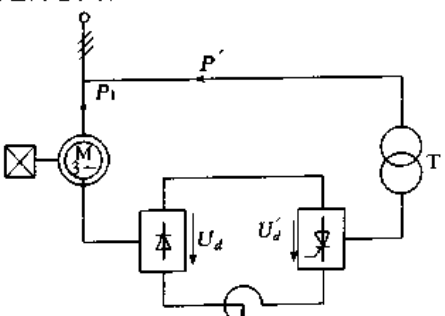
表 11-15 电动机的电能节约

序号	项目	说明
1	电动机的一般措施	(1) 选用新型高效节能电动机,淘汰或改造老式电动机 (2) 合理选择电动机的类型和各种参数(包括功率、电压、电流、极数等) (3) 合理选择电动机的运行方式,尽量减少启动次数和空载运行时间 (4) 尽量采用先进的控制方式和控制设备 (5) 尽量提高电动机的自然功率因数,或进行就地无功补偿 (6) 加强电动机的运行维护,提高检修质量,减少机械摩擦损失
2	异步电动机最佳负荷率计算	异步电动机的最佳(经济)负荷率可按下式计算: $\beta_{opt} = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\left(\frac{1}{\eta_N} - 1\right) P_N - \Delta P_0}}$ 式中 $P_N$ 为电动机额定功率; $\Delta P_0$ 为电动机空载损耗; $\eta_N$ 为电动机额定效率
3	交流感应电动机利用电磁转差离合器调速节能	电磁转差(滑差)离合器的原理结构示意图如图所示。它由电枢和磁极两部分组成。电枢做成如笼型电机转子那样的短路绕组,也可以做成实心的圆筒形。磁极部分由磁极与励磁绕组组成。电枢部分与电动机的转轴联接,以恒定转速 $n_1$ 旋转,是主动部分;而磁极部分与机械负载的转轴联接,转速为 $n_2$ ,是从动部分 当励磁绕组通入直流励磁电流后,在离合器的磁路里产生磁通,旋转的电枢切割气隙磁通,因而在电枢中感生电流,此电流与磁通作用产生电磁转矩。由于离合器主动部分(电枢)已由电动机带动,因此其从动部分(磁极)随之旋转  <p style="text-align: center;"><b>电磁转差离合器</b></p> 1—电枢; 2—气隙; 3—磁级; 4—励磁绕组; 5—机械负载; 6—交流电动机 电磁转差离合器的工作原理与感应电动机相似,从动部分的转速 $n_2$ 总比主动部分的转速 $n_1$ 稍慢 电磁转差离合器通过改变励磁电流可以方便地调节磁极的转速 $n_2$ 。由于磁极与机械负载联轴,因此改变励磁电流就改变了机械负载的转速 利用电磁转差离合器进行调速,具有简单方便、投资小、效率高等优点。在接近额定转速范围内(90%额定转速以上)运转时,效率比变频调速或直流电动机调速的效率都高,功率因数也高,节电效果明显。但负载转矩过低(低于额定转矩10%)时,可能使控制功能变坏,甚至失控,所以这种调速方式不适于转矩与转速成反比变化的吊车类负载

续表

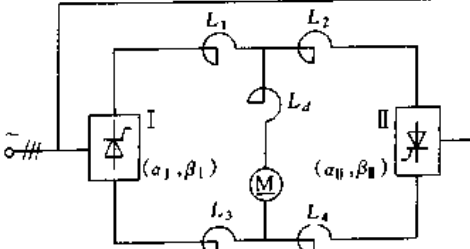
续表

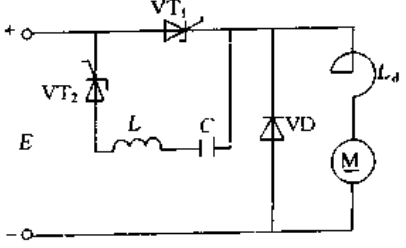
序号	项目	说明
4	交流电动机液力耦合器调速	<p>液力耦合器的原理结构如下图所示。它主要由泵轮、涡轮、输入输出连接装置和密闭的外壳等组成</p> <p>当泵轮被主动机械拖动时，液力耦合器腔体内的液体在泵轮内获得动能，进入涡轮后，其动能转变为机械能，从而推动涡轮旋转，带动负载工作，实现功率的传递。调节其腔体内的液体量就可实现输出轴的无级调速，并达到节电的要求。这种调速方式适用于大功率的风机和泵类负载</p>  <p>1—输入轴； 2—泵轮； 3—外壳； 4—涡轮； 5—输出轴； 6—油封</p> <p>液力耦合器</p>

5	交流绕线转子电动机晶闸管串级调速	<p>三相绕线转子感应电动机的调速有两种方法：①转子绕组串电阻调速，其缺点是电阻上要消耗大量的电能，而且是有级调速；②转子绕组串电势调速。晶闸管串级调速即转子串电势调速的一种，其原理电路如下图所示。由图可知，绕线电动机转子电压经二极管整流为直流电压 <math>U_d</math>，再由晶闸管逆变器将其直流侧电压 <math>U_d'</math> (如忽略回路电阻，则 <math>U_d' = U_d</math>) 逆变为交流电压，使转差功率经变压器反馈到交流电网。此时 <math>U_d'</math> 可视为加到电动机转子绕组的电势，控制逆变角 <math>\beta</math> 就可改变 <math>U_d'</math> 的数值，也就是改变了引入转子绕组的电势，从而实现了电动机的串级调速</p>  <p>晶闸管串级调速原理电路</p> <p>这种调速方法既实现了无级平滑调速，又消除了转子电阻发热问题，降低了电能损耗，节约了电能。但采用常规的晶闸管串级调速，由于电流滞后于电压导通，不仅电动机本身需要吸收无功功率，逆变器也需要吸收无功功率，因此功率因数一般只 0.4~0.6 左右。如果采用一种可关断晶闸管 (GTO)，在门极加正向脉冲电流时导通，而加反向脉冲电流时关断，因此利用此特性可使电流超前于电压，使功率因数提高到 0.9 以上，达到进一步节电的要求。这种调速方式也主要用于风机、泵类</p>
---	------------------	---

6	交流电动机变频调速	<p>改变电源的频率 <math>f_1</math>，可以调节交流电动机的同步转速 <math>n_0</math>。对感应电动机来说，其转速 <math>n = n_0(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s)</math>。当转差率 <math>s</math> 变化不大时，<math>n</math> 基本上与 <math>f_1</math> 成正比。因此平滑地改变频率 <math>f_1</math>，即可平滑地调节 <math>n</math>，从而满足机械负载调速的要求</p> <p>变频调速对于笼型电动机和绕线转子电动机都是适用的。这种调速方式具有调速范围大、平滑性好、且可实现恒转矩或恒功率调速从适应不同负载要求的优点，但需专用的变频电源，结构复杂，投资大</p>
---	-----------	--

7	直流电动机晶闸管调速	<p>直流电动机传统的调速方式有：①电枢回路串联电阻，利用改变电阻值进行调速。这种调速方式电能损耗大，不经济；②采用发电机-电动机组 (G-M 组)，利用调节直流发电机 (G) 的励磁电流来改变供给直流电动机 (M) 的电枢电压以调节直流电动机的转速。这种调速方式，电枢回路不串电阻，损耗较小，但直流发电机还需交流电动机拖动，这交流电动机和直流发电机在运转中都有电能损耗，而且结构复杂，投资大，也不经济。现在已广泛应用晶闸管-电动机组调速，去掉了交流电动机-直流发电机组，大大简化了调速装置，降低了投资，节约了电能</p>
---	------------	---

7	直流电动机晶闸管调速	<p>晶闸管-电动机组调速的基本原理电路如图所示</p> <p>用晶闸管对交流电源进行整流，形成可变的直流电压加在电动机的电枢绕组上。调整晶闸管触发脉冲的相位，可将输出的直流电压和电流控制在任意正负值上，从而可自由调节电动机的转矩和转速。这种调速方式的电能损耗很小，而且电动机同时采用再生制动方式，进一步节约电能</p>  <p>晶闸管-电动机组调速的基本原理电路</p>
---	------------	--

8	直流电动机晶闸管斩波器调速	<p>直流斩波器是一种将直流电源的恒定直流电压变换为可调直流电压的晶闸管装置。它以晶闸管作为直流开关，控制直流电路的接通和关断，使负载端得到大小可调的直流电压 <math>U_d</math>。主回路也没有电阻，也采用再生制动。其原理电路如图所示。它具有启动平稳、调速特性好和节电效果好等优点，广泛用于电力机车、地铁、电车等的调速控制</p>  <p>逆导型直流斩波器调速原理电路</p>
---	---------------	--

续表

序号	项目	说明
9	设法提高电动机运行功率因数	(1) 合理选择电动机的容量,使其负荷率接近于最佳负荷率(70%以上),可获得较高的功率因数 (2) 长期轻载运行的△联结的电动机可改为Y联结,使定子绕组电压降为原来电压的 $1/\sqrt{3}$ ,从而减小铁芯损耗,提高功率因数 (3) 使绕线转子电动机同步化运行,或采用同步电动机,均可提高功率因数,但必须拖动的机械生产工艺所允许 (4) 加强运行维护,提高检修质量,减小机械损耗和空载损耗,均能有效地提高功率因数,节约电能

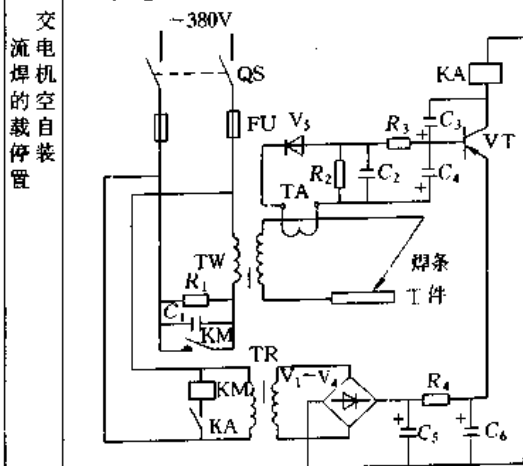
(3) 电焊机的电能节约。如表 11-16 所示。

表 11-16 电焊机的电能节约

序号	项目	说明
1	电焊机的一般措施	(1) 推广以交流焊接和二氧化碳焊接来取代直流焊接,可大大降低电能消耗。与直流电焊相比,交流电焊可节电 1/3,二氧化碳电焊可节电 2/3 (2) 采用直流焊接时,其直流电源也宜采用晶闸管整流,可比采用焊接发电机节电 13%左右 (3) 交流弧焊机应加装并联电容补偿,以提高电焊机的功率因数,节约电能 (4) 空载运行次数较多和空载持续时间较长的电焊机,宜装设空载自停装置,以节约电能

交流电焊机空载自停装置的原理电路如图所示

工作原理:当电焊条焊接工件时,TA 二次侧感应 1~3V 电压,经 V5 整流加在三极管 VT 的基极上,使它导通,继电器 KA 动作,其触点闭合,使接触器 KM 动作,从而使电焊保持运行  
 当电焊条脱离工件时,电焊机 TW 二次侧断电,TA 二次侧无感应电压,但由于 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 放电,因此 VT 保持导通。如果在延时时间内再焊接,TA 二次侧的感应电压继续供给 VT 的基极电流,KA 和 KM 均不致返回,从而使电焊机继续运行。如果空载时间超过整定的延时时间,则由于 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 已放电完毕,VT 的基极无电流而截止,使 KA 和 KM 失电返回,电焊机 TW 自动断电



TW—电焊机(电焊变压器)  
TR—整流变压器  
TA—电流互感器

(4) 电热设备的电能节约。如表 11-17 所示。

表 11-17 电热设备的电能节约

序号	项目	说明
1	电热设备的一般措施	(1) 正确选择加热能源,尽可能地采用更经济合理的一次能源,但必须符合环境保护要求 (2) 尽可能降低炉体的热损耗 (3) 改善电热元件发热材料 (4) 改善电炉的短网结构 (5) 改进电热设备的操作工艺 (6) 对功率因数较低的电热设备,应采取就地无功补偿。如经技术经济比较,采用集中补偿有利时,可不装设单独的就地补偿
2	降低炉体热损耗	炉体的热损耗一般为 20%~30%,是电热设备中最大的一项热损耗。炉体的热损耗包括炉衬的蓄热损耗和炉壁的散热损耗。采用硅酸铝纤维(又称“陶瓷纤维”)等新型保温耐火材料,可大量节约电能
3	采用远红外线加热	电热元件发热性能的好坏直接影响其加热效果。以往低温电热炉采用电阻发热元件,其加热主要靠热对流,加热时间长,电能损耗大。现在的低温电热炉普遍采用远红外线加热,使电能损耗减少 30%以上
4	改善电炉短网结构	电阻炉、矿热炉等从电炉变压器的低压端到电炉电极的一段低压导体,通常称为电炉的“短网”。短网长度一般只有 10m 左右。但由于电炉运行时短网通过的电流很大,因此其功率损耗相当可观,约占电炉总功率消耗的 10%以上。要降低短网的电能损耗,一是设法减小短网的电阻,二是设法减小通过短网的电流,三是设法减少短网周围的铁磁物质,最大限度地降低铁磁损耗。减小短网电阻的措施有:①尽量缩短短网长度;②尽量减小短网的接触电阻;③采用水冷式短网,降低短网导体温度以减小电阻
5	改进操作工艺	(1) 尽可能连续作业,其热效率比间歇作业提高 10%左右 (2) 保证电压质量,保持额定电压水平。电压下降,加热时间增长,耗电增加 (3) 改善工艺流程,缩短加热时间,或利用铸、锻余热进行热处理,或将整体淬火改为局部淬火等,均能取得良好的节电效果

(5) 风机的电能节约。如表 11-18 所示。

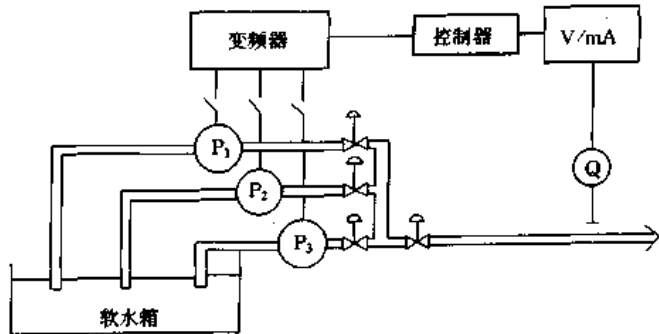
表 11-18 风机的电能节约<sup>[9]</sup>

序号	项目	说明
1	风机节电的一般措施	(1) 推广应用节能型风机,淘汰或改造高耗低效老式风机 (2) 控制风量风压和运转时间,提高风机效率 (3) 合理调整风机的运行工况,改进风机的运行条件 (4) 改进不合理的管系布置,用控制手段克服节流损失
2	采用变频调速装置调节风量节电	以往风机采用恒速交流电动机拖动,通过风机的调节挡板来调节风量,即利用改变风管的阻力特性来调节,这必然造成电能的浪费。如果采用变频调速技术,以调节电动机转速的方法取代调节挡板,则能达到节约电能的目的。由于风机的输入功率与转速的三次方成正比,利用转速调节使流量减少,则电动机输入电功率将按三次方规律下降,从而使耗电量大大降低,节电可达 20%以上

(6) 水泵的电能节约。如表 11-19 所示。

表 11-19 水泵的电能节约

序号	项目	说 明
1	水泵电的一般措施	<p>(1) 选用高效节能型水泵和高效低耗的配套电动机</p> <p>(2) 堵塞管网漏水, 防止跑、漏、渗、滴</p> <p>(3) 根据用水量变化, 水泵断续运行, 并合理调整水泵运转台数</p> <p>(4) 合理设计管网, 不迂回, 少拐角, 管道短, 尽量减少管路阻力</p> <p>(5) 离心式水泵采用无底阀运行, 利用射流器抽真空自吸上水, 提高抽水效率, 以节约电能; 也可利用抽气法或真空自吸罐法, 来提高水泵效率</p> <p>(6) 避免不同扬程的水泵并列运行, 也要避免不同流量的水泵串联运行, 这两种运行方式都可导致水泵低效率运行</p>
2	采用变频调速调节水泵流量以节电	<p>与风机一样(参看表 11-18 序号 2), 采用变频调速装置调节水泵流量同样能节约电能。采用交流开环变频调速装置构成的自动流量调节系统方框图如图所示。图中 Q 为流量检测器件; V/mA</p> <p>为将检测到的电流信号转换为电压信号的变换器, 电压信号加到控制器的反馈输入端。控制器的另一端加流量给定值, 其输出作为速度给定值加到变频器输入端。当实际流量与给定流量有差别时, 控制器的输出增加, 以至输出饱和, 通过变频器调节电动机转速, 从而调节水泵流量, 使之稳定在流量给定值附近。图中 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> 表示异步电动机与水泵构成的三套机组, 一套机组使用一台 75kW 的变频器及相应的反馈控制回路。实际运行证明, 这套系统的节电效果十分明显, 可在两年内就可回收全部设备投资</p>



采用变频调速自动流量调节的供水系统方框图

(7) 电气照明的电能节约。如表 11-20 所示。

续表

表 11-20 电气照明的电能节约

序号	项目	说 明
1	基本原则	<p>电气照明节能的基本原则, 是保证不降低作业的视觉要求, 最有效地利用照明用电 (据 GB50034—1992)</p>
2	合理选择光源	<p>(1) 一般照明宜优先采用荧光灯。在显色性要求较高的场所宜采用三基色荧光灯、稀土节能荧光灯、小功率高显钠灯等高效光源</p> <p>(2) 高大房间和室外场所的一般照明宜采用金属卤化物灯、高压钠灯等高强度气体放电光源及其混光光源</p> <p>(3) 当需要使用热辐射光源时, 宜选用双螺旋白炽灯或小功率高效卤钨灯</p>
3	合理选择灯具	<p>(1) 除有装饰需要外, 应优先选用直射光通量比高和控光性能合理的高效灯具:</p> <p>1) 室内用灯具效率不宜低于 70% (装有遮光格栅时不低于 55%); 室外用灯具效率不应低于 40%, 但室外投光灯具的效率不宜低于 55%;</p> <p>2) 根据使用场所不同, 采用控光合理的灯具, 如多平面反光镜定向射灯、蝙蝠翼式配光灯具、块板式高效灯具等;</p> <p>3) 在保证照明质量的前提下, 应优先采用开启式灯具, 少用装有格栅、保护罩等附件的灯具;</p> <p>4) 在符合照明质量要求的原則下, 应选用光通利用系数高的灯具, 选用控光器变质速度慢、配光特性稳定、反射比或透射比高的灯具</p>

序号	项目	说 明
3	合理选择灯具	<p>(2) 灯具的结构和材质应易于维护清洁和更换光源</p> <p>(3) 应采用功耗小、性能稳定的灯用附件</p> <p>1) 直管荧光灯使用电感式镇流器时, 功耗不应高于灯的额定功率的 20%, 高强度气体放电灯的电感式触发器功耗不应高于灯的额定功率的 15%;</p> <p>2) 高强度气体放电灯宜采用电子触发器</p>
4	选择合理的照明方案	<p>(1) 要求照度标准值较高的场所, 可增设局部照明</p> <p>(2) 在同一照明房间内, 当工作区的某一部分或某几个部分需要高照度时, 可采用分区一般照明方式</p> <p>(3) 照明与室内装修设计应有有机结合, 避免片面追求形式和不适当地选取照度标准以及照明方式; 在不降低照明质量的前提下, 应有效控制单位面积的安装功率</p> <p>(4) 室内应尽量利用自然采光, 以节约白天的照明用电</p> <p>(5) 在民用建筑中, 条件允许时, 可采用照明灯具与家具组合的照明形式</p> <p>(6) 室内顶棚、墙面和地面宜采用浅颜色、高反射比的装饰材料</p> <p>(7) 对于气体放电光源, 宜分散就地地进行无功补偿, 功率因数不应低于 0.85</p>
5	对照明线路、开关、控制及计量的要求	<p>(1) 室内照明线路宜分细, 多设开关, 位置适当</p> <p>(2) 近窗的灯具宜单设开关, 充分利用天然光</p> <p>(3) 采用各种节电开关和管理措施, 如定时开关、调光开关、光电自动控制器、节电控制器及照明自动管理系统等</p>



续表

序号	项目	说明
5	对照明线路、开关、控制及计量的要求	(4) 公共场所照明和室外照明(含路灯),可采用集中遥控管理方式或采用自动控光装置 (5) 凡使用电气照明的单位、宿舍、住宅等,均应单独计量照明用电量

#### 四、并联电容器的装设与运行

- (1) 并联电容器的接线与装设。如表 11-21 所示。
- (2) 并联电容器的控制与保护。如表 11-22 所示。

表 11-21 并联电容器的接线与装设

序号	项目	说明
1	并联电容器组的接线方式	<p>(1) 低压电容器组一般采用三角形 (<math>\Delta</math>) 接线; 高压电容器组则宜采用星形 (Y) 接线, 在中性点非直接接地电网中, 星形接线电容器组的中性点不应接地</p> <p>(2) 电容器组接成三角形 (<math>\Delta</math>) 的容量 <math>Q_{C(\Delta)}</math> 为接成星形 (Y) 的容量 <math>Q_{C(Y)}</math> 的 3 倍。因此当电容器额定电压与电网额定电压基本相同时, 宜接成三角形。但采用三角形接线的电容器组在一相电容器击穿短路时, 就造成电网两相短路, 短路电流很大, 有可能引起电容器爆炸, 这对高压电容器特别危险</p> <p>(3) 电容器组接成星形 (Y) 的容量 <math>Q_{C(Y)}</math> 为接成三角形 (<math>\Delta</math>) 的容量 <math>Q_C(\Delta)</math> 的 <math>1/3</math> 倍。接成星形的电容器额定电压宜为电网额定电压的 <math>1/\sqrt{3}</math>。采用星形接线的电容器组在一相电容器击穿短路时, 其短路电流仅为正常工作电流的 3 倍, 因此安全多了</p>
2	电容器组三种装设位置及其补偿效果	<p>高压集中补偿区   未补偿区   低压集中补偿区   未补偿区   低压就地补偿区   未补偿区</p>
3	高压集中补偿原理接线	
	特点及适用范围	<p>(1) 初投资较少, 运行维护方便, 但只补偿高压母线以前的无功功率</p> <p>(2) 适用于大、中型企业变配电所作高压无功功率的补偿</p>

续表

序号	项目	说明
4	原理接线	
	特点及适用范围	<p>(1) 能补偿低压母线以前的无功功率, 可使电力变压器的无功功率得到补偿, 从而可选较小容量的变压器, 且运行维护方便</p> <p>(2) 适用于中、小型企业变配电所作低压侧基本无功功率的补偿</p>
5	原理接线	
	特点及适用范围	<p>(1) 补偿范围最大, 补偿效果最好, 可减小供配电线路导线截面, 但电容器组的利用率不一定高, 它随着用电设备的投切而投切, 且初投资和维护费用相对较大</p> <p>(2) 适用于负荷相当平稳且运行时间长的大容量用电设备及某些容量很小但数量多而分散的用电设备如气体放电灯等作无功补偿</p>

表 11-22 并联电容器的控制与保护

序号	项目	说明
1		并联电容器的控制
1.1	电容器的手动投切	<p>手动投切具有简单、经济、便于维护的优点, 但不能按系统无功功率的变动及时地进行调节, 以维持功率因数或电压在要求的水平上</p> <p>具有下列情况之一时宜采用手动投切方式:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 补偿低压基本无功功率的电容器组</li> <li>(2) 常年稳定的无功功率</li> <li>(3) 长期投入运行的投切次数较少的高压电容器组</li> </ol> <p>以下图 (a) 为采用接触器分组投切的低压电容器组电路图; 图 (b) 为采用低压断路器分组投切的低压电容器组电路图</p>



续表

序号	项 目	说 明
2.3	过电流保护的整定及保护灵敏度的检验	(2) 过电流保护的动作时间可取 0.2s 及以上 (3) 并联电容器过电流保护的灵敏度, 应按电容器端子上发生两相短路的条件来检验, 即 $S_p = \frac{K_w I_{\min}^2}{K I_{op}} \geq 1.5$ 式中 $I_{\min}^2$ 为在系统最小运行方式下电容器端子的两相短路电流
2.4	过电压保护的整定	(1) 采用过电压保护时, 其动作电压按下式计算: $U_{op} = 1.1U_{2N}$ 式中 $U_{2N}$ 为接于母线的电压互感器二次额定电压 (2) 过电压保护可动作于信号, 或带 3~5min 动作于跳闸
2.5	过负荷保护的整定	(1) 采用过负荷保护时, 其动作电流按下式计算: $I_{op(OL)} = 1.1I_{N.C}$ (2) 过负荷保护可动作于信号, 或带 5~10min 动作于跳闸

(3) 并联电容器的运行维护。如表 11-23 所示。

表 11-24 计划用电的必要性及其一般措施

表 11-23 并联电容器的运行维护

序号	项目	说 明
1	并联电容器投入和切除的条件	(1) 并联电容器的投入条件: 视系统的功率因数或电压是否符合要求而定。如功率因数或电压过低时, 则应投入电容器组, 或部分增加投入组数 (2) 并联电容器的切除条件: 亦主要视系统的功率因数或电压是否符合要求而定。如功率因数超前或电压偏高(超过电容器额定电压 10%) 时, 则应切除或部分切除电容器组。此外当发生下列情况之一时, 也应立即切除电容器: ①电容器爆炸; ②电容器组接头严重过热; ③电容器绝缘套管闪络放电; ④电容器喷油或燃烧; ⑤环境温度超过 40℃; ⑥变配电所停电时, 亦应将电容器组切除, 以免变配电所突然来电时, 母线电压过高, 击穿电容器
2	电容器切除时注意事项	(1) 在切除电容器时, 须从仪表指示或指示灯来检查电容器放电回路是否完好 (2) 电容器从电网切除后, 应立即通过放电回路放电。高压电容器放电时间应不短于 5min, 低压电容器放电时间应不短于 1min。为确保人身安全, 人体接触电容器之前, 还应该用短接导线将所有电容器两端直接短接放电
3	电容器的维护事项	并联电容器在正常运行中, 值班员应定期检视其电压、电流和室温等, 并检查其外部, 看看有无漏油、喷油、外壳膨胀等情况, 有无放电声响和放电痕迹, 接头有无发热现象, 放电回路是否完好, 指示灯是否正常。对装有通风装置的电容器, 还应检查通风装置各部分是否完好

序号	项目	说 明
1	计划用电的必要性	(1) 计划用电的必要性, 首先是由电力这一特殊商品的生产特点所决定的。电力的生产、供应和使用过程是同时进行的, 只能用多少发多少, 不像其他商品那样可以大量储存。发电、供电和用电每时每刻都必须保持平衡。如果用电负荷突然增加, 则电力系统的频率和电压就要下降, 可能造成严重的后果 (2) 计划用电也是解决电力供需矛盾的一种措施。即使在电力供需矛盾出现缓和的情况下, 实行计划用电也是完全必要的, 它可以改善电网的运行状态, 保证电能的质量 (3) 计划用电也是电能节约的重要保证。实行计划用电, 采取措施包括利用电价制度这一经济杠杆来调整负荷, 使电力系统“移峰填谷”, 就能降低系统的电能损耗, 提高供电设备的利用率
2	计划用电的一般措施	(1) 建立健全计划用电的各级能源管理机构 and 制度, 作好用电负荷的预测和管理工作 (2) 供用电双方签订《供用电合同》, 在合同中, 按照电网的供电条件和用户的需求确定用户的用电容量及对供电质量的要求, 为计划用电提供基本依据 (3) 实行分时电价, 包括峰谷分时电价和丰枯季节电价。峰谷分时电价就是峰高谷低的电价, 每天的高峰负荷时段电价可比平时段电价高 30%~50% 或更高, 而低谷负荷时段电价可比平时段电价低 30%~50% 或更低, 以鼓励用户错峰用电。丰枯季节电价是水电比重较大的地区电网所实行的一种电价。丰水季节电价可比平时电价低 30%~50%, 枯水季节电价可比平时电价高 30%~50%, 鼓励用户在丰水季节多用电, 充分发挥水电的潜力 (4) 按用户的最大需量或最大装置容量收取基本电费, 促使用户尽可能压低负荷高峰, 提高低谷负荷, 以减小基本电费开支 (5) 装设电力负荷管理装置, 电力负荷管理装置是指能够监视、控制用户电力负荷的各种仪器装置, 包括音频、载波、无线电等集中型电力负荷管理装置和电力定量器、电流定量器、电力时控开关、电力监控仪、多费率电能表等分散型电力负荷管理装置。装设电力负荷管理装置的目的, 是贯彻落实国家有关计划用电的政策, 实现管理到户的技术手段。通过推广应用负荷管理技术来加强计划用电和节约用电管理, 保证重点用户供电。对居民生活用电也尽量不停电或少停电, 有计划地均衡用电负荷, 保证电网的安全经济运行, 提高电力资源的社会效益

## 第四节 计划用电及电价与电费

### 一、计划用电的必要性及其一般措施

如表 11-24 所示。

## 二、电价政策与电费计收

(1) 电价与电价政策。如表 11-25 所示。

表 11-25 电价与电价政策

序号	项目	说明
1	电价的含义	电价是电力这类特殊商品在电力企业参与市场经济活动中进行贸易结算的货币表现形式，是电力商品价格的总称
2	电价的作用	<p>电价对电力的生产、供应和使用各方具有不同的作用：</p> <p>(1) 对电力企业：电价是获取资金以维持简单再生产和扩大再生产的手段。电价的合格与否，直接关系到电力事业的发展</p> <p>(2) 对电力用户：电价意味着用户在取得电力使用价值时必须付出的代价。电价的合理与否，直接关系到国民经济的发展和人民的生活</p>
3	电价的类别	<p>(1) 电价按生产和流通环节分，有电力生产企业的上网电价、电网之间的互供电价和电网的销售电价</p> <p>(2) 电价按销售方式分，有直供电价、趸售电价</p> <p>(3) 电价按用电类别分，有照明电价、商业电价、大工业电价、普通工业电价、非工业电价等</p>
4	我国电价管理的原则	《中华人民共和国电力法》规定：“电价实行统一政策，统一价原则，分级管理。”这就是要求电价管理必须集中统一，在统一政策、统一价原则的前提下，进行分级管理，发挥各方面的积极性，使电价管理更科学、合理、规范
5	制定电价的基本原则	<p>我国《电力法》规定：“制定电价，应当合理补偿成本，合理确定收益，依法计入税金，坚持公平负担，促进电力建设”</p> <p>(1) 合理补偿成本：电价必须能够补偿电力生产和流通全过程的成本费用支出（但不得将非正常费用计入成本），以保证电力企业的正常运营</p> <p>(2) 合理确定收益：电价必须保证电力企业及有关投资者的合理收益。但由于电力企业具有垄断经营的性质，因此必须加以控制，以免它借此获取超额利润，损害了电力用户的利益</p> <p>(3) 依法纳入税金：凡属于我国法律允许纳入电价的税种、税款应计入电价，但不是电力企业的其他应缴纳的税金都可以计入电价之中</p> <p>(4) 坚持公平负担：在控制电价时，要从电力公用性和发、供、用电的特殊性出发，使电力用户的电费负担公平合理。用电特性不同，其电价也应有所差异，体现“优质优价”的原则，使用户的电费负担与其用电特性相适应</p> <p>(5) 促进电力建设：电价应能促使电力资源优化配置，保证电力企业正常生产，并具有一定的自我发展能力，推动电力事业走上良性循环发展的道路</p>

(2) 用电量与电费计收。如表 11-26 所示。

表 11-26 用电计量与电费计收

序号	项目	说明
1	用电计量的一般要求（《供电营业规则》规定）	<p>(1) 供电企业应在用户每一个受电点内按不同电价类别分别安装用电计量装置。每个受电点作为用户的一个计费单位。用户为满足内部核算需要而自行装设的电能表，不得作为供电企业计费依据</p> <p>(2) 计费电能表及其附件的购置、安装、移动、更换、校验、拆除、加封、启封及表计接线等，均由供电企业负责办理，用户应提供工作上的方便。高压用户的成套设备中装有自备电能表及附件时，经供电企业检验合格、加封并移交供电企业维护管理的，可作为计费电能表</p> <p>(3) 对 10kV 及以下电压供电的用户，应配置专用的电能计量柜；对 35kV 及以上电压供电的用户，应有专用的电流互感器二次线圈和专用的电压互感器二次连接线，并不得与保护、测量回路共用</p> <p>(4) 用电计量装置原则上应装在供电设施的产权分界处。如产权分界处不适宜装表时，对专线供电的高压用户，可在供电变压器出口装表计量；对公用线路供电的高压用户，可在用户受电装置的低压侧计量。当用电计量装置不安装在产权分界处时，线路与变压器损耗的有功和无功电能均须由产权所有者负担。在计算用户基本电度（按最大需量计时）、电度电费及功率因数调整电费时，应将上述损耗电能计算在内</p> <p>(5) 供电企业必须按规定的周期校验、轮换计费电能表，并对计费电能表进行不定期检查</p>
2	电费计收的环节	
2.1	抄表	<p>抄表就是供电企业抄表人员定期抄录用户所装用电计量装置记录的读数，以便计收电费。抄表的方法有：</p> <p>(1) 现场手抄：这是一种传统的方法，主要用于中小用户和居民用户</p> <p>(2) 现场微电脑抄表器抄表：抄表员携带抄表器前往用户现场，将用电计量装置记录的数值输入抄表器内，回所后将抄表器现场存储的数据通过接口输入营业系统微机进行电费计算</p> <p>(3) 远程遥测抄表：利用负荷控制装置的功能综合开发，实现一套装置数据共享及其他远动传输通道，实现用户电量远程遥测抄表</p> <p>(4) 小区集中低压载波抄表：小区内居民用户的用电量装置读数，通过低压载波等通道传送到小区变电站内，抄表人员按时到小区变电站内抄录各用户的用电计量装置读数</p> <p>(5) 红外线抄表：抄表员利用红外线抄表器在路径用户时，即可采集到该用户用电计量装置读数</p> <p>(6) 电话抄表：对安装在边远地区用户变电所内的用电计量装置，可通过电话抄表，但需定期赴现场核对</p> <p>(7) 委托专业性抄表公司代理抄表，或与煤气、自来水等单位联合，采取气、水、电一次性抄表的办法，以方便居民用户</p>

续表

续表

序号	项目	说明
2.2	电费 计价方式与 电费核算	现行销售电价的计价方式分为单一制电价和两部制电价 (1) 单一制电价: 又称“电度电价”制, 按用户用电量的 kW·h 数来计算电费, 适用于非工业、普通工业、农业及居民生活等用电 (2) 两部制电价: 将用户的电价分为两部分, 一部分为基本电价, 以用户最大需电量的 kW 数或装接设备容量(主变压器容量)的 kVA 数来计算, 与实际用电量无关; 另一部分为电度电价, 以用户实际使用的电能量 kW·h 数来计算。两部制电价适用于大工业用电 不论实行上述哪一种电价, 其电度电价中, 有的还实行峰谷分时电价和丰枯季节电价, 并实行按月平均功率因数调整电费(参看表 11-27) 电费是否按照规定及时、准确的收回, 帐务是否清楚, 统计数字是否准确, 关键在于电费核算这一环节。电费核算必须严肃认真, 一丝不苟, 逐项审核, 而且要注意帐务处理和汇总工作, 确保电费核算质量
		电费收取的方式有: (1) 上门收取: 收费人员逐户上门收取电费 (2) 定期定点收取: 由用户按规定期限前往指定地点交纳 (3) 委托银行代收: 用户就近到委托银行交纳, 或者由银行按供电企业通知从用户电费储蓄帐户中扣除用户电费, 然后划入供电企业帐户内 (4) 付费购电方式: 用户先持购电卡前往供电企业营业部门售电微机购电, 将购电数量存储于购电卡中。用户再将购电卡插入电表式电能表, 其电源开关就自动合上, 即可用电。如购电卡上的储存电量余额不足 10kW·h 时, 电能表将显示余额, 提示用户再去购电。当余额不足 3kW·h 时, 即停电一次警告用户速去购电; 用户将电卡再插入一次即可恢复用电。当所购电量全部用完时, 则自动断电, 直到用户插入新购电卡后, 方可恢复用电。这种付费购电方式改革了传统的人工抄表、核收电费制度, 从根本上解决了一些用户只管用电、不按时交纳电费的问题, 值得推广
2.3	电费 收取	

### 三、按功率因数调整电费表

如表 11-27 所示。现行的《功率因数调整电费办法》规定调整电费的功率因数  $\cos\varphi$ , 按用户每月实际耗用的有功电量  $W_p$  和无功电量  $W_q$  来计算, 计算公式为:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_q}{W_p}\right)^2}}$$

关于功率因数标准, 以《供电营业规则》规定为准。

表 11-27 按功率因数调整电费表<sup>[13]</sup>

月无功电量 月有功电量	功率 因数	电费调整 (%)		
		0.90	0.85	0.80
0.0000~0.1003	1.00	-0.75	-1.10	-1.30
0.1004~0.1751	0.99	-0.75	-1.10	-1.30
0.1752~0.2279	0.98	-0.75	-1.10	-1.30

月无功电量 月有功电量	功率 因数	电费调整 (%)		
		0.90	0.85	0.80
0.2280~0.2717	0.97	-0.75	-1.10	-1.30
0.2718~0.3105	0.96	-0.75	-1.10	-1.30
0.3106~0.3461	0.95	-0.75	-1.10	-1.30
0.3462~0.3793	0.94	-0.60	-1.10	-1.30
0.3794~0.4107	0.93	-0.45	-0.95	-1.30
0.4108~0.4409	0.92	-0.30	-0.80	-1.30
0.4410~0.4700	0.91	-0.15	-0.65	-1.15
0.4701~0.4983	0.90	0	-0.50	-1.0
0.4984~0.5260	0.89	+0.5	-0.4	-0.9
0.5261~0.5532	0.88	+1.0	-0.3	-0.8
0.5533~0.5800	0.87	+1.5	-0.2	-0.7
0.5801~0.6065	0.86	+2.0	-0.1	-0.6
0.6066~0.6328	0.85	+2.5	0	-0.5
0.6329~0.6589	0.84	+3.0	+0.5	-0.4
0.6590~0.6850	0.83	+3.5	+1.0	-0.3
0.6851~0.7109	0.82	+4.0	+1.5	-0.2
0.7110~0.7370	0.81	+4.5	+2.0	-1.0
0.7371~0.7630	0.80	+5.0	+2.5	0
0.7631~0.7891	0.79	+5.5	+3.0	+0.5
0.7892~0.8154	0.78	+6.0	+3.5	+1.0
0.8155~0.8418	0.77	+6.5	+4.0	+1.5
0.8419~0.8685	0.76	+7.0	+4.5	+2.0
0.8686~0.8953	0.75	+7.5	+5.0	+2.5
0.8954~0.9225	0.74	+8.0	+5.5	+3.0
0.9226~0.9499	0.73	+8.5	+6.0	+3.5
0.9500~0.9777	0.72	+9.0	+6.5	+4.0
0.9778~1.0059	0.71	+9.5	+7.0	+4.5
1.0060~1.0365	0.70	+10	+7.5	+5.0
1.0366~1.0635	0.69	+11	+8.0	+5.5
1.0636~1.0930	0.68	+12	+8.5	+6.0
1.0931~1.1230	0.67	+13	+9.0	+6.5
1.1231~1.1636	0.66	+14	+9.5	+7.0
1.1637~1.1847	0.65	+15	+10	+7.5
1.1848~1.2165	0.64	+17	+11	+8.0
1.2166~1.2490	0.63	+19	+12	+8.5
1.2491~1.2821	0.62	+21	+13	+9.0
1.2822~1.3160	0.61	+23	+14	+9.5
1.3161~1.3507	0.60	+25	+15	+10
1.3508~1.3863	0.59	+27	+17	+11
1.3864~1.4228	0.58	+29	+19	+12
1.4229~1.4603	0.57	+31	+21	+13
1.4604~1.4988	0.56	+33	+23	+14
1.4989~1.5384	0.55	+35	+25	+15
1.5385~1.5791	0.54	+37	+27	+17
1.5792~1.6211	0.53	+39	+29	+19
1.6212~1.6644	0.52	+41	+31	+21
1.6645~1.7091	0.51	+43	+33	+23
1.7092~1.7553	0.50	+45	+35	+25
1.7554~1.8031	0.49	+47	+37	+27
1.8032~1.8526	0.48	+49	+39	+29
1.8527~1.9038	0.47	+51	+41	+31
1.9039~1.9571	0.46	+53	+43	+33
1.9572~2.0124	0.45	+55	+45	+35
2.0125~2.0699	0.44	+57	+47	+37
2.0700~2.1298	0.43	+59	+49	+39
2.1299~2.1923	0.42	+61	+51	+41
2.1924~2.2575	0.41	+63	+53	+43
2.2576~2.3257	0.40	+65	+55	+45
2.3258~2.3971	0.39	+67	+57	+47
2.3972~2.4720	0.38	+69	+59	+49
2.4721~2.5507	0.37	+71	+61	+51
2.5508~2.6334	0.36	+73	+63	+53
2.6335~2.7205	0.35	+75	+65	+55
2.7206~2.8125	0.34	+77	+67	+57
2.8126~2.9098	0.33	+79	+69	+59
2.9099~3.0129	0.32	+81	+71	+61
3.0130~3.1224	0.31	+83	+73	+63
3.1225~3.2389	0.30	+85	+75	+65
3.2390~3.3632	0.29	+87	+77	+67

# 第十二章 供配电系统的运行维护与检修试验

续表

## 第一节 变配电所的运行维护

### 一、变配电所的运行值班

如表 12-1 所示。

表 12-1 变配电所的运行值班

序号	项目	说明
1	变配电所的运行值班制度	<p>企业变配电所的运行值班制度主要有:</p> <p>(1) 轮换值班制: 全天分为早、中、晚三班, 值班员分组轮流值班, 全年都不间断。这种值班制度对于确保变配电所的安全运行有很大好处, 是我国工矿企业普遍采用的一种传统的值班制度。但这种轮班制耗用人力多, 运行费用高。</p> <p>(2) 无人值班制: 变配电所无固定值班人员进行日常监视和操作。我国有些小型企业及有的大中型企业的车间变电所, 往往采取无人值班制, 仅由工厂的维修电工或企业总变配电所的值班电工每天定期巡视检查。不过这种无人值班制如果没有变配电所自动化为基础, 是不能确保变配电所安全可靠运行的要求的。现代化企业变配电所的发展方向就是高度自动化和无人值班。变配电所内的简单、单项的操作由当地自动化装置自动完成, 而复杂和涉及系统运行的操作则由远方调度(控制)中心来控制。因此变配电所的自动化系统是无人值班变配电所可靠的技术支撑和物质基础。</p>
2	变配电所值班员的职责	<p>(1) 遵守变配电所值班工作制度, 坚守工作岗位, 做好变配电所的安全保卫工作, 确保变配电所的安全运行。</p> <p>(2) 积极钻研本职工作, 认真学习和贯彻有关规程, 熟悉变配电所的一、二次系统的接线及设备的装设位置、结构性能、操作要求和维护保养方法等, 掌握各种安全工具和消防器材的使用方法, 并熟悉触电急救法, 了解变配电所现在的运行方式、负荷情况及负荷调整、电压调整等措施。</p> <p>(3) 监视变配电所内各种设施的运行状态, 定期巡视检查, 按照规定抄报各种运行数据, 记录运行日志。发现设备缺陷和运行不正常时, 及时处理, 并做好有关记录, 以备查考。</p> <p>(4) 按上级调度命令进行操作, 发生事故时进行紧急处理, 并做好有关记录, 以备查考。</p>

序号	项目	说明
2	变配电所值班员的职责	<p>(5) 保管好变配电所内各种资料图表、工具仪器和消防器材等, 并按规定定期检查或检验, 同时做好和保持所内设备和环境的清洁卫生。</p> <p>(6) 按规定进行交接班。值班员未办完交接手续时, 不得擅离岗位。在处理事故时, 一般不得交接班。接班的值班员可在当班的值班员要求和主持下, 协助处理事故。如果事故一时难以处理完毕, 在征得接班的值班员同意和上级同意后, 可进行交接班。</p>
3	变配电所运行值班注意事项(据 DL408—1991)	<p>(1) 有高压设备的变配电所, 为保证安全, 一般应至少由两人值班。但当室内高压设备的隔离室设有遮栏且遮栏的高度在 1.7m 以上, 安装牢固并加锁, 而且室内高压开关的操作机构用墙或金属板与该开关隔离, 或装有远方操作机构时, 按 DL408—1991 规定, 可由单人值班; 但单人值班时, 值班员不得单独从事修理工作。</p> <p>(2) 不论高压设备带电与否, 值班员不得单独移开或跨越遮栏进行工作。如有必要移开遮栏时, 须有监护人在场, 并符合 DL408—1991 规定的设备不停电时的安全距离(参看表 11-6 序号 1.1 附表 2)。</p> <p>(3) 雷雨天巡视室外高压设备时, 应穿绝缘靴, 并且不得靠近避雷针和避雷器。</p> <p>(4) 高压设备发生接地时, 室内不得接近故障点 4m 以内, 室外不得接近故障点 8m 以内。进入上述范围的人员必须穿绝缘靴, 接触设备的外壳和构架时, 应戴绝缘手套。</p> <p>(5) 巡视高压配电装置, 进出高压室, 必须随手将门锁好。</p> <p>(6) 高压室的钥匙至少应有 3 把, 由配电值班人员负责保管, 按值移交。一把专供紧急时使用, 一把专供值班员使用, 其他可以借给许可单独巡视高压设备的人员和工作负责人使用, 但必须登记签名, 当日交回。</p>
4	电气工作人员(含运行值班人员)必须具备的条件(据 DL408—1991)	<p>(1) 经医师鉴定, 无妨碍工作的病症(体格检查约两年一次)。</p> <p>(2) 具备必要的电气知识, 且按其职务和工作性质, 熟悉《电业安全工作规程》的有关部分, 并经考试合格。考试应每年一次。因故间断电气工作连续三个月以上者, 必须重新学习《电业安全工作规程》, 并经考试合格后, 方能恢复工作。</p> <p>(3) 学会紧急救护法, 特别要学会触电急救。</p>





续表

三、电力变压器的运行维护

(1) 电力变压器的运行监视。如表 12-3 所示。

表 12-3 电力变压器的运行监视  
(据 DL/T 572-1995)

序号	项 目	说 明
1	变的运行要求	<p>安装在变电所内的变压器以及无人值班变电所内有远方监测装置的变压器，应经常监视仪表的指示，及时掌握变压器运行情况。监视仪表的抄表次数由现场规程规定。当变压器超过额定电流运行时，应作好记录</p> <p>无人值班变电所的变压器应在每次定期检查时记录其电压、电流和顶层油温以及曾达到的最高顶层油温等。对配电变压器应在最大负荷期间测量三相电流，并设法保持基本平衡。测量周期由现场规程规定</p>
2	变压器的日常巡视周期	<p>变压器的日常巡视检查，可参照下列规定：</p> <p>(1) 变电所内的变压器，每天至少一次；每周至少进行一次夜间巡视</p> <p>(2) 无人值班变电所内容量为 3150kVA 及以上的变压器每 10 天至少一次，3150kVA 以下的变压器每月至少一次</p> <p>(3) 2500kVA 及以下的配电变压器，装于室内的每月至少一次，户外（包括郊区及农村的）每季至少一次</p>
3	变压器的特殊巡视检查	<p>下列情况下应对变压器进行特殊巡视检查，增加巡视检查次数：</p> <p>(1) 新设备或经过检修、改造的变压器在投运 72h 内</p> <p>(2) 有严重缺陷时</p> <p>(3) 气象突变（如大风、大雾、大雪、冰雹、寒潮等）时</p> <p>(4) 雷雨季节特别是雷雨前后</p> <p>(5) 高温季节，高峰负荷期间</p> <p>(6) 变压器急救负荷运行时</p>
4	变压器的日常巡视检查内容	<p>(1) 变压器的油温和温度计应正常，储油柜的油位应与温度相对应，各部位无渗油、漏油</p> <p>(2) 套管油位应正常，套管外部无破损裂纹、无严重油污、无放电痕迹及其他异常现象</p> <p>(3) 变压器音响正常</p> <p>(4) 各冷却器手感温度应相近，风扇、油泵、水泵运转正常，油流继电器工作正常</p> <p>(5) 水冷却器的油压应大于水压（制造厂另有规定者除外）</p> <p>(6) 吸湿器完好，吸湿剂干燥</p> <p>(7) 引线接头、电缆、母线应无发热迹象</p> <p>(8) 压力释放器或安全气道及防爆膜应完好无损</p> <p>(9) 有载分接开关的分接位置及电压指示应正常</p> <p>(10) 瓦斯继电器内应无气体</p> <p>(11) 各控制箱和二次端子箱应关严，无受潮</p> <p>(12) 干式变压器的外部表面应无积污</p> <p>(13) 变压器室的门、窗、照明应完好，房屋不漏水，温度正常</p> <p>(14) 现场规程中根据变压器的结构特点补充检查的其他项目</p>

序号	项 目	说 明
5	变压器检查增加内容	<p>变压器应作定期检查（检查周期由现场规程规定），并应在上述（序号 4）基础上增加以下检查内容：</p> <p>(1) 外壳及箱沿应无异常发热</p> <p>(2) 各部位的接地应完好；必要时应测量铁芯和夹件的接地电流</p> <p>(3) 强油循环冷却的变压器应作冷却装置的自动切换试验</p> <p>(4) 水冷却器从旋塞放水检查应无油迹</p> <p>(5) 有载调压装置的动作情况应正常</p> <p>(6) 各种标志应齐全明显</p> <p>(7) 各种保护装置应齐全、良好</p> <p>(8) 各种温度计应在检定周期内，超温信号应正确可靠</p> <p>(9) 消防设施应齐全完好</p> <p>(10) 室(洞)内变压器通风设备应完好</p> <p>(11) 储油池和排油设施应保持良好状态</p>
6	由现场规定的维护项目	<p>下述维护项目的周期，可根据具体情况在现场规程中规定：</p> <p>(1) 清除储油柜集污器内的积水和污物</p> <p>(2) 冲洗被污物堵塞影响散热的冷却器</p> <p>(3) 更换吸湿器和净油器内的吸附剂</p> <p>(4) 变压器的外部（包括套管）清扫</p> <p>(5) 各种控制箱和二次回路的检查和清扫</p>

(2) 电力变压器的投运与停运。如表 12-4 所示。

表 12-4 电力变压器的投运与停运  
(据 DL/T 572-1995)

序号	项 目	说 明
1	变压器投运前的检查	<p>变压器投运之前，值班员应仔细检查，确认变压器及其保护装置在良好状态，具备带电运行条件；并注意外部有无异物，临时接地线是否已拆除，分接开关位置是否正确，各阀门开闭是否正确。变压器在低温投运时，应防止呼吸器因结冰被堵</p>
2	对备用变压器的要求	<p>运用中的备用变压器应随时可以投入运行。长期停运者应定期充电，同时投入冷却装置。如系强油循环变压器，充电后不带负荷运行时，应轮流投入部分冷却器，其数量不超过制造厂规定空载时的运行台数</p>
3	变压器投运和停运的操作要求	<p>变压器投运和停运的操作程序应在现场规程中规定，并须遵守下列各项：</p> <p>(1) 强油循环变压器投运时应逐台投入冷却器，并按负荷情况控制投入冷却器的台数；水冷却器应先启动油泵，再开启水系统；停电操作先停水后停油泵；冬季停运时将冷却器中的水放尽</p> <p>(2) 变压器的充电应在有保护装置的电源侧用断路器操作；停运时应先停负荷侧，后停电源侧</p> <p>(3) 在无断路器时，可用隔离开关投切 110kV 及以下且电流不超过 2A 的空载变压器；用于切断 20kV 及以上变压器的隔离开关，必须三相联动且装有消弧角；装在室内的隔离开关必须在各相之间安装耐弧的绝缘隔板。如不能满足上述规定，又必须用隔离开关操作时，须经本单位总工程师批准</p>

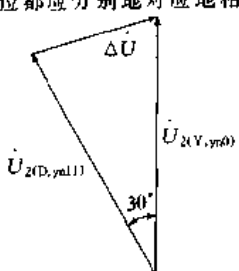
续表

序号	项目	说明
3	变压器停、运、检修和投运程序	(4) 允许用熔断器投切空载配电变压器和 66kV 及以下所用变压器
4	大修或油浸静置时间	新装、大修、事故检修或换油后的油浸变压器, 在施加电压前静置时间不应少于以下规定: 110kV 及以下 24h 220kV 及以下 48h 500kV 及以下 72h 若有特殊情况不能满足上述规定, 需经本单位总工程师批准
5	变压器投运和其他注意事项	(1) 装有储油柜的变压器, 带电前应排尽套管升高座、散热器及净油器等上部的残留空气。对强油循环变压器, 应开启油泵, 使油循环一定时间后将气排尽。开泵时变压器各侧绕组均应接地, 防止油流静电危及操作人员的安全。 (2) 在 110kV 及以上中性点有效接地系统中, 投运或停运变压器的操作, 中性点必先接地。投运后可按系统需要决定中性点是否断开。 (3) 干式变压器在停运和保管期间, 应防止绝缘受潮

(3) 电力变压器的并列运行。如表 12-5 所示。

表 12-5 电力变压器的并列运行

序号	项目	说明
1	变压器并列运行的基本条件	(1) 额定一次电压和二次电压对应相等 (2) 阻抗电压 (短路电压) 相等 (3) 联结组标号相同
2	条件之一: 二次电压对应相等	即并列变压器的电压比必须相同, 允许差值范围为 $\pm 5\%$ 。如果并列变压器的电压比不同, 则并列变压器的二次回路内将出现环流, 即二次电压较高的绕组将向二次电压较低的绕组供给电流, 引起绕组发热甚至烧毁
3	条件之二: 阻抗电压相等	阻抗电压 (短路电压) 相等即短路阻抗相等。如果并列变压器的阻抗电压不等, 由于其二次负荷是按其阻抗电压或短路阻抗成反比分配的, 因此可能导致阻抗电压较小的变压器过负荷甚至烧毁。阻抗电压不等的并列变压器, 可适当提高阻抗电压较高的变压器的二次电压, 使并列变压器的容量能充分地利用。并列变压器的阻抗电压允许差值范围为 $\pm 10\%$
4	条件之三: 联结组别相同	即并列变压器的一次电压和二次电压的相序和相位都应分别地对应地相同。假设两台并列运行的变压器, 一台为 Yyn0 联结, 另一台为 Dyn11 联结, 则它们的二次电压间将出现 $30^\circ$ 的相位差, 从而在两台变压器的二次绕组间产生电压差 $\Delta U$ , 如图所示。这一 $\Delta U$ 将在两变压器的二次侧产生一个很大的环流, 可能使变压器绕组烧毁



续表

序号	项目	说明
5	容量宜相同或相近	并列运行的变压器容量应尽量相同或相近, 其最大容量与最小容量之比, 一般不宜超过 3:1。如果容量相差悬殊, 不仅运行很不方便, 而且在变压器性能参数略有差异时, 极易造成容量小的变压器过负荷或烧毁

(4) 电力变压器的不正常运行与处理。如表 12-6 所示。

表 12-6 电力变压器的不正常运行与处理 (据 DL/T 572-1995)

序号	项目	说明												
1	一般要求	变电所值班人员在变压器运行中发现不正常现象时, 应设法尽快消除, 并报告上级和做好记录												
2	变压器应予停运并备用变压器的情况	变压器有下列情况之一者应立即停运; 如有运用中的备用变压器, 应尽可能先将其投入运行: (1) 变压器声响明显增大, 很不正常, 内部有爆裂声 (2) 严重漏油或喷油, 使油面下降到低于油位计的指示限度 (3) 套管有严重的破损和放电现象 (4) 变压器冒烟着火												
3	变压器应立即停运的情况	(1) 当发生危及变压器安全的故障, 而变压器的有关保护装置拒动时, 值班人员应立即将变压器停运 (2) 当变压器附近的设备着火、爆炸或发生其他情况, 对变压器构成严重威胁时, 值班人员应立即将变压器停运												
4	油浸式变压器顶层油温规定值及超过时的处理	(1) 油浸式变压器的顶层油温一般不得超过下表规定值。当冷却介质温度较低时, 顶层油温也相应降低。自然循环冷却变压器的顶层油温一般不宜经常超过 $85^\circ\text{C}$ <b>附表 油浸式变压器顶层油温一般规定值</b> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>冷却方式</th> <th>冷却介质最高温度 (<math>^\circ\text{C}</math>)</th> <th>最高顶层油温 (<math>^\circ\text{C}</math>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>自然循环自冷、风冷</td> <td>40</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>强迫油循环风冷</td> <td>40</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>强迫油循环水冷</td> <td>30</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table> (2) 当油浸式变压器顶层油温超过规定值时, 值班人员应按以下步骤检查处理: 1) 检查变压器的负荷和冷却介质的温度, 并与在同一负荷和冷却介质温度下的正常油温核对; 2) 核对温度测量装置; 3) 检查变压器冷却装置或变压器室的通风情况	冷却方式	冷却介质最高温度 ( $^\circ\text{C}$ )	最高顶层油温 ( $^\circ\text{C}$ )	自然循环自冷、风冷	40	95	强迫油循环风冷	40	85	强迫油循环水冷	30	70
冷却方式	冷却介质最高温度 ( $^\circ\text{C}$ )	最高顶层油温 ( $^\circ\text{C}$ )												
自然循环自冷、风冷	40	95												
强迫油循环风冷	40	85												
强迫油循环水冷	30	70												

续表

序号	项目	说明
4	油浸式变压器顶层油温规定值及超过时的处理	<p>(3) 若温度升高的原因是由于冷却系统的故障,且在运行中无法修理者,应将变压器停运修理;若不能立即停运修理,则值班人员应按现场规程的规定调整变压器的负荷至允许运行温度下的相应容量</p> <p>(4) 在正常负荷和冷却条件下,变压器温度不正常且不断上升,并经检查证明温度指示正确,则可认为变压器已发生内部故障,应立即将变压器停运</p> <p>(5) 变压器在各种超额定电流方式下运行,若顶层油温超过 105℃ 时,应立即降低负荷</p>
5	变压器油低温凝滞的处理	<p>变压器中的油因低温凝滞时,应不投冷却器空载运行,同时监视顶层油温,逐步增加负荷,直至投入相应数量冷却器,转入正常运行</p>
6	变压器油位偏低或偏高的处理	<p>(1) 当发现变压器的油面较当时油温所应有的油位显著降低时,应查明原因。补油时应遵守 DL/T 572-1995 有关规定,禁止从变压器下部补油</p> <p>(2) 变压器油位因温度上升有可能高出油位指示极限,经查明不是假油位所致时,则应放油,使油位降至与当时油温相对应的高度,以免溢油</p>
7	铁芯接地电流较大的处理	<p>变压器铁芯多点接地而接地电流较大时,应安排检修处理。在缺陷消除前,可采取措施将电流限制在 100mA 左右,并加强监视(注:建议在铁芯接地回路中串联电阻,且并联一个 2~8μF 的电容)</p>

#### 四、配电装置的运行维护

如表 12-7 所示。

表 12-7 配电装置的运行维护

序号	项目	说明
1	一般要求	<p>(1) 有人值班的变配电所,应每班或每天进行外部检查一次</p> <p>(2) 无人值班的变配电所至少每月检查一次。如遇短路引起跳闸或其他特殊情况(如雷击或大风后),应对设备进行特别检查</p>
2	配电装置巡视项目	<p>(1) 由母线及其接头的外观或其温度指示装置(如变色漆、示温蜡或变色示温贴片等)的指示,检查母线及其接头的发热温度是否超出允许值</p> <p>(2) 开关电器中所装的绝缘油颜色和油位是否正常,有无漏油现象,油位指示器有无破损</p> <p>(3) 绝缘子是否脏污、破损,有无放电痕迹</p> <p>(4) 电缆及其终端头有无漏油及其他异常现象</p> <p>(5) 熔断器的熔体是否熔断,熔管有无破损和放电痕迹</p>

续表

序号	项目	说明
2	配电装置巡视项目	<p>(6) 二次系统的设备如仪表、继电器等的工作状态是否正常</p> <p>(7) 接地装置及 PE 线或 PEN 线的连接处有无松脱、断线的情况</p> <p>(8) 整个配电装置的运行状态是否符合当时的运行要求。停电检修部分在其电源侧断开的开关操作手柄处有无悬挂“禁止合闸、有人工作”之类的标示牌,有无装设必要的临时接地线</p> <p>(9) 高低压配电室和电容器室的照明、通风及安全防火装置是否正常</p> <p>(10) 配电装置本身及其周围有无影响安全运行的异物(如易燃、易爆及腐蚀性物体)和异常现象</p> <p>在巡视中发现的异常情况,应记入专用记录簿内,重要情况应及时汇报上级,请示处理</p>

## 第二节 供配电线路的运行维护

### 一、架空线路的运行维护

如表 12-8 所示。

表 12-8 架空线路的运行维护

序号	项目	说明
1	巡视的一般要求	<p>(1) 对厂区架空线路,一般要求每月进行一次巡视检查。如遇雷雨、大风、大雪或发生故障等特殊情况下,应临时增加巡线次数</p> <p>(2) 巡线工作应由有线路工作经验的人担任。新人员不得一人单独巡线。偏僻山区和夜间巡线必须由两人进行。暑天、大雪天,必要时由两人进行(据 DL409-1991)</p> <p>(3) 单人巡线时,禁止攀登电杆和铁塔。夜间巡线应沿线路外侧进行;大风时巡线应沿线路上风侧前进,以免万一触及断落的导线。事故巡线应始终认为线路带电,即使明知该线路已停电,亦应认为线路随时有恢复送电的可能(据 DL409-1991)</p>
2	巡线项目与要求	<p>(1) 电杆有无倾斜、变形、腐朽、损坏及基础下沉等现象。如有时,应设法安排修复</p> <p>(2) 沿线路的地面及其周围有无堆放易燃、易爆和强腐蚀性物体。如有时,应设法挪开</p> <p>(3) 沿线路周围,有无危险建筑物。在雷雨季节和大风季节里,这些建筑物应不致对线路造成损坏;否则应予修缮或拆除</p> <p>(4) 线路上有无树枝、风筝等杂物悬挂。如有时,应设法清除</p> <p>(5) 拉线和板桩是否完好,绑扎线是否紧固可靠。如有毛病时,应设法修复或更换</p>

续表

续表

序号	项目	说明																																				
2	巡线项目要求	<p>(6) 导线的接头是否接触良好, 有无过热发红、严重氧化、腐蚀或断脱现象, 绝缘子有无破损和放电痕迹。如有时, 应设法修复或更换</p> <p>(7) 避雷装置的接地是否良好, 接地线有无锈断损坏情况。在雷雨季节到来之前, 应进行重点检查, 以确保防雷安全</p> <p>(8) 其他危及线路安全运行的异常情况</p> <p>在巡线中发现的异常情况, 应记入专用记录簿内。重要情况应及时汇报上级, 请示处理</p>																																				
3	邻近带电导线的安全距离(据DL409-1991)	<p>(1) 在带电杆塔上刷油漆, 除鸟窝, 紧杆塔螺丝, 检查架空地线(不包括绝缘架空地线), 查看金具、瓷瓶工作时, 作业人员活动范围及其所携带的工具、材料等, 与带电导线最小距离不得小于附表1的规定:</p> <p style="text-align: center;"><b>附表1 在带电线路杆塔上工作与带电导线最小安全距离</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>电压等级(kV)</th> <th>10及以下</th> <th>20~35</th> <th colspan="2">44</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>安全距离(m)</td> <td>0.70</td> <td>1.00</td> <td colspan="2">1.20</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>电压等级(kV)</th> <th>60~110</th> <th>154</th> <th>220</th> <th>330</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>安全距离(m)</td> <td>1.50</td> <td>2.00</td> <td>3.00</td> <td>4.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 在带电的线路邻近进行工作时, 有可能接近带电导线至危险距离以内时, 必须采取措施, 预防与带电导线接触或接近至危险距离以内。牵引绳索和拉绳等至带电导线的最小距离应符合附表2的规定:</p> <p style="text-align: center;"><b>附表2 邻近或交叉其他电力线工作的安全距离</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>电压等级(kV)</th> <th>10及以下</th> <th>35(20~44)</th> <th>60~110</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>安全距离(m)</td> <td>1.0</td> <td>2.5</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>电压等级(kV)</th> <th>154~220</th> <th>330</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>安全距离(m)</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> <td>6.0</td> </tr> </tbody> </table>	电压等级(kV)	10及以下	20~35	44		安全距离(m)	0.70	1.00	1.20		电压等级(kV)	60~110	154	220	330	安全距离(m)	1.50	2.00	3.00	4.00	电压等级(kV)	10及以下	35(20~44)	60~110	安全距离(m)	1.0	2.5	3.0	电压等级(kV)	154~220	330	500	安全距离(m)	4.0	5.0	6.0
电压等级(kV)	10及以下	20~35	44																																			
安全距离(m)	0.70	1.00	1.20																																			
电压等级(kV)	60~110	154	220	330																																		
安全距离(m)	1.50	2.00	3.00	4.00																																		
电压等级(kV)	10及以下	35(20~44)	60~110																																			
安全距离(m)	1.0	2.5	3.0																																			
电压等级(kV)	154~220	330	500																																			
安全距离(m)	4.0	5.0	6.0																																			

## 二、电缆线路的运行维护

如表 12-9 所示。

表 12-9 电缆线路的运行维护

序号	项目	说明
1	运行维护的一般要求	<p>电缆多数是敷设在地下, 因此要做好电缆线路的运行维护工作, 必须全面了解电缆的敷设方式、结构布置、走线方向及电缆头位置等</p> <p>对电缆线路, 一般要求每季度进行一次巡视检查, 并应经常监视其负荷大小和发热情况。如遇大雨、洪水及地震等特殊情况及发生故障时, 应临时增加巡视次数</p>

序号	项目	说明
2	巡视检查项目	<p>(1) 电缆头及瓷套管有无破损和放电痕迹。对充填有电缆胶(油)的电缆头还应检查有无漏油溢胶情况</p> <p>(2) 对明敷电缆, 应检查电缆外皮有无锈蚀、损伤, 沿线挂钩或支架有无脱落, 线路上及线路附近有无堆放易燃、易爆及强腐蚀性物体</p> <p>(3) 对暗敷及埋地电缆, 应检查沿线的盖板和其他保护物是否完好, 有无挖掘痕迹, 沿线标桩是否完整无缺</p> <p>(4) 电缆沟内有无积水或渗水现象, 是否堆有杂物及易燃、易爆等危险物品</p> <p>(5) 线路上各种接地是否良好, 有无松脱、断线和锈蚀现象</p> <p>(6) 其他危及电缆安全运行的异常情况</p> <p>在巡线中发现的异常情况, 应记入专用记录簿内。重要情况应及时汇报上级, 请示处理</p>

## 三、车间配电线路的运行维护及线路运行中突然事故停电的处理

如表 12-10 所示。

表 12-10 车间配电线路的运行维护及线路运行中突然事故停电的处理

序号	项目	说明
1	运行的一般要求	<p>要搞好车间(室内)配电线路的运行维护工作, 必须全面了解车间(室内)配电线路的布线情况、结构型式、导线型号规格及配电箱、开关、保护装置的装置位置等, 并了解车间负荷的类型、特点、容量及车间变电所的有关情况</p> <p>对车间(室内)配电线路, 有专门的维修电工时, 一般要求每周进行一次巡视检查</p>
2	巡视检查项目	<p>(1) 导线的发热情况, 是否超过了正常允许发热温度, 特别要检查导线接头处有无过热现象</p> <p>(2) 线路的负荷情况, 可用钳形电流表来测量线路的负荷电流。特别是绝缘导线, 不允许长期过负荷, 否则可导致导线绝缘燃烧, 引起电气失火事故</p> <p>(3) 配电箱、分线盒、开关、熔断器、母线槽及接地装置等的运行是否正常, 有无接头松脱、放电等异常情况</p> <p>(4) 线路上及其周围有无影响线路安全运行的异常情况。严格禁止在绝缘导线和绝缘子上悬挂物件, 禁止在线路近旁堆放易燃、易爆等危险物品</p> <p>(5) 对敷设在潮湿、有腐蚀性物质场所的线路和设备, 要定期进行绝缘检查, 绝缘电阻一般不得低于 0.5MΩ</p> <p>在巡线中发现的异常情况, 应记入专用的记录簿内。重要情况应及时汇报上级, 请示处理</p>

续表

序号	项目	说明
3	线路中事故运行突然停电的处理	<p>电力线路(含架空线路、电缆线路及室内配电路)在运行中,如突然发生事故停电时,可按不同情况分别处理:</p> <p>(1)进线没有电压时的处理——进线没有电压,表明公用电网方面停电。这时总开关不必拉开,但出线开关宜全部拉开,以免突然来电时,用电设备同时启动,造成负荷过大和电压骤降,影响供配电系统的正常运行</p> <p>(2)双电源进线之一停电时的处理——应立即进行倒闸操作,将负荷特别是重要负荷转移给另一路电源进线供电</p> <p>(3)厂内架空线路首端开关突然跳闸的处理——开关突然跳闸一般是线路上发生短路故障。由于架空线路上的短路故障大多是暂时性的,例如雷击或风筝、树枝等造成的相间短路等,一般能很快自然消除,因此只要开关的断流容量允许,在开关跳闸后可予试合一次,以尽快恢复线路的供电。这在多数情况下能试合成功。如果试合失败,开关将再次跳闸。这时应对线路进行停电检查</p>
		<p>(4)放射式系统中故障线路的“分路合闸检查”法:以图所示配电系统为例,假设短路故障点发生在线路WL8上,由于保护装置失灵或选择配合不当,致使线路WL1的开关跳闸。分路合闸检查故障的步骤如下:①将出线WL2~WL6的开关全部断开,然后合上WL1的开关。由于母线WB1正常,因此WL1的开关合闸成功;②依次试合WL2~WL6的开关,结果除WL5的开关因其分支线路WL8存在故障又跳闸外,其余出线开关均合闸成功,恢复供电;③将线路WL7~WL9的开关全部断开,然后合上WL5的开关。由于母线WB2正常,因此WL5的开关合闸成功;④依次试合WL7~WL9的开关,结果除WL8的开关因线路上存在故障又跳闸外,其余出线开关均合闸成功,恢复供电。由此确定故障线路为WL8</p> <p>这种分路合闸检查故障线路的方法,可迅速找出故障线路,并迅速恢复其他完好线路的供电</p>

### 第三节 变配电所主要电气设备的检修试验

#### 一、电力变压器的检修

(1)电力变压器的检修周期和检修项目,如表12-11所示。

表12-11 电力变压器的检修周期和检修项目  
(据DL/T 573—1995)

序号	项目	说明
1		变压器的检修周期
1.1	变压器的大修周期	<p>(1)一般在投入运行后的5年内和以后每间隔10年大修一次</p> <p>(2)运行中的变压器,当发现异常状况或经试验判明有内部故障时,应提前进行大修;运行正常的变压器经综合分析良好,总工程师批准,可适当延长大修周期</p>
1.2	变压器的小修周期	<p>(1)一般每年一次</p> <p>(2)安装在2~3级污秽地区的变压器,其小修周期应在现场规程中予以规定</p>
1.3	变压器附属装置的检修周期	<p>(1)保护装置和测温装置的校验,应根据有关规程的规定进行</p> <p>(2)变压器油泵的解体检修,2级泵为1~2年进行一次,4级泵2~3年进行一次</p> <p>(3)变压器风扇的解体检修,1~2年进行一次</p> <p>(4)净油器中吸附剂的更换,应根据油质化验结果而定;吸湿器中吸附剂视其失效程度随时更换</p> <p>(5)自动装置和控制回路的检验,一般每年进行一次</p> <p>(6)水冷却器的检修,1~2年进行一次</p> <p>(7)套管的检修随本体进行;套管的更换应根据试验结果确定</p>
2		变压器的检修项目
2.1	变压器的大修项目	<p>(1)吊开钟罩检修器身,或吊出器身检修</p> <p>(2)绕组、引线及磁(电)屏蔽装置的检修</p> <p>(3)铁芯、铁芯紧固件(如穿芯螺杆、夹件、拉带、绑带等)、压钉、压板及接地片的检修</p> <p>(4)油箱及附件的检修,包括套管、吸湿器等</p> <p>(5)冷却器、油泵、水泵、风扇、阀门及管道等附属设备的检修</p> <p>(6)安全保护装置的检修</p> <p>(7)油保护装置的检修</p> <p>(8)测温装置的校验</p> <p>(9)操作控制箱的检修和试验</p> <p>(10)无励磁分接开关和有载分接开关的检修</p> <p>(11)全部密封胶垫的更换和组件试漏</p> <p>(12)必要时对器身绝缘进行干燥处理</p> <p>(13)变压器油的处理或换油</p> <p>(14)清扫油箱并进行喷涂油漆</p> <p>(15)大修的试验和试运行</p>

续表

序号	项目	说明
2.2	变压器的小修项目	(1) 处理已发现的缺陷 (2) 放出储油柜积污器中的污油 (3) 检修油位计, 调整油位 ● (4) 检修冷却装置, 包括油泵、风扇、油流继电器、差压继电器等, 必要时吹扫冷却器管束 (5) 检验安全保护装置, 包括储油柜、压力释放阀(安全气道)、瓦斯继电器、速动油压继电器等 (6) 检修油保护装置 (7) 检修测温装置, 包括压力式温度计、电阻温度计(绕组温度计)、棒形温度计等 (8) 检修调压装置、测量装置及控制箱, 并进行调试 (9) 检查接地系统 (10) 检修全部阀门和塞子, 检查全部密封状态, 处理渗漏油 (11) 清扫油箱和附件, 必要时进行补漆 (12) 清扫外绝缘和检查导电接头(包括套管将军帽) (13) 按有关规程规定进行测量和试验
2.3	对于老旧变压器的大修可改进项目	(1) 油箱机械强度的加强 (2) 器身内部接地装置改为引外接地 (3) 安全气道改为压力释放阀 (4) 高速油泵改为低速油泵 (5) 油位计的改进 (6) 储油柜加装密封装置 (7) 瓦斯继电器加装波纹管接头

(2) 电力变压器检修的准备工作及施工场地要求, 如表 12-12 所示。

表 12-12 电力变压器检修的准备工作及施工场地要求 (据 DL/T 573—1995)

序号	项目	说明
1	查阅档案了解变压器的运行状况	(1) 变压器运行中所发现的缺陷和异常(事故)情况, 出口短路次数和情况 (2) 变压器负荷、湿度及附属装置的运行情况 (3) 查阅变压器上次大修的总结报告和技术档案 (4) 查阅变压器试验记录(包括油的化验和色谱分析), 了解其绝缘状况 (5) 检查变压器漏油部位并作出标记 (6) 进行大修前的试验, 确定附加检修项目
2	编制大修工程技术、组织措施计划	计划的主要内容如下: (1) 人员组织及分工 (2) 施工项目及进度表 (3) 特殊项目的施工方案 (4) 确保施工安全、质量的技术措施和现场防火措施 (5) 主要施工工具、设备明细表, 主要材料明细表 (6) 绘制必要的施工图

续表

序号	项目	说明
3	变压器大修施工场地的要求	(1) 变压器的检修工作, 如条件许可, 应尽量在变电所的检修间内进行 (2) 施工现场无检修间时, 亦可在现场进行变压器的检修工作, 但需作好防雨、防潮、防尘和消防措施, 同时应注意与带电设备保持安全距离, 准备充足的施工电源及照明, 安排好储油容器、大型机具、拆卸附件的放置地点和消防器材的合理布置等

(3) 电力变压器的检修工艺及质量标准, 如表 12-13 所示。

表 12-13 电力变压器的检修工艺及质量标准 (据 DL/T 573—1995)

序号	检修工艺	质量标准
1	变压器绕组的检修	
1.1	检查相间隔板(宜解开一相)有无破损、变色、变形、放电痕迹; 如发现异常, 应打开其他两相围屏进行检查	(1) 围屏清洁无破损, 绑扎紧固完整, 分接引线出口处封闭良好, 围屏无变形、发热和树枝状放电痕迹 (2) 围屏的起头应放在绕组的垫块上, 接头处一定要错开搭接, 并防止油道堵塞 (3) 检查支撑围屏的长垫块应无爬电痕迹。若长垫块在中部高场强区时, 应尽可能割短相间距离最小处的辐向垫块 2~4 个 (4) 相间隔板完整并固定牢固
1.2	检查绕组表面是否清洁, 匝绝缘有无破损	(1) 绕组应清洁, 表面无油垢, 无变形 (2) 整个绕组无倾斜、位移, 导线辐向无明显弹出现象
1.3	检查绕组各部和垫块有无位移和松动情况	各部垫块应排列整齐, 辐向间距相等, 辐向成一垂直线; 支撑牢固, 有适当压紧力; 垫块外露出绕组的长度至少应超过绕组导线的厚度
1.4	检查绕组绝缘有无破损, 油道有无被绝缘、油垢或杂物(如硅胶粉末)堵塞现象; 必要时可用软毛刷(或用绸布、泡沫塑料)轻轻擦拭; 绕组线匝表面如有破损裸露导线处, 应进行包扎处理	(1) 油道保持畅通, 无油垢及其他杂物积存 (2) 外观整齐清洁, 绝缘及导线无破损 (3) 特别注意导线的统包绝缘, 不可将油道堵塞, 以防局部发热、老化
1.5	用手指按压绕组表面, 检查其绝缘状态	绝缘状态可分为: (1) 一级绝缘: 绝缘有弹性, 用手指按压后无残留变形, 属良好状态 (2) 二级绝缘: 绝缘仍有弹性, 用手指按压时无裂纹、脆化, 属合格状态 (3) 三级绝缘: 绝缘脆化, 呈深褐色, 用手指按压时有少量裂纹和变形, 属勉强可用状态 (4) 四级绝缘: 绝缘已严重脆化, 呈黑褐色, 用手指按压时即酥脆、变形、脱落, 甚至可见裸露导线, 属不合格状态

续表

续表

序号	检修工艺	质量标准
2	引线及绝缘支架的检修	
2.1	检查引线及引线锥的绝缘包扎有无变形、变脆、破损, 引线有无断股, 引线与引线接头处焊接情况是否良好, 有无过热现象	(1) 引线绝缘包扎应完好, 无变形、变脆, 引线无断股卡伤情况 (2) 对穿绳引线, 为防止引线与套管的导管接触处产生分流烧伤, 应将引线用白布带包绕一层。220kV 引线接头焊接处去毛刺, 表面光洁, 包金属屏蔽层后再加包绝缘 (3) 早期采用锡焊的引线接头应尽可能改为磷铜或银焊接 (4) 接头表面应平整、清洁、光滑无毛刺, 并不得有其他杂质 (5) 引线长短适宜, 不应有扭曲现象 (6) 引线绝缘的厚度, 应符合 DL/T 573—1995 附录 B 的规定
2.2	检查绕组至分接开关的引线, 其长度、绝缘包扎的厚度、引线接头的焊接(或连接)、引线对各部位的绝缘距离、引线的固定情况是否符合要求	质量标准同序号 2.1 中 (1); 分接引线对各部绝缘距离应符合 DL/T 573—1995 附录 B 的规定
2.3	检查绝缘支架有无松动和损坏、位移, 检查引线在绝缘支架内的固定情况	(1) 绝缘支架应无破损、裂纹、弯曲变形及烧伤现象 (2) 绝缘支架与铁夹件的固定可用钢螺栓, 绝缘件与绝缘支架的固定应用绝缘螺栓; 两种固定螺栓均需有防松措施 (3) 绝缘夹件固定引线处应垫以附加绝缘, 以防卡伤引线绝缘 (4) 引线固定用绝缘夹件的间距, 应考虑在电动力的作用下, 不致发生引线短路
2.4	检查引线与各部位之间的绝缘距离	(1) 引线与各部位之间的绝缘距离, 根据引线包扎绝缘的厚度不同而异, 但应不小于 DL/T 573—1995 附录 B 的规定 (2) 对大电流引线(铜排或铝排)与箱壁间距, 一般应大于 100mm, 以防漏磁发热。铜(铝)排表面应包扎一层绝缘, 以防异物形成短路或接地
3	变压器铁芯的检修	
3.1	检查铁芯是否平整, 有无短路片、放电烧迹, 绝缘漆膜脱落, 上下部的底部落有杂物, 可用干净的白布或塑料片擦净, 或用木锤或铜锤敲打平整	铁芯应平整, 绝缘漆膜无脱落, 叠片紧密, 边侧的硅钢片不应翘起或成波浪状, 铁芯各表面应无油垢和杂质, 片间应无短路、搭接现象, 接缝间隙符合要求

序号	检修工艺	质量标准
3.2	检查铁芯上下夹件、方铁、绕组压板的紧固程度和绝缘状况, 绝缘压板有无爬电烧伤和放电痕迹, 为便于监测运行中铁芯的绝缘状况, 可在大修时在变压器箱盖上加装一小套管, 将铁芯接地线(片)引出接地	(1) 铁芯与上下夹件、方铁、压板、底脚板间均应保持良好绝缘 (2) 铜压板与铁芯间要有明显的均匀间隙; 绝缘压板应保持完整、无破损和裂纹, 并有适当紧固度 (3) 铜压板不得构成闭合回路, 同时应有一点接地 (4) 打开上夹件与铁芯间的连接片和铜压板与上夹件的连接片后, 测量铁芯与上下夹件间和铜压板与铁芯间的绝缘电阻, 与历次试验相比较应无明显变化
3.3	检查压钉、绝缘垫圈的接触情况, 用专用扳手逐个紧固上下夹件、方铁、压钉等各部位紧固螺栓	螺栓紧固, 夹件上的正、反压钉和锁紧螺栓无松动, 与绝缘垫圈接触良好, 无放电烧伤痕迹, 反压钉与上夹件有足够距离
3.4	用专用扳手紧固上下铁芯的穿芯螺栓, 检查与测量绝缘电阻	穿芯螺栓紧固, 其绝缘电阻与历次试验比较无明显变化
3.5	检查铁芯间及铁芯与夹件间的油路	油路应畅通, 油路垫块无脱落和堵塞, 且应排列整齐
3.6	检查铁芯接地片的连接及绝缘状况	铁芯只允许一点接地, 接地片用厚度 0.5mm、宽度不小于 30mm 的紫铜片, 插入 3~4 级铁芯间, 对大型变压器插入深度不小于 80mm, 其外露部分应包扎绝缘, 防止短路铁芯
3.7	检查无孔结构铁芯的拉板和钢带	应紧固并有足够的机械强度, 绝缘良好不构成环路, 不与铁芯相接触
3.8	检查铁芯电场屏蔽绝缘及接地情况	绝缘良好, 接地可靠
4	变压器油箱的检修	
4.1	对油箱上焊点、焊缝中存在的砂眼等渗漏点进行补焊	消除渗漏点
4.2	清扫油箱内部, 清除积存在箱底的油污杂质	油箱内部洁净, 无锈蚀, 漆膜完整
4.3	清扫强油循环管路, 检查固定于下夹件上的导向绝缘管, 连接是否牢固, 表面有无放电痕迹, 打开检查孔, 清扫联箱和集油盒内杂质	强油循环管路内部清洁, 导向管连接牢固, 绝缘管表面光滑, 漆膜完整, 无破损, 无放电痕迹
4.4	检查钟罩或油箱的法兰结合面是否平整; 发现沟痕, 应补焊磨平	法兰结合面清洁平整

续表

序号	检修工艺	质量标准
4.5	检查器身定位钉	防止定位钉造成铁芯多点接地; 定位钉无影响可不退出
4.6	检查磁(电)屏蔽装置, 有无松动放电现象, 固定是否牢固	磁(电)屏蔽装置固定牢固, 无放电痕迹, 可靠接地
4.7	检查钟罩或油箱的密封胶垫, 接头是否良好, 接头处是否放在油箱法兰的直线部位	胶垫接头粘合牢固, 并放置在油箱法兰直线部位的两螺栓的中间, 搭接面平放, 搭接面长度不少于胶垫宽度的2~3倍, 胶垫压缩量为其厚度的1/3左右(胶棒压缩量为1/2左右)
4.8	检查内部油漆情况, 对局部脱漆和锈蚀部位应处理, 重新补漆	内部漆膜完整, 附着牢固

## 二、电力变压器及绝缘油的试验

(1) 电力变压器的试验项目与要求。如表 12-14 所示。

表 12-14 电力变压器的试验项目与要求  
(据 GB 50150—1991)

序号	项目	说明
1		变压器的试验项目
1.1	变压器的试验项目内容	(1) 测量绕组连同套管的直流电阻 (2) 检查所有分接头的变压比 (3) 检查变压器的三相联结组别和单相变压器引出线的极性 (4) 测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数 (5) 测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (6) 测量绕组连同套管的直流泄漏电流 (7) 绕组连同套管的交流耐压试验 (8) 绕组连同套管的局部放电试验 (9) 测量与铁芯绝缘的各紧固件及铁芯接地线引出套管对外壳的绝缘电阻 (10) 非纯瓷套管的试验 (11) 绝缘油试验 (12) 有载调压切换装置的检查 and 试验 (13) 额定电压下的冲击合闸试验 (14) 检查相位 (15) 测量噪声
1.2	各类变压器的试验项目	(1) 1600kVA 以上油浸式电力变压器的试验, 应按序号 1.1 的全部项目规定进行; 1600kVA 及以下油浸式电力变压器的试验, 可按序号 1.1 中的 (1)、(2)、(3)、(4)、(7)、(9)、(10)、(11)、(12)、(14) 的规定进行 (2) 干式变压器的试验, 可按序号 1.1 中的 (1)、(2)、(3)、(4)、(7)、(9)、(12)、(13)、(14) 的规定进行

续表

序号	项目	说明																												
1.2	各类变压器的试验项目	(3) 变流、整流变压器的试验, 可按序号 1.1 的 (1)、(2)、(3)、(4)、(7)、(9)、(11)、(12)、(13)、(14) 的规定进行 (4) 电炉变压器的试验, 可按序号 1.1 的 (1)、(2)、(3)、(4)、(7)、(9)、(10)、(11)、(12)、(13)、(14) 的规定进行 备注: 电压等级在 35kV 及以上的变压器, 在交接时, 应提交变压器及非纯瓷套管的出厂试验记录																												
2		变压器各项试验的规定																												
2.1	绕组套管的直流电阻的要求	(1) 测量应在各分接头的所有位置上进行 (2) 1600kVA 及以下三相变压器, 各相测得值的相互差值应小于平均值的 4%, 线间测得值的相互差值应小于平均值的 2%; 1600kVA 以上三相变压器, 各相测得值的相互差值应小于平均值的 2%, 线间测得值的相互差值应小于平均值的 1% (3) 变压器的直流电阻, 与同温下产品出厂实测数值比较, 相应变化不应大于 2% (4) 由于变压器结构等原因, 差值超过以上 (2) 款时, 可只按以上 (3) 款进行比较																												
2.2	检查联结或线的变比及引出极的要求	(1) 检查所有分接头的变压比, 与制造厂铭牌数据相比应无明显差别, 且应符合变压比的规律; 绕组电压等级在 220kV 及以上的电力变压器, 其变压比的允许误差在额定分接头位置时为 $\pm 0.5\%$ (2) 检查变压器的三相联结组别和单相变压器引出线的极性, 必须与设计要求和铭牌上的标记和外壳上的符号相符																												
2.3	测量绕组套管的绝缘电阻、吸收或极化系数的要求	(1) 绝缘电阻值不应低于产品出厂试验值的 70% (2) 当测量温度与产品出厂试验时的温度不符合时, 可按附表 1 换算到同一温度时的数值进行比较  附表 1 油浸式电力变压器绝缘电阻的温度换算系数值 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>温度差 K</th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>1.2</td> <td>1.5</td> <td>1.8</td> <td>2.3</td> <td>2.8</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <th>温度差 K</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> <th>50</th> <th>55</th> <th>60</th> </tr> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>4.1</td> <td>5.1</td> <td>6.2</td> <td>7.5</td> <td>9.2</td> <td>11.2</td> </tr> </tbody> </table> (3) 备注: 表中温度差 K 为实测温度减去 20℃ 的绝对值 当测量绝缘电阻的温度差不是附表 1 所列数值时, 其换算系数 A 可用线性插入法确定, 也可按下式计算: $A = 1.5^{K/10}$ 校正到 20℃ 时的绝缘电阻值可用下列公式计算: 1) 当实测温度为 20℃ 以下时 $R_{20} = R_t / A$ 2) 当实测温度为 20℃ 以上时 $R_{20} = A R_t$ 式中 $R_{20}$ 为校正到 20℃ 时的绝缘电阻值 (MΩ); $R_t$ 为在测量温度 (t℃) 下的绝缘电阻值 (MΩ)	温度差 K	5	10	15	20	25	30	换算系数 A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	温度差 K	35	40	45	50	55	60	换算系数 A	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2
温度差 K	5	10	15	20	25	30																								
换算系数 A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4																								
温度差 K	35	40	45	50	55	60																								
换算系数 A	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2																								



续表

序号	项目	说明																								
2.3	测量绕组连同套管绝缘电阻、吸收比或极化指数的要求	<p>(4) 变压器电压等级为 35kV 及以上, 且容量在 4000kVA 及以上时, 应测量吸收比。吸收比与产品出厂值相比应无明显差别, 在常温下不应小于 1.3</p> <p>(5) 变压器电压等级为 220kV 及以上且容量为 120MVA 及以上时, 宜测量极化指数。测得值与产品出厂值相比, 应无明显差别</p>																								
2.4	测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 的要求	<p>(1) 当变压器电压等级为 35kV 及以上且容量在 8000kVA 及以上时, 应测量介质损耗角正切值 <math>\tan\delta</math></p> <p>(2) 被测绕组的 <math>\tan\delta</math> 值不应大于产品出厂试验值的 130%</p> <p>(3) 当测量时的温度与产品出厂试验温度不符合时, 可按附表 2 换算到同一温度时的数值进行比较</p> <p><b>附表 2 介质损耗角正切值 <math>\tan\delta</math> (%)</b></p> <p>温度换算系数</p> <table border="1"> <tr> <td>温度差 K</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>1.15</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.7</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>温度差 K</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>2.2</td> <td>2.5</td> <td>2.9</td> <td>3.3</td> <td>3.7</td> </tr> </table> <p>备注: 表中 K 为实测温度减去 20°C 的绝对值。</p> <p>当测量时的温度差不是附表 2 所列数值时, 其换算系数 A 可用线性插入法确定, 也可按下式计算:</p> $A = 1.3^{K/10}$ <p>校正到 20°C 时的介质损耗角正切值可用下列公式计算:</p> <p>1) 当测量温度在 20°C 以上时 <math>\tan\delta_{20} = \tan\delta_i / A</math></p> <p>2) 当测量温度在 20°C 以下时 <math>\tan\delta_{20} = A \tan\delta_i</math></p> <p>式中 <math>\tan\delta_{20}</math> 为校正到 20°C 时的介质损耗角正切值; <math>\tan\delta_i</math> 为在测量温度 (<math>t</math>°C) 下的介质损耗角正切值</p>	温度差 K	5	10	15	20	25	换算系数 A	1.15	1.3	1.5	1.7	1.9	温度差 K	30	35	40	45	50	换算系数 A	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7
温度差 K	5	10	15	20	25																					
换算系数 A	1.15	1.3	1.5	1.7	1.9																					
温度差 K	30	35	40	45	50																					
换算系数 A	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7																					
2.5	测量绕组连同套管的直流泄漏电流的要求	<p>(1) 当变压器电压等级为 35kV 及以上且容量在 10000kVA 及以上时, 应测量直流泄漏电流</p> <p>(2) 试验电压标准应符合附表 3 的规定。当施加试验电压时间达 1min 时, 在高压端读取泄漏电流。泄漏电流值不宜超过附表 4 的规定</p> <p><b>附表 3 油浸式电力变压器直流泄漏电流试验电压标准</b></p> <table border="1"> <tr> <td>绕组额定电压 (kV)</td> <td>6~10</td> <td>20~35</td> <td>63~330</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>直流试验电压 (kV)</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> </table> <p>(3) 备注: ①绕组额定电压为 13.8kV 及 15.75kV 时, 按 10kV 级标准; 18kV 时, 按 20kV 级标准; ②分级绝缘变压器仍按被试绕组电压级的标准</p>	绕组额定电压 (kV)	6~10	20~35	63~330	500	直流试验电压 (kV)	10	20	40	60														
绕组额定电压 (kV)	6~10	20~35	63~330	500																						
直流试验电压 (kV)	10	20	40	60																						

续表

序号	项目	说明																																																																																
2.5	测量绕组连同套管的直流泄漏电流的要求	<p><b>附表 4 油浸电力变压器绕组直流泄漏电流参考值</b></p> <table border="1"> <tr> <th rowspan="2">额定电压 (kV)</th> <th rowspan="2">试验电压峰值 (kV)</th> <th colspan="4">在下列温度时的绕组泄漏电流值 (<math>\mu A</math>)</th> </tr> <tr> <th>10°C</th> <th>20°C</th> <th>30°C</th> <th>40°C</th> </tr> <tr> <td>2~3</td> <td>5</td> <td>11</td> <td>17</td> <td>25</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>6~15</td> <td>10</td> <td>22</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>77</td> </tr> <tr> <td>20~35</td> <td>20</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>74</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>63~330</td> <td>40</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>74</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>60</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>67</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th rowspan="2">额定电压 (kV)</th> <th rowspan="2">试验电压峰值 (kV)</th> <th colspan="4">在下列温度时的绕组泄漏电流值 (<math>\mu A</math>)</th> </tr> <tr> <th>50°C</th> <th>60°C</th> <th>70°C</th> <th>80°C</th> </tr> <tr> <td>2~3</td> <td>55</td> <td>83</td> <td>125</td> <td>178</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6~15</td> <td>112</td> <td>166</td> <td>250</td> <td>356</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20~35</td> <td>167</td> <td>250</td> <td>400</td> <td>570</td> <td></td> </tr> <tr> <td>63~330</td> <td>167</td> <td>250</td> <td>400</td> <td>570</td> <td></td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>235</td> <td>330</td> <td></td> </tr> </table>	额定电压 (kV)	试验电压峰值 (kV)	在下列温度时的绕组泄漏电流值 ( $\mu A$ )				10°C	20°C	30°C	40°C	2~3	5	11	17	25	39	6~15	10	22	33	50	77	20~35	20	33	50	74	111	63~330	40	33	50	74	111	500	60	20	30	45	67	额定电压 (kV)	试验电压峰值 (kV)	在下列温度时的绕组泄漏电流值 ( $\mu A$ )				50°C	60°C	70°C	80°C	2~3	55	83	125	178		6~15	112	166	250	356		20~35	167	250	400	570		63~330	167	250	400	570		500	100	150	235	330	
额定电压 (kV)	试验电压峰值 (kV)	在下列温度时的绕组泄漏电流值 ( $\mu A$ )																																																																																
		10°C	20°C	30°C	40°C																																																																													
2~3	5	11	17	25	39																																																																													
6~15	10	22	33	50	77																																																																													
20~35	20	33	50	74	111																																																																													
63~330	40	33	50	74	111																																																																													
500	60	20	30	45	67																																																																													
额定电压 (kV)	试验电压峰值 (kV)	在下列温度时的绕组泄漏电流值 ( $\mu A$ )																																																																																
		50°C	60°C	70°C	80°C																																																																													
2~3	55	83	125	178																																																																														
6~15	112	166	250	356																																																																														
20~35	167	250	400	570																																																																														
63~330	167	250	400	570																																																																														
500	100	150	235	330																																																																														
2.6	绕组连同套管的交流耐压试验要求	<p>(1) 容量为 8000kVA 以下、绕组额定电压在 110kV 以下的变压器, 应按附表 5 试验电压标准进行交流耐压试验</p> <p><b>附表 5 电力变压器的工频耐压试验电压标准</b></p> <table border="1"> <tr> <th>额定电压 (kV)</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">油浸变压器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>30</td> <td>38</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">干式变压器</td> <td>出厂</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>28</td> <td>38</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>8.5</td> <td>17</td> <td>24</td> <td>32</td> <td>43</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <th>额定电压 (kV)</th> <th>35</th> <th>63</th> <th>110</th> <th>220</th> <th>330</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">油浸变压器</td> <td>出厂</td> <td>85</td> <td>140</td> <td>200</td> <td>395</td> <td>510</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>72</td> <td>120</td> <td>170</td> <td>335</td> <td>433</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">干式变压器</td> <td>出厂</td> <td>70</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>60</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> </table> <p>备注: 附表 5 试验电压标准为 1min 工频耐受电压有效值 (kV)</p> <p>(2) 容量为 8000kVA 及以上、绕组额定电压在 110kV 以下的变压器, 在有试验设备时, 可按附表 5 试验电压标准进行交流耐压试验</p>	额定电压 (kV)	3	6	10	15	20	油浸变压器	出厂	18	25	35	45	55	交接	15	21	30	38	47	干式变压器	出厂	10	20	28	38	50	交接	8.5	17	24	32	43	额定电压 (kV)	35	63	110	220	330	油浸变压器	出厂	85	140	200	395	510	交接	72	120	170	335	433	干式变压器	出厂	70	--	--	--	--	交接	60	--	--	--	--																
额定电压 (kV)	3	6	10	15	20																																																																													
油浸变压器	出厂	18	25	35	45	55																																																																												
	交接	15	21	30	38	47																																																																												
干式变压器	出厂	10	20	28	38	50																																																																												
	交接	8.5	17	24	32	43																																																																												
额定电压 (kV)	35	63	110	220	330																																																																													
油浸变压器	出厂	85	140	200	395	510																																																																												
	交接	72	120	170	335	433																																																																												
干式变压器	出厂	70	--	--	--	--																																																																												
	交接	60	--	--	--	--																																																																												
2.7	绕组连同套管的局部放电试验要求	<p>电压等级为 220kV 及以上的电力变压器当有试验设备时, 宜进行局部放电试验, 按现行国家标准《电力变压器》中有关规定进行, 此略</p>																																																																																
2.8	测量与铁芯绝缘的各紧固件及铁芯引出套管的对外壳的绝缘电阻要求	<p>(1) 进行器身检查的变压器, 应测量可接触到的穿芯螺栓、轭铁夹件及绑扎钢带对铁轭、铁芯、油箱及绕组压环的绝缘电阻</p> <p>(2) 采用 2500V 兆欧表测量, 持续时间为 1min, 应无闪络及击穿现象</p> <p>(3) 当轭铁梁及穿芯螺栓一端与铁芯连接时, 应将连接片断开后进行试验</p> <p>(4) 铁芯必须为一点接地; 对变压器上有专用的铁芯接地线引出套管时, 应在注油前测量其对外壳的绝缘电阻</p>																																																																																

续表

序号	项目	说明
2.9	绝缘油试验的要求	<p>(1) 绝缘油试验类别应符合表 12-16 的规定; 试验项目及标准应符合表 12-15 的规定</p> <p>(2) 油中溶解气体的色谱分析, 应符合下述规定: 电压等级在 63kV 及以上的变压器, 应在升压或冲击合闸前及额定电压下运行 24h 后, 各进行一次变压器器身内绝缘油的油中溶解气体的色谱分析。两次测得的氢、乙炔、总烃含量, 应无明显差别。试验应按现行国家标准《变压器油中溶解气体分析和判断导则》进行</p> <p>(3) 油中微量水的测量, 应符合下述规定: 变压器油中的微量水含量, 对电压等级为 110kV 的, 不应大于 20ppm; 220~330kV 时, 不应大于 15ppm; 500kV 的, 不应大于 10ppm (注: 上述 ppm 值均为体积比)</p> <p>(4) 油中含气量的测量, 应符合下述规定: 电压等级为 550kV 的变压器, 应在绝缘试验或第一次升压前取样测量油中的含气量, 其值不应大于 1%</p>
2.10	有载调压切换装置的检查和试验要求	<p>(1) 在切换开关取出检查时, 测量限流电阻的电阻值, 测得值与产品出厂数值相比, 应无明显差别</p> <p>(2) 在切换开关取出检查时, 检查切换开关切换触头的全部动作顺序, 应符合产品技术条件的规定</p> <p>(3) 检查切换装置在全部切换过程中, 应无开路现象; 电气和机械限位动作正确且符合产品要求; 在操作电源电压为额定电压的 85% 及以上时, 其全过程的切换中应可靠动作</p> <p>(4) 在变压器无电压下操作 10 个循环, 在空载下按产品技术条件的规定检查切换装置的调压情况, 其三相切换同步性及电压变化范围和规律, 与产品出厂数据相比, 应无明显差别</p> <p>(5) 绝缘油注入切换开关油箱前, 其电气强度应符合表 12-15 的规定</p>
2.11	变压器冲击合闸试验的要求	在额定电压下对变压器的冲击合闸试验, 应进行 5 次, 每次间隔时间宜为 5min, 无异常现象; 冲击合闸宜在变压器高压侧进行; 对中性点接地的电力系统, 试验时变压器中性点必须接地; 发电机变压器组中间连接无操作断开点的变压器, 可不进行冲击合闸试验
2.12	相位检查	检查变压器的相位, 必须与电网的相位一致
2.13	噪声测量	电压等级为 500kV 的变压器的噪声, 应在额定电压及额定频率下测量, 噪声值不应大于 80dB(A), 其测量方法和要求应按现行国家标准《变压器和电抗器的声级测定》的规定进行

表 12-15 绝缘油的试验项目与要求  
(据 GB 50150-1991)

序号	项目	标准	说明								
1	外观	透明, 无沉淀及悬浮物	5℃时的透明度								
2	苛性钠抽出	不应大于 2 级	按 SY2651-1977								
3	安定性	氧化后酸值 (KOH)/g 油	不应大于 0.2mg 按 YS-27-1-1984								
		氧化后沉淀物	不应大于 0.05%								
4	凝点 (°C)	<p>(1) DB-10, 不应高于 -10°C</p> <p>(2) DB-25, 不应高于 -25°C</p> <p>(3) DB-45, 不应高于 -45°C</p>	<p>(1) 按 YS-25-1-1984</p> <p>(2) 户外断路器、油浸电容式套管、互感器用油:</p> <p>1) 气温不低于 -5°C 的地区: 凝点不应高于 -10°C;</p> <p>2) 气温不低于 -20°C 的地区: 凝点不应高于 -25°C;</p> <p>3) 气温低于 -20°C 的地区: 凝点不应高于 -45°C;</p> <p>(3) 变压器用油:</p> <p>1) 气温不低于 -10°C 的地区: 凝点不应高于 -10°C;</p> <p>2) 气温低于 -10°C 的地区: 凝点不应高于 -25°C 或 -45°C</p>								
5	界面张力	不应小于 35mN/m	<p>(1) 按 GB6541-1987 或 YS 6-1-1984</p> <p>(2) 测试时温度为 25°C</p>								
6	酸值	不应大于 0.03mg (KOH)/g 油	按 GB7599-1987								
7	水溶性酸 (pH 值)	不应小于 5.4	按 GB7598-1987								
8	机械杂质	无	按 GB511-1977								
9	闪点	<table border="1"> <tr> <td>不低于</td> <td>DB-10</td> <td>DB-25</td> <td>DB-45</td> </tr> <tr> <td>(°C)</td> <td>140</td> <td>140</td> <td>135</td> </tr> </table>	不低于	DB-10	DB-25	DB-45	(°C)	140	140	135	<p>(1) 按 GB261-1977</p> <p>(2) 闭口法</p>
不低于	DB-10	DB-25	DB-45								
(°C)	140	140	135								
10	电气强度试验	<p>(1) 使用于 15kV 及以下者: 不应低于 25kV</p> <p>(2) 使用于 20~35kV 者: 不应低于 35kV</p> <p>(3) 使用于 60~220kV 者: 不应低于 40kV</p> <p>(4) 使用于 330kV 者: 不应低于 50kV</p> <p>(5) 使用于 500kV 者: 不应低于 60kV</p>	<p>(1) 按 GB507-1986</p> <p>(2) 油样应取自被试设备</p> <p>(3) 试验油杯采用平板电极</p> <p>(4) 对注入设备的新油均不应低于本标准</p>								
11	介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (%)	90°C 时不应大于 0.5	按 YS-30-1-1984								

\* 序号 11 为新油标准, 注入电气设备后的  $\tan\delta$  (%) 标准为 90°C 时, 不应大于 0.7%。

(2) 绝缘油的试验项目与要求。如表 12-15 所示。

(3)新油验收及充油电气设备的绝缘油试验分类。

如表 12-16 所示。

表 12-16 电气设备绝缘油试验分类  
(据 GB50150-1991)

序号	试验类别	适用范围
1	电气强度试验	(1) 6kV 以上电气设备内的绝缘油或新注入上述设备前后的绝缘油 (2) 对下列情况之一者, 可不进行电气强度试验: 1) 35kV 以下互感器, 其主绝缘试验已合格的 2) 15kV 以下油断路器, 其注入新油的电气强度已在 35kV 及以上的 3) 按本标准有关规定不需取油的
2	简化分析	(1) 准备注入变压器、电抗器、互感器、套管的新油, 应按表 12-15 中序号 5~11 的规定进行 (2) 准备注入油断路器的新油, 应按表 12-15 中序号 7~10 的规定进行
3	全分析	对油的性能有怀疑时, 应按表 12-15 中的全部项目进行

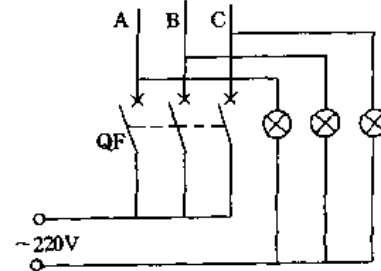
### 三、配电装置的检修试验

(1) 配电装置的检修。如表 12-17 所示。

表 12-17 配电装置的检修

序号	项目	说明
1	配电设备的大修(内部检修)	(1) 高压断路器及其操动机构, 每 3 年至少 1 次; 低压断路器及其操动机构, 每 2 年至少 1 次。高低压断路器在断开 4 次短路故障后要进行临时性检修, 但根据运行情况并经有关领导批准, 可适当增减此项断开故障的次数 (2) 高压隔离开关及其操动机构, 每 3 年至少 1 次 (3) 配电设备的其他电器的大修期限, 按预防性试验和检查的结果而定
2	配电设备的小修	小修以检查开关操动机构和电器绝缘状况为主, 一般是每年至少 1 次

续表

序号	项目	说明
3	SN10-10 型高压少油断路器的检修(示例)	
3.1	油箱的检修	重点是油箱的渗漏油问题的解决。如果是密封垫圈老化裂纹或损坏时, 应予更换, 一般可用耐油橡胶配制。如果是油箱有砂眼时, 应予补焊。如果外壳脱漆时, 应按原色补漆
3.2	灭弧室的检修	应采用干净布片擦去残留在灭弧室表面的烟灰和油垢。灭弧室烧伤严重时, 应拆下进行清洗和修理。检修完毕后, 应装配复原, 注意对好各条灭弧沟道和喷口方向
3.3	触头的检修	动触头(导电杆)端部的黄铜触头有轻微烧伤时, 可用细锉刀锉平。为保持端面圆滑, 可用零号砂布打磨。动触头端部的黄铜触头严重烧伤时, 可用车床车光或更换触头
3.4	断路器的整体调整	(1) 调整断路器的转轴或拐臂从合闸到分闸的回转角度, 恢复到原来设计的要求  (2) 调整动触头的行程, 也使之达到原来设计的要求 (3) 在调整动触头行程时, 应同时进行三相触头合闸同期性的调整。检查断路器三相触头合闸同期性的电路如图所示。检查时用手缓慢地操动合闸, 观察灯亮是否同时。如三灯同时亮, 说明三相触头是同时接通的; 否则应调整触头行程

(2) 配电装置的试验。如表 12-18 所示。

表 12-18 配电装置的试验

序号	项目	说明																																																																																																																																																																																																								
1	高压设备的试验要求(据 GB50150-1991)																																																																																																																																																																																																									
1.1	高压设备绝缘的工频耐压试验电压标准	附表 1 高压设备工频耐压试验电压标准																																																																																																																																																																																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>额定电压 (kV)</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>35</th> <th>66</th> <th>110</th> <th>220</th> <th>330</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">断路器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>330</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">电流互感器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>200</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">电压互感器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>85</td> <td>140</td> <td>200</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>30</td> <td>38</td> <td>47</td> <td>72</td> <td>120</td> <td>170</td> <td>335</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">并联电抗器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">干式电抗器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">隔离开关</td> <td>出厂</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>42</td> <td>57</td> <td>68</td> <td>100</td> <td>165</td> <td>265</td> <td>450</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>42</td> <td>57</td> <td>68</td> <td>100</td> <td>165</td> <td>265</td> <td>450</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">支柱绝缘子</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">穿墙套管</td> <td>纯瓷和纯瓷充油绝缘</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">固体有机绝缘</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> </tbody> </table>	额定电压 (kV)	3	6	10	15	20	35	66	110	220	330	断路器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	330	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356	电流互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	200	395	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356	电压互感器	出厂	18	25	35	45	55	85	140	200	395	交接	15	21	30	38	47	72	120	170	335	并联电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	395	干式电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	395	隔离开关	出厂	25	32	42	57	68	100	165	265	450	交接	25	32	42	57	68	100	165	265	450	支柱绝缘子	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360	穿墙套管	纯瓷和纯瓷充油绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360	固体有机绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356
		额定电压 (kV)	3	6	10	15	20	35	66	110	220	330																																																																																																																																																																																														
		断路器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	330																																																																																																																																																																																														
			交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																														
		电流互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	200	395																																																																																																																																																																																														
			交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																														
		电压互感器	出厂	18	25	35	45	55	85	140	200	395																																																																																																																																																																																														
			交接	15	21	30	38	47	72	120	170	335																																																																																																																																																																																														
		并联电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																														
			交接	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																														
		干式电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																														
交接	18		23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																																
隔离开关	出厂	25	32	42	57	68	100	165	265	450																																																																																																																																																																																																
	交接	25	32	42	57	68	100	165	265	450																																																																																																																																																																																																
支柱绝缘子	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																																
	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																																
穿墙套管	纯瓷和纯瓷充油绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185																																																																																																																																																																																																
	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																																
固体有机绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																																
	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																																

续表

序号	项 目	说 明
1.2	油断路器的试验项目	(1) 测量绝缘拉杆的绝缘电阻 (2) 测量 35kV 多油断路器的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (3) 测量 35kV 以上少油断路器的直流泄漏电流 (4) 交流耐压试验 (5) 测量每相导电回路的电阻 (6) 测量油断路器的分、合闸时间 (7) 测量油断路器的分、合闸速度 (8) 测量油断路器主触头分、合闸的同期性 (9) 测量油断路器合闸电阻的投入时间及电阻值 (10) 测量油断路器分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻及直流电阻 (11) 油断路器操动机构的试验 (12) 断路器电容器试验 (13) 绝缘油试验 (14) 压力表及压力动作阀的校验
1.3	真空断路器的试验项目	(1) 测量绝缘拉杆的绝缘电阻 (2) 测量每相导电回路的电阻 (3) 交流耐压试验 (4) 测量断路器的分、合闸时间 (5) 测量断路器主触头分、合闸的同期性 (6) 测量断路器合闸时触头的弹跳时间 (7) 断路器电容器试验 (8) 测量分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻和直流电阻 (9) 断路器操动机构的试验
1.4	六氟化硫断路器的试验项目	(1) 测量绝缘拉杆的绝缘电阻 (2) 测量每相导电回路的电阻 (3) 耐压试验 (4) 断路器电容器的试验 (5) 测量断路器的分、合闸时间 (6) 测量断路器的分、合闸速度 (7) 测量断路器主、辅触头分、合闸的同期性及配合时间 (8) 测量断路器合闸电阻的投入时间及电阻值 (9) 测量断路器分、合闸线圈绝缘电阻及直流电阻 (10) 断路器操动机构的试验 (11) 套管式电流互感器的试验 (12) 测量断路器内 SF <sub>6</sub> 气体的微量水含量 (13) 密封性试验 (14) 气体密度继电器、压力表和压力动作阀的校验
1.5	六氟化硫封闭式组合电器的试验项目	(1) 测量主回路的导电电阻 (2) 主回路的耐压试验 (3) 密封性试验 (4) 测量六氟化硫气体的微量水含量 (5) 封闭式组合电器内各元件的试验 (6) 组合电器的操动试验 (7) 气体密度继电器、压力表和压力动作阀的校验
1.6	隔离开关、负荷开关和高压熔断器的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 测量高压限流熔断器熔丝的直流电阻 (3) 测量负荷开关导电回路的电阻 (4) 交流耐压试验 (5) 检查操动机构线圈的最低动作电压 (6) 操动机构的试验
1.7	互感器的试验项目	(1) 测量绕组的绝缘电阻 (2) 绕组连同套管对外壳的交流耐压试验 (3) 测量 35kV 及以上互感器一次绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (4) 油浸式互感器的绝缘油试验 (5) 测量电压互感器一次绕组的直流电阻 (6) 测量电流互感器的励磁特性曲线 (7) 测量 1kV 以上电压互感器的空载电流和励磁特性 (8) 检查互感器的三相接线组别和单相互感器引出线的极性 (9) 检查互感器的变比 (10) 测量铁芯夹紧螺栓的绝缘电阻 (11) 局部放电试验 (12) 电容分压器单元件的试验 注: 套管式电流互感器的试验, 应按以上的 (1)、(2)、(6)、(9) 条规定进行, 其中 (2) 条可随同变压器、电抗器或油断路器等一起进行。六氟化硫封闭式组合电器中的互感器试验, 应按以上的 (6)、(7)、(9) 条规定进行
1.8	套管的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 测量 20kV 及以上非纯瓷套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容值 (3) 交流耐压试验 (4) 绝缘油的试验 注: 整体组装于 35kV 油断路器上的套管, 可不单独进行 $\tan\delta$ 的试验
1.9	绝缘子的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 交流耐压试验
1.10	电容器的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 测量耦合电容器、断路器电容器的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 及电容值 (3) 耦合电容器的局部放电试验 (4) 并联电容器交流耐压试验 (5) 冲击合闸试验

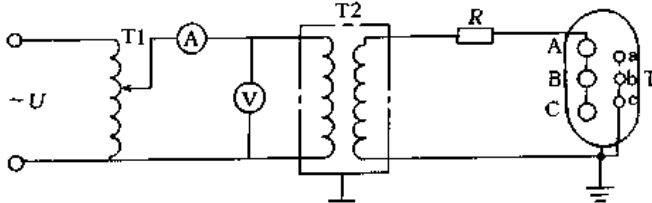
续表

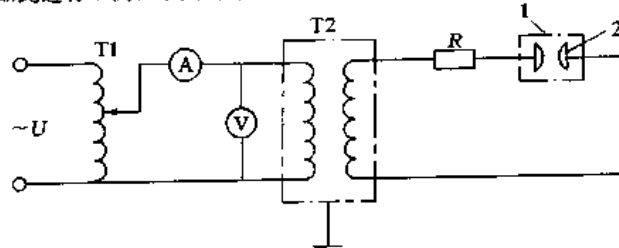
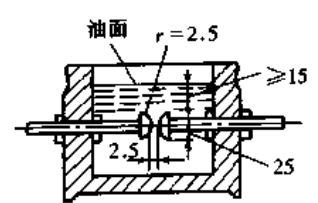
序号	项 目	说 明										
1.11	避雷器的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 测量电导或泄漏电流, 并检查组合元件的非线性系数 (3) 测量磁吹避雷器的交流电导电流 (4) 测量金属氧化物避雷器的持续电流 (5) 测量金属氧化物避雷器的工频参考电压或直流参考电压 (6) 测量 FS 型阀式避雷器的工频放电电压 (7) 检查放电计数器动作情况及避雷器基座绝缘										
1.12	有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准	由有机物制成的绝缘拉杆的绝缘电阻值在常温下不应低于附表 2 所列数值: 附表 2 有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准										
<table border="1"> <tr> <td>额定电压 (kV)</td> <td>3~15</td> <td>20~35</td> <td>63~220</td> <td>330~500</td> </tr> <tr> <td>绝缘电阻值 (MΩ)</td> <td>1200</td> <td>3000</td> <td>6000</td> <td>10000</td> </tr> </table>			额定电压 (kV)	3~15	20~35	63~220	330~500	绝缘电阻值 (MΩ)	1200	3000	6000	10000
额定电压 (kV)	3~15	20~35	63~220	330~500								
绝缘电阻值 (MΩ)	1200	3000	6000	10000								
1.3	套管和绝缘子的绝缘电阻标准	(1) 对 63kV 及以上电容型套管, 采用 2500V 兆欧表测量, 绝缘电阻值不应低于 1000MΩ (2) 每片悬式绝缘子的绝缘电阻值不应低于 300MΩ; 35kV 及以下的支柱绝缘子的绝缘电阻值, 不应低于 500MΩ。采用 2500V 兆欧表测量, 可按同批产品数量的 10% 抽查										
1.14	高压断路器及六氟化硫组合电器的交流耐压试验要求	(1) 油断路器的交流耐压试验: 1) 应在合闸状态下进行, 试验电压应符合本表序号 1.1 的规定; 2) 35kV 及以下的断路器应按相间及对地进行耐压试验; 3) 对 35kV 及以下户内少油断路器及联络用的断路器, 可在分闸状态下按上述标准进行断口耐压 (2) 真空断路器的交流耐压试验: 1) 应在合闸和分闸状态下分别进行; 2) 当在合闸状态下进行时, 试验电压应符合本表序号 1.1 的规定; 3) 当在分闸状态下进行时, 真空灭弧室断口间的试验电压应按产品技术条件的规定, 试验中不应发生贯穿性放电 (3) 六氟化硫断路器的交流耐压试验: 1) 应在断路器合闸状态下, 且 SF <sub>6</sub> 气压为额定值时进行, 试验电压按出厂试验电压的 80%; 2) 耐压试验只对 110kV 及以上罐式断路器和 500kV 定开距瓷柱式断路器的断口进行 (4) 六氟化硫封闭式组合电器的交流耐压试验: 1) 其主回路的耐压试验程序和方法, 应按产品技术条件的规定值进行; 2) 试验电压值为出厂试验电压的 80%										
1.15	高压负荷开关、隔离开关和熔断器的交流耐压试验要求	(1) 三相同一箱体的负荷开关, 应按相间及相对地进行耐压试验, 其余开关和熔断器均按相对地或外壳进行 (2) 试验电压应符合本表序号 1.1 中断路器的试验电压规定 (3) 对负荷开关还应按产品技术条件规定进行每个断口的交流耐压试验										
1.16	互感器的交流耐压试验要求	互感器绕组连同套管对外壳的交流耐压试验, 应符合下列规定: (1) 全绝缘互感器应按本表序号 1.1 规定进行一次绕组连同套管对外壳的交流耐压试验 (2) 二次绕组之间及其对外壳的工频耐压试验电压标准应为 2kV 注: 关于串级式和电容式电压互感器耐压试验要求详见 GB50150-1991, 此略										
1.17	套管和绝缘子的交流耐压试验要求	(1) 套管的交流耐压试验要求: 1) 试验电压应符合本表序号 1.1 的规定; 2) 纯瓷穿墙套管、多油断路器套管、变压器套管、电抗器及消弧线圈套管, 均可随母线或设备一起进行交流耐压试验 (2) 绝缘子的交流耐压试验要求: 1) 35kV 及以下的支柱绝缘子, 可在母线安装完毕后一起进行, 试验电压应符合本表序号 1.1 的规定; 2) 35kV 多元件支柱绝缘子的交流耐压试验值, 应符合以下规定: 两个胶合元件者, 每元件 50kV; 三个胶合元件者, 每元件 34kV; 3) 悬式绝缘子的交流耐压试验应符合附表 3 规定: 附表 3 悬式绝缘子的交流耐压试验电压标准										
<table border="1"> <tr> <td>型号</td> <td>XP2-70</td> <td>XP-70; LXP1-70; XP1-70; XP-100; LXP-100; XP-120; LXP-120; XP1-160; LXP1-160; XP2-160; LXP2-160; XP-160; LXP-160</td> <td>XP1-210 LXP1-210 XP-300 LXP-300</td> </tr> <tr> <td>试验电压 (kV)</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> </table>			型号	XP2-70	XP-70; LXP1-70; XP1-70; XP-100; LXP-100; XP-120; LXP-120; XP1-160; LXP1-160; XP2-160; LXP2-160; XP-160; LXP-160	XP1-210 LXP1-210 XP-300 LXP-300	试验电压 (kV)	45	55	60		
型号	XP2-70	XP-70; LXP1-70; XP1-70; XP-100; LXP-100; XP-120; LXP-120; XP1-160; LXP1-160; XP2-160; LXP2-160; XP-160; LXP-160	XP1-210 LXP1-210 XP-300 LXP-300									
试验电压 (kV)	45	55	60									

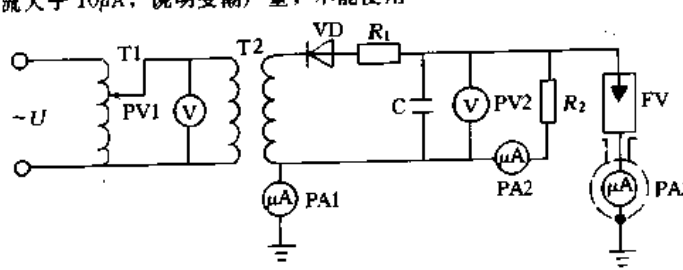
续表

序号	项目	说明																											
1.18	电容器的交流耐压要求	(1) 并联电容器电极对外壳的交流耐压试验电压值应符合附表4的规定  附表4 并联电容器交流耐压试验电压标准 <table border="1"> <thead> <tr> <th>额定电压 (kV)</th> <th>&lt;1</th> <th>1</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>35</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>出厂试验电压 (kV)</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>交接试验电压 (kV)</td> <td>2.2</td> <td>3.8</td> <td>14</td> <td>19</td> <td>26</td> <td>34</td> <td>41</td> <td>63</td> </tr> </tbody> </table>	额定电压 (kV)	<1	1	3	6	10	15	20	35	出厂试验电压 (kV)	3	5	18	25	35	45	55	85	交接试验电压 (kV)	2.2	3.8	14	19	26	34	41	63
		额定电压 (kV)	<1	1	3	6	10	15	20	35																			
出厂试验电压 (kV)	3	5	18	25	35	45	55	85																					
交接试验电压 (kV)	2.2	3.8	14	19	26	34	41	63																					
		(2) 当产品出厂试验电压不符合以上附表4的规定时, 交接试验电压应按产品出厂试验电压值的75%进行																											
1.19	FS型阀式避雷器的工频放电电压	(1) FS型阀式避雷器的工频放电电压, 应符合附表5的规定  附表5 FS型阀式避雷器的工频放电电压范围 <table border="1"> <thead> <tr> <th>额定电压 (kV)</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>放电电压有效值 (kV)</td> <td>9~11</td> <td>16~19</td> <td>26~31</td> </tr> </tbody> </table>	额定电压 (kV)	3	6	10	放电电压有效值 (kV)	9~11	16~19	26~31																			
		额定电压 (kV)	3	6	10																								
放电电压有效值 (kV)	9~11	16~19	26~31																										
		(2) 有并联电阻的阀式避雷器可不进行此项试验																											
2	低压设备的试验要求 (据 GB50150—1991)																												
2.1	低压电器的试验项目	(1) 测量低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻 (2) 电压线圈动作值校验 (3) 低压电器动作情况检查 (4) 低压电器采用的脱扣器的整定 (5) 测量电阻器和变阻器的直流电阻 (6) 低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压试验																											
2.2	绝缘电阻值的要求	测量低压电器连同所连接电缆及二次回路的绝缘电阻值不应小于1MΩ; 在较潮湿的地方, 可不小于0.5MΩ																											
2.3	电压线圈动作值的校验要求	电压线圈动作值的校验, 应符合下述规定: (1) 线圈的吸合电压不应大于额定电压的85%, 释放电压不应小于额定电压的5% (2) 短时工作的合闸线圈应在额定电压的85%~110%范围内可靠地工作; 分励线圈应在额定电压的75%~110%范围内可靠地工作																											
2.4	低压电器动作情况的检查要求	低压电器动作情况的检查, 应符合下述规定: 对采用电动机或液压、气压传动方式操作的电器, 除产品另有规定外, 当电压、液压或气压在额定值的85%~110%范围内, 低压电器应可靠地工作																											
2.5	脱扣器的整定要求	低压电器采用的脱扣器的整定, 应符合下述规定: 各类过电流脱扣器、失压和分励脱扣器、延时装置等, 应按使用要求进行整定, 其整定值误差不得超过产品技术条件的规定																											
2.6	直流电阻值的差值要求	测量电阻器和变阻器的直流电阻值, 其差值应分别符合产品技术条件的规定																											
2.7	交流耐压试验要求	低压电器连同所连接电缆及二次回路的交流耐压试验, 应符合下述规定: 试验电压为1000V。当回路的绝缘电阻值在10MΩ以上时, 可采用2500V兆欧表代替, 试验持续时间为1min																											
3	二次回路的试验要求 (据 GB50150—1991)																												
3.1	绝缘电阻测量要求	测量绝缘电阻, 应符合下述规定: (1) 小母线在断开所有其他并联支路时, 不应小于10MΩ (2) 二次回路的每一支路和断路器、隔离开关的操动机构的电源回路等, 均不应小于1MΩ。在比较潮湿的地方, 可不小于0.5MΩ																											
3.2	交流耐压试验要求	交流耐压试验, 应符合下述规定: (1) 试验电压为1000V。当回路绝缘电阻值在10MΩ以上时, 可采用2500V兆欧表代替, 试验持续时间为1min (2) 48V及以下回路可不进行交流耐压试验 (3) 回路中有电子元器件设备的, 试验时应将插件拔出或将其两端短接																											
4	电气设备试验方法示例																												

续表

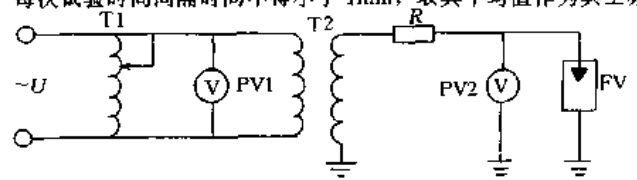
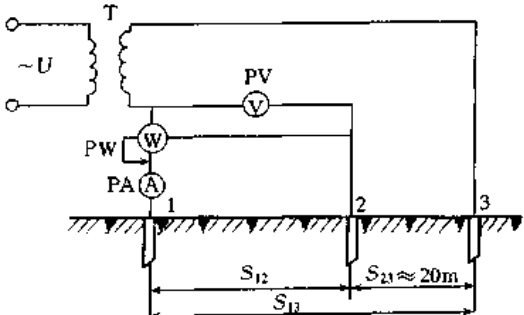
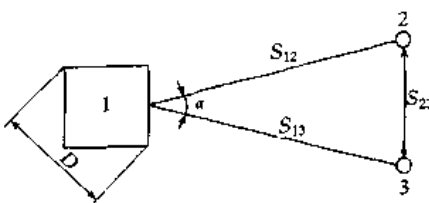
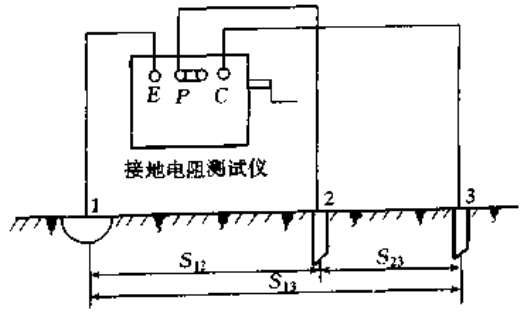
序号	项目	说明
4.1	变压器交流耐压试验电路与方法	<p>试验时，合上电源，调节调压器。在试验电压值（参看表 12-14 序号 2.6 中表 5）约有 40% 以前，电压上升速度不限，但此后应以缓慢的均匀速度升至要求的试验电压值，并保持 1min 后，匀速降压，约在 5s 内降至试验电压值的 25% 以下时，切断电源</p> <p>在试验过程中，应仔细倾听变压器内部声响。如果在耐压试验期间，仪表指示正常，没有击穿放电声，则可认为变压器是达到耐压要求的</p> <p>保护电阻 <math>R</math> 一般按试验电压每伏 <math>0.1 \sim 0.2\Omega</math> 来选择。此法亦适用于其他电气设备</p>  <p>T—被试变压器；T1—调压器；T2—试验变压器；R—保护电阻</p>

4.2	绝缘油电气强度试验电路与方法	<p>试验时，合上电源开关，调节调压器，升压速度约为 <math>3kV/s</math>，直至油被击穿放电、电压表读数骤降至零、电源开关自动跳闸为止。发生击穿放电前一瞬间的最高电压值，即为此绝缘油的击穿电压</p> <p>油样击穿后，用玻璃棒在电极中间轻轻搅动几次（不能触动电极）。静置 5min 后，重作上述击穿试验。如此进行 5 次，取其击穿电压平均值作为试验结果</p>   <p>绝缘油电气强度试验电路 1—试验油杯；2—试验电极；T1—调压器； T2—试验变压器；R—保护电阻（水阻，<math>5 \sim 10M\Omega</math>）</p> <p>绝缘油电气强度试验用油杯及电极结构尺寸</p>
-----	----------------	---

4.3	避雷器泄漏电流（电导）测量与电路方法	<p>对于有并联电阻的 FZ 型避雷器，主要是检查其并联电阻状况。如果并联电阻老化，接触不良，则泄漏电流明显减小。如果并联电阻断裂，则泄漏电流可减小到零。如果并联电阻受潮，则泄漏电流明显增大，可达 <math>1mA</math> 以上。泄漏电流的正常值应在 <math>400 \sim 600\mu A</math> 之间</p> <p>对于无并联电阻的 FS 型避雷器，主要是检查其内部是否受潮。内部未受潮时，泄漏电流一般只有 <math>1 \sim 2\mu A</math>。如果泄漏电流大于 <math>10\mu A</math>，说明受潮严重，不能使用</p>  <p>FV—被测阀式避雷器；T1—调压器；T2—试验变压器；VD—高压二极管； R1—保护电阻；R2—被测电阻；C—稳压电容器；PV1—低电压表； PV2—静电电压表；PA1~PA3—微安表</p>
-----	--------------------	--

附表 6 避雷器泄漏电流测量的直流试验电压值（据 GB10150—1991）

避雷器额定电压 (kV)	直流试验电压 (kV)					
	FZ 型	FS 型				
3	4	4	10	15	20	30
6	6	7	10	16	20	24
10	10	11	—	—	—	—

序号	项目	说明
4.4	FS型避雷器工频放电电压测量电路与方法	<p>阀式避雷器的工频放电电压应在规定的上下限范围内，如表 12-18 序号 1.19 附表 5 所示</p> <p>测量工频放电电压，是 FS 型避雷器的必试项目。试验电路如图所示，试验电源的电压波形要求为正弦波，因此调压器的输入电压应取线电压，或在试验变压器一次侧（低压侧）加滤波电路。对每一避雷器应作 3 次工频放电试验，每次试验时间间隔时间不得小于 1min，取其平均值作为其工频放电电压值</p>  <p>FV—被试阀式避雷器；T1—调压器；T2—试验变压器； R—保护电阻；PV1—低压电压表；PV2—静电电压表</p>
4.5	接地电阻的测量电路与方法	<p>(1) 间接法： 间接法是指用电压、电流和功率表来间接测量接地电阻。测量电路如图所示，其中辅助电极（电压极和电流极）与被测接地体（极）之间的布置方案有直线布置和三角形布置两种。直线布置如图所示，取 <math>S_{13} \geq (2 \sim 3) D</math>，<math>D</math> 为被测接地网的对角线长度；而 <math>S_{12} = 0.6 S_{13}</math>（理论上 <math>S_{12} = 0.618 S_{13}</math>）</p>  <p>间接法测量接地电阻的电路</p> <p>1—被测接地体；2—电压极；3—电流极；T—试验变压器；PV—电压表；PA—电流表；PW—功率表</p> <p>三角形布置中（如下左图所示），取 <math>S_{12} = S_{13} \geq 2D</math>，夹角 <math>\alpha = 30^\circ</math></p> <p>上左图所示测量电路加上电源后，同时读取电压 <math>U</math>、电流 <math>I</math> 和功率 <math>P</math> 值，然后由下式计算出接地装置的接地电阻：</p> $R_t = \frac{U}{I} \quad \text{或} \quad R_t = \frac{P}{I^2} = \frac{U^2}{P}$ <p>(2) 直接法： 采用接地电阻测试仪（俗称“接地摇表”），测量电路如图所示</p> <p>摇测时，先将测试仪的“倍率标尺”开关置于较大倍率档。首先慢慢转动摇柄，同时调整“测量标度盘”，使指针指零（中线）；然后加快转速到约 120r/min，并同时调整“测量标度盘”，使指针指示中线。这时“测量标度盘”指示数值乘以“倍率标尺”数值，即为接地装置的接地电阻值</p>  <p>接地电阻测量的电极三角形布置方案</p> <p>1—接地网；2—电压极；3—电流极</p>  <p>直接法测量接地电阻的电路</p> <p>1—被测接地体；2—电压极；3—电流极</p>



### 第四节 供电线路的检修试验

#### 一、供电线路的检修

如表 12-19 所示。

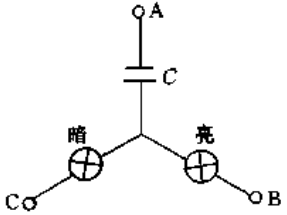
表 12-19 供电线路的检修

序号	项目	说明																	
1	检修方式及停电检修要求	<p>供电线路的检修，分计划检修和紧急（临时）检修两种。按检修方式分，有停电检修和不停电（带电）检修两种</p> <p>一般情况下，特别是计划检修，通常采取停电检修方式。这对检修人员来说，既比较安全，又易确保检修质量</p> <p>按《供电营业规则》规定，供电设施因计划检修需要停电时，应提前 7 天通知用户或进行公告；而且规定，对 35kV 及以上供电的用户，计划检修停电次数每年不应超过 1 次，对 10kV 供电的用户，计划检修停电次数每年不应超过 3 次。遇有紧急检修需停电时，供电企业应按规定提前通知重要用户，用户应予以配合；事故停电，应尽快修复</p>																	
2	架空线路的检修	<p>(1) 架空线路导线缺陷的检修要求，如下表所示：</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线类型</th> <th>单一金属线</th> <th>钢芯铝绞线</th> <th>检修方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">导线的缺陷</td> <td>磨损</td> <td>磨损</td> <td>不作处理</td> </tr> <tr> <td>截面 7% 以下断股</td> <td>铝线 7% 以下断股</td> <td>缠绕</td> </tr> <tr> <td>截面 7%~17% 断股</td> <td>铝线 7%~25% 断股</td> <td>补修</td> </tr> <tr> <td>截面 17% 以上断股</td> <td>铝线 25% 以上断股</td> <td>锯断重接</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 架空线路电杆的检修： 如电杆受损使其断面缩减至原断面的 50% 以下时，应立即补修或加绑桩；损坏严重时，应于换杆</p>	导线类型	单一金属线	钢芯铝绞线	检修方法	导线的缺陷	磨损	磨损	不作处理	截面 7% 以下断股	铝线 7% 以下断股	缠绕	截面 7%~17% 断股	铝线 7%~25% 断股	补修	截面 17% 以上断股	铝线 25% 以上断股	锯断重接
导线类型	单一金属线	钢芯铝绞线	检修方法																
导线的缺陷	磨损	磨损	不作处理																
	截面 7% 以下断股	铝线 7% 以下断股	缠绕																
	截面 7%~17% 断股	铝线 7%~25% 断股	补修																
	截面 17% 以上断股	铝线 25% 以上断股	锯断重接																
3	电缆线路的检修	<p>(1) 电缆线路的故障，大多发生在电缆的中间接头和终端头，容易出现漏油（对油浸纸绝缘电缆）或放电故障甚至爆裂。当电缆头发生严重故障时，应立即停电检修，通常是重作电缆头</p> <p>(2) 电缆本身发生短路或断线故障时，应按下列程序进行停电检修（下面以单相接地短路故障为例）：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>烧穿：利用高电压使故障点烧穿，使之变为低电阻短路；</li> <li>粗测：采用单臂电桥（回路法）来粗测故障点位置，接线如图所示：</li> </ol> <div style="text-align: center;"> <p>采用单臂电桥（回路法）粗测电缆故障点</p> </div> <p>当电桥平衡时，<math>R_1 : R_2 = R_3 : R_4</math>，或 <math>(R_1 + R_2) : R_2 = (R_3 + R_4) : R_4</math>。设电缆长度为 <math>l</math>，电缆首端至故障点距离为 <math>d</math>，则 <math>R_3 + R_4 \propto 2l</math>，<math>R_4 \propto d</math>（注：符号“<math>\Delta</math>”为“相当于”的数学符号）。因此 <math>(R_1 + R_2) : R_2 = 2l : d</math>，由此可得电缆首端至故障点的距离： <math display="block">d = \frac{2l \cdot R_2}{R_1 + R_2}</math></p> <p>由于电阻测量不可能十分精确，因此按此法得出的故障点位置只是大致位置；</p> <p>3) 定点：要比较精确地确定故障点，可采用图所示的音频感应声测法。用探测线圈沿故障电缆线路探测。在故障点上方，探测线圈内感应的音频信号电流最大，音响最强。由此可确定地下电缆的故障点，由此进行检修，通常是更换此段故障电缆</p> <div style="text-align: center;"> <p>确定电缆故障点的音频感应声测法</p> <p>1—音频信号发生器；2—探测线圈；3—接收放大器；4—耳机</p> </div>																	

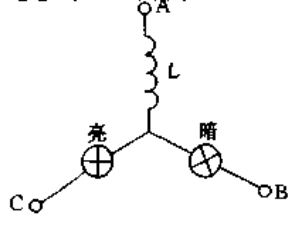
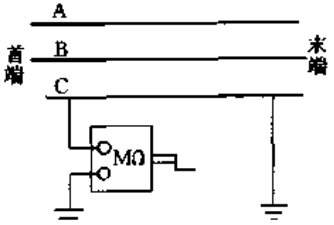
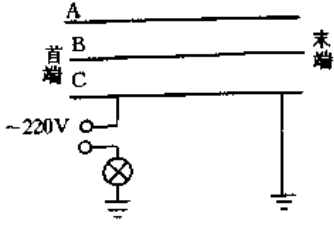
二、供配电线路的试验

如表 12-20 所示。

表 12-20 供配电线路的试验

序号	项目	说明
1	线路的试验项目 (据 GB50150—1991)	
1.1	1kV 以上架空线路的试验项目	(1) 测量绝缘子和线路的绝缘电阻 (2) 测量 35kV 以上线路的工频参数 (3) 检查相位 (4) 冲击合闸试验 (5) 测量杆塔的接地电阻
1.2	电力电缆的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 直流耐压试验及泄漏电流测量 (3) 检查电缆线路两端的相位是否一致 (4) 充油电缆的绝缘油试验
1.3	低压线路的试验项目	(1) 测量绝缘电阻 (2) 交流耐压试验 (3) 检查相位
2	线路的试验方法与要求	
2.1	绝缘电阻的测量	(1) 在用兆欧表摇测绝缘电阻之前, 应检查沿线有无外物搭接, 线路上是否有人工作, 其负荷和电源是否全部断开。只有在线路上无外物搭接、无人工作且电源和负荷全部断开的情况下才能摇测其绝缘电阻 (2) 在摇测电缆和绝缘导线的绝缘电阻时, 应将绝缘层接到兆欧表的“保护环”, 如表 2-45 序号 4.1 的附图所示 (3) 摇测时, 转速应均匀, 一般保持在 120r/min 左右 (4) 摇测完毕后, 应将被测线路短路放电, 以免其充电电压伤人 (5) 高压线路一般采用 2500V 兆欧表, 低压线路采用 1000V 兆欧表。高压线路绝缘子的绝缘电阻值应符合表 12-18 序号 1.13 的要求。低压线路的绝缘电阻值不应小于 0.5MΩ
2.2	三相线路相序的测定 (定相)	可采用电容式或电感式指示灯相序表来测定 (1) 电容式指示灯相序表 (如图所示): A 相电容 C 的容抗 $X_C$ 与 B、C 两相灯泡的阻抗值相等。此相序表接上三相电源后, 灯亮者则为 B 相, 灯暗者则为 C 相  电容式指示灯相序测量接线

续表

序号	项目	说明
2.2	三相线路相序的测定 (定相)	(2) 电感式指示灯相序表 (如图所示):  电感式指示灯相序测量接线 A 相电感 L 的感抗 $X_L$ 与 B、C 两相灯泡的阻抗值相等。此相序表接上三相电源后, 灯亮者则为 C 相, 灯暗者则为 B 相
2.3	线路两端相位的核对 (核相)	核对 (检查) 线路两端的相位是否一致, 常用的方法有兆欧表法和指示灯法 (1) 兆欧表法 (如图所示):  兆欧表法核相 如果兆欧表摇测的指示为零, 则说明末端接地的导线与首端被测的导线属于同一相。如此三相轮流摇测, 即可定出线路两端的相位 (2) 指示灯法 (如图所示):  指示灯法核相 如果指示灯接上电源时灯亮, 则说明末端接地的导线与首端接指示灯的导线属于同一相。如此三相轮流测量, 即可定出线路两端的相位

# 附 录

## 附录一 中华人民共和国电力法

1995年12月28日第八届全国人民代表大会  
常务委员会第十七次会议通过

### 中华人民共和国主席令

第六十号

《中华人民共和国电力法》已由中华人民共和国第八届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议于1995年12月28日通过,现予公布,自1996年4月1日起施行。

中华人民共和国主席 江泽民

1995年12月28日

### 第一章 总 则

**第一条** 为了保障和促进电力事业的发展,维护电力投资者、经营者和使用者的合法权益,保护电力安全运行,制定本法。

**第二条** 本法适用于中华人民共和国境内的电力建设、生产、供应和使用活动。

**第三条** 电力事业应当适应国民经济和社会发展的需要,适当超前发展。国家鼓励、引导国内外的经济组织和个人依法投资开发电源,兴办电力生产企业。

电力事业投资,实行谁投资、谁收益的原则。

**第四条** 电力设施受国家保护。

禁止任何单位和个人危害电力设施安全或者非法侵占、使用电能。

**第五条** 电力建设、生产、供应和使用应当依法保护环境,采用新技术,减少有害物质排放,防治污染和其他公害。

国家鼓励和支持利用可再生能源和清洁能源发电。

**第六条** 国务院电力管理部门负责全国电力事业的监督管理。国务院有关部门在各自的职责范围内负责电力事业的监督管理。

县级以上地方人民政府经济综合主管部门是本行政区域内的电力管理部门,负责电力事业的监督管理。县级以上地方人民政府有关部门在各自的职责范围内负责电力事业的监督管理。

**第七条** 电力建设企业、电力生产企业、电网经

营企业依法实行自主经营、自负盈亏,并接受电力管理部门的监督。

**第八条** 国家帮助和扶持少数民族地区、边远地区和贫困地区发展电力事业。

**第九条** 国家鼓励在电力建设、生产、供应和使用过程中,采用先进的科学技术和方法,对在研究、开发、采用先进的科学技术和方法等方面作出显著成绩的单位和个人给予奖励。

### 第二章 电 力 建 设

**第十条** 电力发展规划应当根据国民经济和社会发展的需要制定,并纳入国民经济和社会发展规划。

电力发展规划,应当体现合理利用能源、电源与电网配套发展、提高经济效益和有利于环境保护的原则。

**第十一条** 城市电网的建设与改造规划,应当纳入城市总体规划。城市人民政府应当按照规划,安排变电设施用地、输电线路走廊和电缆通道。

任何单位和个人不得非法占用变电设施用地、输电线路走廊和电缆通道。

**第十二条** 国家通过制定有关政策,支持、促进电力建设。

地方人民政府应当根据电力发展规划,因地制宜,采取多种措施开发电源,发展电力建设。

**第十三条** 电力投资者对其投资形成的电力,享有法定权益。并网运行的,电力投资者有优先使用权;未并网的自备电厂,电力投资者自行支配使用。

**第十四条** 电力建设项目应当符合电力发展规划，符合国家电力产业政策。

电力建设项目不得使用国家明令淘汰的电力设备和技术。

**第十五条** 输变电工程、调度通信自动化工程等电网配套工程和环境保护工程，应当与发电工程项目同时设计、同时建设、同时验收、同时投入使用。

**第十六条** 电力建设项目使用土地，应当依照有关法律、行政法规的规定办理；依法征用土地的，应当依法支付土地补偿费和安置补偿费，做好迁移居民的安置工作。

电力建设应当贯彻切实保护耕地、节约利用土地的原则。

地方人民政府对电力事业依法使用土地和迁移居民，应当予以支持和协助。

**第十七条** 地方人民政府应当支持电力企业为发电工程建设勘探水源和依法取水、用水。电力企业应当节约用水。

### 第三章 电力生产与电网管理

**第十八条** 电力生产与电网运行应当遵循安全、优质、经济的原则。

电网运行应当连续、稳定，保证供电可靠性。

**第十九条** 电力企业应当加强安全生产管理，坚持安全第一、预防为主的方针，建立、健全安全生产责任制度。

电力企业应当对电力设施定期进行检修和维护，保证其正常运行。

**第二十条** 发电燃料供应企业、运输企业和电力生产企业应当依照国务院有关规定或者合同约定供应、运输和接卸燃料。

**第二十一条** 电网运行实行统一调度、分级管理。任何单位和个人不得非法干预电网调度。

**第二十二条** 国家提倡电力生产企业与电网、电网与电网并网运行。具有独立法人资格的电力生产企业要求将生产的电力并网运行的，电网经营企业应当接受。

并网运行必须符合国家标准或者电力行业标准。

并网双方应当按照统一调度、分级管理和平等互利、协商一致的原则，签订并网协议，确定双方的权利和义务；并网双方达不成协议的，由省级以上电力管理部门协调决定。

**第二十三条** 电网调度管理办法，由国务院依照本法的规定制定。

### 第四章 电力供应与使用

**第二十四条** 国家对电力供应和使用，实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则。

电力供应与使用办法由国务院依照本法的规定制定。

**第二十五条** 供电企业在批准的供电营业区内向用户供电。

供电营业区的划分，应当考虑电网的结构和供电合理性等因素。一个供电营业区内只设立一个供电营业机构。

省、自治区、直辖市范围内的供电营业区的设立、变更，由供电企业提出申请，经省、自治区、直辖市人民政府电力管理部门会同同级有关部门审查批准后，由省、自治区、直辖市人民政府电力管理部门发给《供电营业许可证》。跨省、自治区、直辖市的供电营业区的设立、变更，由国务院电力管理部门审查批准并发给《供电营业许可证》。供电营业机构持《供电营业许可证》向工商行政管理部门申请领取营业执照，方可营业。

**第二十六条** 供电营业区内的供电营业机构，对本营业区内的用户有按照国家规定供电的义务；不得违反国家规定对其营业区内申请用电的单位和个人拒绝供电。

申请新装用电、临时用电、增加用电容量、变更用电和终止用电，应当依照规定的程序办理手续。

供电企业应当在其营业场所公告用电的程序、制度和收费标准，并提供用户须知资料。

**第二十七条** 电力供应与使用双方应当根据平等自愿、协商一致的原则，按照国务院制定的电力供应与使用办法签订供用电合同，确定双方的权利和义务。

**第二十八条** 供电企业应当保证供给用户的供电质量符合国家标准。对公用供电设施引起的供电质量问题，应当及时处理。

用户对供电质量有特殊要求的，供电企业应当根据其必要性和电网的可能，提供相应的电力。

**第二十九条** 供电企业在发电、供电系统正常的情况下，应当连续向用户供电，不得中断。因供电设施检修、依法限电或者用户违法用电等原因，需要中断供电时，供电企业应当按照国家有关规定事先通知用户。

用户对供电企业中断供电有异议的，可以向电力管理部门投诉；受理投诉的电力管理部门应当依法处理。

**第三十条** 因抢险救灾需要紧急供电时,供电企业必须尽速安排供电,所需供电工程费用和应付电费依照国家有关规定执行。

**第三十一条** 用户应当安装用电计量装置。用户使用的电力电量,以计量检定机构依法认可的用电计量装置的记录为准。

用户受电装置的设计、施工安装和运行管理,应当符合国家标准或者电力行业标准。

**第三十二条** 用户用电不得危害供电、用电安全和扰乱供电、用电秩序。

对危害供电、用电安全和扰乱供电、用电秩序的,供电企业有权制止。

**第三十三条** 供电企业应当按照国家核准的电价和用电计量装置的记录,向用户计收电费。

供电企业查电人员和抄表收费人员进入用户,进行用电安全检查或者抄表收费时,应当出示有关证件。

用户应当按照国家核准的电价和用电计量装置的记录,按时交纳电费;对供电企业查电人员和抄表收费人员依法履行职责,应当提供方便。

**第三十四条** 供电企业和用户应当遵守国家有关规定,采取有效措施,做好安全用电、节约用电和计划用电工作。

## 第五章 电价与电费

**第三十五条** 本法所称电价,是指电力生产企业的上网电价、电网间的互供电价、电网销售电价。

电价实行统一政策、统一定价原则,分级管理。

**第三十六条** 制定电价,应当合理补偿成本,合理确定收益,依法计入税金,坚持公平负担,促进电力建设。

**第三十七条** 上网电价实行同网同质同价。具体办法和实施步骤由国务院规定。

电力生产企业有特殊情况需另行制定上网电价的,具体办法由国务院规定。

**第三十八条** 跨省、自治区、直辖市电网和省级电网内的上网电价,由电力生产企业和电网经营企业协商提出方案,报国务院物价行政主管部门核准。

独立电网内的上网电价,由电力生产企业和电网经营企业协商提出方案,报有管理权的物价行政主管部门核准。

地方投资的电力生产企业所生产的电力,属于在省内各地区形成独立电网的或者自发自用的,其电价可以由省、自治区、直辖市人民政府管理。

**第三十九条** 跨省、自治区、直辖市电网和独立

电网之间、省级电网和独立电网之间的互供电价,由双方协商提出方案,报国务院物价行政主管部门或者其授权的部门核准。

独立电网与独立电网之间的互供电价,由双方协商提出方案,报有管理权的物价行政主管部门核准。

**第四十条** 跨省、自治区、直辖市电网和省级电网的销售电价,由电网经营企业提出方案,报国务院物价行政主管部门或者其授权的部门核准。

独立电网的销售电价,由电网经营企业提出方案,报有管理权的物价行政主管部门核准。

**第四十一条** 国家实行分类电价和分时电价。分类标准和分时办法由国务院确定。

对同一电网内的同一电压等级、同一用电类别的用户,执行相同的电价标准。

**第四十二条** 用户用电增容收费标准,由国务院物价行政主管部门会同国务院电力管理部门制定。

**第四十三条** 任何单位不得超越电价管理权限制定电价。供电企业不得擅自变更电价。

**第四十四条** 禁止任何单位和个人在电费中加收其他费用;但是,法律、行政法规另有规定的,按照规定执行。

地方集资办电在电费中加收费用的,由省、自治区、直辖市人民政府依照国务院有关规定制定办法。

禁止供电企业在收取电费时,代收其他费用。

**第四十五条** 电价的管理办法,由国务院依照本法的规定制定。

## 第六章 农村电力建设和农业用电

**第四十六条** 省、自治区、直辖市人民政府应当制定农村电气化发展规划,并将其纳入当地电力发展规划及国民经济和社会发展规划。

**第四十七条** 国家对农村电气化实行优惠政策,对少数民族地区、边远地区和贫困地区的农村电力建设给予重点扶持。

**第四十八条** 国家提倡农村开发水能资源,建设中、小型水电站,促进农村电气化。

国家鼓励和支持农村利用太阳能、风能、地热能、生物质能和其他能源进行农村电源建设,增加农村电力供应。

**第四十九条** 县级以上地方人民政府及其经济综合主管部门在安排用电指标时,应当保证农业和农村用电的适当比例,优先保证农村排涝、抗旱和农业季节性生产用电。

电力企业应当执行前款的用电安排,不得减少农业和农村用电指标。

**第五十条** 农业用电价格按照保本、微利的原则确定。

农民生活用电与当地城镇居民生活用电应当逐步实行相同的电价。

**第五十一条** 农业和农村用电管理办法,由国务院依照本法的规定制定。

## 第七章 电力设施保护

**第五十二条** 任何单位和个人不得危害发电设施、变电设施和电力线路设施及有关辅助设施。

在电力设施周围进行爆破及其他可能危及电力设施安全的作业的,应当按照国务院有关电力设施保护的规定,经批准并采取确保电力设施安全的措施后,方可进行作业。

**第五十三条** 电力管理部门应当按照国务院有关电力设施保护的规定,对电力设施保护区设立标志。

任何单位和个人不得在依法划定的电力设施保护区内修建可能危及电力设施安全的建筑物、构筑物,不得种植可能危及电力设施安全的植物,不得堆放可能危及电力设施安全的物品。

在依法划定电力设施保护区前已经种植的植物妨碍电力设施安全的,应当修剪或者砍伐。

**第五十四条** 任何单位和个人需要在依法划定的电力设施保护区内进行可能危及电力设施安全的作业时,应当经电力管理部门批准并采取安全措施后,方可进行作业。

**第五十五条** 电力设施与公用工程、绿化工程和其他工程在新建、改建或者扩建中相互妨碍时,有关单位应当按照国家有关规定协商,达成协议后方可施工。

## 第八章 监督检查

**第五十六条** 电力管理部门依法对电力企业和用户执行电力法律、行政法规的情况进行监督检查。

**第五十七条** 电力管理部门根据工作需要,可以配备电力监督检查人员。

电力监督检查人员应当公正廉洁,秉公执法,熟悉电力法律、法规,掌握有关电力专业技术。

**第五十八条** 电力监督检查人员进行监督检查时,有权向电力企业或者用户了解有关执行电力法律、行政法规的情况,查阅有关资料,并有权进入现场进行检查。

电力企业和用户对执行监督检查任务的电力监督检查人员应当提供方便。

电力监督检查人员进行监督检查时,应当出示证件。

## 第九章 法律责任

**第五十九条** 电力企业或者用户违反供用电合同,给对方造成损失的,应当依法承担赔偿责任。

电力企业违反本法第二十八条、第二十九条第一款的规定,未保证供电质量或者未事先通知用户中断供电,给用户造成损失的,应当依法承担赔偿责任。

**第六十条** 因电力运行事故给用户或者第三人造成损害的,电力企业应当依法承担赔偿责任。

电力运行事故由下列原因之一造成的,电力企业不承担赔偿责任:

(一) 不可抗力;

(二) 用户自身的过错。

因用户或者第三人的过错给电力企业或者其他用户造成损害的,该用户或者第三人应当依法承担赔偿责任。

**第六十一条** 违反本法第十一条第二款的规定,非法占用变电设施用地、输电线路走廊或者电缆通道的,由县级以上地方人民政府责令限期改正;逾期不改正的,强制清除障碍。

**第六十二条** 违反本法第十四条规定,电力建设项目不符合电力发展规划、产业政策的,由电力管理部门责令停止建设。

违反本法第十四条规定,电力建设项目使用国家明令淘汰的电力设备和技术,由电力管理部门责令停止使用,没收国家明令淘汰的电力设备,并处五万元以下的罚款。

**第六十三条** 违反本法第二十五条规定,未经许可,从事供电或者变更供电营业区的,由电力管理部门责令改正,没收违法所得,可以并处违法所得五倍以下的罚款。

**第六十四条** 违反本法第二十六条、第二十九条规定,拒绝供电或者中断供电的,由电力管理部门责令改正,给予警告;情节严重的,对有关主管人员和直接责任人员给予行政处分。

**第六十五条** 违反本法第三十二条规定,危害供电、用电安全或者扰乱供电、用电秩序的,由电力管理部门责令改正,给予警告;情节严重或者拒绝改正的,可以中止供电,可以并处五万元以下的罚款。

**第六十六条** 违反本法第三十三条、第四十三条、第四十四条规定,未按照国家核准的电价和用电计量装置的记录向用户计收电费、超越权限制定电价或者在电费中加收其他费用的,由物价行政主管部门

给予警告，责令退还违法收取的费用，可以并处违法收取费用五倍以下的罚款；情节严重的，对有关主管人员和直接责任人员给予行政处分。

**第六十七条** 违反本法第四十九条第二款规定，减少农业和农村用电指标的，由电力管理部门责令改正；情节严重的，对有关主管人员和直接责任人员给予行政处分；造成损失的，责令赔偿损失。

**第六十八条** 违反本法第五十二条第二款和第五十四条规定，未经批准或者未采取安全措施在电力设施周围或者在依法划定的电力设施保护区内进行作业，危及电力设施安全的，由电力管理部门责令停止作业、恢复原状并赔偿损失。

**第六十九条** 违反本法第五十三条规定，在依法划定的电力设施保护区内修建建筑物、构筑物或者种植植物、堆放物品，危及电力设施安全的，由当地人民政府责令强制拆除、砍伐或者清除。

**第七十条** 有下列行为之一，应当给予治安管理处罚的，由公安机关依照治安管理处罚条例的有关规定予以处罚；构成犯罪的，依法追究刑事责任：

(一) 阻碍电力建设或者电力设施抢修，致使电力建设或者电力设施抢修不能正常进行的；

(二) 扰乱电力生产企业、变电所、电力调度机构和供电企业的秩序，致使生产、工作和营业不能正常进行的；

(三) 殴打、公然侮辱履行职务的查电人员或者抄表收费人员的；

(四) 拒绝、阻碍电力监督检查人员依法执行职务的。

**第七十一条** 盗窃电能的，由电力管理部门责令停止违法行为，追缴电费并处应交电费五倍以下的罚款；构成犯罪的，依照刑法第一百五十一条或者第一百五十二条的规定追究刑事责任。

**第七十二条** 盗窃电力设施或者以其他方法破坏电力设施，危害公共安全的，依照刑法第一百零九条或者第一百一十条的规定追究刑事责任。

**第七十三条** 电力管理部门的工作人员滥用职

权、玩忽职守、徇私舞弊，构成犯罪的，依法追究刑事责任；尚不构成犯罪的，依法给予行政处分。

**第七十四条** 电力企业职工违反规章制度、违章调度或者不服从调度指令，造成重大事故的，比照刑法第一百一十四条的规定追究刑事责任。

电力企业职工故意延误电力设施抢修或者抢险救灾供电，造成严重后果的，比照刑法第一百一十四条的规定追究刑事责任。

电力企业的管理人员和查电人员、抄表收费人员勒索用户、以电谋私，构成犯罪的，依法追究刑事责任；尚不构成犯罪的，依法给予行政处分。

## 第十章 附 则

**第七十五条** 本法自1996年4月1日起施行。

### 附：刑法有关条款

**第一百零九条** 破坏电力、煤气或者其他易燃易爆设备，危害公共安全，尚未造成严重后果的，处三年以上十年以下有期徒刑。

**第一百一十条** 破坏交通工具、交通设备、电力煤气设备、易燃易爆设备造成严重后果的，处十年以上有期徒刑、无期徒刑或者死刑。

过失犯前款罪的，处七年以下有期徒刑或者拘役。

**第一百一十四条** 工厂、矿山、林场、建筑企业或者其他企业、事业单位的职工，由于不服管理、违反规章制度，或者强令工人违章冒险作业，因而发生重大伤亡事故，造成严重后果的，处三年以下有期徒刑或者拘役；情节特别恶劣的，处三年以上七年以下有期徒刑。

**第一百五十一条** 盗窃、诈骗、抢夺公私财物数额较大的，处五年以下有期徒刑、拘役或者管制。

**第一百五十二条** 惯窃、惯骗或者盗窃、诈骗、抢夺公私财物数额巨大的，处五年以上十年以下有期徒刑；情节特别严重的，处十年以上有期徒刑或者无期徒刑，可以并处没收财产。

## 附录二 电力供应与使用条例

### 中华人民共和国国务院令

第 196 号

现发布《电力供应与使用条例》，自 1996 年 9 月 1 日起施行。

总理 李 鹏

1996 年 4 月 17 日

### 第一章 总 则

**第一条** 为了加强电力供应与使用的管理，保障供电、用电双方的合法权益，维护供电、用电秩序，安全、经济、合理地供电和用电，根据《中华人民共和国电力法》制定本条例。

**第二条** 在中华人民共和国境内，电力供应企业（以下称供电企业）和电力使用者（以下称用户）以及与电力供应、使用有关的单位和个人，必须遵守本条例。

**第三条** 国务院电力管理部门负责全国电力供应与使用的监督管理工作。

县级以上地方人民政府电力管理部门负责本行政区域内电力供应与使用的监督管理工作。

**第四条** 电网经营企业依法负责本供区内的电力供应与使用的业务工作，并接受电力管理部门的监督。

**第五条** 国家对电力供应和使用实行安全用电、节约用电、计划用电的管理原则。

供电企业和用户应当遵守国家有关规定，采取有效措施，做好安全用电、节约用电、计划用电工作。

**第六条** 供电企业和用户应当根据平等自愿、协商一致的原则签订供用电合同。

**第七条** 电力管理部门应当加强对供用电的监督管理，协调供用电各方关系，禁止危害供用电安全和非法侵占电能的行为。

### 第二章 供电营业区

**第八条** 供电企业在批准的供电营业区内向用户供电。

供电营业区的划分，应当考虑电网的结构和供电

合理性等因素。一个供电营业区内只设立一个供电营业机构。

**第九条** 省、自治区、直辖市范围内的供电营业区的设立、变更，由供电企业提出申请，经省、自治区、直辖市人民政府电力管理部门会同同级有关部门审查批准后，由省、自治区、直辖市人民政府电力管理部门发给《供电营业许可证》。跨省、自治区、直辖市的供电营业区的设立、变更，由国务院电力管理部门审查批准并发给《供电营业许可证》。供电营业机构持《供电营业许可证》向工商行政管理部门申请领取营业执照，方可营业。

电网经营企业应当根据电网结构和供电合理性的原则协助电力管理部门划分供电营业区。

供电营业区的划分和管理办法，由国务院电力管理部门制定。

**第十条** 并网运行的电力生产企业按照并网协议运行后，送入电网的电力、电量由供电营业机构统一经销。

**第十一条** 用户用电容量超过其所在的供电营业区内供电企业供电能力的，由省级以上电力管理部门指定的其他供电企业供电。

### 第三章 供 电 设 施

**第十二条** 县级以上各级人民政府应当将城乡电网的建设与改造规划，纳入城市建设和乡村建设的总体规划。各级电力管理部门应当会同有关行政主管部门和电网经营企业做好城乡电网建设和改造的规划。供电企业应当按照规划做好供电设施建设和运行管理工作。

**第十三条** 地方各级人民政府应当按照城市建设



和乡村建设的总体规划统筹安排城乡供电线路走廊、电缆通道、区域变电所、区域配电所和营业网点的用地。

供电企业可以按照国家有关规定在规划的线路走廊、电缆通道、区域变电所、区域配电所和营业网点的用地上，架线、敷设电缆和建设公用供电设施。

**第十四条** 公用路灯由乡、民族乡、镇人民政府或者县级以上地方人民政府有关部门负责建设，并负责运行维护和交付电费，也可以委托供电企业代为有偿设计、施工和维护管理。

**第十五条** 供电设施、受电设施的设计、施工、试验和运行，应当符合国家标准或者电力行业标准。

**第十六条** 供电企业和用户对供电设施、受电设施进行建设和维护时，作业区域内的有关单位和个人应当给予协助，提供方便；因作业对建筑物或者农作物造成损坏的，应当依照有关法律、行政法规的规定负责修复或给予合理的补偿。

**第十七条** 公用供电设施建成投产后，由供电单位统一维护管理。经电力管理部门批准，供电企业可以使用、改造、扩建该供电设施。

共用供电设施的维护管理，由产权单位协商确定，产权单位可自行维护管理，也可以委托供电企业维护管理。

用户专用的供电设施建成投产后，由用户维护管理或者委托供电企业维护管理。

**第十八条** 因建设需要，必须对已建成的供电设施进行迁移、改造或者采取防护措施时，建设单位应当事先与该供电设施管理单位协商，所需工程费用由建设单位负担。

#### 第四章 电力供应

**第十九条** 用户受电端的供电质量应当符合国家标准或者电力行业标准。

**第二十条** 供电方式应当按照安全、可靠、经济、合理和便于管理的原则，由电力供应与使用双方根据国家有关规定以及电网规划、用电需求和当地供电条件等因素协商确定。

在公用供电设施未到达的地区，供电企业可以委托有供电能力的单位就近供电。非经供电企业委托，任何单位不得擅自向外供电。

**第二十一条** 因抢险救灾需要紧急供电时，供电企业必须尽速安排供电。所需工程费用和应付电费由有关地方人民政府有关部门从抢险救灾经费中支出，但是抗旱用电应当由用户交付电费。

**第二十二条** 用户对供电质量有特殊要求的，供

电企业应当根据其必要性和电网的可能，提供相应的电力。

**第二十三条** 申请新装用电、临时用电、增加用电容量、变更用电和终止用电，均应当到当地供电企业办理手续，并按照国家有关规定交付费用；供电企业没有不予供电的合理理由的，应当供电。供电企业应当在其营业场所公告用电的程序、制度和收费标准。

**第二十四条** 供电企业应当按照国家标准或者电力行业标准参与用户受电装置设计图纸的审核，对用户受电装置隐蔽工程的施工过程实施监督，并在该受电装置工程竣工后进行检验；检验合格的，方可投入使用。

**第二十五条** 供电企业应当按照国家有关规定实行分类电价、分时电价。

**第二十六条** 用户应当安装用电计量装置。用户使用的电力、电量，以计量检定机构依法认可的用电计量装置的记录为准。用电计量装置，应当安装在供电设施与受电设施的产权分界处。

安装在用户处的用电计量装置，由用户负责保护。

**第二十七条** 供电企业应当按照国家核准的电价和用电计量装置的记录，向用户计收电费。

用户应当按照国家批准的电价，并按规定的期限、方式或者合同约定的办法，交付电费。

**第二十八条** 除本条例另有规定外，在发电、供电系统正常运行的情况下，供电企业应当连续向用户供电；因故需要停止供电时，应当按照下列要求事先通知用户或者进行公告：

(一) 因供电设施计划检修需要停电时，供电企业应当提前 7 天通知用户或者进行公告；

(二) 因供电设施临时检修需要停止供电时，供电企业应当提前 24 小时通知重要用户；

(三) 因发电、供电系统发生故障需要停电、限电时，供电企业应当按照事先确定的限电序位进行停电或者限电。引起停电或者限电的原因消除后，供电企业应当尽快恢复供电。

#### 第五章 电力使用

**第二十九条** 县级以上人民政府电力管理部门应当遵照国家产业政策，按照统筹兼顾、保证重点、择优供应的原则，做好计划用电工作。

供电企业和用户应当制订节约用电计划，推广和采用节约用电的新技术、新材料、新工艺、新设备，降低电能消耗。

供电企业和用户应当采用先进技术、采取科学管理措施，安全供电、用电，避免发生事故，维护公共安

全。

**第三十条** 用户不得有下列危害供电、用电安全，扰乱正常供电、用电秩序的行为：

- (一) 擅自改变用电类别；
- (二) 擅自超过合同约定的容量用电；
- (三) 擅自超过计划分配的用电指标；
- (四) 擅自使用已经在供电企业办理暂停使用手续的电力设备，或者擅自启用已经被供电企业查封的电力设备；

(五) 擅自迁移、更动或者擅自操作供电企业的用电计量装置、电力负荷控制装置、供电设施以及约定由供电企业调度的用户受电设备；

(六) 未经供电企业许可，擅自引入、供出电源或者将自备电源擅自并网。

**第三十一条** 禁止窃电行为。窃电行为包括：

- (一) 在供电企业的供电设施上，擅自接线用电；
- (二) 绕越供电企业的用电计量装置用电；
- (三) 伪造或者开启法定的或者授权的计量检定机构加封的用电计量装置封印用电；
- (四) 故意损坏供电企业用电计量装置；
- (五) 故意使供电企业的用电计量装置计量不准或者失效；

(六) 采用其他方法窃电。

## 第六章 供用电合同

**第三十二条** 供电企业和用户应当在供电前根据用户需要和供电企业的供电能力签订供用电合同。

**第三十三条** 供用电合同应当具备以下条款：

- (一) 供电方式、供电质量和供电时间；
- (二) 用电容量和用电地址、用电性质；
- (三) 计量方式和电价、电费结算方式；
- (四) 供用电设施维护责任的划分；
- (五) 合同的有效期限；
- (六) 违约责任；
- (七) 双方共同认为应当约定的其他条款。

**第三十四条** 供电企业应当按照合同约定的数量、质量、时间、方式，合理调度和安全供电。

用户应当按照合同约定的数量、条件用电，交付电费和规定的其他费用。

**第三十五条** 供用电合同的变更或者解除，应当依照有关法律、行政法规和本条例的规定办理。

## 第七章 监督与管理

**第三十六条** 电力管理部门应当加强对供电、用电的监督管理。供电、用电监督检查工作人员必须具

备相应的条件。供电、用电监督检查工作人员执行公务时，应当出示证件。

供电、用电监督检查管理的具体办法，由国务院电力管理部门另行制定。

**第三十七条** 在用户受送电装置上作业的电工，必须经电力管理部门考核合格，取得电力管理部门颁发的《电工进网作业许可证》，方可上岗作业。

承装、承修、承试供电设施和受电设施的单位，必须经电力管理部门审核合格，取得电力管理部门颁发的《承装（修）电力设施许可证》后，方可向工商行政管理部门申请领取营业执照。

## 第八章 法律责任

**第三十八条** 违反本条例规定，有下列行为之一的，由电力管理部门责令改正，没收违法所得，可以并处违法所得五倍以下的罚款：

- (一) 未按照规定取得《供电营业许可证》，从事电力供应业务的；
- (二) 擅自伸入或者跨越供电营业区供电的；
- (三) 擅自向外转供电的。

**第三十九条** 违反本条例第二十七条规定，逾期未交付电费的，供电企业可以从逾期之日起，每日按照电费总额的千分之一至千分之三加收违约金，具体比例由供用电双方在供用电合同中约定；自逾期之日起计算超过30日，经催交仍未交付电费的，供电企业可以按照国家规定的程序停止供电。

**第四十条** 违反本条例第三十条规定，违章用电的，供电企业可以根据违章事实和造成的后果追缴电费，并按照国务院电力管理部门的规定加收电费和规定的其他费用；情节严重的，可以按照国家规定的程序停止供电。

**第四十一条** 违反本条例第三十一条规定，盗窃电能的，由电力管理部门责令停止违法行为，追缴电费并处交电费五倍以下的罚款；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

**第四十二条** 供电企业或者用户违反供用电合同，给对方造成损失的，应当依法承担赔偿责任。

**第四十三条** 因电力运行事故给用户或者第三人造成损害的，供电企业应当依法承担赔偿责任。

因用户或者第三人的过错给供电企业或者其他用户造成损害的，该用户或者第三人应当依法承担赔偿责任。

**第四十四条** 供电企业职工违反规章制度造成供电事故的，或者滥用职权、利用职务之便谋取私利的，依法给予行政处分；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

## 第九章 附 则

第四十五条 本条例自 1996 年 9 月 1 日起施行。

## 附录三 供用电监督管理办法

### 中华人民共和国电力工业部令

第 4 号

《供用电监督管理办法》经审查同意，现予发布施行。

中华人民共和国电力工业部

1996 年 5 月 19 日

### 第一章 总 则

第一条 为加强电力供应与使用的监督管理，根据《电力供应与使用条例》第三十六条规定，制定本办法。

第二条 从事供用电监督管理的机构和人员，在执行监督检查任务时，必须遵守本办法。

第三条 供用电监督管理必须以事实为依据，以电力法律和行政法规以及电力技术标准为准绳，遵循本办法的规定进行。

### 第二章 监 督 管 理

第四条 县级以上电力管理部门负责本行政区域内供电、用电的监督管理。但上级电力管理部门认为工作必需，可指派供用电监督人员直接进行监督检查。

第五条 供用电监督管理的职责是：

1. 宣传、普及电力法律和行政法规知识；
2. 监督电力法律、行政法规和电力技术标准的执行；
3. 监督国家有关电力供应与使用政策、方针的执行；
4. 负责月用电计划审核和批准工作；
5. 协调处理供用电纠纷，依法保护电力投资者、供应者与使用者的合法权益；
6. 负责进网作业电工和承装（修、试）单位资格审查，并核发许可证；

7. 协助司法机关查处电力供应与使用中发生的治安、刑事案件；

8. 依法查处电力违法行为，并作出行政处罚。

第六条 供用电监督人员在依法执行监督检查公务时，应出示《供用电监督证》。被检查的单位应接受检查，并根据监督人员依法提出的要求，提供有关情况、回答有关询问、协助提供证据、出示工作证件等。

第七条 供用电监督人员依法执行监督公务时，应遵守被检查单位的保卫保密规定；现场勘查不得直接或替代他人从事电工作业，也不得非法干预被检查单位正常的生产调度工作。

### 第三章 监督检查人员资格

第八条 各级电力管理部门应依法配备供用电监督管理人员。担任供用电监督管理工作的人员必须是经过国家考试合格，并取得相应聘任资格证书的人员。

第九条 供用电监督资格由个人提出书面申请，经申请人所在单位同意，县级以上电力管理部门推荐，接受专门知识和技能的培训，参加全国统一组织的考试，合格后发给《供用电监督资格证》。

第十条 申请供用电监督资格者应具备下列条件：

1. 作风正派，办事公道，廉洁奉公；
2. 具有电气专业中专以上或相当学历的文化程度；
3. 有三年以上从事供用电专业工作的实际经验

和相应的管理能力；

4. 经过法律知识培训，熟悉电力方面的法律、行政法规和电力技术的标准以及供用电管理规章。

**第十一条** 省级电力管理部门负责本行政区域内的供用电监督管理人员的资格申请、审查和专门知识及技能的培训工作。

国务院电力管理部门负责供用电监督资格的全国统一考试，并对合格者颁发《供用电监督资格证》。

《供用电监督资格证》由国务院电力管理部门统一制作。

**第十二条** 县级以上电力管理部门必须从取得《供用电监督资格证》的人员中，择优聘用供用电监督人员，报经省电力管理部门批准，并取得《供用电监督证》后，方能从事电力监督管理工作。

《供用电监督证》由国务院电力管理部门统一制作。

#### 第四章 电力违法行为查处

**第十三条** 各级电力管理部门负责本行政区域内发生的电力违法行为查处工作。上级电力管理部门认为必要时，可直接查处下级电力管理部门管辖的电力违法行为，也可将自己查处的电力违法事件交由下级电力管理部门查处。对电力违法行为情节复杂，需由上一级电力管理部门查处更为适宜时，下级电力管理部门可报请上一级电力管理部门查处。

**第十四条** 电力管理部门对下列方式要求处理的电力违法事件，应当受理：

1. 用户或群众举报的；
2. 供电企业提请处理的；
3. 上级电力管理部门交办的；
4. 其他部门移送的。

电力管理部门对受理的电力违法事件，可视电力违法事件性质和危及电网安全运行的紧迫程度，可依法在现场查处，也可立案处理。

**第十五条** 电力违法行为，可用书面和口头方式举报。口头方式举报的事件，受理人应详细记录并经核对无误后，由举报人签章。举报人举报的事件如不愿使用真实姓名的，电力管理部门应尊重举报人的意愿。

**第十六条** 电力管理部门发现受理的举报事件不属于本部门查处的，应及时向举报人说明，同时将举报信函或笔录移送有权处理的部门。对明显的治安违法行为或刑事违法行为，电力管理部门应主动协助公安、司法机关查处。

**第十七条** 符合下列条件之一的电力违法行为，电力管理部门应当立案：

1. 具有电力违法事实的；
2. 依照电力法规可能追究法律责任的；
3. 属于本部门管辖和职责范围内处理的。

**第十八条** 符合立案条件的，应填写《电力违法行为受理、立案呈批表》，经电力管理部门领导批准后立案。

经批准立案的事件，应及时指派承办人调查。现场调查时，调查承办人应填写《电力违法案件调查笔录》。调查结束后，承办人应提出《电力违法案件调查报告》。

**第十九条** 电力管理部门对危及电网运行安全或人身安全的违法行为，当供电企业到现场制止无效时，应当即指派供用电监督人员赶赴现场处理，制止违法行为，以确保电网和人身安全。

**第二十条** 案件调查结束后，应视案情可依法作出下列处理：

1. 对举报不实或证据不足，未构成违法事实的，应报请批准立案主管领导准予撤销；
2. 对违法事实清楚，证据确凿的，应依法作出行政处罚决定，并发出《违反电力法规行政处罚决定通知书》，并送达当事人；
3. 违法行为已构成犯罪的，应及时将案件移送司法机关，依法追究其刑事责任。

**第二十一条** 案件处理完毕后，承办人应及时填写《电力违法案件结案报告》，经主管领导批准后结案。案情重大或上级交办的案件结束后，应向上一级电力管理部门备案。

**第二十二条** 当事人对行政处罚决定不服的，可在接到《违反电力法规行政处罚决定通知书》之日起，十五日内向作出行政处罚决定机关的上一级机关申请复议；对复议决定不服的，可在接到复议决定之日起十五日内，向人民法院起诉。当事人也可在接到处罚决定通知书之日起的十五日内，直接向人民法院起诉。对不履行处罚决定的，由作出处罚决定的机关向人民法院申请强制执行。

#### 第五章 行政处罚

**第二十三条** 违反《电力法》和国家有关规定，未取得《供电营业许可证》而从事电力供应业务者，电力管理部门应以书面形式责令其停止营业，没收其非法所得，并处以违法所得五倍以下的罚款。

**第二十四条** 违反《电力法》和国家有关规定，擅自伸入或跨越其他供电企业供电营业区供电者，电力管理部门应以书面形式责令其拆除伸入或跨越的供电设施，作出书面检查，没收其非法所得，并处以违法所得四倍以下的罚款。

**第二十五条** 违反《电力法》和国家有关规定，擅自向外转供电者，电力管理部门应以书面形式责令其拆除转供电设施，作出书面检查，没收其非法所得，并处以违法所得三倍以下的罚款。

**第二十六条** 供电企业未按《电力法》和国家有关规定的通知用户或进行公告，而对用户中断供电的，电力管理部门责令其改正，给予警告；情节严重的，对有关主管人员和直接责任人给予行政处分。

**第二十七条** 供电企业违反规定，减少农业和农村用电指标的，电力管理部门责令改正；情节严重的，对有关主管人员和直接责任人员给予行政处分；造成损失的，责令赔偿损失。

**第二十八条** 电力管理部门对危害供电、用电安全，扰乱正常供电、用电秩序的行为，除协助供电企业追缴电费外，应分别给予下列处罚：

1. 擅自改变用电类别的，应责令其改正，给予警告；再次发生的，可下达中止供电命令，并处以一万元以下的罚款。

2. 擅自超过合同约定的容量用电的，应责令其改正，给予警告；拒绝改正的，可下达中止供电命令，并按私增容量每千瓦（或每千伏安）100元，累计总额不超过五万元的罚款。

3. 擅自超过计划分配的用电指标用电的，应责令其改正，给予警告，并按超用电量、电量分别处以每千瓦每次五元和每千瓦时十倍电度电价，累计总额不超

过五万元的罚款；拒绝改正的，可下达中止供电命令。

4. 擅自使用已经在供电企业办理暂停使用手续的电力设备，或者擅自启用已经被供电企业查封的电力设备的，应责令其改正，给予警告；启用电力设备危及电网安全的，可下达中止供电命令，并处以每次二万元以下的罚款。

5. 擅自迁移、更动或者擅自操作供电企业的用电计量装置、电力负荷控制装置、供电设施以及约定由供电企业调度的用户受电设备，且不构成窃电和超指标用电的，应责令其改正，给予警告；造成他人损害的，还应责令其赔偿；危及电网安全的，可下达中止供电命令，并处以三万元以下的罚款。

6. 未经供电企业许可，擅自引入、供出电力或者将自备电源擅自并网的，应责令其改正，给予警告；拒绝改正的，可下达中止供电命令，并处以五万元以下的罚款。

**第二十九条** 电力管理部门对盗窃电能的行为，应责令其停止违法行为，并处以应交电费五倍以下的罚款；构成违反治安管理行为的，由公安机关依照治安管理处罚条例的有关规定予以处罚；构成犯罪的，依照刑法第一百五十一条或者第一百五十二条的规定追究刑事责任。

## 第六章 附 则

**第三十条** 本办法自1996年9月1日起施行。

# 附录四 用电检查管理办法

## 中华人民共和国电力工业部令

第6号

《用电检查管理办法》经审查同意，现予发布，自1996年9月1日起施行。

中华人民共和国电力工业部

1996年8月21日

### 第一章 总 则

**第一条** 为规范供电企业的用电检查行为，保障

正常供用电秩序和公共安全，根据《电力法》、《电力供应与使用条例》和国家有关规定，制定本办法。

**第二条** 电网经营企业、供电企业及其用电检查

人员和被检查的用电户，必须遵守本办法。

**第三条** 用电检查工作必须以事实为依据，以国家有关电力供应与使用的法规、方针、政策，以及国家和电力行业的标准为准则，对用户的电力使用进行检查。

## 第二章 检查内容与范围

**第四条** 供电企业应按照规定对本供电营业区内的用户进行用电检查，用户应当接受检查并为供电企业的用电检查提供方便。用电检查的内容是：

- 一、用户执行国家有关电力供应与使用的法规、方针、政策、标准、规章制度情况；
- 二、用户受（送）电装置工程施工质量检验；
- 三、用户受（送）电装置中电气设备运行安全状况；
- 四、用户保安电源和非电性质的保安措施；
- 五、用户反事故措施；
- 六、用户进网作业电工的资格、进网作业安全状况及作业安全保障措施；
- 七、用户执行计划用电、节约用电情况；
- 八、用电计量装置、电力负荷控制装置、继电保护和自动装置、调度通讯等安全运行状况；
- 九、供用电合同及有关协议履行的情况；
- 十、受电端电能质量状况；
- 十一、违章用电和窃电行为；
- 十二、并网电源、自备电源并网安全状况。

**第五条** 用电检查的主要范围是用户受电装置，但被检查的用户有下列情况之一者，检查的范围可延伸至相应目标所在处：

- 一、有多类电价的；
- 二、有自备电源设备（包括自备发电厂）的；
- 三、有二次变压配电的；
- 四、有违章现象需延伸检查的；
- 五、有影响电能质量的用电设备的；
- 六、发生影响电力系统事故需作调查的；
- 七、用户要求帮助检查的；
- 八、法律规定的其他用电检查。

**第六条** 用户对其设备的安全负责。用电检查人员不承担因被检查设备不安全引起的直接损坏或损害的赔偿责任。

## 第三章 组织机构及人员资格

**第七条** 用电检查实行按省电网统一组织实施，分级管理的原则，并接受电力管理部门的监督管理。

**第八条** 各跨省电网、省级电网和独立电网的电网经营企业，在其用电管理部门应配备专职人员，负责

网内用电检查工作。其职责是：

一、负责受理网内供电企业用电检查人员的资格申请、业务培训、资格考核和发证工作；

二、依据国家有关规定，制订并颁发网内用电检查管理的规章制度；

三、督促检查供电企业依法开展用电检查工作；

四、负责网内用电检查的日常管理和协调工作。

**第九条** 供电企业在用电管理部门配备合格的用电检查人员和必要的装备，依照本办法规定开展用电检查工作。其职责是：

一、宣传贯彻国家有关电力供应与使用的法律、法规、方针、政策以及国家和电力行业标准、管理制度。

二、负责并组织实施下列工作：

1. 负责用户受（送）电装置工程电气图纸和有关资料的审查；
2. 负责用户进网作业电工培训、考核并统一报送电力管理部门审核、发证等事宜；
3. 负责对承接、承修、承试电力工程单位的资质考核，并统一报送电力管理部门审核、发证；
4. 负责节约用电措施的推广应用；
5. 负责安全用电知识宣传和普及教育工作；
6. 参与对用户重大电气事故的调查；
7. 组织并网电源的并网安全检查和并网许可工作。

三、根据实际需要，按本办法第四条规定的内容定期或不定期地对用户的安全用电、节约用电、计划用电状况进行监督检查。

**第十条** 根据用电检查工作需要，用电检查职务序列为一级用电检查员、二级用电检查员、三级用电检查员。

**第十一条** 对用电检查人员的资格实行考核认定。用电检查资格分为：一级用电检查资格，二级用电检查资格，三级用电检查资格三类。

**第十二条** 申请一级用电检查资格者，应已取得电气专业高级工程师或工程师、高级技师资格；或者具有电气专业大专以上学历，并在用电岗位上连续工作5年以上；或者取得二级用电检查资格后，在用电检查岗位工作5年以上者。

申请二级用电检查资格者，应已取得电气专业工程师、助理工程师、技师资格；或者具有电气专业中专以上文化程度，并在用电岗位连续工作3年以上；或者取得三级用电检查资格后，在用电检查岗位工作3年以上者。

申请三级用电检查资格者，应已取得电气专业助理工程师、技术员资格；或者具有电气专业中专以上文

化程度,并在用电岗位工作1年以上;或者已在用电检查岗位连续工作5年以上者。

**第十三条** 用电检查资格由跨省电网经营企业或省级电网经营企业组织统一考试,合格后发给相应的《用电检查资格证书》。

《用电检查资格证书》由国务院电力管理部门统一监制。

**第十四条** 聘任为用电检查职务的人员,应具备下列条件:

一、作风正派,办事公道,廉洁奉公。

二、已取得相应的用电检查资格。聘为一级用电检查员者,应具有一级用电检查资格;聘为二级用电检查员者,应具有二级及以上用电检查资格;聘为三级用电检查员者,应具有三级及以上用电检查资格。

三、经过法律知识培训,熟悉与供用电业务有关的法律、法规、方针、政策、技术标准以及供用电管理规章制度。

**第十五条** 三级用电检查员仅能担任0.4千伏及以下电压受电的用户的用电检查工作。二级用电检查员能担任10千伏及以下电压供电用户的用电检查工作。一级用电检查员能担任220千伏及以下电压供电用户的用电检查工作。

#### 第四章 检查程序

**第十六条** 供电企业用电检查人员实施现场检查时,用电检查的人数不得少于两人。

**第十七条** 执行用电检查任务前,用电检查人员应按规定填写《用电检查工作单》,经审核批准后,方能赴用户执行查电任务。查电工作结束后,用电检查人员应将《用电检查工作单》交回存档。

《用电检查工作单》内容应包括:用户单位名称、用电检查人员姓名、检查项目及内容、检查日期、检查结果,以及用户代表签字等栏目。

**第十八条** 用电检查人员在执行查电任务时,应向被检查的用户出示《用电检查证》,用户不得拒绝检查,并应派员随同配合检查。

**第十九条** 经现场检查确认用户的设备状况、电工作业行为、运行管理等方面有不符合安全规定的,或者在电力使用上有明显违反国家有关规定的,用电检查人员应开具《用电检查结果通知书》或《违章用电、窃电通知书》一式两份,一份送达用户并由用户代表签收,一份存档备查。

**第二十条** 现场检查确认有危害供用电安全或扰乱供用电秩序行为的,用电检查人员应按下列规定,在现场予以制止。拒绝接受供电企业按规定处理的,可按

国家规定的程序停止供电,并请求电力管理部门依法处理,或向司法机关起诉,依法追究其法律责任。

一、在电价低的供电线路上,擅自接用电价高的用电设备或者擅自改变用电类别用电的,应责成用户拆除擅自接用的用电设备或改正其用电类别,停止侵害,并按规定追收其差额电费和加收电费;

二、擅自超过注册或合同约定的容量用电的,应责成用户拆除或封存私增电力设备,停止侵害,并按规定追收基本电费和加收电费;

三、超过计划分配的电力、电量指标用电的,应责成其停止超用,按国家有关规定限制其所用电力并扣还其超用电量或按规定加收电费;

四、擅自使用已在供电企业办理暂停使用手续的电力设备或启用已被供电企业封存的电力设备的,应再次封存该电力设备,制止其使用,并按规定追收基本电费和加收电费;

五、擅自迁移、更动或操作供电企业用电计量装置、电力负荷控制装置、供电设施以及合同(协议)约定由供电企业调度范围的用户受电设备的,应责成其改正,并按规定加收电费;

六、未经供电企业许可,擅自引入(或供出)电源或者将自备电源擅自并网的,应责成用户当即拆除接线,停止侵害,并按规定加收电费。

**第二十一条** 现场检查确认有窃电行为的,用电检查人员应当场予以中止供电,制止其侵害,并按规定追补电费和加收电费。拒绝接受处理的,应报请电力管理部门依法给予行政处罚;情节严重,违反治安管理处罚规定的,由公安机关依法予以治安处罚;构成犯罪的,由司法机关依法追究刑事责任。

#### 第五章 检查纪律

**第二十二条** 用电检查人员应认真履行用电检查职责,赴用户执行用电检查任务时,应随身携带《用电检查证》,并按《用电检查工作单》规定项目和内容进行检查。

**第二十三条** 用电检查人员在执行用电检查任务时,应遵守用户的保卫保密规定,不得在检查现场替代用户进行电工作业。

**第二十四条** 用电检查人员必须遵纪守法,依法检查,廉洁奉公,不徇私舞弊,不以电谋私。违反本条规定者,依据有关规定给予经济的、行政的处分;构成犯罪的,依法追究其刑事责任。

#### 第六章 附 则

**第二十五条** 本办法自1996年9月1日起施行。

## 附录五 居民用户家用电器损坏 处理办法

### 中华人民共和国电力工业部令

第7号

《居民用户家用电器损坏处理办法》经审查同意,现予发布,自1996年9月1日起施行。

中华人民共和国电力工业部

1996年8月21日

**第一条** 为保护供用电双方的合法权益,规范因电力运行事故引起的居民用户家用电器损坏的理赔处理,公正、合理地调解纠纷,根据《电力法》、《电力供应与使用条例》和国家有关规定,制定本办法。

**第二条** 本办法适用于由供电企业以220/380伏电压供电的居民用户,因发生电力运行事故导致电能质量劣化,引起居民用户家用电器损坏时的索赔处理。

**第三条** 本办法所称的电力运行事故,是指在供电企业负责运行维护的220/380伏供电线路或设备上因供电企业的责任发生的下列事件:

1. 在220/380伏供电线路上,发生相线与零线接错或三相相序接反;
2. 在220/380伏供电线路上,发生零线断线;
3. 在220/380伏供电线路上,发生相线与零线互碰;
4. 同杆架设或交叉跨越时,供电企业的高压线路导线掉落到220/380伏线路上或供电企业高电压线路对220/380伏线路放电。

**第四条** 由于第三条列举的原因出现若干户家用电器同时损坏时,居民用户应及时向当地供电企业投诉,并保持家用电器损坏原状。供电企业在接到居民用户家用电器损坏投诉后,应在24小时内派员赴现场进行调查、核实。

**第五条** 属于本办法第三条所列事件引起家用电器损坏的,供电企业应会同居委会(村委会)或其他有关部门,共同对受害居民用户损坏的家用电器名称、型号、数量、使用年月、损坏现象等进行登记和取证。登记笔录材料应由受害居民用户签字确认,作为理赔处理的依据。

**第六条** 供电企业如能提供证明,居民用户家用电器的损坏是不可抗力、第三人责任、受害者自身过错或产品质量事故等原因引起,并经县级以上电力管理部门核实无误,供电企业不承担赔偿责任。

**第七条** 从家用电器损坏之日起7日内,受害居民用户未向供电企业投诉并提出索赔要求的,即视为受害者已自动放弃索赔权。超过7日的,供电企业不再负责其赔偿。

**第八条** 损坏的家用电器经供电企业指定的或双方认可的检修单位检定,认为可以修复的,按本办法第九条规定处理;认为不可修复的,按本办法第十条规定处理。

**第九条** 对损坏家用电器的修复,供电企业承担被损坏元件的修复责任。修复时应尽可能以原型号、规格的新元件修复;无原型号、规格的新元件可供修复时,可采用相同功能的新元件替代。

修复所发生的元件购置费、检测费、修理费均由供电企业负担。

不属于责任损坏或未损坏的元件,受害居民用户也要求更换时,所发生的元件购置费与修理费应由提出要求者负担。

**第十条** 对不可修复的家用电器,其购置时间在6个月以内的,按原购货发票价,供电企业全额予以赔偿;购置时间在6个月以上的,按原购货发票价,并按本规定第十二条规定的使用寿命折旧后的余额,予以赔偿。使用年限已超过本办法第十二条规定仍在使用的,或者折旧后的差额低于原价10%的,按原价的10%予以赔偿。使用时间以发货票开具的日期为准开始计算。



对无法提供购货发票的,应由受害居民用户负责举证,经供电企业核查无误后,以证明出具的购置日期时的国家定价为准,按前款规定清偿。

以外币购置的家用电器,按购置时国家外汇牌价折人民币计算其购置价,以人民币进行清偿。

清偿后,损坏的家用电器归属供电企业所有。

**第十一条** 在理赔处理中,供电企业与受害居民用户因赔偿问题达不成协议的,由县级以上电力管理部门调解;调解不成的,可向司法机关申请裁定。

**第十二条** 各类家用电器的平均使用年限为:

电子类:如电视机、音响、录像机、充电器等,使用寿命为10年;

电机类:如电冰箱、空调器、洗衣机、电风扇、吸尘器等,使用寿命为12年;

电阻电热类:如电饭煲、电热水器、电茶壶、电炒锅等,使用寿命为5年;

电光源类:白炽灯、气体放电灯、调光灯等,使用寿命为2年。

**第十三条** 供电企业对居民用户家用电器损坏所支付的修理费用或赔偿费,由供电生产成本中列支。

**第十四条** 第三人责任致使居民用户家用电器损坏的,供电企业应协助受害居民用户向第三人索赔,并可比照本办法进行处理。

**第十五条** 本办法自1996年9月1日起施行。

## 附录六 供电营业规则

### 中华人民共和国电力工业部令

第8号

《供电营业规则》经审查同意,现予发布施行。

中华人民共和国电力工业部

1996年10月8日

### 第一章 总 则

**第一条** 为加强供电营业管理,建立正常的供电营业秩序,保障供用双方的合法权益,根据《电力供应与使用条例》和国家有关规定,制定本规则。

**第二条** 供电企业和用户在进行电力供应与使用活动中,应遵守本规则的规定。

**第三条** 供电企业和用户应当遵守国家有关规定,服从电网统一调度,严格按指标供电和用电。

**第四条** 本规则应放置在供电企业的用电营业场所,供用户查阅。

### 第二章 供电方式

**第五条** 供电企业供电的额定频率为交流50赫兹。

**第六条** 供电企业供电的额定电压:

1. 低压供电:单相为220伏,三相为380伏;

2. 高压供电:为10、35(63)、110、220千伏。除发电厂直配电压可采用3千伏或6千伏外,其他等级的电压应逐步过渡到上列额定电压。

用户需要的电压等级不在上列范围时,应自行采取变压措施解决。

用户需要的电压等级在110千伏及以上时,其受电装置应作为终端变电站设计,方案需经省电网经营企业审批。

**第七条** 供电企业对申请用电的用户提供的供电方式,应从供用电的安全、经济、合理和便于管理出发,依据国家的有关政策和规定、电网的规划、用电需求以及当地供电条件等因素,进行技术经济比较,与用户协商确定。

**第八条** 用户单相用电设备总容量不足10千瓦的可采用低压220伏供电。但有单台设备容量超过1千瓦的单相电焊机、换流设备时,用户必须采取有效的技术措施以消除对电能质量的影响,否则应改为其他

方式供电。

**第九条** 用户用电设备容量在 100 千瓦及以下或需用变压器容量在 50 千伏安及以下者,可采用低压三相四线制供电,特殊情况也可采用高压供电。

用电负荷密度较高的地区,经过技术经济比较,采用低压供电的技术经济性明显优于高压供电时,低压供电的容量界限可适当提高。具体容量界限由省电网经营企业作出规定。

**第十条** 供电企业可以对距离发电厂较远的用户,采用发电厂直配供电方式,但不得以发电厂的厂用电源或变电站(所)的站用电源对用户供电。

**第十一条** 用户需要备用、保安电源时,供电企业应按其负荷重要性、用电容量和供电的可能性,与用户协商确定。

用户重要负荷的保安电源,可由供电企业提供,也可由用户自备。遇有下列情况之一者,保安电源应由用户自备:

1. 在电力系统瓦解或不可抗力造成供电中断时,仍需保证供电的;
2. 用户自备电源比从电力系统供给更为经济合理的。

供电企业向有重要负荷的用户提供的保安电源,应符合独立电源的条件。有重要负荷的用户在取得供电企业供给的保安电源的同时,还应有非电性质的应急措施,以满足安全的需要。

**第十二条** 对基建工地、农田水利、市政建设等非永久性用电,可供给临时电源。临时用电期限除经供电企业准许外,一般不得超过六个月。逾期不办理延期或永久性正式用电手续的,供电企业应终止供电。

使用临时电源的用户不得向外转供电,也不得转让给其他用户,供电企业也不受理其变更用电事宜。如需改为正式用电,应按新装用电办理。

因抢险救灾需要紧急供电时,供电企业应迅速组织力量,架设临时电源供电。架设临时电源所需的工程费用和应付的电费,由地方人民政府有关部门负责从救灾经费中拨付。

**第十三条** 供电企业一般不采用趸售方式供电,以减少中间环节。特殊情况需开放趸售供电时,应由省级电网经营企业报国务院电力管理部门批准。

趸购转售电单位应服从电网的统一调度,按国家规定的电价向用户售电,不得再向乡、村层层趸售。

电网经营企业与趸购转售电单位应就趸购转售事宜签订供用电合同,明确双方的权利和义务。

趸购转售电单位需新装或增加趸购容量时,应按本规则的规定办理新装增容手续。

**第十四条** 用户不得自行转供电。在公用供电设施尚未到达的地区,供电企业征得该地区有供电能力的直供用户同意,可采用委托方式向其附近的用户转供电力,但不得委托重要的国防军工用户转供电。

委托转供电应遵守下列规定:

1. 供电企业与委托转供户(以下简称转供户)应就转供范围、转供容量、转供期限、转供费用、转供用电指标、计量方式、电费计算、转供电设施建设、产权划分、运行维护、调度通信、违约责任等事项签订协议。
2. 转供区域内的用户(以下简称被转供户),视同供电企业的直供户,与直供户享有同样的用电权利,其一切用电事宜按直供户的规定办理。

3. 向被转供户供电的公用线路与变压器的损耗电量应由供电企业负担,不得摊入被转供户用电量中。

4. 在计算转供户用电量、最大需量及功率因数调整电费时,应扣除被转供户、公用线路与变压器消耗的有功、无功电量、最大需量按下列规定折算:

- (1) 照明及一班制:每月用电量 180 千瓦时,折合为 1 千瓦;
- (2) 二班制:每月用电量 360 千瓦时,折合为 1 千瓦;
- (3) 三班制:每月用电量 540 千瓦时,折合为 1 千瓦;
- (4) 农业用电:每月用电量 270 千瓦时,折合为 1 千瓦。

5. 委托的费用,按委托的业务项目的多少,由双方协商确定。

**第十五条** 为保障用电安全,便于管理,用户应将重要负荷与非重要负荷、生产用电与生活区用电分开配电。

新装或增加用电的用户应按上述规定确定内部的配电方式,对目前尚未达到上述要求的用户应逐步进行改造。

### 第三章 新装、增容与变更用电

**第十六条** 任何单位或个人需新装用电或增加用电容量、变更用电都必须按本规则规定,事先到供电企业用电营业场所提出申请,办理手续。

供电企业应在用电营业场所公告办理各项用电业务的程序、制度和收费标准。

**第十七条** 供电企业的用电营业机构统一归口办理用户的用电申请和报装接电工作,包括用电申请书的发放及审核、供电条件勘查、供电方案确定及批复、有关费用收取、受电工程设计的审核、施工中间检查、竣工检验、供用电合同(协议)签约、装表接电等项业

务。

**第十八条** 用户申请新装或增加用电时,应向供电企业提供用电工程项目批准的文件及有关的用电资料,包括用电地点、电力用途、用电性质、用电设备清单、用电负荷、保安电力、用电规划等,并依照供电企业规定的格式如实填写用电申请书及办理所需手续。

新建受电工程项目在立项阶段,用户应与供电企业联系,就工程供电的可能性、用电容量和供电条件等达成意向性协议,方可定址,确定项目。

未按前款规定办理的,供电企业有权拒绝受理其用电申请。

如因供电企业供电能力不足或政府规定限制的用电项目,供电企业可通知用户暂缓办理。

**第十九条** 供电企业对已受理的用电申请,应尽快确定供电方案,在下列期限内正式书面通知用户:

居民用户最长不超过五天;低压电力用户最长不超过十天;高压单电源用户最长不超过一个月;高压双电源用户最长不超过二个月。若不能如期确定供电方案时,供电企业应向用户说明原因。用户对供电企业答复的供电方案有不同意见时,应在一个月内提出意见,双方可再行协商确定。用户应根据确定的供电方案进行受电工程设计。

**第二十条** 用户新装或增加用电,在供电方案确定后,应按国家的有关规定向供电企业交纳新装增容供电工程贴费(以下简称供电贴费)。

**第二十一条** 供电方案的有效期,是指从供电方案正式通知书发出之日起至交纳供电贴费并受电工程开工日为止。高压供电方案的有效期为一年,低压供电方案的有效期为三个月,逾期注销。

用户遇有特殊情况,需延长供电方案有效期的,应在有效期到期前十天向供电企业提出申请,供电企业应视情况予以办理延长手续。但延长时间不得超过前款规定期限。

**第二十二条** 有下列情况之一者,为变更用电。用户需变更用电时,应事先提出申请,并携带有关证明文件,到供电企业用电营业场所办理手续,变更供用电合同:

1. 减少合同约定的用电容量(简称减容);
2. 暂时停止全部或部分受电设备的用电(简称暂停);
3. 临时更换大容量变压器(简称暂换);
4. 迁移受电装置用电地址(简称迁址);
5. 移动用电计量装置安装位置(简称移表);
6. 暂时停止用电并拆表(简称暂拆);
7. 改变用户的名称(简称更名或过户);

8. 一户分列为两户及以上的用户(简称分户);

9. 两户及以上用户合并为一户(简称并户);

10. 合同到期终止用电(简称销户);

11. 改变供电电压等级(简称改压);

12. 改变用电类别(简称改类)。

**第二十三条** 用户减容,须在五天前向供电企业提出申请。供电企业应按下列规定办理:

1. 减容必须是整台或整组变压器的停止或更换小容量变压器用电。供电企业在受理之日后,根据用户申请减容的日期对设备进行加封。从加封之日起,按原计费方式减收其相应容量的基本电费。但用户申明为永久性减容的或从加封之日起期满二年又不办理恢复用电手续的,其减容后的容量已达不到实施两部制电价规定容量标准时,应改为单一制电价计费;

2. 减少用电容量的期限,应根据用户所提出的申请确定,但最短期限不得少于六个月,最长期限不得超过二年;

3. 在减容期限内,供电企业应保留用户减少容量的使用权。用户要求恢复用电,不再交付供电贴费;超过减容期限要求恢复用电时,应按新装或增容手续办理;

4. 在减容期限内要求恢复用电时,应在五天前向供电企业办理恢复用电手续,基本电费从启封之日起计收;

5. 减容期满后,用户以及新装、增容用户,二年内不得申办减容或暂停。如确需继续办理减容或暂停的,减少或暂停部分容量的基本电费应按百分之五十计算收取。

**第二十四条** 用户暂停,须在五天前向供电企业提出申请。供电企业应按下列规定办理:

1. 用户在每一日历年内,可申请全部(含不通过受电变压器的高压电动机)或部分用电容量的暂时停止用电两次,每次不得少于十五天,一年累计暂停时间不得超过六个月。季节性用电或国家另有规定的用户,累计暂停时间可以另议;

2. 按变压器容量计收基本电费的,暂停用电必须是整台或整组变压器停止运行。供电企业在受理暂停申请后,根据用户申请暂停的日期对暂停设备加封。从加封之日起,按原计费方式减收其相应容量的基本电费;

3. 暂停期满或每一日历年内累计暂停用电时间超过六个月者,不论用户是否申请恢复用电,供电企业须从期满之日起,按合同约定的容量计收其基本电费;

4. 在暂停期限内,用户申请恢复暂停用电容量用电时,须在预定恢复日前五天向供电企业提出申请。暂

停时间少于十五天者，暂停期间基本电费照收；

5. 按最大需量计收基本电费的用戶，申請暫停用電必須是全部容量（含不通過受電變壓器的高壓電動機）的暫停，並遵守本條1至4項的有關規定。

**第二十五條** 用戶替換（因受電變壓器故障而無相同容量變壓器替代，需要臨時更換大容量變壓器），須在更換前向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 必須在原受電地點內整台的替換受電變壓器；
2. 替換變壓器的使用時間，10千伏及以下的不得超過二個月，35千伏及以上的不得超過三個月。逾期不辦理手續的，供電企業可中止供電；
3. 替換的變壓器經檢驗合格後才能投入運行；
4. 替換變壓器增加的容量不收取供電貼費，但對兩部制電價用戶須在替換之日起，按替換後的變壓器容量計收基本電費。

**第二十六條** 用戶遷址，須在五天前向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 原址按終止用電辦理，供電企業予以銷戶。新址用電優先受理；
2. 遷移後的新址不在原供電點供電的，新址用電按新裝用電辦理；
3. 遷移後的新址在原供電點供電的，且新址用電容量不超過原址容量，新址用電不再收取供電貼費。新址用電引起的工程費用由用戶負擔；
4. 遷移後的新址仍在原供電點，但新址用電容量超過原址用電容量的，超過部分按增容辦理；
5. 私自遷移用電地址而用電者，除按本規則第一百條第5項處理外，自遷新址不論是否引起供電點變動，一律按新裝用電辦理。

**第二十七條** 用戶移表（因修繕房屋或其他原因需要移動用電計量裝置安裝位置），須向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 在用電地址、用電容量、用電類別、供電點等不變情況下，可辦理移表手續；
2. 移表所需的費用由用戶負擔；
3. 用戶不論何種原因，不得自行移動表位，否則，可按本規則第一百條第5項處理。

**第二十八條** 用戶暫拆（因修繕房屋等原因需要暫時停止用電並拆表），應持有關證明向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 用戶辦理暫拆手續後，供電企業應在五天之內執行暫拆；
2. 暫拆時間最長不得超過六個月。暫拆期間，供電企業保留該用戶原容量的使用權；

3. 暫拆原因消除，用戶要求復裝接電時，須向供電企業辦理復裝接電手續並按規定交付費用。上述手續完成後，供電企業應在五天之內為該用戶復裝接電；

4. 超過暫拆規定時間要求復裝接電者，按新裝手續辦理。

**第二十九條** 用戶更名或過戶（依法變更用戶名稱或居民用戶房屋變更戶主），應持有關證明向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 在用電地址、用戶容量、用電類別不變條件下，允許辦理更名或過戶；
2. 原用戶應與供電企業結清債務，才能解除原供用電關係；
3. 不申請辦理過戶手續而私自過戶者，新用戶應承擔原用戶所負債務。經供電企業檢查發現用戶私自過戶時，供電企業應通知該戶補辦手續，必要時可中止供電。

**第三十條** 用戶分戶，應持有關證明向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 在用電地址、供電點、用電容量不變，且其受電裝置具備分裝的條件時，允許辦理分戶；
2. 在原用戶與供電企業結清債務的情況下，再辦理分戶手續；
3. 分戶後的新用戶應與供電企業重新建立供用電關係；
4. 原用戶的用電容量由分戶者自行協商分割，需要增容者，分戶後另行向供電企業辦理增容手續；
5. 分戶引起的工程費用由分戶者負擔；
6. 分戶後受電裝置應經供電企業檢驗合格，由供電企業分別裝表計費。

**第三十一條** 用戶並戶，應持有關證明向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 在同一供電點，同一用電地址的相鄰兩個及以上用戶允許辦理並戶；
2. 原用戶應在並戶前向供電企業結清債務；
3. 新用戶用電容量不得超過並戶前各戶容量之總和；
4. 並戶引起的工程費用由並戶者負擔；
5. 並戶的受電裝置應經檢驗合格，由供電企業重新裝表計費。

**第三十二條** 用戶銷戶，須向供電企業提出申請。供電企業應按下列規定辦理：

1. 銷戶必須停止全部用電容量的使用；
2. 用戶已向供電企業結清電費；
3. 查驗用電計量裝置完好性後，拆除接戶線和用電計量裝置；

4. 用户持供电企业出具的凭证, 领还电能表保证金与电费保证金。

办完上述事宜, 即解除供用电关系。

**第三十三条** 用户连续六个月不用电, 也不申请办理暂停用电手续者, 供电企业须以销户终止其用电。用户需再用电时, 按新装用电办理。

**第三十四条** 用户改压 (因用户原因需要在原址改变供电电压等级), 应向供电企业提出申请。供电企业应按下列规定办理:

1. 改为高一等级电压供电, 且容量不变者, 免收其供电贴费。超过原容量者, 超过部分按增容手续办理;

2. 改为低一等级电压供电时, 改压后的容量不大于原容量者, 应收取两级电压供电贴费标准差额的供电贴费。超过原容量者, 超过部分按增容手续办理;

3. 改压引起的工程费用由用户负担。

由于供电企业的原因引起用户供电电压等级变化的, 改压引起的用户外部工程费用由供电企业负担。

**第三十五条** 用户改类, 须向供电企业提出申请。供电企业应按下列规定办理:

1. 在同一受电装置内, 电力用途发生变化而引起用电电价类别改变时, 允许办理改类手续;

2. 擅自改变用电类别, 应按本规则第一百条第 1 项处理。

**第三十六条** 用户依法破产时, 供电企业应按下列规定办理:

1. 供电企业应予销户, 终止供电;

2. 在破产用户原址上用电的, 按新装用电办理;

3. 从破产用户分离出去的新用户, 必须在清偿原破产用户电费和其他债务后, 方可办理变更用电手续, 否则, 供电企业可按违约用电处理。

#### 第四章 受电设施建设与维护管理

**第三十七条** 用户受电设施的建设与改造应当符合城乡电网建设与改造规划。对规划中安排的线路走廊和变电站建设用地, 应当优先满足公用供电设施建设的需要, 确保土地和空间资源得到有效利用。

**第三十八条** 用户新装、增装或改装受电工程的设计安装、试验与运行应符合国家有关标准; 国家尚未制订标准的, 应符合电力行业标准; 国家和电力行业尚未制定标准的, 应符合省 (自治区、直辖市) 电力管理部门的规定和规程。

**第三十九条** 用户受电工程设计文件和有关资料应一式两份送交供电企业审核。高压供电的用户应提供:

1. 受电工程设计及说明书;
2. 用电负荷分布图;
3. 负荷组成、性质及保安负荷;
4. 影响电能质量的用电设备清单;
5. 主要电气设备一览表;
6. 节能篇及主要生产设备、生产工艺耗电以及允许中断供电时间;
7. 高压受电装置一、二次接线图与平面布置图;
8. 用电功率因数计算及无功补偿方式;
9. 继电保护、过电压保护及电能计量装置的方式;
10. 隐蔽工程设计资料;
11. 配电网络布置图;
12. 自备电源及接线方式;
13. 供电企业认为必须提供的其他资料。

低压供电的用户应提供负荷组成和用电设备清单。

**第四十条** 供电企业对用户送审的受电工程设计文件和有关资料, 应根据本规则的有关规定进行审核。审核的时间, 对高压供电的用户最长不超过一个月; 对低压供电的用户最长不超过十天。供电企业对用户的受电工程设计文件和有关资料的审核意见应以书面形式连同审核过的一份受电工程设计文件和有关资料一并退还用户, 以便用户据以施工。用户若更改审核后的设计文件时, 应将变更后的设计再送供电企业复核。

用户受电工程的设计文件, 未经供电企业审核同意, 用户不得据以施工, 否则, 供电企业将不予检验和接电。

**第四十一条** 无功电力应就地平衡。用户应在提高用电自然功率因数的基础上, 按有关标准设计和安装无功补偿设备, 并做到随其负荷和电压变动及时投入或切除, 防止无功电力倒送。除电网有特殊要求的用户外, 用户在当地供电企业规定的电网高峰负荷时的功率因数, 应达到下列规定:

100 千伏安及以上高压供电的用户功率因数为 0.90 以上。

其他电力用户和大、中型电力排灌站、趸购转售电企业, 功率因数为 0.85 以上。

农业用电, 功率因数为 0.80。

凡功率因数不能达到上述规定的新用户, 供电企业可拒绝接电。对已送电的用户, 供电企业应督促和帮助用户采取措施, 提高功率因数。对在规定期限内仍未采取措施达到上述要求的用户, 供电企业可中止或限制供电。

功率因数调整电费办法按国家规定执行。

**第四十二条** 用户受电工程在施工期间,供电企业应根据审核同意的设计和有关施工标准,对用户受电工程中的隐蔽工程进行中间检查。如有不符合规定的,应以书面形式向用户提出意见,用户应按设计和施工标准的规定予以改正。

**第四十三条** 用户受电工程施工、试验完工后,应向供电企业提出工程竣工报告,报告应包括:

1. 工程竣工图及说明;
2. 电气试验及保护整定调试记录;
3. 安全用具的试验报告;
4. 隐蔽工程的施工及试验记录;
5. 运行管理的有关规定和制度;
6. 值班人员名单及资格;
7. 供电企业认为必要的其他资料或记录。

供电企业接到用户的受电装置竣工报告及检验申请后,应及时组织检验。对检验不合格的,供电企业应以书面形式一次性通知用户改正,改正后方予以再次检验,直至合格。但自第二次检验起,每次检验前用户须按规定交纳重复检验费。检验合格后的十天内,供电企业应派员装表接电。

重复检验收费标准,由省电网经营企业提出,报经省有关部门批准后执行。

**第四十四条** 公用路灯、交通信号灯是公用设施,应由当地人民政府及有关管理部门投资建设,并负责维护管理和交纳电费等事项。供电企业可接受地方有关部门的委托,代为设计、施工与维护管理公用路灯,并照章收取费用,具体事项由双方协商确定。

**第四十五条** 用户建设临时性受电设施,需要供电企业施工的,其施工费用应由用户负担。

**第四十六条** 用户独资、合资或集资建设的输电、变电、配电等供电设施建成后,其运行维护管理按以下规定确定:

1. 属于公用性质或占用公用线路规划走廊的,由供电企业统一管理。供电企业应在交接前,与用户协商,就供电设施运行维护管理达成协议。对统一运行维护管理的公用供电设施,供电企业应保留原所有者在上述协议中确认的容量。

2. 属于用户专用性质,但在公用变电站内的供电设施,由用户运行维护管理。如用户运行维护管理确有困难,可与供电企业协商,就委托供电企业代为运行维护管理有关事项签订协议。

3. 属于用户共用性质的供电设施,由拥有产权的用户共同运行维护管理。如用户共同运行维护管理确有困难,可与供电企业协商,就委托供电企业代为运行维护管理有关事项签订协议。

4. 在公用变电站内由用户投资建设的供电设备,如变压器、通信设备、开关、刀闸等,由供电企业统一经营管理。建成投运前,双方应就运行维护、检修、备品备件等项事宜签订交接协议。

5. 属于临时用电等其他性质的供电设施,原则上由产权所有者运行维护管理,或由双方协商确定,并签订协议。

**第四十七条** 供电设施的运行维护管理范围,按产权归属确定。责任分界点按下列各项确定:

1. 公用低压线路供电的,以供电接户线用户端最后支持物为分界点,支持物属供电企业。

2. 10千伏及以下公用高压线路供电的,以用户厂界外或配电室前的第一断路器或第一支持物为分界点,第一断路器或第一支持物属供电企业。

3. 35千伏及以上公用高压线路供电的,以用户厂界外或用户变电站外第一基电杆为分界点,第一基电杆属供电企业。

4. 采用电缆供电的,本着便于维护管理的原则,分界点由供电企业与用户协商确定。

5. 产权属于用户且由用户运行维护的线路,以公用线路分支杆或专用线路接引的公用变电站外第一基电杆为分界点,专用线路第一基电杆属用户。

在电气上的具体分界点,由供用双方协商确定。

**第四十八条** 供电企业和用户分工维护管理的供电和受电设备,除另有约定者外,未经管辖单位同意,对方不得操作或更动;如因紧急事故必须操作或更动者,事后应迅速通知管辖单位。

**第四十九条** 由于工程施工或线路维护上的需要,供电企业须在用户处进行凿墙、挖沟、掘坑、巡线等作业时,用户应给予方便,供电企业工作人员应遵守用户的有关安全保卫制度。用户到供电企业维护的设备区作业时,应征得供电企业同意,并在供电企业人员监护下进行工作。作业完工后,双方均应及时予以修复。

**第五十条** 因建设引起建筑物、构筑物与供电设施相互妨碍,需要迁移供电设施或采取防护措施时,应按建设先后的原则,确定其担负的责任。如供电设施建设在先,建筑物、构筑物建设在后,由后续建设单位负担供电设施迁移、防护所需的费用;如建筑物、构筑物的建设在先,供电设施建设在后,由供电设施建设单位负担建筑物、构筑物的迁移所需的费用;不能确定建设的先后者,由双方协商解决。

供电企业需要迁移用户或其他供电企业的设施时,也按上述原则办理。

城乡建设与改造需迁移供电设施时,供电企业和

用户都应积极配合,迁移所需的材料和费用,应在城乡建设与改造投资中解决。

**第五十一条** 在供电设施上发生事故引起的法律责任,按供电设施产权归属确定。产权归属于谁,谁就承担其拥有的供电设施上发生事故引起的法律责任。但产权所有者不承担受害者因违反安全或其他规章制度,擅自进入供电设施非安全区域内而发生事故引起的法律责任,以及在委托维护的供电设施上,因代理方维护不当所发生事故引起的法律责任。

## 第五章 供电质量与安全供用电

**第五十二条** 供电企业和用户都应加强供电和用电的运行管理,切实执行国家和电力行业制订的有关安全供用电的规程制度。用户执行其上级主管机关颁发的电气规程制度,除特殊专用的设备外,如与电力行业标准或规定有矛盾时,应以国家和电力行业标准或规定为准。

供电企业和用户在必要时应制订本单位的现场规程。

**第五十三条** 在电力系统正常状况下,供电频率的允许偏差为:

1. 电网装机容量在 300 万千瓦及以上的,为  $\pm 0.2$  赫兹;
2. 电网装机容量在 300 万千瓦以下的,为  $\pm 0.5$  赫兹。

在电力系统非正常状况下,供电频率允许偏差不应超过  $\pm 1.0$  赫兹。

**第五十四条** 在电力系统正常状况下,供电企业供到用户受电端的供电电压允许偏差为:

1. 35 千伏及以上电压供电的,电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定值的 10%;
2. 10 千伏及以下三相供电的,为额定值的  $\pm 7\%$ ;
3. 220 伏单相供电的,为额定值的  $+7\%$ ,  $-10\%$ 。

在电力系统非正常状况下,用户受电端的电压最大允许偏差不应超过额定值的  $\pm 10\%$ 。

用户用电功率因数达不到本规则第四十一条规定的,其受电端的电压偏差不受此限制。

**第五十五条** 电网公共连接点电压正弦波畸变率和用户注入电网的谐波电流不得超过国家标准 GB/T14549—1993 的规定。

用户的非线性阻抗特性的用电设备接入电网运行所注入电网的谐波电流和引起公共连接点电压正弦波畸变率超过标准时,用户必须采取措施予以消除。否则,供电企业可中止对其供电。

**第五十六条** 用户的冲击负荷、波动负荷、非对称

负荷对供电质量产生影响或对安全运行构成干扰和妨碍时,用户必须采取措施予以消除。如不采取措施或采取措施不力,达不到国家标准 GB12326—1990 或 GB/T15543—1995 规定的要求时,供电企业可中止对其供电。

**第五十七条** 供电企业应不断改善供电可靠性,减少设备检修和电力系统事故对用户的停电次数及每次停电持续时间。供用电设备计划检修应做到统一安排。供电设备计划检修时,对 35 千伏及以上电压供电的用户的停电次数,每年不应超过一次;对 10 千伏供电的用户,每年不应超过三次。

**第五十八条** 供电企业和用户应共同加强对电能质量的管理。因电能质量某项指标不合格而引起责任纠纷时,不合格的质量责任由电力管理部门认定的电能质量检测机构负责技术仲裁。

**第五十九条** 供电企业和用户的供用电设备计划检修应相互配合,尽量做到统一检修。用电负荷较大,开停对电网有影响的设备,其停开时间,用户应提前与供电企业联系。

遇有紧急检修需停电时,供电企业应按规定提前通知重要用户,用户应予以配合;事故断电,应尽快修复。

**第六十条** 供电企业应根据电力系统情况和电力负荷的重要性,编制事故限电序位方案,并报电力管理部门审批或备案后执行。

**第六十一条** 用户应定期进行电气设备和保护装置的检查、检修和试验,消除设备隐患,预防电气设备和误动作发生。

用户电气设备危及人身和运行安全时,应立即检修。

多路电源供电的用户应加装连锁装置,或按照供用双方签订的协议进行调度操作。

**第六十二条** 用户发生下列用电事故,应及时向供电企业报告:①人身触电死亡;②导致电力系统停电;③专线掉闸或全厂停电;④电气火灾;⑤重要或大型电气设备损坏;⑥停电期间向电力系统倒送电。

供电企业接到用户上述事故报告后,应派员赴现场调查,在七天内协助用户提出事故调查报告。

**第六十三条** 用户受电装置应当与电力系统的继电保护方式相互配合,并按照电力行业有关标准或规程进行整定和检验。由供电企业整定、加封的继电保护装置及其二次回路和供电企业规定的继电保护整定值,用户不得擅自变动。

**第六十四条** 承装、承修、承试受电工程的单位,必须经电力管理部门审核合格,并取得电力管理部门

颁发的《承装(修)电力设施许可证》。

在用户受电装置上作业的电工,应经过电工专业技能的培训,必须取得电力管理部门颁发的《电工进网作业许可证》,方准上岗作业。

**第六十五条** 供电企业和用户都应经常开展安全供用电宣传教育,普及安全用电常识。

**第六十六条** 在发供电系统正常情况下,供电企业应连续向用户供应电力。但是,有下列情形之一的,须经批准方可中止供电:

1. 对危害供用电安全,扰乱供用电秩序,拒绝检查者;
2. 拖欠电费经通知催交仍不交者;
3. 受电装置经检验不合格,在指定期间未改善者;
4. 用户注入电网的谐波电流超过标准,以及冲击负荷、非对称负荷等对电能质量产生干扰与妨碍,在规定限期内不采取措施者;
5. 拒不在限期内拆除私增用电容量者;
6. 拒不在限期内交付违约用电引起的费用者;
7. 违反安全用电、计划用电的有关规定,拒不改正者;
8. 私自向外转供电力者。

有下列情形之一的,不经批准即可中止供电,但事后应报告本单位负责人:

1. 不可抗力 and 紧急避险;
2. 确有窃电行为。

**第六十七条** 除因故中止供电外,供电企业需对用户停止供电时,应按下列程序办理停电手续:

1. 应将停电的用户、原因、时间报本单位负责人批准。批准权限和程序由省电网经营企业制定;
2. 在停电前三至七天内,将停电通知书送达用户,对重要用户的停电,应将停电通知书报送同级电力管理部门;
3. 在停电前30分钟,将停电时间再通知用户一次,方可在通知规定时间实施停电。

**第六十八条** 因故需要中止供电时,供电企业应按下列要求事先通知用户或进行公告:

1. 因供电设施计划检修需要停电时,应提前七天通知用户或进行公告;
2. 因供电设施临时检修需要停止供电时,应当提前24小时通知重要用户或进行公告;
3. 发供电系统发生故障需要停电、限电或者计划限、停电时,供电企业应按确定的限电序位进行停电或限电。但限电序位应事前公告用户。

**第六十九条** 引起停电或限电的原因消除后,供

电企业应在三日内恢复供电。不能在三日内恢复供电的,供电企业应向用户说明原因。

## 第六章 用电计量与电费计收

**第七十条** 供电企业应在用户每一个受电点内按不同电价类别,分别安装用电计量装置。每个受电点作为用户的一个计费单位。

用户为满足内部核算的需要,可自行在其内部装设考核能耗用的电能表,但该表所示读数不得作为供电企业计费依据。

**第七十一条** 在用户受电点内难以按电价类别分别装设用电计量装置时,可装设总的用电计量装置,然后按其不同电价类别的用电设备容量的比例或实际可能的用电量,确定不同电价类别用电量的比例或定量进行分算,分别计价。供电企业每年至少对上述比例或定量核定一次,用户不得拒绝。

**第七十二条** 用电计量装置包括计费电能表(有功、无功电能表及最大需量表)和电压、电流互感器及二次连接线导线。计费电能表及附件的购置、安装、移动、更换、校验、拆除、加封、启封及表计接线等,均由供电企业负责办理,用户应提供工作上的方便。

高压用户的成套设备中装有自备电能表及附件时,经供电企业检验合格、加封并移交供电企业维护管理的,可作为计费电能表。用户销户时,供电企业应将该设备交还用户。

供电企业在新装、换装及现场校验后应对用电计量装置加封,并请用户在工作凭证上签章。

**第七十三条** 对10千伏及以下电压供电的用户,应配置专用的电能计量柜(箱);对35千伏及以上电压供电的用户,应有专用的电流互感器二次线圈和专用的电压互感器二次连接线,并不得与保护、测量回路共用。电压互感器专用回路的电压降不得超过允许值。超过允许值时,应予以改造或采取必要的技术措施予以更正。

**第七十四条** 用电计量装置原则上应装在供电设施的产权分界处。如产权分界处不适宜装表的,对专线供电的高压用户,可在供电变压器出口装表计量;对公用线路供电的高压用户,可在用户受电装置的低压侧计量。当用电计量装置不安装在产权分界处时,线路与变压器损耗的有功与无功电量均须由产权所有者负担。在计算用户基本电费(按最大需量计收时)、电度电费及功率因数调整电费时,应将上述损耗电费计算在内。

**第七十五条** 城镇居民用电一般应实行一户一表。因特殊原因不能实行一户一表计费时,供电企业可



根据其容量按公安门牌或楼门单元、楼层安装共用的计费电能表,居民用户不得拒绝合用。共用计费电能表内的各用户,可自行装设分户电能表,自行分算电费,供电企业在技术上予以指导。

**第七十六条** 临时用电的用户,应安装用电计量装置。对不具备安装条件的,可按其用电容量、使用时间、规定的电价计收电费。

**第七十七条** 计费电能表装设后,用户应妥为保护,不应在表前堆放影响抄表或计量准确及安全的物品。如发生计费电能表丢失、损坏或过负荷烧坏等情况,用户应及时告知供电企业,以便供电企业采取措施。如因供电企业责任或不可抗力致使计费电能表出现或发生故障的,供电企业应负责换表,不收费;其他原因引起的,用户应负担赔偿费或修理费。

**第七十八条** 用户应按国家有关规定,向供电企业存出电能表保证金。供电企业对存入保证金的用户出具保证金凭证,用户应妥为保存。

**第七十九条** 供电企业必须按规定的周期校验、轮换计费电能表,并对计费电能表进行不定期检查。发现计量失常时,应查明原因。用户认为供电企业装设的计费电能表不准时,有权向供电企业提出校验申请,在用户交付验表费后,供电企业应在七天内检验,并将检验结果通知用户。如计费电能表的误差在允许范围内,验表费不退;如计费电能表的误差超出允许范围时,除退还验表费外,并按本规则第八十条规定退补电费。用户对检验结果有异议时,可向供电企业上级计量检定机构申请检定。用户在申请验表期间,其电费仍应按期交纳,验表结果确认后,再行退补电费。

**第八十条** 由于计费计量的互感器、电能表的误差及其连接线电压降超出允许范围或其他非人为原因致使计量记录不准时,供电企业应按下列规定退补相应电量的电费:

1. 互感器或电能表误差超出允许范围时,以“0”误差为基准,按验证后的误差值退补电量。退补时间从上次校验或换装后投入之日起至误差更正之日止的二分之一时间计算。

2. 连接线的电压降超出允许范围时,以允许电压降为基准,按验证后实际值与允许值之差补收电量。补收时间从连接线投入或负荷增加之日起至电压降更正之日止。

3. 其他非人为原因致使计量记录不准时,以用户正常月份的用电量为基准,退补电量,退补时间按抄表记录确定。

退补期间,用户先按抄见电量如期交纳电费,误差确定后,再行退补。

**第八十一条** 用电计量装置接线错误、保险熔断、倍率不符等原因,使电能计量或计算出现差错时,供电企业应按下列规定退补相应电量的电费:

1. 计费计量装置接线错误的,以其实际记录的电量为基数,按正确与错误接线的差额率退补电量,退补时间从上次校验或换装投入之日起至接线错误更正之日止。

2. 电压互感器保险熔断的,按规定计算方法计算值补收相应电量的电费;无法计算的,以用户正常月份用电量为基准,按正常月与故障月的差额补收相应电量的电费,补收时间按抄表记录或按失压自动记录仪记录确定。

3. 计算电量的倍率或铭牌倍率与实际不符的,以实际倍率为基准,按正确与错误倍率的差值退补电量,退补时间以抄表记录为准确定。

退补电量未正式确定前,用户应先按正常月用电量交付电费。

**第八十二条** 供电企业应当按国家批准的电价,依据用电计量装置的记录计算电费,按期向用户收取或通知用户按期交纳电费。供电企业可根据具体情况,确定向用户收取电费的方式。

用户应按供电企业规定的期限和交费方式交清电费,不得拖延或拒交电费。

用户应按国家规定向供电企业存出电费保证金。

**第八十三条** 供电企业应在规定的日期抄录计费电能表读数。

由于用户的原因未能如期抄录计费电能表读数时,可通知用户待期补抄或暂按前次用电量计收电费,待下次抄表时一次结清。因用户原因连续六个月不能如期抄到计费电能表读数时,供电企业应通知该用户得终止供电。

**第八十四条** 基本电费以月计算,但新装、增容、变更与终止用电当月的基本电费,可按实用天数(日用电不足24小时的,按一天计算)每日按全月基本电费三十分之一计算。事故停电、检修停电、计划限电不扣减基本电费。

**第八十五条** 以变压器容量计算基本电费的用戶,其备用的变压器(含高压电动机),属冷备用状态并经供电企业加封的,不收基本电费;属热备用状态的或未经加封的,不论使用与否都计收基本电费。用户专门为调整用电功率因数的设备,如电容器、调相机等,不计收基本电费。

在受电装置一次侧装有连锁装置互为备用的变压器(含高压电动机),按可能同时使用的变压器(含高压电动机)容量之和的最大值计算其基本电费。

**第八十六条** 对月用电量较大的用户,供电企业可按用户月电费确定每月分若干次收费,并于抄表后结清当月电费。收费次数由供电企业与用户协商确定,一般每月不少于三次。对于银行划拨电费的,供电企业、用户、银行三方应签订电费划拨和结清的协议书。

供用双方改变开户银行或帐号时,应及时通知对方。

**第八十七条** 临时用电用户未装用电计量装置的,供电企业应根据其用电容量,按双方约定的每日使用时数和使用期限预收全部电费。用电终止时,如实际使用时间不足约定期限二分之一的,可退还预收电费的二分之一;超过约定期限二分之一的,预收电费不退;到约定期限时,得终止供电。

**第八十八条** 供电企业依法对用户终止供电时,用户必须结清全部电费和与供电企业相关的其他债务。否则,供电企业有权依法追缴。

## 第七章 并网电厂

**第八十九条** 在供电营业区内建设的各类发电厂,未经许可,不得从事电力供应与电能经销业务。

并网运行的发电厂,应在发电厂建设项目立项前,与并网的电网经营企业联系,就并网容量、发电时间、上网电价、上网电量等达成电量购销意向性协议。

**第九十条** 电网经营企业与并网发电厂应根据国家法律、行政法规和有关规定,签订并网协议,并在并网发电前签订并网电量购销合同。合同应当具备下列条款:

1. 并网方式、电能质量和发电时间;
2. 并网发电容量、年发电利用小时和年上网电量;
3. 计量方式和上网电价、电费结算方式;
4. 电网提供的备用容量及计费标准;
5. 合同的有效期限;
6. 违约责任;
7. 双方认为必须规定的其他事宜。

**第九十一条** 用户自备电厂应自发自供厂区内的用电,不得将自备电厂的电力向厂外供电。自发自用有余的电量可与供电企业签订电量购销合同。

自备电厂如需伸入或跨越供电企业所属的供电营业区供电的,应经电网经营企业同意。

## 第八章 供用电合同与违约责任

**第九十二条** 供电企业和用户应当在正式供电前,根据用户用电需求和供电企业的供电能力以及办理用电申请时双方已认可或协商一致的下列文件,签

订供用电合同:

1. 用户的用电申请报告或用电申请书;
2. 新建项目立项前双方签订的供电意向性协议;
3. 供电企业批复的供电方案;
4. 用户受电装置施工竣工检验报告;
5. 用电计量装置安装完工报告;
6. 供电设施运行维护管理协议;
7. 其他双方事先约定的有关文件。

对用电量大的用户或供电有特殊要求的用户,在签订供用电合同时,可单独签订电费结算协议和电力调度协议等。

**第九十三条** 供用电合同应采用书面形式。经双方协商同意的有关修改合同的文书、电报、电传和图表也是合同的组成部分。

供用电合同书面形式可分为标准格式和非标准格式两类。标准格式合同适用于供电方式简单、一般性用电需求的用户;非标准格式合同适用于供用电方式特殊的用户。

省电网经营企业可根据用电类别、用电容量、电压等级的不同,分类制定出适应不同类型用户需要的标准格式的供用电合同。

**第九十四条** 供用电合同的变更或者解除,必须依法进行。有下列情形之一的,允许变更或解除供用电合同:

1. 当事人双方经过协商同意,并且不因此损害国家利益和扰乱供用电秩序;
2. 由于供电能力的变化或国家对电力供应与使用管理的政策调整,使订立供用电合同时的依据被修改或取消;
3. 当事人一方依照法律程序确定确实无法履行合同;
4. 由于不可抗力或一方当事人虽无过失,但无法防止的外因,致使合同无法履行。

**第九十五条** 供用电双方在合同中订有电力运行事故责任条款的,按下列规定办理:

1. 由于供电企业电力运行事故造成用户停电时,供电企业应按用户在停电时间内可能用电量的电度电费的五倍(单一制电价为四倍)给予赔偿。用户在停电时间内可能用电量,按照停电前用户正常用电月份或正常用电一定天数内的每小时平均用电量乘以停电小时求得。

2. 由于用户的责任造成供电企业对外停电,用户应按供电企业对外停电时间少供电量,乘以上月份供电企业平均售电单价给予赔偿。

因用户过错造成其他用户损害的,受害用户要求

赔偿时,该用户应当依法承担赔偿责任。

虽因用户过错,但由于供电企业责任而使事故扩大造成其他用户损害的,该用户不承担事故扩大部分的赔偿责任。

3. 对停电责任的分析和停电时间及少供电量的计算,均按供电企业的事故记录及《电业生产事故调查规程》办理。停电时间不足1小时按1小时计算,超过1小时按实际时间计算。

4. 本条所指的电度电费按国家规定的目录电价计算。

**第九十六条** 供用电双方在合同中订有电压质量责任条款的,按下列规定办理:

1. 用户用电功率因数达到规定标准,而供电电压超出本规则规定的变动幅度,给用户造成损失的,供电企业应按用户每月在电压不合格的累计时间内所用的电量,乘以用户当月用电的平均电价的百分之二十给予赔偿。

2. 用户用电的功率因数未达到规定标准或其他用户原因引起的电压质量不合格的,供电企业不负赔偿责任。

3. 电压变动超出允许变动幅度的时间,以用户自备并经供电企业认可的电压自动记录仪表的记录为准;如用户未装此项仪表,则以供电企业的电压记录为准。

**第九十七条** 供用电双方在合同中订有频率质量责任条款的,按下列规定办理:

1. 供电频率超出允许偏差,给用户造成损失的,供电企业应按用户每月在频率不合格的累计时间内所用的电量,乘以当月用电的平均电价的百分之二十给予赔偿。

2. 频率变动超出允许偏差的时间,以用户自备并经供电企业认可的频率自动记录仪表的记录为准;如用户未装此项仪表,则以供电企业的频率记录为准。

**第九十八条** 用户在供电企业规定的期限内未交清电费时,应承担电费滞纳的违约责任。电费违约金从逾期之日起计算至交纳日止。每日电费违约金按下列规定计算:

1. 居民用户每日按欠费总额的千分之一计算;
2. 其他用户:

(1)当年欠费部分,每日按欠费总额的千分之二计算;

(2)跨年度欠费部分,每日按欠费总额的千分之三计算。

电费违约金收取总额按日累加计收,总额不足1元者按1元收取。

**第九十九条** 因电力运行事故引起城乡居民用户家用电器损坏的,供电企业应按《居民用户家用电器损坏处理办法》进行处理。

**第一百条** 危害供用电安全、扰乱正常供用电秩序的行为,属于违约用电行为。供电企业对查获的违约用电行为应及时予以制止。有下列违约用电行为者,应承担其相应的违约责任:

1. 在电价低的供电线路上,擅自使用电价高的用电设备或私自改变用电类别的,应按实际使用日期补交其差额电费,并承担二倍差额电费的违约使用电费。使用起讫日期难以确定的,实际使用时间按三个月计算。

2. 私自超过合同约定的容量用电的,除应拆除私增设备外,属于两部制电价的,应补交私增设备容量使用月数的基本电费,并承担三倍私增容量基本电费的违约使用电费;其他用户应承担私增容量每千瓦(千伏安)50元的违约使用电费。如用户要求继续使用,按新装增容办理手续。

3. 擅自超过计划分配的用电指标的,应承担高峰超用电量每次每千瓦1元和超用电量与现行电价电费五倍的违约使用电费。

4. 擅自使用已在供电企业办理暂停手续的电力设备或启用供电企业封存的电力设备的,应停用违约使用的设备。属于两部制电价的,应补交擅自使用或启用封存设备容量和使用月数的基本电费,并承担二倍补交基本电费的违约使用电费;其他用户应承担擅自使用或启用封存设备容量每次每千瓦(千伏安)30元的违约使用电费。启用属于私增容被封存的设备的,违约使用者还应承担本条第2项规定的违约责任。

5. 私自迁移、更动和擅自操作供电企业的用电计量装置、电力负荷管理装置、供电设施以及约定由供电企业调度的用户受电设备者,属于居民用户的,应承担每次500元的违约使用电费;属于其他用户的,应承担每次5000元的违约使用电费。

6. 未经供电企业同意,擅自引入(供出)电源或将备用电源和其他电源私自并网的,除当即拆除接线外,应承担其引入(供出)或并网电源容量每千瓦(千伏安)500元的违约使用电费。

## 第九章 窃电的制止与处理

**第一百零一条** 禁止窃电行为。窃电行为包括:

1. 在供电企业的供电设施上,擅自接线用电;
2. 绕越供电企业用电计量装置用电;
3. 伪造或开启供电企业加封的用电计量装置封印用电;

4. 故意损坏供电企业用电计量装置;
5. 故意使供电企业用电计量装置不准或失效;
6. 采用其他方法窃电。

**第一百零二条** 供电企业对查获的窃电者, 应予制止, 并可当场中止供电。窃电者应按所窃电量补交电费, 并承担补交电费三倍的违约使用电费。拒绝承担窃电责任的, 供电企业应报请电力管理部门依法处理。窃电数额较大或情节严重的, 供电企业应提请司法机关依法追究刑事责任。

**第一百零三条** 窃电量按下列方法确定:

1. 在供电企业的供电设施上, 擅自接线用电的, 所窃电量按私接设备额定容量(千伏安视同千瓦)乘以实际使用时间计算确定;

2. 以其他行为窃电的, 所窃电量按计费电能表标定电流值(对装有限流器的, 按限流器整定电流值)所指的容量(千伏安视同千瓦)乘以实际窃用的时间计算确定。

窃电时间无法查明时, 窃电日数至少以一百八十天计算, 每日窃电时间: 电力用户按 12 小时计算; 照明用户按 6 小时计算。

**第一百零四条** 因违约用电或窃电造成供电企业的供电设施损坏的, 责任者必须承担供电设施的修复费用或进行赔偿。

因违约用电或窃电导致他人财产、人身安全受到侵害的, 受害人有权要求违约用电或窃电者停止侵害, 赔偿损失。供电企业应予协助。

**第一百零五条** 供电企业对检举、查获窃电或违约用电的有关人员应给予奖励。奖励办法由省电网经营企业规定。

## 第十章 附 则

**第一百零六条** 跨省电网经营企业、省电网经营企业可根据本规则, 在业务上作出补充规定。

**第一百零七条** 本规则自发布之日起施行。

## 参 考 文 献

- 1 刘介才主编. 供电工程师技术手册. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 2 刘介才主编. 工厂供用电实用手册. 北京: 中国电力出版社, 2001
- 3 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 本手册编委会编. 电机工程手册(第2版). 北京: 机械工业出版社, 1996~1997
- 5 本手册编委会编. 电气工程师手册(第2版). 北京: 机械工业出版社, 2000
- 6 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册(第2版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 7 中国电机工程学会编. 供用电实用手册. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1998
- 8 本手册编写组编. 电工手册. 上海: 上海科技出版社, 1978
- 9 李如虎主编. 三电工作实用手册. 北京: 中国水利水电出版社, 1997
- 10 刘介才编著. 工厂供电(第3版). 北京: 机械工业出版社, 1998
- 11 刘介才编著. 供配电技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 12 余健明、同向前、苏文成编. 供电技术(第3版). 北京: 机械工业出版社, 1998
- 13 刘从爱、徐中立主编. 电力工程. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 14 电力工业部安全监察及生产协调司编. 电力供应与使用法规汇编. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 15 电气简图用图形符号国家标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 2001
- 16 电气制图国家标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 2001
- 17 中国国家标准汇编(含修订本). 北京: 中国标准出版社, 1983~2000
- 18 电气标准规范化汇编(第2版). 北京: 中国计划出版社, 1999
- 19 电气装置工程施工及验收规范(汇编). 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- 20 电力工业标准汇编. 北京: 中国电力出版社, 1996~1998
- 21 行业标准 JB6—1996 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 22 行业标准 JGJ/T 16—1992 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 23 本手册编写组编. 工厂常用电气设备手册(第2版). 北京: 中国电力出版社, 1997
- 24 电力工业部西北电力设计院编. 电力工程电气设备手册(电气一次部分). 北京: 中国电力出版社, 1998
- 25 电力工业部西北电力设计院编. 电力工程电气设备手册(电气二次部分). 北京: 中国电力出版社, 1996
- 26 中国建筑科学研究院建筑物理研究所等编. 工业企业常用灯具计算图表. 北京, 1976
- 27 刘介才编著. 工厂供电 500 问答. 北京: 兵器工业出版社, 1994
- 28 刘介才主编. 工厂供电设计指导. 北京: 机械工业出版社, 1998
- 29 刘介才主编. 电气照明设计指导. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 30 天津电力公司编. 用电工作导读. 北京: 中国电力出版社, 1999
- 31 冯林桥、颜普元、许文玉编. 供配电系统 CAD 方法与应用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995
- 32 陈向群、杨宗则编. 预付费电能表及其检定. 北京: 中国电力出版社, 2000
- 33 赵伟、吕鸿莉、郭蕴蛟编著. 电子式电能表及其在现代用电管理中的应用. 北京: 中国电力出版社, 1999
- 34 四川省电力工业局、四川省电力教育协会编. 变电所自动化技术与无人值班. 北京: 中国电力出版社, 1998
- 35 王明俊、于尔铿、刘广一编著. 配电系统自动化及其发展. 北京: 中国电力出版社, 1998
- 36 胡乃定主编. 民用建筑电气技术与设计. 北京: 清华大学出版社, 1993
- 37 全国电气图形符号标准化技术委员会编. 国家标准电气制图、电气图形符号应用示例图册(建筑电气分册). 北京: 中国标准出版社, 1994
- 38 中国照明学会咨询工作委员会、北京照明学会设计专业委员会组织编写. 建筑电气设计实例图册(2). 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- 39 中国大百科全书电工卷. 北京, 上海: 中国大百科全书出版社, 1992

- 40 贺天枢、赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992
- 41 刘介才. 供电设计中若干问题的探讨. 四川省电工技术学会优秀论文集(1), 1990年10月
- 42 刘介才. 浅谈电气图形符号的派生. 电世界杂志 1993年第8期. 本文收入朱光亚、周光召主编的大型文献《中国科学技术文库·电工技术卷》, 北京: 科技文献出版社, 1998
- 43 刘介才. 三相交流相序代号问题的商榷. 电工技术杂志. 1997年. 第3期
- 44 刘介才. 电气设备文字符号的规范化. 电世界杂志. 1999年. 第1期
- 45 刘介才. 物理量下角标文字符号的规范化. 电世界. 1999年. 第11期
- 46 刘介才. 接地电阻简化计算公式辨析. 建筑电气季刊. 1998年第2期(本文被美国柯尔比科学文化信息中心推荐进入全球信息网络, 网址: <http://www.colby-usa.com>)