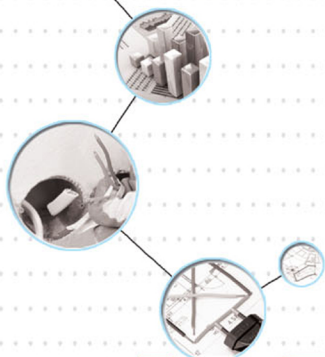




建设工程常用图表手册系列

JIAN SHE GONG CHENG CHANG YONG TUBIAO SHOU CE XILIE

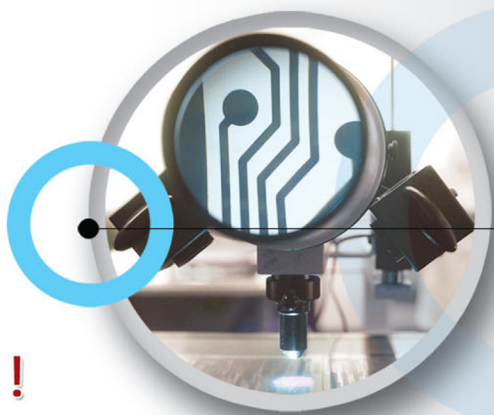


电气工程 常用图表手册

DIANQI GONGCHENG
CHANGYONG TUBIAO SHOUCE

◎ 史新 主编

- ❖ 数据资料 全面详实
- ❖ 图表索引 形式新颖
- ❖ 查阅检索 方便快捷
- ❖ 一书在手 工作好帮手！



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

建设工程常用图表手册系列

电气工程常用图表手册

史 新 主编



机械工业出版社

本书分为电气工程常用基础数据、电气工程常用计算数据、电气设备、电气工程常用技术数据4章。以国家现行规范、标准及常用设计图表资料为依据。本书数据翔实、全面准确,以满足电气专业技术人员的职业需求为准则,以提高电气专业技术人员的工作效率为前提,是广大电气专业技术人员必备的常用小型工具书。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程常用图表手册/史新主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 12

(建设工程常用图表手册系列)

ISBN 978-7-111-40097-4

I. ①电… II. ①史… III. ①电气工程—技术手册
IV. ①TTM-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第246503号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑: 闫云霞 责任编辑: 闫云霞 王 琪

版式设计: 霍永明 责任校对: 纪 敬

封面设计: 路恩中 责任印制:

印刷厂印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 14.25印张 · 346千字

标准书号: ISBN 978-7-111-40097-4

定价: 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

编 委 会

主 编 史 新

参 编 (按姓氏笔画排序)

于忠波 王向阳 王 恒 白雅君

刘 嫣 李方刚 李 伟 郭 晶

常志学 梁海涛 董 浩 韩 庆

魏 巍

前 言

随着建筑智能化的迅速发展，电气工程的地位和作用越来越重要。作为一名电气专业技术人员，应该掌握大量的常用电气图表资料。因此我们编写了这本《电气工程常用图表手册》。

本书以国家现行规范、标准及常用设计图表资料为依据，分为电气工程常用基础数据、电气工程常用计算数据、电气设备、电气工程常用技术数据 4 章。本书的内容特色如下：

1. 数据资料全面

本书数据翔实，全面准确，以满足电气专业技术人员的职业需求为准则，以提高电气专业技术人员的工作效率为前提，是广大电气专业技术人员必备的常用小型工具书。

2. 查找方式便捷

本书提供了两种查阅办法：直观目录法——三级目录层次清晰；直接索引法——图表索引方便快捷，能够帮助读者快捷地查阅所需参考数据，为我所用。

由于编者的学识和经验所限，虽尽心尽力，但书中仍难免存在疏漏或未尽之处，恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

目 录

前言

1 电气工程常用基础数据	1
1.1 常用名词术语	1
1.2 主要代号与单位	3
1.3 单位换算	14
1.4 物理常用数据	20
1.5 常用材料的物理性能	22
1.6 常用图形符号	26
2 电气工程常用计算数据	37
2.1 负荷计算的方法	37
2.1.1 需要系数法	37
2.1.2 利用系数法	42
2.1.3 住宅负荷的计算	45
2.2 电缆截面选择计算	45
2.3 短路电流计算	53
2.3.1 概述	53
2.3.2 短路电流的计算方法	56
3 电气设备	64
3.1 高压电器	64
3.1.1 高压断路器	64
3.1.2 高压熔断器	65
3.1.3 高压隔离开关	67
3.1.4 高压负荷开关	68
3.1.5 高压开关柜	69
3.2 低压电器	73
3.2.1 低压电气设备的类型与用途	73
3.2.2 低压断路器	74
3.2.3 低压熔断器	77
3.2.4 接触器	79
3.2.5 低压起动器	80
3.2.6 漏电保护器	81
3.3 变压器	82
3.3.1 变压器的用途	82
3.3.2 变压器的分类	83
3.3.3 变压器的工作原理	83
3.3.4 变压器的型号表示及含义	83
3.3.5 变压器的联结组标号	84
3.3.6 变压器台数和容量的选择	84
3.4 互感器	87
3.4.1 互感器的分类	87

3.4.2 互感器的作用	87
3.4.3 电压互感器	87
3.4.4 电流互感器	88
4 电气工程常用技术数据	90
4.1 供配电系统	90
4.1.1 负荷分级	90
4.1.2 电压选择和电能质量	93
4.2 变配电所	95
4.2.1 变配电所形式的选择	95
4.2.2 变配电所的电气主接线设计	99
4.2.3 变配电所的布置	114
4.3 继电保护装置	131
4.3.1 继电保护装置的构成	131
4.3.2 继电保护装置的基本要求	131
4.3.3 继电保护设计	131
4.4 自备应急电源	139
4.5 低压配电	140
4.6 配电线路布线系统	144
4.6.1 金属导管布线	144
4.6.2 金属线槽布线	144
4.6.3 电力电缆布线	145
4.6.4 矿物绝缘(MI)电缆布线	146
4.6.5 室外布线	147
4.6.6 母线安装	147
4.7 电气照明	152
4.7.1 照明质量	152
4.7.2 照明水平	154
4.7.3 照明标准值	154
4.8 防雷与接地	164
4.8.1 建筑物的防雷分类	164
4.8.2 防雷与接地装置	165
4.8.3 防雷与接地装置安装	174
4.9 信息设施系统与信息化应用系统	179
4.10 公共安全系统	186
4.10.1 火灾自动报警系统	186
4.10.2 安全技术防范系统	198
4.11 机房工程	205
图表索引	208
参考文献	218

1 电气工程常用基础数据

1.1 常用名词术语

电气工程常用名词术语见表 1-1。

表 1-1 电气工程常用名词术语

序号	术语	英文名称	含 义
1	备用电源	standby electrical source	当正常电源断电时，由于非安全原因用来维持电气装置或其某些部分所需的电源
2	应急电源	electrical source for safety services	用作应急供电系统组成部分的电源
3	导体	conductor	用于承载规定电流的导电部分
4	中性导体	neutral conductor (N)	电气上与中性点连接并能用于配电的导体
5	保护导体	protective conductor (PE)	为了安全目的，如电击防护而设置的导体
6	保护接地中性导体	protective and neutral conductor (PEN)	兼有保护接地导体和中性导体功能的导体，简称 PEN 导体
7	剩余电流	residual current	同一时刻，在电气装置中的电气回路给定点处的所有带电体电流值的代数和
8	特低电压	extra - low voltage (ELV)	不超过《建筑物电气装置的电压区段》(GB/T 18379—2001)中规定的有关 I 类电压限值的电压
9	安全特低电压系统	safety extra - low voltage (SELV) system	在正常条件下不接地的、电压不超过特低电压的电气系统，简称 SELV 系统
10	保护特低电压系统	protective extra - low voltage (PELV) system	在正常条件下接地的、电压不超过特低电压的电气系统，简称 PELV 系统
11	外露可导电部分	exposed - conductive - part	设备上能触及到的可导电部分，在正常情况下不带电，但在基本绝缘损坏时会带电
12	外界可导电部分	extraneous - conductive - part	非电气装置的组成部分，且易于引入电位的可导电部分，该电位通常为局部地电位
13	保护接地	protective earthing; protective grounding	为了电气安全，将一个系统、装置或设备的一点或多点接地
14	功能接地	functional earthing; functional grounding	出于电气安全之外的目的，将系统、装置或设备的一点或多点接地
15	接地故障	earth fault; ground fault	带电导体和大地之间意外出现导电通路
16	接地配置	earthing arrangement; grounding arrangement	系统、装置和设备的接地所包含的所有电气连接和器件，又称接地系统 (earthing system)

(续)

序号	术语	英文名称	含 义
17	接地极	earth electrode; ground electrode	埋入土壤或特定的导电介质中、与大地有电接触的可导电部分
18	接地导体	earth conductor; earthing conductor; grounding conductor	在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体
19	接地网	earth - electrode network; ground - electrode network	接地配置的组成部分, 仅包括接地极及其相互连接部分
20	等电位联结	equipotential bonding	为达到等电位, 多个可导电部分间的电连接
21	防雷装置	lightning protection system	接闪器、引下线、接地网、浪涌保护器及其他连接导体的总和
22	雷电波侵入	lightning surge on incoming services	由于雷电对架空线路或金属管道的作用, 雷电波可能沿着这些管线侵入屋内, 危及人身安全或损坏设备
23	雷击电磁脉冲	lightning electromagnetic impulse	作为干扰源的雷电流及雷电电磁场产生的电磁场效应
24	雷电防护区	lightning protection zone	需要规定和控制雷电电磁环境的区域
25	防护区	protection area	允许公众出入的、防护目标所在的区域或部位
26	禁区	restricted area	不允许未授权人员出入(或窥视)的防护区域或部位
27	盲区	blind zone	在警戒范围内, 安全防范手段未能覆盖的区域
28	纵深防护	longitudinal - depth protection	根据被防护对象所处的环境条件和安全管理的要求, 对整个防护区域实施由外到里或由里到外层层设防的防护措施, 分为整体纵深防护和局部纵深防护两种类型
29	最大声压级	maximum sound pressure level	扩声系统在听众席产生的最高稳态声压级
30	传输频率特性	transmission frequency characteristic	厅堂内各测点处稳态声压级的平均值, 相对于扩声系统传声器处声压级或扩声设备输入端电压的幅频响应
31	传声增益	sound transmission gain	扩声系统达到可用增益时, 声场内各测量点处稳态声压级的平均值与扩声系统传声器处声压级的差值
32	声场不均匀度	sound field nonuniformity	扩声时, 厅内各测量点处得到的稳态声压级的极大值和极小值的差值, 以分贝(dB)表示
33	建筑设备监控系统	building automation system	将建筑物(群)内的电力、照明、空调、给水排水等机电设备或系统进行集中监视、控制和管理的综合系统。通常为分散控制与集中监视、管理的计算机控制系统
34	分布计算机系统	distributed computer system	由多个分散的计算机经互联网络构成的统一计算机系统。分布计算机系统是多种计算机系统的一种新形式。它强调资源、任务、功能和控制的全面分布
35	现场总线	fieldbus	安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、多点通信数据总线

(续)

序号	术语	英文名称	含 义
36	综合布线系统	generic cabling system	建筑物或建筑群内部之间的信息传输网络, 它既能使建筑物或建筑群内部的语言通信设备、数据通信设备、信息交换设备和信息管理系统彼此相连, 也能使建筑物内通信网络设备与外部的通信网络设备相连
37	电磁环境	electromagnetic environment	存在于给定场所的所有电磁现象的总和
38	电磁兼容性	electromagnetic compatibility	设备或系统在其电磁环境中能正常工作, 且不对该环境中的其他设备和系统构成不能承受的电磁骚扰的能力
39	电磁干扰	electromagnetic interference	电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降
40	电磁辐射	electromagnetic radiation	能量以电磁波形式由源发射到空间的现象和能量以电磁波形式在空间传播
41	电磁屏蔽	electromagnetic shielding	由导电材料制成的, 用以减弱变化的电磁场透入给定区域的屏蔽
42	电子信息系统	electronic information system	由计算机、有(无)线通信设备、处理设备、控制设备及其相关的配套设备、设施(含网络)等电子设备构成的, 按照一定应用目的和规则对信息进行采集、加工、存储、传输、检索等处理的人机系统
43	阻塞流	choked flow	阀入口压力保持恒定, 逐步降低出口压力, 当增加压差不能进一步增大流量, 即流量增加到一个最大的极限值, 此时的流动状态称为阻塞流
44	流量系数 K_v	flow coefficient	给定行程下, 阀两端压差为 10^2 kPa 时, 温度为 $5 \sim 40^\circ\text{C}$ 的水, 每小时流经调节阀的体积, 以立方米 (m^3) 表示
45	管件形状修正系数 F_p	pipng correction factor	考虑阀门两端装有渐缩管接头等管件对流量系数造成的影响, 而对流量系数值公式加以修正的系数
46	雷诺数修正系数 Re_v	reynokls number factor	考虑流体的非湍流状态对流量系数造成的影响, 而对流量系数值加以修正的系数

1.2 主要代号与单位

1. 主要代号

电气工程主要代号见表 1-2。

表 1-2 电气工程主要代号

序 号	符 号	中文名称
1	ATM	异步传输模式
2	BAS	建筑设备监控系统
3	BMS	建筑设备管理系统

(续)

序 号	符 号	中 文 名 称
4	BD	建筑物配线设备
5	CD	建筑群配线设备
6	CP	集合点
7	DDN	数字数据网
8	DDC	直接数字控制器
9	FAS	火灾自动报警系统
10	FD	楼层配线设备
11	HUB	集线器
12	ISDN	综合业务数字网
13	I/O	输入/输出
14	PSTN	公用电话网
15	PLC	可编程逻辑控制器
16	SAS	安全防范系统
17	SW	交换机
18	TCP/IP	传输控制协议/网际协议
19	TO	信息插座
20	TE	终端设备
21	VLAN	虚拟局域网
22	VSAT	甚小口径卫星通信系统

2. 主要单位

(1) 常用计量单位

1) 国际单位制 (SI) 的基本单位见表 1-3。

表 1-3 国际单位制 (SI) 的基本单位

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

注: 1. 圆括号中的名称, 是它前面的名称的同义词, 下同;

2. 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字, 在不致引起混淆、误解的情况下, 可以省略, 去掉方括号中的字即为其名称的简称, 下同;

3. 本标准所称的符号, 除特殊指明外, 均指我国法定计量单位中所规定的符号以及国际符号, 下同;

4. 人民生活 and 贸易中, 质量习惯称为重量。

2) 国际单位制 (SI) 中包括辅助单位在内的具有专门名称的导出单位见表 1-4。

表 1-4 国际单位制 (SI) 中包括辅助单位在内的具有专门名称的导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面] 角	弧度	rad	$1\text{ rad} = 1\text{ m/m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1\text{ sr} = 1\text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
力	牛 [顿]	N	$1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
压力, 应力, 压强	帕 [斯卡]	Pa	$1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$
能 [量], 功, 热量	焦 [耳]	J	$1\text{ J} = 1\text{ N} \cdot \text{m}$
功率, 辐 [射能] 通量	瓦 [特]	W	$1\text{ W} = 1\text{ J/s}$
频率	赫 [兹]	Hz	$1\text{ Hz} = 1\text{ s}^{-1}$
电荷 [量]	库 [仑]	C	$1\text{ C} = 1\text{ A} \cdot \text{s}$
电压, 电动势, 电位, (电势)	伏 [特]	V	$1\text{ V} = 1\text{ W/A}$
电容	法 [拉]	F	$1\text{ F} = 1\text{ C/V}$
电阻	欧 [姆]	Ω	$1\Omega = 1\text{ V/A}$
电导	西 [门子]	S	$1\text{ S} = 1\Omega^{-1}$
磁通 [量]	韦 [伯]	Wb	$1\text{ Wb} = 1\text{ V} \cdot \text{s}$
磁通 [量] 密度, 磁感应强度	特 [斯拉]	T	$1\text{ T} = 1\text{ Wb/m}^2$
电感	亨 [利]	H	$1\text{ H} = 1\text{ Wb/A}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$
光通量	流 [明]	lm	$1\text{ lm} = 1\text{ cd} \cdot \text{sr}$
[光] 照度	勒 [克斯]	lx	$1\text{ lx} = 1\text{ lm/m}^2$

3) 可与国际单位制 (SI) 单位并用的我国法定计量单位见表 1-5。

表 1-5 可与国际单位制 (SI) 单位并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
时间	分	min	$1\text{ min} = 60\text{ s}$
	[小] 时	h	$1\text{ h} = 60\text{ min} = 3600\text{ s}$
	日 (天)	d	$1\text{ d} = 24\text{ h} = 86400\text{ s}$
[平面] 角	度	$^{\circ}$	$1^{\circ} = (\pi/180)\text{ rad}$
	[角] 分	'	$1' = 1/60^{\circ} = (\pi/10800)\text{ rad}$
	[角] 秒	"	$1'' = 1/60' = (\pi/648000)\text{ rad}$
体积	升	L (l)	$1\text{ L} = 1\text{ dm}^3 = 10^{-3}\text{ m}^3$
质量	吨	t	$1\text{ t} = 10^3\text{ kg}$
	原子质量单位	u	$1\text{ u} = 1.660540 \times 10^{-27}\text{ kg}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{ rmin} = (1/60)\text{ s}^{-1}$
长度	海里	n mile	$1\text{ n mile} = 1852\text{ m}$ (只适于航行)

(续)

量的名称	单位名称	单位符号	与 SI 单位的关系
速度	节	kn	$1 \text{ kn} = 1 \text{ n mile/h} = (1852/3600) \text{ m/s}$ (只适于航行)
能	电子伏	ev	$1 \text{ eV} = 1.602177 \times 10^{-19} \text{ J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特 [克斯]	tex	$1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg/m}$
面积	公顷	hm^2	$1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$

注: 1. 平面角单位度、分、秒的符号, 在组合单位中应用 ($^{\circ}$)、($'$)、($''$) 的形式。例如, 不用 $^{\circ}/\text{s}$ 而用 ($^{\circ}$) /s。

2. 升的两个符号属同等地位, 可任意选用。

3. 公顷的国际通用符号为 ha。

4) 由词头和以上单位构成的十进倍数和分数单位见表 1-6。

表 1-6 用于构成十进倍数和分数单位 SI 词头

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
10^{-1}	deci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
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: 10^4 称为万, 10^8 称为亿, 这类数词的使用不受词头名称的影响, 但不应与词头混淆。

(2) 常用物理量和单位

1) 空间、时间和周期的量和单位见表 1-7。

表 1-7 空间、时间和周期的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
[平面] 角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \phi$	弧度, {度, [角] 分, [角] 秒}	rad, {°, ', ''}	$1^\circ = 0.017453 \text{ rad}$
立体角	Ω	球面度	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2 / \text{m}^2 = 1$
长度 宽 高 厚 半径 直径 程长 距离	l, L b h d, δ r, R d, D s d, r	米	m	
面积	$A, (S)$	平方米, {公顷}	$\text{m}^2, \{\text{hm}^2\}$	公顷 ha, $1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$
体积	V	立方米, {升}	$\text{m}^3, \{\text{l}, \text{L}\}$	$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$
时间, 时间间隔, 持续时间	t	秒, {分, [小] 时, 日 (天)}	s {min, h, d}	
时间常数	τ	秒	s	
角速度	Ω	弧度每秒, {度每秒, 度每分, 度每 [小] 时}	rad/s; { (°)/s, (°)/min, (°)/h}	
角加速度	a	弧度每二次方秒, {度每二次方秒}	rad/s ² , { (°)/s ² }	
速度	v c u, v, w	米每秒, {千米每 [小] 时}	m/s, {km/h}	$1 \text{ km/h} = 0.277778 \text{ m/s}$
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2	标准重力加速度 g_n $= 9.80665 \text{ m/s}^2$
重力加速度, 自由落体加速度	g			
周期	T	秒	s	
频率	f, ν	赫 [兹]	Hz	
旋转频率, (转速)	n	每秒, 负一次方秒	s ⁻¹	
角频率, (圆频率)	Ω	弧度每秒	rad/s	$\Omega = 2\pi f$

2) 力学的量和单位见表 1-8。

表 1-8 力学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
质量	m	千克 (公斤), {吨}	kg, {t}	$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$
线质量, 线密度	ρ_l	千克每米, {特 [克斯]}	kg/m, {tex}	$1 \text{ tex} = 1 \text{ g/km}$, 纤维细度单位
面质量, 面密度	$\rho_A, (\rho_s)$	千克每平方米	kg/m ²	$\rho_A = m/A$

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
体积质量, [质量] 密度	ρ	千克每立方米, {吨每立方米, 千克每升}	kg/m^3 , { t/m^3 , kg/L }	$1\text{t}/\text{m}^3 = 1000\text{kg}/\text{m}^3$ $1\text{kg}/\text{L} = 1000\text{kg}/\text{m}^3$
动量	p	千克米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}$	
动量矩, 角动量	L	千克二次方米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$	
转动惯量	$J, (I)$	千克二次方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	
力 重量	F $W, (P, G)$	牛 [顿]	N	$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s} = 1\text{J}/\text{m}$ $W = mg$
力矩, 力偶矩 转矩	M M, T	牛 [顿] 米	$\text{N} \cdot \text{m}$	
压力, 压强 正应力 切应力	p σ τ	帕 [斯卡]	Pa	
[动力] 粘度	η	帕 [斯卡] 秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	
运动粘度	ν	二次方米每秒	m^2/s	
表面张力	γ, σ	牛 [顿] 每米	N/m	$1\text{N}/\text{m} = 1\text{J}/\text{m}^2$
功 能 [量]	$W, (A)$ E	焦 [耳], {瓦 [特] [小] 时, 电子伏}	J, { $\text{W} \cdot \text{h}$, eV }	$1\text{W} \cdot \text{h} = 3.6\text{kJ}$ $1\text{eV} = 1.60217733 \times 10^{-19}\text{J}$
功率	P	瓦 [特]	W	$1\text{W} = 1\text{J}/\text{s}$

3) 电学和磁学的量和单位见表 1-9。

表 1-9 电学和磁学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
电流	I	安培	A	
电荷 [量]	$Q, (q)$	库 [仑], {安 [培] [小] 时}	C, { $\text{A} \cdot \text{h}$ }	$1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$
体积电荷电荷 [体] 密度	$\rho, (\eta)$	库 [仑] 每立方米	C/m^3	$\rho = Q/V$
面积电荷电荷面密度	σ	库 [仑] 每平方米	C/m^2	$\sigma = Q/A$
电场强度	E	伏 [特] 每米	V/m	$E = F/Q$ $1\text{V}/\text{m} = 1\text{N}/\text{C}$
电位, (电势) 电位差, (电势差), 电压	V, φ $U, (V)$	伏 [特]	V	$1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$ $= 1\text{A} \cdot \Omega = 1\text{A}/\text{s}$
电通 [量] 密度 (电位移)	D	库 [仑] 每平方米	C/m^2	
电通 [量] (电位移通量)	Ψ	库 [仑]	C	$\Psi = DA$
电容	C	法 [拉]	F	$1\text{F} = 1\text{C}/\text{V}$, $C = Q/U$
介电常数, (电容率) 真空介电常数, (真空电容率)	ε ε_0	法 [拉] 每米	F/m	$\varepsilon = D/E$ $\varepsilon_0 = \mu_0 C_0^2$ $= 8.854188 \times 10^{-12}\text{F}/\text{m}$

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
相对介电常数, (相对电容率)	ε_r	—	1	$\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$
电极化率	χ, χ_e	—	1	$\chi = \varepsilon_r - 1$
电极化强度	P	库 [仑] 每平方米	C/m ²	$P = D - \varepsilon_0 E$
电偶极矩	$p, (p_e)$	库 [仑] 米	C · m	
面积电流电流密度	$J, (S)$	安 [培] 每平方米	A/m ²	
线电流电流线密度	$A, (a)$	安 [培] 每米	A/m	
体积电磁能, 电磁能密度	w	焦 [耳] 每立方米	J/m ³	
坡印廷矢量	S	瓦 [特] 每平方米	W/m ²	
电磁波德相平面速度 电磁波在真空中的传播速度	c c, c_0	米每秒	m/s	如介质中的速度符号为 c , 则真空中的速度符号为 c_0 $c_0 = 1 / \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$ $= 299792458 \text{ m/s}$
[直流] 电阻	R	欧 [姆]	Ω	$R = U/I, 1\Omega = 1\text{V}/\text{A}$
[直流] 电导	G	西 [门子]	S	$G = 1/R, 1\text{S} = 1\text{A}/\text{V} = 1\Omega^{-1}$
电阻率	ρ	欧 [姆] 米	$\Omega \cdot \text{m}$	$\rho = RA/l$
电导率	γ, σ	西 [门子] 每米	S/m	$\gamma = 1/\rho$
[有功] 电能 [量]	W	焦 [耳], {瓦 [特] [小] 时}	J, {W · h}	1kW · h = 3.6MJ
磁场强度	H	安 [培] 每米	A/m	1A/m = 1N/Wb
磁位差, (磁势差) 磁通势, 磁动势	U_m F, F_m	安 [培]	A	$U_m = \int_{r_1}^{r_2} H dr$ $F = \oint H dr$
磁通 [量] 密度 磁感应强度	B	特 [斯拉]	T	1T = 1Wb/m ² = 1V · s/m ²
磁通 [量]	Φ	韦 [伯]	Wb	1Wb = 1V · s
磁矢位, (磁矢势)	A	韦 [伯] 每米	Wb/m	
磁导率 真空磁导率	μ μ_0	亨 [利] 每米	H/m	$\mu = B/H, 1\text{H}/\text{m} = 1\text{V} \cdot \text{s}$ $\mu_0 = 1.256637 \times 10^{-6} \text{ H/m}$
相对磁导率	μ_r	—	1	$\mu_r = \mu/\mu_0$
磁化强度	$M, (H_i)$	安 [培] 每米	A/m	$M = (B/\mu_0) - H$
磁极化强度	$J, (B_i)$	特 [斯拉]	T	$J = B - \mu_0 H, 1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2$
磁阻	R_m	每亨 [利], 负一次 方亨 [利]	H ⁻¹	1H ⁻¹ = 1A/Wb
磁导	$\Lambda, (P)$	亨 [利]	H	$\Lambda = 1/R_m, 1\text{H} = 1\text{Wb}/\text{A}$

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
自感 互感	L M, L_{12}	亨 [利]	H	$L = \Phi / I$ $M = \Phi_1 / I_2$
导纳, (复 [数] 导纳) 导纳模, (导纳) 电纳 [交流] 电导	Y $ Y $ B G	西 [门子]	S	$1\text{S} = 1\text{A}/\text{V}$ $Y = 1/Z$
阻抗, (复 [数] 阻抗) 阻抗模, (阻抗) [交流] 电阻 电抗	Z $ Z $ R X	欧 [姆]	Ω	$Z = R + jX,$ $ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ (当一感抗和一容抗串联时)
[有功] 功率 无功功率 视在功率, (表观功率)	P Q S	瓦 [特] 乏 伏 [特] 安 [培]	W var V · A	$1\text{W} = 1\text{J}/\text{s} = 1\text{V} \cdot \text{A}$ $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ $S = UI$
功率因数	λ	—	1	$\lambda = P/S$
品质因数	Q	—	1	$Q = X /R$
频率 旋转频率	f, ν n	赫 [兹] 每秒, 负一次方秒	Hz s^{-1}	
角频率	ω	弧度每秒 每秒, 负一次方秒	rad/s s^{-1}	

4) 热学的量和单位见表 1-10。

表 1-10 热学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
热力学温度	T, θ	开 [尔文]	K	
摄氏温度	t, θ	摄氏度	℃	$t = T - T_0,$ $t = \left(\frac{T}{K} - 273.15 \right) ^\circ\text{C}$ $T_0 = 273.15\text{K}$
线 [膨] 胀系数 体 [膨] 胀系数	α_l α_v (α, γ)	每开 [尔文]	K^{-1}	$\alpha_l = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}$ $\alpha_v = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$
热, 热量	Q	焦 [耳]	J	$1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$
热量流	Φ	瓦 [特]	W	$1\text{W} = 1\text{J}/\text{s}$
热导率 (热导系数)	$\lambda, (\kappa)$	瓦 [特] 每米开 [尔文]	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
传热系数	$K, (k)$	瓦 [特] 每平方米开 [尔文]	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
热阻	R	开 [尔文] 每瓦 [特]	K/W	

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
热容	C	焦 [耳] 每开 [尔文]	J/K	
质量热容	c	焦 [耳] 每千克开 [尔文]	J/(kg · K)	$c = C/m$
熵	S	焦 [耳] 每开 [尔文]	J/K	$dS = dQ/T$
质量熵	s	焦 [耳] 每千克开 [尔文]	J/(kg · K)	
能 (量)	E	焦 [耳]	J	$H = U + pV$
焓	H	焦 [耳]	J	
质量能	e	焦 [耳] 每千克	J/kg	
质量焓	h	焦 [耳] 每千克	J/kg	

5) 声学的量和单位见表 1-11。

表 1-11 声学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
静压; (瞬时) 声压	$p_s, (P_0)$	帕 [斯卡]	Pa	1Pa = 1N/m ² , 过去曾用微巴
(瞬时) [声] 质点位移	$\xi, (x)$	米	m	
(瞬时) [声] 质点速度	u, v	米每秒	m/s	$u = \partial \xi / \partial t$
(瞬时) 体积流量 (体积速度)	$U, q, (q_v)$	立方米每秒	m ³ /s	$U = Su, S$ 为面积
声速, (相速)	c	米每秒	m/s	
声能密度	$w, (e), (D)$	焦 [耳] 每立方米	J/m ³	
声功率	W, P	瓦 [特]	W	1W = 1J/s
声强 [度]	I, J	瓦 [特] 每平方米	W/m ²	
声阻抗率 [媒质的声] 特性阻抗	Z_s Z_c	帕 [斯卡] 每平方米	Pa/m ²	
声阻抗	Z_a	帕 [斯卡] 秒每立方米	Pa · s/m ³	
声质量	M_a	帕 [斯卡] 二次方秒 每立方米	Pa · s ² /m ³	
声导纳	Y_a	立方米每帕 [斯卡] 秒	m ³ /(Pa · s)	$Y_a = Z_a^{-1}$
声压级 声强级 声功率级	L_p L_I L_W	贝 [尔]	B	通常用 dB 为单位 1dB = 0.1B
混响时间	$T, (T_{60})$	秒	s	
隔声量	R	贝 [尔]	B	通常用 dB 为单位
吸声量	A	平方米	m ²	

6) 光及有关电磁辐射的量和单位见表 1-12。

表 1-12 光及有关电磁辐射量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
频率	f, ν	赫 [兹]	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
角频率	ω	弧度每秒 每秒	rad/s s^{-1}	$\omega = 2\pi\nu$
波长	λ	米	m	曾用埃 $\text{\AA}$ ($\text{\AA} = 0.1 \text{ nm}$) 不推荐再用 $\text{\AA}$
辐 [射] 能	$Q, W,$ (U, Q_e)	焦 [耳]	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$
辐 [射] 能密度	$w, (u)$	焦 [耳] 每平方米	J/m^2	
辐 [射] 功率, 辐 [射能] 通量, 辐 [射] 出 [射] 度	$P, \Phi, (\Phi_e)$ $M, (M_e)$	瓦 [特] 每平方米	W W/m^2	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda$
辐 [射] 照度	$E, (E_e)$	瓦 [特] 每平方米	W/m^2	
辐 [射] 强度	$I, (I_e)$	瓦 [特] 每球面度	W/sr	
辐 [射] 亮度, 辐射度	$L, (L_e)$	瓦 [特] 每球面度平方米	$\text{W}/(\text{sr} \cdot \text{m}^2)$	$L = \int L_\lambda d\lambda$
发光强度	$I, (I_v)$	坎 [德拉]	cd	$I = \int J d\lambda$
光通量	$\Phi, (\Phi_v)$	流 [明]	lm	$d\Phi = I d\Omega, 1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
光量	$Q, (Q_v)$	流 [明] 秒, {流 [明] [小] 时}	$\text{lm} \cdot \text{s},$ { $\text{lm} \cdot \text{h}$ }	$1 \text{ lm} \cdot \text{h} = 3600 \text{ lm} \cdot \text{s}$
[光] 亮度	$L, (L_v)$	坎 [德拉] 每平方米	cd/m^2	该单位曾称尼特 (nt), 已废除
[光] 照度	$E, (E_v)$	勒 [克斯]	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$
光出射度	$M, (M_v)$	流 [明] 每平方米	lm/m^2	该量曾称为面发光度
光视效能	K	流 [明] 每瓦 [特]	lm/W	$K = \Phi_v/\Phi_e$
曝光量	H	勒 [克斯] 秒	$\text{lx} \cdot \text{s}$	

7) 常用的物理化学和分子物理学的量和单位见表 1-13。

表 1-13 常用的物理化学和分子物理学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
物质的量	$n, (\nu)$	摩 [尔]	mol	
摩尔质量	M	千克每摩 [尔]	kg/mol	
摩尔体积	V_m	立方米每摩 [尔]	m^3/mol	
摩尔热力学能	$U_m, (E_m)$	焦 [耳] 每摩 [尔]	J/mol	该量也称摩尔内能
摩尔焓	H_m			
摩尔热容	C_m			
摩尔熵	S_m			

(续)

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
B 的浓度 B 的物质的量浓度	c_{B}	摩 [尔] 每立方米	mol/m^3	在化学中也表示 [B]
溶质 B 的质量摩尔浓度	$b_{\text{B}}, m_{\text{B}}$	摩 [尔] 每千克	mol/kg	
扩散系数	D	二次方米每秒	m^2/s	
热扩散系数	D_{T}			
离子的电荷数	z	—	1	无量纲， 负离子 z 为负值
离子强度	I	摩 [尔] 每千克	mol/kg	
摩尔电导率	Λ_{m}	西 [门子] 二次方米每摩 [尔]	$\text{S} \cdot \text{m}^2/\text{mol}$	

8) 常用的原子物理学、核物理学及固体物理学的量和单位见表 1-14。

表 1-14 常用的原子物理学、核物理学及固体物理学的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
质子 [静] 质量	m_p	千克, {原子质量单位}	$\text{kg}, \{u\}$	$1u = (1.665402 \pm 0.0000010) \times 10^{-27} \text{kg}$
电子 [静] 质量	m_e			
中子 [静] 质量	m_n			
元电荷	e	库 [仑]	C	
玻尔半径	a_0	米	m	埃 ($\text{\AA}$), $1\text{\AA} = 10^{-10} \text{m}$, $10\text{\AA} = 1 \text{nm}$
核四极矩	Q	二次方米	m^2	
核半径	R	米	m	该量通常用 fm 表示, $1 \text{fm} = 10^{-15} \text{m}$
核的结合能	E_B	焦 [耳], {电子伏} (常用)	J, {eV}	$1 \text{eV} = (1.60217733 \pm 0.00000049) \times 10^{-19} \text{J}$
[放射性] 活度	A	贝可 [勒尔]	Bq	$1 \text{Bq} = 1 \text{s}^{-1}$, 居里 (Ci), $1 \text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$
衰变常数	λ	每秒	s^{-1}	$\lambda = 1/\tau$
半衰期	$T_{1/2}$	秒, {分, 时, 日}	s, {min, h, d}	
功函数	Φ, W	焦 [耳], {电子伏}	J, {eV}	
费密能 [量] 禁带宽度 施主电离能 受主电离能	E_F, ε_F E_g E_d E_a	焦 [耳], {电子伏}	J, {eV}	
驰豫时间 载流子寿命	τ τ, τ_n, τ_p	秒	s	

9) 常用的核反应和电离辐射的量和单位见表 1-15。

表 1-15 常用的核反应和电离辐射的量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	备 注
反应能	Q	焦 [耳], {电子伏}	J, {eV}	该量通常以 eV 为单位
截面	σ	平方米	m^2	
宏观截面 宏观总截面	Σ $\Sigma_{\text{tot}}, \Sigma_{\text{T}}$	每米	m^{-1}	
粒子注量	Φ	每平方米	m^2	
能注量	Ψ	焦 [耳] 每平方米	J/m^2	
质量衰减系数	μ_{m}	平方米每千克	m^2/kg	
半厚度	$d_{1/2}$	米	M	
形成每对离子 平均损失的能量	W_{i}	焦 [耳], {电子伏}	J, {eV}	
复合系数	a	立方米每秒	m^3/s	
扩散系数, 粒子数密度 的扩散系数	D, D_{n}	二次方米每秒	m^2/s	
慢化密度	q	每秒立方米	m^3/s	
对数能降 ^①	u	—	1	
平均自由程	l, λ	米	m	
授 [予] 能	ε	焦 [耳]	J	
吸收剂量	D	戈 [瑞]	Gy	该量 SI 单位焦 [耳] 每千克的专名 1rad (拉德) = 10^{-2} Gy
剂量当量	H	希 [沃特]	Sv	该量 SI 单位的专名 1ren (雷姆) = 10^{-2} Sv
比释动能	K	戈 [瑞]	Gy	
照射量	X	库 [仑] 每千克	C/kg	伦琴 (R), 1R = 2.58×10^{-4} G/kg (准确值)
粒子辐射度	P	每平方米秒球面度	$\text{m}^{-2}/(\text{s} \cdot \text{sr})$	
能量辐射度	γ	瓦 [特] 每平方米 球面度	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	

① 能量为 E 的中子, 其对数能降的定义是: $u = \ln E_0/E$, 其中 E_0 为参考能量。

1.3 单位换算

1. 时间和空间的单位换算

(1) 长度单位换算 国际单位制长度基本单位是米 (m), 长度单位间的换算关系见表 1-16。

表 1-16 长度单位换算

单位名称	符号	换算关系	备 注
千米 (公里)	km	1000m	
厘米	cm	10^{-2} m	
毫米	mm	10^{-3} m	
英里	mile	1609.34m	
码	yd	0.9144m	
英尺	ft	0.3048m	
海里	n mile	1852m	
埃	Å	10^{-10} m	常用于表示光谱线的波长及其他微小长度
费密	fm	10^{-15} m	用于原子核物理学
天文单位	AU	1.495978×10^{11} m	用于天文学
秒差距	pc	3.0857×10^{16} m	
光年	l. y.	9.46053×10^{15} m	

(2) 面积单位换算 法定计量单位是平方米 (m^2)，其他面积单位换算关系见表 1-17。

表 1-17 面积单位换算

平方公里 /km ²	公顷 /ha	公亩 /a	平方米 /m ²	平方厘米 /cm ²	平方英里 /mile ²	英亩 /acre	靶恩/b	圆密耳	亩
1	10^2	10^4	10^6		0.3861				
	1	10^2	10^4						
		1	10^2			0.02471			
			10^{-4}	1					
			10^{-28}				1		
			5.06707×10^{-10}					1	
			666.6						1

(3) 体积和容积单位换算 法定计量单位是立方米 (m^3)，体积单位换算关系见表 1-18。

表 1-18 体积单位换算

立方米/m ³	升/L	立方厘米/cm ³	立方码/yd ³	英加仑/Ukgal	美加仑/Usgal
1	1000	10^6	1.308	220	264.2

(4) 时间单位换算 法定计量单位是 (s)，时间单位换算见表 1-19。

(5) 速度单位换算 速度单位换算见表 1-20。

(6) 加速度单位换算 加速度单位换算见表 1-21。

(7) 角速度、转速单位换算 角速度、转速单位换算见表 1-22。

(8) 平面角单位换算 平面角单位换算见表 1-23。

表 1-19 时间单位换算

单位名称	符号	与法定计量单位的关系	备 注
周		604800s (7d)	} 可与法定计 量单位并用
月		2592000s (30d)	
年	a	31536000s (365d)	
		31622400s (366d)	
回归年	a _{trop}	3. 15569 × 10 ⁷ s	1d 表示 1 日
恒星年		3. 15582 × 10 ⁷ s	

表 1-20 速度单位换算

千米每时 /(km/h)	米每分 /(m/min)	米每秒 /(m/s)	厘米每秒 /(cm/s)	英里每时 /(mile/h)	海里每时 /(n mile/h)
1	16. 6667	0. 2778	27. 7778	0. 6214	0. 54
0. 06	1	0. 01667	1. 6667	0. 03728	0. 0324
3. 6	60	1	100	2. 2369	1. 944
1. 6093	0. 6	0. 01	1	0. 0224	0. 01944
1. 852	26. 82	0. 4470	44. 7040	1	0. 87
—	30. 867	0. 514	51. 4	1. 1508	1

表 1-21 加速度单位换算

单位名称	符 号	与法定计量单位的关系
伽 (galileo)	Gal	10 ⁻² m/s ²
毫伽 (milligal)	mGal	10 ⁻⁵ m/s ²
英尺每二次方秒	ft/s ²	0. 3048 m/s ²
标准重力加速度	g _n	9. 80665 m/s ²

表 1-22 角速度和转速单位换算

转每分/(r/min)	转每秒/(r/s)	弧度每秒/(rad/s)	度每分/[(°)/min]	度每秒/[(°)/s]
1	0. 0166667	0. 104720	360	6
60	1	6. 28319	21600	360
9. 54930	0. 159155	1	3437. 75	57. 2958
0. 00277778	4. 62963 × 10 ⁻⁵	2. 90888 × 10 ⁻⁴	1	0. 0166667
0. 166667	0. 00277778	0. 0174533	60	1

表 1-23 平面角单位换算

单位名称	符 号	与法定计量单位的关系	备 注
圆周角	tr, pla	6. 28318rad	2πrad
转	r	6. 28318rrad	2πrad
冈	(g), gon, gr	0. 0157080rad	0. 9° (π/200) rad
直角	L	1. 57080rad	0. 5πrad

2. 力学单位换算

(1) 质量 法定计量单位为千克 (kg), 质量单位间换算关系见表 1-24。

表 1-24 质量单位换算

单位名称	符号	换算关系
吨	t	1000kg
英吨	ton	1016kg
美吨	sh. ton	907. 185kg
斤	—	0. 5kg
磅	lb	0. 45359kg
米制克拉	—	2×10^{-4} kg
盎司	oz	0. 02835kg
格令	gr	$6. 47989 \times 10^{-5}$ kg

(2) 线密度、体密度 常用的线密度换算关系:

1 特克斯 (tex) = 10^{-6} kg/m

1 磅每英尺 (lb/ft) = 1. 48816kg/m

常用的体密度换算关系有:

1 吨每立方米 (t/m^3) = 1000kg/ m^3

1 吨每立方米 (t/m^3) = 1000g/L

(3) 力和重量

力的 SI 单位制导出单位为牛顿 (N)。

1 牛顿 (N) = 10^5 达因 (dyn)

1 千克力 (kgf) = 9. 80665 牛顿 (N)

1 磅力 (lbf) = 32. 1740 磅达 (pdl) = 4. 44822 牛顿 (N)

(4) 压力、压强

压力、压强换算见表 1-25。

表 1-25 压力、压强单位换算

帕 [斯卡] /Pa	微巴 /pbar	毫巴 /mbar	巴 /bar	千克力每 平方毫米 /(kgf/mm ²)	工程大气压 /at	毫米水柱 (mmH ₂ O) /(kgf/m ²)	标准大气压 /atm	毫米汞柱 /mmHg
1	10	0. 01	10^{-5}	$1. 02 \times 10^{-7}$	$1. 02 \times 10^{-5}$	0. 102	$0. 99 \times 10^{-5}$	0. 0075
0. 1	1	0. 001				0. 0102		
100	1000	1	0. 001			10. 2		0. 7501
10^5	10^6	1000	1	0. 0102	1. 02	1197	0. 9869	750. 1
$9. 8 \times 10^{-5}$		98067	98. 07	1	100	10^6	96. 78	73556
98067		980. 7	0. 9807	0. 01	1	10^4	0. 9678	735. 6
9. 807	98. 07	0. 0981			0. 0001	1	$0. 9678 \times 10^{-4}$	0. 0736
101325		1013	1. 013		1. 0332	10. 332	1	760
133. 322	1333	1. 333			0. 00136	13. 6	0. 00132	1

(5) 力矩和转矩 力矩和转矩换算见表 1-26。

表 1-26 力矩和转矩单位换算

牛 [顿] 米/(N · m)	千克力米/(kgf · m)	克力厘米/(gf · cm)	达因厘米/(dyn · cm)
1	0. 1020	$0. 1020 \times 10^5$	10^7
9. 807	1	10^5	$9. 807 \times 10^7$
$9. 807 \times 10^{-5}$	10^{-5}	1	980. 7
10^{-7}	$1. 020 \times 10^{-8}$	$1. 020 \times 10^{-3}$	1

(6) [动力] 粘度和运动粘度 常用的动力粘度换算有:

1P (泊) = 0. 1Pa · s (帕 [斯卡] 秒)

1kgf · s/m² (千克力秒每平方米) = 9. 81Pa · s (帕 [斯卡] 秒)

常用的运动粘度换算有:

1St (斯 [托克斯]) = 10^{-4} m²/s

1ft²/s (平方英尺每秒) = $92. 9 \times 10^{-3}$ m²/s

(7) 功和能 功和能换算见表 1-27。

表 1-27 功和能单位换算

尔格/erg	焦 [耳]/J	千克力 · 米 /(kgf · m)	马力小时	英马力小时 /(hp · h)	千瓦时 /(kW · h)
1	10^{-7}	$0. 102 \times 10^7$	$37. 77 \times 10^{-15}$	$37. 25 \times 10^{-15}$	$27. 78 \times 10^{-15}$
10^7	1	0. 102	$377. 7 \times 10^{-9}$	$372. 5 \times 10^{-9}$	$277. 8 \times 10^{-9}$
$9. 807 \times 10^7$	9. 807	1	$3. 704 \times 10^{-16}$	$3. 653 \times 10^{-6}$	$2. 724 \times 10^{-6}$
$26. 4779 \times 10^{12}$	$2. 64779 \times 10^6$	270×10^3	1	0. 9863	0. 7355
$26. 8452 \times 10^{12}$	$2. 68452 \times 10^6$	$273. 8 \times 10^3$	1. 014	1	0. 7457
36×10^{12}	36×10^6	$367. 1 \times 10^3$	1. 36	1. 341	1

(8) 常用的功率换算

1W (瓦 [特]) = 1J/s

1kgf · m/s (千克力米每秒) = 9. 80665W

1 [米制] 马力 = 735. 499W

1HP ([英制] 马力) = 745. 700W

3. 电学和磁学单位换算

电荷: 1A · h (安培小时) = $3. 6 \times 10^3$ C (库仑)

磁通量: 1Mx (麦克斯韦) = 10^{-8} Wb (韦伯)

磁通密度: 1Gs (高斯) = 10^{-4} T (特斯拉)

磁场强度: 1Oe (奥斯特) = 79. 5775A/m

磁通势: 1Gb (吉伯) = 0. 795775A

4. 热学单位换算

(1) 温度 温度单位换算见表 1-28。表中 C、F、K 分别表示该温标和该温标单位的任一温度数值。

表 1-28 温度单位换算

摄氏度/℃	华氏度/°F	开 [尔文]/K
C	$\frac{9}{5}(C + 32)$	$C + 273.15$
$\frac{5}{9}(F - 32)$	F	$\frac{5}{9}(F + 459.67)$
$K - 273.15$	$\frac{9}{5}(K - 459.67)$	K

(2) 热导率 热导率单位换算见表 1-29。

表 1-29 热导率单位换算

千卡每米时开 [尔文] /[kcal/(m · h · K)]	卡每厘米秒开 [尔文] /[cal/(cm · s · K)]	瓦 [特] 每米开 [尔文] /[W/(m · K)]	焦 [耳] 每厘米秒开 [尔文] /[J/(cm · s · K)]
1	2.77778×10^{-3}	1.163	0.0116
360	1	418.68	4.1868
0.859845	0.238846×10^{-2}	1	0.01
85.98	0.239	100	1

(3) 传热系数 传热系数单位换算见表 1-30。

表 1-30 传热系数单位换算

千卡每平方米时开 [尔文] /[kcal/(m ² · h · K)]	卡每平方厘米秒开 [尔文] /[cal/(cm ² · s · K)]	瓦特每平方米开 [尔文] /[W/(cm ² · K)]	焦 [耳] 每平方米秒开 [尔文] /[J/(m ² · s · K)]
1	2.77778×10^{-5}	1.163×10^{-4}	1.163
36000	1	4.1868	41868
8598.45	0.238	1	10^{-4}
0.859845	0.238846×10^{-4}	10^{-4}	1

(4) 比热容和比熵 比热容和比熵单位换算见表 1-31。

表 1-31 比热容和比熵单位换算

焦 [耳] 每千克开 [尔文] /[J/(kg · K)]	千卡每千克开 [尔文] /[kcal/(kg · K)]	热化学千卡每千克开 [尔文] /[kcalth/(kg · K)]
1	0.238846×10^{-3}	—
4186.8	1	—
4184	—	1

5. 光学和声学单位换算

光学和声学常用单位与法定计量单位的关系如下。

光亮度单位: 1nt (尼特) = 1cd/m²

1sb (熙提) = 10⁴cd/m²

光照度单位: 1ph (辐透) = 10⁴lx

1fc（英尺烛光）= 10.76lx

常用的声学单位与法定计量单位的见表 1-32。

表 1-32 声学单位换算

单位名称	符号	与法定计量单位的关系	备 注
海因每平方米	dyn/cm ²	0.1Pa	声压，静压力
尔格每立方厘米	erg/cm ²	0.1J/m ³	声能密度
尔格每秒	erg/s	10 ⁻⁷ W	声功率，声能通量
尔格每秒平方厘米	erg/（s·cm ² ）	0.001W/m ²	声强度

6. 核反应和电离辐射单位换算

核反应和电离辐射单位换算见表 1-33。

表 1-33 核反应和电离辐射单位换算

单位名称	符号	与法定计量单位的关系	备 注
尔格	erg	10 ⁻⁷ J	反应能，辐射能，共振能
尔格平方厘米	erg·cm ²	10 ⁻¹¹ J·m ²	总原子阻止本领
尔格平方厘米每克	erg·cm ² /g	10 ⁻⁸ J·m ² /kg	总质量阻止本领
居里	Ci	37×10 ⁹ Bq	放射性活度
拉德	Rad, rd	0.01Gy	吸收剂量
雷姆	rem	0.01Sv	剂量当量
伦琴	R	0.258×10 ⁻³ C/kg	照射量

1.4 物理常用数据

1. 物理和电学常数

物理和电学常数见表 1-34。

表 1-34 物理和电学常数

名 称	符号	数 值	SI 单位
真空介电常数（真空电容率）	ϵ_0	$8.854187818 \times 10^{-12}$	$F \cdot m^{-1}, A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$
真空磁导率（次常数）	μ_0	1.2566×10^{-6}	$H \cdot m^{-1}, V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$
真空中光速	c, c_0	2.99792×10^8	$m \cdot s^{-1}$
电磁波在真空中速度	c, c_0	2.99792×10^8	$m \cdot s^{-1}$
原子质量单位	u	$1.6605655 \times 10^{-24}$	g
电子〔静止〕质量	m_e	$0.9109534 \times 10^{-27}$	g
质子〔静止〕质量	m_p	$1.6726485 \times 10^{-24}$	g
中子〔静止〕质量	m_n	$1.6749543 \times 10^{-24}$	g
电子电荷	e	$1.6021892 \times 10^{-19}$	C, A·s
〔经典〕电子半径	r_e	$2.8179380 \times 10^{-15}$	m

(续)

名 称	符号	数 值	SI 单位
玻尔半径	a_0	$5.2917706 \times 10^{-11}$	m
氢原子玻尔轨道半径	r	5.292×10^{-11}	m
原子核半径	r	$1.2 \times 10^{-13} \times \sqrt[3]{\text{原子量}}$	cm
法拉第常数	F	9.648456×10^4	$\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\text{A} \cdot \text{s/mol}$
玻耳兹曼常数	k	1.380662×10^{-23}	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, $\text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1}$
斯忒藩-玻耳兹曼常数	σ	5.67032×10^{-8}	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
阿伏伽德罗常数	L, N_A	6.022045×10^{23}	mol^{-1}

2. 大气压力、温度与海拔的关系

大气压力、温度与海拔的关系见表 1-35。

表 1-35 大气压力、温度与海拔的关系

海拔/m	大气压力/Pa	温度/K	海拔/m	大气压力/Pa	温度/K
-300	104981	290.100	2200	77548.3	273.855
-250	1049365	289775	2300	76586.4	273.205
-200	103751	289.450	2400	75634.2	272.556
-100	102532	288.800	2500	74691.7	271.906
-50	101927	288.475	2600	73758.8	271.257
0	101325	288.150	2700	72835.3	270.607
250	98357.6	286.525	2800	71921.3	269.958
500	95461.3	284.900	2900	71016.6	269.309
600	94322.3	284.250	3000	70121.2	268.659
700	93194.4	283.601	3100	69234.9	268.010
800	92077.5	282.951	3200	68357.8	267.360
900	90971.5	282.301	3300	37489.7	266.711
1000	89876.3	281.651	3400	66630.6	266.062
1100	88791.8	281.001	3500	65780.4	265.413
1200	87718.0	280.351	3600	64939.0	264.763
1300	86654.8	279.702	3700	64106.4	264.114
1400	85602.0	279.052	3800	63282.5	263.465
1500	84559.7	278.402	3900	62467.2	262.816
1600	83527.7	277.753	4000	61660.4	262.166
1700	82505.9	277.103	4100	60862.2	261.517
1800	81494.3	276.453	4200	60072.3	260.868
1900	80492.9	275.804	4300	59290.8	260.219
2000	79501.4	275.154	4400	58517.6	259.570
2100	78519.9	274.505	4500	57752.6	258.921

(续)

海拔/m	大气压力/Pa	温度/K	海拔/m	大气压力/Pa	温度/K
4600	56995.7	258.272	6500	44075.5	245.943
4700	56246.9	257.623	7000	41105.3	242.700
4800	55506.1	256.974	7500	38299.7	239.457
4900	54773.2	256.325	8000	35651.6	236.215
5000	54048.3	255.676	8500	33154.2	232.974
5500	50539.3	252.431	9000	30800.7	229.733
6000	47217.6	249.187	10000	26499.9	223.252

3. 常用电磁波谱频率区段

常用电磁波谱频率区段见表 1-36。

表 1-36 常用电磁波谱频率区段

频率/Hz	应用说明	频率/Hz	应用说明
50/3 ~ 600	电力, 电机, 电动工具	$10^9 \sim 10^{12}$	赫兹波
$600 \sim 10^4$	淬火, 熔炼	$10^{12} \sim 3.7 \times 10^{14}$	红外线热辐射
$50 \sim 10^9$	感应加热	$3.7 \times 10^{14} \sim 8.3 \times 10^{14}$	可见光
$10^2 \sim 10^4$	有线电话	$8.3 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{16}$	紫外线
$10^3 \sim 2 \times 10^5$	无线电报	$3 \times 10^{16} \sim 10^{23}$	伦琴射线
$2 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$	无线电广播	$3 \times 10^{18} \sim 3 \times 10^{21}$	γ 射线
$2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^9$	短波、超短波通信	$3 \times 10^{18} \sim 10^{24}$	宇宙线
$3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{11}$	微波		

1.5 常用材料的物理性能

1. 常用导体材料的电性能

常用导体材料的电性能见表 1-37。

表 1-37 常用导体材料的电性能 (测量温度为 20℃)

名 称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	电导数 $\gamma/[\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})]$	电阻温度系数 $\alpha_{20}/(1/\text{K})$
铝	0.0278	36	+0.00390
铋	0.417	2.4	—
纯铁	0.10	10	—
低碳钢	0.13	7.7	+0.00660
金	0.0222	45	—
石墨	8.00	0.125	-0.00020
铸铁	1	1	—

(续)

名 称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	电导数 $\gamma/[\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})]$	电阻温度系数 $\alpha_{20}/(1/\text{K})$
镉	0.076	13.1	—
碳	40	0.025	-0.00030
康铜	0.48	2.08	-0.00003
导电器材用铜	0.0175	57	+0.00380
镁	0.0435	23	—
锰铜	0.423	2.37	± 0.00001
铅	0.208	4.8	—
铬-镍-铁	0.10	10	—
黄铜 Ms58	0.059	17	+0.00150
黄铜 Ms63	0.071	14	—
德国银	0.369	2.71	+0.00070
镍	0.087	11.5	+0.00400
尼克林合金 ^①	0.5	20	+0.00023
铂	0.111	9	+0.00390
汞	0.941	1.063	+0.00090
银	0.016	62.5	+0.00377
钨	0.059	17	—
锌	0.061	16.5	+0.00370
锡	0.12	8.3	+0.00420

① 尼克林合金是一种锌镍铜三元系的 α 单相组织合金，接近我国的BZn15~20牌号的锌白铜，化学成分（质量分数）：Cu62%，（Ni+Co）13.5%~16.5%，余量Zn和0.9%的杂质。

2. 常用绝缘材料的电性能

常用绝缘材料的电性能见表1-38。

表 1-38 常用绝缘材料的电性能

名 称	电阻率 ρ $/(\Omega \cdot \text{mm})$	相对介电 常数 ε_r	名 称	电阻率 ρ $/(\Omega \cdot \text{mm})$	相对介电 常数 ε_r
聚四氟乙烯	—	2	页岩	—	4
聚苯乙烯	10^{17}	3	皂石	—	6
环氧树脂	—	3.6	大理石	10^9	8
聚酰胺	—	5	硬橡胶	10^{15}	4
酚醛塑料	10^{13}	3.6	软橡胶	—	2.5
酚醛树脂	—	8	人造琥珀	10^{17}	—
硬质胶	—	2.5	电力电缆绝缘	—	4.2
胶质不碎玻璃	10^{14}	3.2	通信电缆绝缘	—	1.5
石蜡油	10^{17}	2.2	电缆填料	—	2.5

(续)

名 称	电阻率 ρ $/(\Omega \cdot \text{mm})$	相对介电 常数 ε_r	名 称	电阻率 ρ $/(\Omega \cdot \text{mm})$	相对介电 常数 ε_r
石油	—	2.2	纸	—	2.3
变压器油 (矿物性)	—	2.2	刚纸 (硬化纸板)	—	2.5
变压器油 (植物性)	—	2.5	浸渍纸	—	5
电容器油	$10^{15} \sim 10^{16}$	2.1 ~ 2.3	油纸	—	4
松节油	—	2.2	胶纸板	—	4.5
橄榄油	—	3	层压纸板	—	4
蓖麻油	—	4.7	真空	—	1
云母板	—	5	空气	10^{18}	1
石英	—	4.5	水 (蒸馏)	10^6	80
玻璃	10^{14}	5	石蜡	10^{17}	2.2
云母	10^{16}	6	马来树胶	—	4
瓷	10^{13}	4.4	虫胶	—	3.7

3. 部分固体材料的机械性能

部分固体材料的机械性能见表 1-39。

表 1-39 部分固体材料的机械性能

材料名称		弹性模量 E/GPa	切变模量 G/GPa	体积模量 K/GPa	泊松比 μ	屈服极限 σ_s/MPa	强度极限 σ_b/MPa
金属	铝	70	26	75	0.34	30 ~ 140	60 ~ 160
	铜	124	46	130	0.35	47 ~ 320	200 ~ 350
	金	80	28	167	0.42	0 ~ 210	110 ~ 230
	铁	195	76		0.29	160	350
	铁 (铸)	115	45		0.25		140 ~ 320
	铅	16	6		0.44		15 ~ 18
	镍	205	79	176	0.31	140 ~ 660	480 ~ 730
	铂	168	61	240	0.38	15 ~ 180	125 ~ 200
	银	76	28	100	0.37	55 ~ 300	140 ~ 380
	钽	186					340 ~ 930
	锡	47	17	52	0.36	9 ~ 14	15 ~ 200
	钛	110	41	110	0.34	200 ~ 500	250 ~ 700
	钨	360	140				1000 ~ 4000
	锌	97	36	100	0.35		110 ~ 200
合金	黄铜 (65/35)	150	38	115	0.35	62 ~ 430	330 ~ 530
	康铜 (60/40)	163	61	157	0.33	200 ~ 440	400 ~ 570
	杜拉铝 (4.4% 铜)	70	27	70	0.33	125 ~ 450	230 ~ 500

(续)

材料名称		弹性模量 E/GPa	切变模量 G/GPa	体积模量 K/GPa	泊松比 μ	屈服极限 σ_s/MPa	强度极限 σ_b/MPa	
合金	锰铜 (84% 铜)	124	47				265	
	铁镍合金 (77% 镍)	220					540 ~ 910	
	镍铬合金 (80/20)	186					170 ~ 900	
	磷青铜	100			0.38	110 ~ 670	330 ~ 750	
	钢 (软)	210	81	170	0.3	240	480	
	钢	210	81	170	0.3	450	600	
非金属	矾土	200 ~ 400			0.24		拉伸 140 ~ 200	压缩 1000 ~ 25000
	砖 (A 级)	1 ~ 50						69 ~ 140
	混凝土 (28 天)	10 ~ 17			0.1 ~ 0.21			27 ~ 55
	玻璃	50 ~ 80			0.2 ~ 0.27		30 ~ 90	
	花岗岩	40 ~ 70						90 ~ 235
	尼龙 6	1 ~ 2.5					70 ~ 85	50 ~ 100
	有机玻璃	2.7 ~ 3.5					50 ~ 75	80 ~ 140
	聚苯乙烯	2.5 ~ 4.0					35 ~ 60	80 ~ 110
	聚乙烯	0.1 ~ 1.0					7 ~ 38	15 ~ 20
	聚四氟乙烯	0.4 ~ 0.6					17 ~ 28	5 ~ 12
	聚氯乙烯 (可塑)	< 0.3					14 ~ 40	75 ~ 100
	橡胶 (天然、加硫)	0.001 ~ 1			0.46 ~ 0.49		14 ~ 40	
	砂石	14 ~ 55						30 ~ 135
	木材 (沿纤维方向)	8 ~ 13					20 ~ 110	50 ~ 100

4. 部分液体材料的性能

部分液体材料的性能见表 1-40。

表 1-40 部分液体材料的性能

名称	分子式	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	质量热容 $c_p/[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$	黏度 $\eta/\text{Pa} \cdot \text{s}$	热导率 $\lambda/[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	凝固点 t_f/K	溶解热 $\Delta H_f/(\text{kJ}/\text{kg})$	沸点 t_b/K	汽化热 $\Delta H_v/(\text{kJ}/\text{kg})$	相对介电常数 ϵ_r
醋酸	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1049	2.18	0.001155	0.171	290	181	391	402	6.15
乙醇	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	785.1	2.44	0.001095	0.171	158.6	108	351.46	846	24.3
甲醇	CH_3OH	786.5	2.54	0.00056	0.202	175.5	98.8	337.8	1100	32.6
丙醇	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	800.0	2.37	0.00192	0.161	146	86.5	371	779	20.1
氨 (液态)	—	823.5	4.38	—	0.353	—	—	—	—	16.9
苯	C_6H_6	873.8	1.73	0.000601	0.144	278.68	126	353.3	390	2.2
溴	Br_2	—	0.473	0.00095	—	245.84	66.7	331.6	193	3.2
二硫化碳	CS_2	1261	0.992	0.00036	0.161	161.2	57.5	319.40	351	2.64

(续)

名称	分子式	密度 /(kg/m ³)	质量热容 /[kJ/(kg·K)]	黏度 /Pa·s	热导率 /[W/(m·K)]	凝固点 /K	溶解热 /(kJ/kg)	沸点 /K	汽化热 /(kJ/kg)	相对介电 常数 ϵ_r
四氯化碳	CCl ₄	1584	0.816	0.00091	0.104	250.35	174	349.6	194	2.23
蓖麻油	—	956.1	1.97	0.650	0.180	263.2	—	—	—	4.7
醚	C ₄ H ₁₀ O	713.5	2.21	0.000223	0.130	157	96.2	307.7	372	4.3
甘油	C ₃ H ₈ O ₃	1259	2.62	0.950	0.287	264.8	200	563.4	974	40
煤油	—	820.1	2.09	0.00164	0.145	—	—	—	251	—
亚麻仁油	—	929.1	1.84	0.0331	—	253	—	560	—	3.3
苯酚	C ₆ H ₆ O	1072	1.43	0.0080	0.190	316.2	121	455	—	9.8
海水	—	1025	3.76~4.10	—	—	270.6	—	—	—	—
水	H ₂ O	997.1	4.18	0.00089	0.609	273	333	373	2260	78.54
制冷剂	R-11	CCl ₃ F	1476	0.00042	0.093	162	—	297.0	180(297K)	2.0
	R-12	CCl ₂ F ₂	1311	—	0.071	115	34.4	243.4	165(297K)	2.0
	R-22	CHF ₂ Cl	1194	—	0.086	113	183	232.4	232(297K)	2.0

注：本表数据是在气压为 101323Pa、温度为 300K 的条件下测定。

5. 部分气体材料的性能

部分气体材料的性能见表 1-41。

表 1-41 部分气体材料的性能

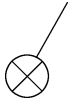
名称	分子式	密度 (0℃) /(g/L)	液化点/K	质量定压热容 c_p /[J/(kg·K)]	黏度 (20℃) /(N·s/m ²)	相对介电常数 ϵ_r (0℃)
空气	—	1.2929		1.0048×10^3	18.12×10^6	1.000576
二氧化碳	CO ₂	1.9769	216	5.0074×10^3	14.57×10^6 (15℃)	1.000946
一氧化碳	CO	1.2504	66	1.0383×10^3	18.40×10^6	1.000695
氨	NH ₃	0.7710	198	2.1780×10^3 (23~100℃)	10.2×10^6	1.0072
乙烷	C ₂ H ₆	1.3566	101	1.6496×10^3	10.1×10^6	1.00150
氯化氢	HCl	1.6392	161.8	0.8122×10^3 (13~100℃)	14.0×10^6	
硫化氢	H ₂ S	1.539	187	1.0262×10^3 (20~206℃)	13.0×10^6	1.00332
沼气	CH ₄	0.717	80.6	0.6573×10^3	12.01×10^6	1.000991
二氧化硫	SO ₂	2.9269	197	0.6464×10^3 (16~202℃)	12.9×10^6	1.00905
乙炔	C ₂ H ₂	1.1747		1.6035×10^3 (13℃)		

注：表中数据是在气压为 101323Pa 的条件下测定。

1.6 常用图形符号

- 1) 开关的图形符号见表 1-42。
- 2) 触点的图形符号见表 1-43。

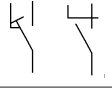
表 1-42 开关的图形符号

名 称	图 形 符 号	备 注
开关（一般符号）		
带指示灯的开关		
单极限时开关		
双极开关		
多位单极开关		例如用于不同照度
双控单极开关		
中间开关		
调光器		
单极拉线开关		
手动操作开关（一般符号）		
自动复位的手动按钮		
无自动复位的手动旋转开关		
断路器		
隔离开关、隔离器		
双向隔离开关、双向隔离器		具有中间断开位置

(续)

名 称	图 形 符 号	备 注
隔离开关、负荷隔离开关		
带自动释放功能的负荷隔离开关		具有由内装的测量继电器或脱扣器触发的自动释放功能
熔断器开关		
熔断器式隔离开关、熔断器式隔离器		
熔断器负荷开关组合电器		
静态开关 (一般符号)		
钥匙动合开关		

表 1-43 触点的图形符号

名 称	图 形 符 号	备 注
动合 (常开) 触点的一般符号		
动断 (常闭) 触点		
先断后合的转换触点		
中间断开的双向转换触点		
先合后断的双向转换触点		
提前闭合的动合触点		多触点组中此动合触点比其他动合触点提前闭合
滞后闭合的动合触点		多触点组中此动合触点比其他动合触点滞后闭合

(续)

名 称	图 形 符 号	备 注
滞后断开的动断触点		多触点组中此动断触点比其他动断触点滞后断开
提前断开的动断触点		多触点组中此动断触点比其他动断触点提前断开
延时闭合的动合触点		当带该触点的器件被吸合时, 此触点延时闭合
延时断开的动合触点		当带该触点的器件被释放时, 此触点延时断开
延时断开的动断触点		当带该触点的器件被吸合时, 此触点延时断开
延时闭合的动断触点		当带该触点的器件被释放时, 此触点延时闭合
延时动合触点		无论带该触点的器件被吸合还是释放, 此触点均延时
带动合触点的位置开关		
带动断触点的位置开关		
带动合触点的热敏开关		
带动断触点的热敏开关		
带动断触点的热敏自动开关		
接近传感器		
接触传感器		
接触敏感开关		具有动合触点
接近开关		示出动合触点

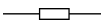
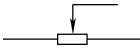
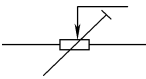
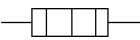
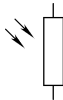
3) 线圈的图形符号见表 1-44。

表 1-44 线圈的图形符号

名 称	图 形 符 号
缓慢释放继电器线圈	
缓慢吸合继电器线圈	
延时继电器线圈	
机械保持继电器线圈	

4) 电阻器的图形符号见表 1-45。

表 1-45 电阻器的图形符号

名 称	图 形 符 号
电阻器 (一般符号)	
可调电阻器	
压敏电阻器	
带滑动触点的电位器	
带滑动触点和预调的电位器	
带分流和分压端子的电阻器	
加热元件	
光敏电阻 (LDR); 光敏电阻器	

5) 电容器的图形符号见表 1-46。

6) 电感器的图形符号见表 1-47。

7) 灯具的图形符号见表 1-48。

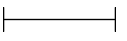
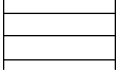
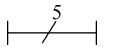
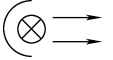
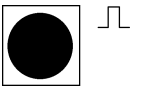
表 1-46 电容器的图形符号

名 称	图 形 符 号
电容器 (一般符号)	
极性电容器	
可调电容器	

表 1-47 电感器的图形符号

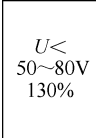
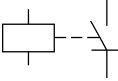
名 称	图 形 符 号
线圈、绕组 (一般符号)	
带磁心的电感器	

表 1-48 灯具的图形符号

名 称	图 形 符 号	备 注
灯 (一般符号)		
光源 (一般符号)、荧光灯 (一般符号)		
多管荧光灯		表示三管荧光灯
多管荧光灯		表示五管荧光灯
投光灯 (一般符号)		
聚光灯		
泛光灯		
专用电路上的应急照明灯		
自带电源的应急照明灯		
障碍灯、危险灯, 红色闪光全向光束		

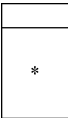
8) 继电器的图形符号见表 1-49。

表 1-49 继电器的图形符号

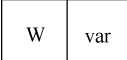
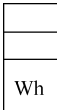
名 称	图 形 符 号	备 注
热继电器驱动器件		
电子继电器的驱动器件		
测量继电器、测量继电器有关的器件		
欠电压继电器		整定值范围为 50 ~ 80V，重整定比为 130%
电流继电器		有最大和最小整定值，示出限定值 3A 和 5A
瓦斯保护器件、气体继电器		
自动重闭合器件、自动重合闸继电器		
静态继电器一般符号		图示为半导体动合触点

9) 仪表的图形符号见表 1-50。

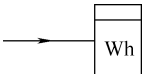
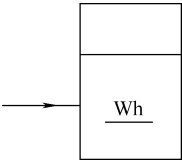
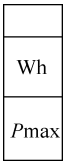
表 1-50 仪表的图形符号

名 称	图 形 符 号	备 注
积算仪表（一般符号）		星号必须按照规定予以代替
电压表		
无功电流表		
最大需量指示器		被积算仪表激励

(续)

名 称	图 形 符 号	备 注
无功功率表		
功率因数表		
相位表		
频率计		
同步指示器		
检流计		
温度计、高温计		
转速表		
记录式功率表		
组合式记录功率表和无功功率表		
安培小时计		
电能表 (瓦时计)		
复费率电能表		示出二费率
超量电能表		
带发送器电能表		

(续)

名 称	图 形 符 号	备 注
从动电能表 (转发器)		
从动电能表 (转发器) 带有打印器件		
带最大需量指示器电能表		
带最大需量记录器电能表		
无功电能表		

10) 插头的图形符号见表 1-51。

表 1-51 插头的图形符号

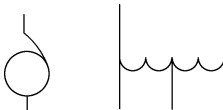
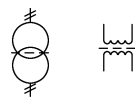
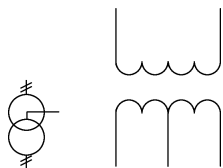
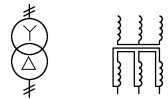
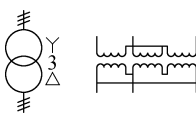
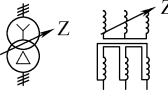
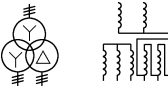
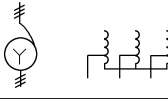
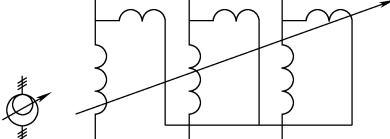
名 称	图 形 符 号
阴接触件 (连接器的)	
阳接触件 (连接器的)	
插头和插座	

11) 变压器的图形符号见表 1-52。

表 1-52 变压器的图形符号

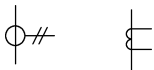
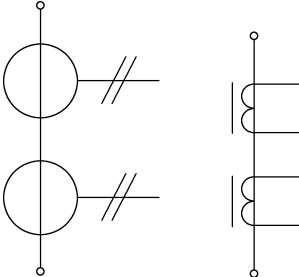
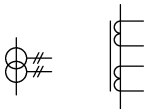
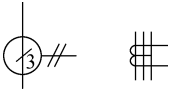
名 称	图 形 符 号	备 注
双绕组变压器 (一般符号)		
三绕组变压器 (一般符号)		

(续)

名 称	图 形 符 号	备 注
自耦变压器 (一般符号)		
电抗器 (一般符号)		
绕组间有屏蔽的双绕组变压器		
一个绕组上有中间抽头的变压器		
星形 - 三角形联结的三相变压器		
单相变压器组成的三相变压器, 星形 - 三角形联结		
具有分接开关的三相变压器		有载分接开关, 星形 - 三角形联结
三相变压器, 星形 - 星形 - 三角形联结		
单相自耦变压器		
三相自耦变压器, 星形联结		
可调压的单相自耦变压器		
三相感应调压器		

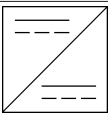
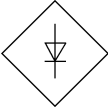
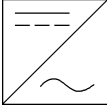
12) 互感器的图形符号见表 1-53。

表 1-53 互感器的图形符号

名 称	图 形 符 号	备 注
电流互感器（一般符号）		
电压互感器		
具有两个铁心，每个铁心有一个二次绕组的电流互感器		在一次回路中每端示出端子符号表明只是一个单独器件。如果使用了端子代号，则端子符号可以省略 左图中铁心符号可以略去
在一个铁心上具有两个二次绕组的电流互感器		
具有三条穿线一次导体的脉冲变压器或电流互感器		

13) 交换器的图形符号见表 1-54。

表 1-54 交换器的图形符号

名 称	图 形 符 号
直流/直流变换器	
整流器	
桥式全波整流器	
逆变器	
整流器/逆变器	

2 电气工程常用计算数据

2.1 负荷计算的方法

常用的负荷计算方法和适用场合见表 2-1。

表 2-1 常用的负荷计算方法及适用场合

计算方法名称	特 点	适 用 场 合
需要系数法	计算简便，计算精度一般，用电设备台数少时，误差较大	适用于各类项目，尤其是变电所负荷计算
利用系数法	计算精度高，用电设备台数少且容量相差悬殊时仍能实现较高的精度，计算较繁琐	适用于设备功率已知的各类项目，尤其是工业企业负荷计算
单位指标法	计算简便，误差较大	单位指标法包括单位面积功率法、综合单位指标法、单位产品耗电量法等，适用于设备功率不明确的各类项目。单位面积功率法和综合单位指标法适用于民用建筑工程，单位产品耗电量法用于工业企业工程

2.1.1 需要系数法

1. 需要系数法的计算方法

需要系数法主要适用于变配电所的负荷计算，计算方法如下：

$$\Sigma P = K_{\Sigma} \Sigma (K_x P_e) \tag{2-1}$$

$$\Sigma Q = K_{\Sigma} \Sigma (K_x P_e \tan \varphi) \tag{2-2}$$

$$S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2} \tag{2-3}$$

式中 P ——有功功率（kW）；

Q ——无功功率（kvar）；

S ——视在功率（kV·A）；

P_e ——用电设备组的设备功率（kW）；

K_x ——需要系数；

$\tan \varphi$ ——功率因数角的正切值；

K_{Σ} ——同期系数，有功时取 0.8 ~ 0.9，无功时取 0.93 ~ 0.97。

2. 需要系数表

常见的需要系数及自然功率因素见表 2-2 ~ 表 2-8。

表 2-2 民用建筑用电设备组的需要系数及自然功率因数

负荷名称	规模	需要系数 (K_x)	功率因数 ($\cos\varphi$)	备 注
照明	面积小于 500m ²	1 ~ 0.9	0.9 ~ 1	含插座容量, 荧光灯就地补偿或采用电子镇流器
	500 ~ 3000m ²	0.9 ~ 0.7	0.9	
	3001 ~ 15000m ²	0.75 ~ 0.55		
	> 15000m ²	0.6 ~ 0.4		
	商场照明	0.9 ~ 0.7	—	
冷冻机房、锅炉房	1 ~ 3 台	0.9 ~ 0.7	0.8 ~ 0.85	—
	> 3 台	0.7 ~ 0.6		
热力站、水泵房和通风机	1 ~ 5 台	1 ~ 0.8	0.8 ~ 0.85	—
	> 5 台	0.8 ~ 0.6		
电梯	—	0.18 ~ 0.22	0.5 ~ 0.6 (交流电动机)	—
			0.8 (直流电动机)	
洗衣机房、厨房	≤100kW	0.4 ~ 0.5	0.8 ~ 0.9	—
	> 100kW	0.3 ~ 0.4		
窗式空调器	4 ~ 10 台	0.8 ~ 0.6	0.8	—
	10 ~ 50 台	0.6 ~ 0.4		
	50 台以上	0.4 ~ 0.3		
舞台照明	≤200kW	1 ~ 0.6	0.9 ~ 1	—
	> 200kW	0.6 ~ 0.4		

注: 1. 一般动力设备为 3 台及以下时, 需要系数取为 $K_x = 1$ 。
2. 照明负荷需要系数的大小与灯的控制方式和开启率有关。大面积集中控制的灯比相同建筑面积的多个小房间分散控制的灯的需要系数大。插座容量的比例大时, 需要系数的选择可以偏小些。

表 2-3 工厂用电设备组的需要系数及自然功率因数

用电设备组名称	K_x	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
单独传动的金属加工机床			
小批生产的金属冷加工机床	0.12 ~ 0.16	0.50	1.73
大批生产的金属冷加工机床	0.17 ~ 0.20	0.50	1.73
小批生产的金属热加工机床	0.20 ~ 0.25	0.55 ~ 0.60	1.51 ~ 1.33
大批生产的金属热加工机床	0.25 ~ 0.28	0.65	1.17
锻锤、压床、剪板机及其他锻压机械	0.25	0.60	1.33
木工机械	0.20 ~ 0.30	0.50 ~ 0.60	1.73 ~ 1.33
液压机	0.30	0.60	1.33
生产用通风机	0.75 ~ 0.85	0.80 ~ 0.85	0.75 ~ 0.62
卫生用通风机	0.65 ~ 0.70	0.80	0.75
泵、活塞型压缩机、电动发电机组	0.75 ~ 0.85	0.80	0.75
球磨机、破碎机、筛选机、搅拌机等	0.75 ~ 0.85	0.80 ~ 0.85	0.75 ~ 0.62

(续)

用电设备组名称	K_x	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
电阻炉 (带调压器或变压器)			
非自动装料	0.60 ~ 0.70	0.95 ~ 0.98	0.33 ~ 0.20
自动装料	0.70 ~ 0.80	0.95 ~ 0.98	0.33 ~ 0.20
干燥箱、加热器等	0.40 ~ 0.60	1.00	0
工频感应炉 (不带无功补偿装置)	0.80	0.35	2.68
高频感应炉 (不带无功补偿装置)	0.80	0.60	1.33
焊接和加热用高频加热设备	0.50 ~ 0.65	0.70	1.02
熔炼用高频加热设备	0.80 ~ 0.85	0.80 ~ 0.85	0.75 ~ 0.62
表面淬火电炉 (带无功补偿装置)			
电动发电机	0.65	0.70	1.02
真空管振荡器	0.80	0.85	0.62
中频感应炉 (中频机组)	0.65 ~ 0.75	0.80	0.75
氢气炉 (带调压器或变压器)	0.40 ~ 0.50	0.85 ~ 0.90	0.62 ~ 0.48
真空炉 (带调压器或变压器)	0.55 ~ 0.65	0.85 ~ 0.90	0.62 ~ 0.48
电弧炼钢炉变压器	0.90	0.85	0.62
电弧炼钢炉的辅助设备	0.15	0.50	1.73
点焊机、缝焊机	0.35, 0.20 ^①	0.60	1.33
对焊机	0.35	0.70	1.02
自动弧焊变压器	0.50	0.50	1.73
单头手动弧焊变压器	0.35	0.35	2.68
多头手动弧焊变压器	0.40	0.35	2.68
单头直流弧焊机	0.35	0.60	1.33
多头直流弧焊机	0.70	0.70	1.02
金属、机修、装配车间、锅炉房用起重机 ($\varepsilon = 25\%$)	0.10 ~ 0.15	0.50	1.73
铸造车间起重机 ($\varepsilon = 25\%$)	0.15 ~ 0.30	0.50	1.73
联锁的连续运输机械	0.65	0.75	0.88
非联锁的连续运输机械	0.50 ~ 0.60	0.75	0.88
一般工业用硅整流装置	0.50	0.70	1.02
电镀用硅整流装置	0.50	0.75	0.88
电解用硅整流装置	0.70	0.80	0.75
红外线干燥设备	0.85 ~ 0.90	1.00	0.00
电火花加装置	0.50	0.60	1.33
超声波装置	0.70	0.70	1.02
X 光设备	0.30	0.55	1.52
电子计算机主机	0.60 ~ 0.70	0.80	0.75

(续)

用电设备组名称	K_x	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
表面淬火电炉 (带无功补偿装置)			
电子计算机外部设备	0.40 ~ 0.50	0.50	1.73
试验设备 (电热为主)	0.20 ~ 0.40	0.80	0.75
试验设备 (仪表为主)	0.15 ~ 0.20	0.70	1.02
磁粉探伤机	0.20	0.40	2.29
铁屑加工机械	0.40	0.75	0.88
排气台	0.50 ~ 0.60	0.90	0.48
老炼台	0.60 ~ 0.70	0.70	1.02
陶瓷隧道窑	0.80 ~ 0.90	0.95	0.33
拉单晶炉	0.70 ~ 0.75	0.90	0.48
赋能腐蚀设备	0.60	0.93	0.40
真空浸渍设备	0.70	0.95	0.33

① 点焊机的需要系数 0.2 仅用于电子行业。

表 2-4 旅游宾馆的需要系数及自然功率因数

序号	负荷名称	需要系数 K_x		自然平均功率因数 $\cos\varphi$	
		平均值	推荐值	平均值	推荐值
1	全馆总负荷	0.45	0.4 ~ 0.5	0.84	0.8
2	全馆总照明	0.55	0.5 ~ 0.6	0.82	0.8
3	全馆总电力	0.4	0.35 ~ 0.45	0.9	0.85
4	冷冻机房	0.65	0.65 ~ 0.75	0.87	0.8
5	锅炉房	0.65	0.65 ~ 0.75	0.8	0.75
6	水泵房	0.65	0.6 ~ 0.7	0.86	0.8
7	风机	0.65	0.6 ~ 0.7	0.83	0.8
8	电梯	0.2	0.18 ~ 0.22	直流 0.5 交流 0.8	直流 0.4 交流 0.8
9	厨房	0.4	0.35 ~ 0.45	0.7 ~ 0.75	0.7
10	洗衣机房	0.3	0.3 ~ 0.35	0.6 ~ 0.65	0.7
11	窗式空调器	0.4	0.35 ~ 0.45	0.8 ~ 0.85	0.8
12	总同期系数 K_Σ	0.92 ~ 0.94			

表 2-5 住宅建筑用电负荷的需要系数

按单相配电计算时所连接的基本户数	按三相配电计算时所连接的基本户数	需要系数 K_x
1 ~ 3	3 ~ 9	0.90 ~ 1
4 ~ 8	12 ~ 24	0.65 ~ 0.90
9 ~ 12	27 ~ 36	0.50 ~ 0.65
13 ~ 24	39 ~ 72	0.45 ~ 0.50

(续)

按单相配电计算时所连接的基本户数	按三相配电计算时所连接的基本户数	需要系数 K_x
25 ~ 124	75 ~ 300	0.40 ~ 0.45
125 ~ 259	375 ~ 600	0.30 ~ 0.40
260 ~ 300	780 ~ 900	0.26 ~ 0.30

表 2-6 照明用电设备的需要系数

建筑类别	K_x	建筑类别	K_x
生产厂房 (有天然采光)	0.80 ~ 0.90	体育馆	0.70 ~ 0.80
生产厂房 (无天然采光)	0.90 ~ 1.00	集体宿舍	0.60 ~ 0.80
办公楼	0.70 ~ 0.80	医院	0.50
设计室	0.90 ~ 0.95	食堂、餐厅	0.80 ~ 0.90
科研楼	0.80 ~ 0.90	商店	0.85 ~ 0.90
仓库	0.50 ~ 0.70	学校	0.60 ~ 0.70
锅炉房	0.90	展览馆	0.70 ~ 0.80
托儿所、幼儿园	0.80 ~ 0.90	旅馆	0.60 ~ 0.70
综合商业服务楼	0.75 ~ 0.85		

注：气体放电灯具或线路的功率因数应规定补偿至 0.9。

表 2-7 照明用电设备的 $\cos\varphi$ 及 $\tan\varphi$

光源类别	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
白炽灯、卤钨灯	1.0	0
荧光灯 (无补偿)	0.55	1.52
荧光灯 (有补偿)	0.9	0.48
高压水银灯 (50 ~ 175W)	0.45 ~ 0.5	1.98 ~ 1.73
高压水银灯 (200 ~ 1000W)	0.65 ~ 0.67	1.16 ~ 1.10
高压钠灯	0.45	1.98
金属卤化物灯	0.4 ~ 0.61	2.29 ~ 1.29
镝灯	0.52	1.6
氙灯	0.9	0.48
霓虹灯	0.4 ~ 0.5	2.29 ~ 1.73

表 2-8 $\cos\varphi$ 与 $\tan\varphi$ 、 $\sin\varphi$ 对应值

$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$\sin\varphi$
1.000	0.000	0.000
0.990	0.142	0.141
0.980	0.203	0.199
0.970	0.251	0.243
0.960	0.292	0.280

(续)

$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$\sin\varphi$
0.950	0.329	0.312
0.940	0.363	0.341
0.930	0.395	0.367
0.920	0.426	0.392
0.910	0.456	0.415
0.900	0.484	0.436
0.890	0.512	0.456
0.880	0.540	0.475
0.870	0.567	0.493
0.860	0.593	0.510
0.850	0.620	0.527
0.840	0.646	0.543
0.830	0.672	0.558
0.820	0.698	0.698
0.810	0.724	0.572
0.800	0.750	0.586
0.780	0.802	0.600
0.750	0.882	0.626
0.720	0.964	0.661
0.700	1.020	0.714
0.680	1.078	0.733
0.650	1.169	0.760
0.600	1.333	0.800
0.550	1.518	0.835
0.500	1.732	0.866
0.450	1.985	0.893
0.400	2.291	0.916
0.350	2.676	0.937
0.300	3.180	0.954
0.250	3.873	0.968
0.200	4.899	0.980
0.150	6.591	0.989
0.100	0.950	0.995

2.1.2 利用系数法

利用系数法确定计算负荷时，不论计算范围大小，都必须求出该计算范围内用电设备的有效台数和最大系数，然后计算出结果，可见表 2-9。

表 2-9 利用系数法确定计算负荷

用电设备组序号	设备功率/kW	(平均) 利用系数	功率因数	有功/无功平均负荷/(kW/kvar)	设备有效台数	最大系数	有功/无功/视在计算负荷/电流/(kW/kvar/kV·A/A)
$i = 1 \sim n$	P_{ei}	K_{ui}	$\cos\varphi$	$P_{avi} = K_{ui} P_{ei}$ $Q_{avi} = P_{avi} \tan\varphi$	—	—	—
合计		$K_{eav} = \frac{\sum P_{avi}}{\sum P_{ei}}$	—	$\frac{\sum P_{avi}}{\sum Q_{avi}}$	$n_{eq} = \frac{(\sum P_{ei})^2}{\sum P_{ei}^2}$	K_a (根据 n_{eq} 和 K_{uav} 查表)	$P_c = K_a \sum P_{avi}$ $Q_c = K_a \sum Q_{avi}$ S_c, I_c 公式同表 2-10

注：1. 工厂用电设备的 K_u 、 $\cos\varphi$ 值及 K_a 可查表 2-11、表 2-12 或设计手册。

2. 3 台及以下用电设备的计算有功负荷取设备功率总和；3 台以上用电设备，有效台数小于 4 时，计算有功负荷取设备功率总和，再乘以系数 0.9。

表 2-10 多组用电设备的计算负荷

用电设备组序号	有功计算负荷/kW	无功计算负荷/kW	视在计算负荷/(kV·A)	计算电流/A
$i = 1 \sim n$	P_{ci}	Q_{ci}	—	—
合计 (计入同期系数) 对干线 $K_{\Sigma p} = 0.80 \sim 1.0$ 、 $K_{\Sigma q} = 0.85 \sim 1.0$ 对母线 $K_{\Sigma p} = 0.75 \sim 0.90$ 、 $K_{\Sigma q} = 0.80 \sim 0.95$	$P_c = K_{\Sigma p} \sum P_{ci}$	$Q_c = K_{\Sigma q} \sum Q_{ci}$	$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$	$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_n}$

注：同期系数大小根据计算范围及具体工程性质不同而相应选择。根据设计经验，计算民用建筑多组用电设备计算负荷时，所取同期系数值一般比计算工厂多组用电设备负荷时所取同期系数值相应低些。

表 2-11 工厂用电设备组的利用系数及功率因数

用电设备组名称	K_u	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
一般工作制小批生产用金属切削机床 (小型车床、刨床、插床、铣床、钻床、砂轮机等)	0.1 ~ 0.12	0.5	1.73
一般工作制大批生产金属切削机床	0.12 ~ 0.14	0.5	1.73
重工作制切削机床 (冲床、自动车床、转塔车床、大型车床、刨床、铣床、立式车床、镗床)	0.16	0.55	1.51
小批生产金属热加工机床 (锻锤传动装置、锻造机、拉丝机、清理转磨筒、碾磨机等)	0.17	0.60	1.33
大批生产金属热加工机床	0.20	0.65	1.17
生产用通风机	0.55	0.80	0.75
卫生用通风机	0.50	0.80	0.75
泵、空气压缩机及电动发电机组	0.55	0.8	0.75
移动式电动工具	0.05	0.50	1.73
不连锁的连续运输机械 (提升机、带式输送机、螺旋输送机)	0.35	0.75	0.88

(续)

用电设备组名称	K_u	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
连锁的连续运输机械	0.50	0.75	0.88
起重机及电动葫芦 ($\varepsilon = 100\%$)	0.15 ~ 0.20	0.50	1.73
电阻炉、干燥箱、加热设备	0.55 ~ 0.65	0.95	0.33
实验室用的小型电热设备	0.35	1.00	0.00
10t 以下电弧炼钢炉	0.65	0.80	0.75
单头直流弧焊机	0.25	0.60	1.33
多头直流弧焊机	0.50	0.70	1.02
单头弧焊变压器	0.25	0.35	2.67
多头弧焊变压器	0.30	0.35	2.67
自动弧焊机	0.30	0.50	1.73
点焊机、缝焊机	0.25	0.60	1.33
对焊机、铆钉加热机	0.25	0.70	1.02
工频感应炉	0.75	0.35	2.67
高频感应炉 (用电动发电机组)	0.70	0.80	0.75
高频感应炉 (用真空管振荡器)	0.65	0.65	1.17

表 2-12 用电设备组的附加系数 K_a

$K_u \backslash n_{eq}$	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
4	3.43	3.11	2.64	2.14	1.87	1.65	1.46	1.29	1.14	1.05
5	3.23	2.87	2.42	2.00	1.76	1.57	1.41	1.26	1.12	1.04
6	3.04	2.64	2.24	1.88	1.66	1.51	1.37	1.23	1.10	1.04
7	2.88	2.48	2.10	1.80	1.58	1.45	1.33	1.21	1.09	1.04
8	2.72	2.31	1.99	1.72	1.52	1.40	1.30	1.20	1.08	1.04
9	2.56	2.20	1.90	1.65	1.47	1.37	1.28	1.18	1.08	1.03
10	2.42	2.10	1.84	1.60	1.43	1.34	1.26	1.16	1.07	1.03
12	2.24	1.96	1.75	1.52	1.36	1.28	1.23	1.15	1.07	1.03
14	2.10	1.85	1.67	1.45	1.32	1.25	1.20	1.13	1.07	1.03
16	1.99	1.77	1.61	1.41	1.28	1.23	1.18	1.12	1.07	1.03
18	1.91	1.70	1.55	1.37	1.26	1.21	1.16	1.11	1.06	1.03
20	1.84	1.65	1.50	1.34	1.24	1.20	1.15	1.11	1.06	1.03
25	1.71	1.55	1.40	1.28	1.21	1.17	1.14	1.10	1.06	1.03
30	1.62	1.46	1.34	1.24	1.19	1.16	1.13	1.10	1.05	1.03
35	1.56	1.41	1.30	1.21	1.17	1.15	1.12	1.09	1.05	1.02
40	1.50	1.37	1.27	1.19	1.15	1.13	1.12	1.09	1.05	1.02
45	1.45	1.33	1.25	1.17	1.14	1.12	1.11	1.08	1.04	1.02
50	1.40	1.30	1.23	1.16	1.14	1.11	1.10	1.08	1.04	1.02

(续)

$\begin{matrix} K_u \\ n_{eq} \end{matrix}$	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
60	1.32	1.25	1.19	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07	1.03	1.02
70	1.27	1.22	1.17	1.12	1.10	1.10	1.09	1.06	1.03	1.02
80	1.25	1.20	1.15	1.11	1.10	1.10	1.08	1.06	1.03	1.02
90	1.23	1.18	1.13	1.10	1.09	1.09	1.08	1.05	1.02	1.02
100	1.21	1.17	1.12	1.10	1.08	1.08	1.07	1.05	1.02	1.02
120	1.19	1.16	1.12	1.09	1.07	1.07	1.07	1.05	1.02	1.02
160	1.16	1.13	1.10	1.08	1.05	1.05	1.05	1.04	1.02	1.02
200	1.15	1.12	1.09	1.07	1.05	1.05	1.05	1.04	1.01	1.01
240	1.14	1.11	1.08	1.07	1.05	1.05	1.05	1.03	1.01	1.01

2.1.3 住宅负荷的计算

每套住宅用电负荷，不再按灯具、插座等容量逐一计算，而是按套型类别进行确定，见表 2-13 ~ 表 2-15。根据我国住宅发展，每套住宅供电的容量标准，一般可在 4 ~ 12kW 范围内选取。

表 2-13 每套住宅用电负荷和电能表的选择

套型	建筑面积 S/m^2	用电负荷/kW	电能表（单相）/A
A	$S \leq 60$	3	5（20）
B	$60 < S \leq 90$	4	10（40）
C	$90 < S \leq 150$	6	10（40）

表 2-14 《小康住宅设计导则》推荐的每套住宅用负荷及电能表规格

套型	用电负荷/kW	单相电能表规格/A	备 注
一类	8 ~ 10	20（80）	一类为理想目标；二类为普及目标；三类为基本目标
二类	6 ~ 8	15（60）	
三类	4 ~ 6	10（40）	

表 2-15 国家《商品住宅性能认定管理办法》评定指标

级 别	电能表规格
3A	不小于 20（80）A
2A	不小于 10（40）A
1A	不小于 10（40）A

2.2 电缆截面选择计算

1. 按持续允许电流选择

敷设在空气中和土壤中的电缆允许载流量按下式计算：

$$KI_n \geq I_g \tag{2-4}$$

式中 I_g ——计算工作电流 (A)；
 I_n ——电缆在标准敷设条件下的额定载流量 (A)，见表 2-16 ~ 表 2-22；
 K ——不同敷设条件下综合校正系数，空气中单根敷设 $K = K_1$ ，空气中多根敷设 $K = K_1 K_1$ ，空气中穿管敷设 $K = K_1 K_2$ ，土壤中单根敷设 $K = K_1 K_3$ ，土壤中多根敷设 $K = K_1 K_3 K_4$ ；
 K_1 ——环境温度校正系数，见表 2-23；
 K_1 ——空气中并列敷设电缆载流量的校正系数，见表 2-26，层并列时见表 2-27；
 K_2 ——空气中穿管敷设时载流量的校正系数，电压为 10kV 及以下、截面积为 95mm² 及以下取 0.9，截面积为 120 ~ 185mm² 取 0.85；
 K_3 ——直埋敷设电缆因土壤热阻不同的校正系数，见表 2-24；
 K_4 ——多根并列直埋敷设时的校正系数，见表 2-25。

表 2-16 1 ~ 3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量 (单位：A)

绝缘类型		不滴流纸			聚氯乙烯		
护套		有钢铠护套			无钢铠护套		
电缆导体最高工作温度/℃		80			70		
电缆芯数		单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯
电缆导体截面积 /mm ²	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
	185	414	—	285	340	—	246
	240	495	—	338	410	—	294
	300	570	—	383	473	—	328
环境温度/℃		40					

注：1. 适用于铝芯电缆，铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。
2. 单芯只适用于直流。

表 2-17 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量 (单位: A)

绝缘类型		不滴流纸			聚氯乙烯					
护套		有钢铠护套			无钢铠护套			有钢铠护套		
电缆导体最高工作温度/℃		80			70					
电缆芯数		单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯
电 缆 导 体 截 面 积 /mm ²	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 /(K·m/W)		1.5				1.2				
环境温度/℃		25								

注: 1. 适用于铝芯电缆, 铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

2. 单芯只适用于直流。

表 2-18 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量 (单位: A)

电缆芯数		三芯		单芯							
单芯电缆排列方式				品字形				水平形			
				单侧		两侧		单侧		两侧	
金属层接地点											
电缆导体材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜
电 缆 导 体 截 面 积 /mm ²	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
	70	178	228	196	255	196	251	228	292	214	264
	95	214	273	241	310	241	305	278	356	260	310

(续)

电缆芯数		三芯		单芯							
单芯电缆排列方式				品字形				水平形			
金属层接地点				单侧		两侧		单侧		两侧	
电缆导体材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜
电 缆 导 体 截 面 积 /mm ²	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
环境温度/℃		40									
电缆导体最高工作温度/℃		90									

注：1. 允许载流量的确定，还应符合以下规定：

- 1) 数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时，应计入对环境温升的影响。
 - 2) 电缆直埋敷设在干燥或潮湿土壤中，除实施换土处理能避免水分迁移的情况外，土壤热阻系数取值不宜小于 $2.0 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ 。
2. 水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

表 2-19 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量 (单位：A)

电缆芯数		三芯		单芯			
单芯电缆排列方式				品 字 形		水 平 形	
金属层接地点				单 侧		单 侧	
电缆导体材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜
电 缆 导 体 截 面 积 /mm ²	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	
电缆导体最高工作温度/℃		90					
土壤热阻系数 /(K·m/W)		2.0					
环境温度/℃		25					

注：水平形排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

6kV 常用电缆允许持续载流量见表 2-20 和表 2-21。

表 2-20 6kV 三芯电力电缆空气中敷设时允许持续载流量 (单位: A)

绝缘类型		不滴流纸	聚氯乙烯		交联聚乙烯	
钢铠护套		有	无	有	无	有
电缆导体最高工作温度/℃		80	70		90	
电缆导体截面积 /mm ²	10	—	40	—	—	—
	16	58	54	—	—	—
	25	79	71	—	—	—
	35	92	85	—	114	—
	50	116	108	—	141	—
	70	147	129	—	173	—
	95	183	160	—	209	—
	120	213	185	—	246	—
	150	245	212	—	277	—
	185	280	246	—	323	—
	240	334	293	—	378	—
	300	374	323	—	432	—
	400	—	—	—	505	—
	500	—	—	—	584	—
环境温度/℃		40				

注: 1. 适用于铝芯电缆, 铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

2. 电缆导体工作温度大于 70℃ 时, 允许持续载流量还应符合以下规定:

1) 数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时, 应计入对环境温升的影响。

2) 电缆直埋敷设在干燥或潮湿土壤中, 除实施换土处理能避免水分迁移的情况外, 土壤热阻系数取值不宜小于 $2.0 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ 。

表 2-21 6kV 三芯电力电缆直埋敷设时允许持续载流量 (单位: A)

绝缘类型		不滴流纸	聚氯乙烯		交联聚乙烯	
钢铠护套		有	无	有	无	有
电缆导体最高工作温度/℃		80	70		90	
电缆导体截面积 /mm ²	10	—	51	50	—	—
	16	63	67	65	—	—
	25	84	86	83	87	87
	35	101	105	100	105	102
	50	119	126	126	123	118
	70	148	149	149	148	148
	95	180	181	177	178	178
	120	209	209	205	200	200
	150	232	232	228	232	222
	185	264	264	255	262	252
	240	308	309	300	300	295
	300	344	346	332	343	333
	400	—	—	—	380	370
	500	—	—	—	432	422
土壤热阻系数 /(K·m/W)		1.5	1.2		2.0	
环境温度/℃		25				

注: 适用于铝芯电缆, 铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。

10kV 常用电力电缆允许持续载流量见表 2-22。

表 2-22 10kV 常用电力电缆允许持续载流量 (单位: A)

绝缘类型		不滴流纸		交联聚乙烯			
钢铠护套				无		有	
电缆导体最高工作温度/℃		65		90			
敷设方式		空气中	直埋	空气中	直埋	空气中	直埋
电缆导体截面积 /mm ²	16	47	59	—	—	—	—
	25	63	79	100	90	100	90
	35	77	95	123	110	123	105
	50	92	111	146	125	141	120
	70	118	138	178	152	173	152
	95	143	169	219	182	214	182
	120	168	196	251	205	246	205
	150	189	220	283	223	278	219
	185	218	246	324	252	320	247
	240	261	290	378	292	373	292
	300	295	325	433	332	428	328
	400	—	—	506	378	501	374
500	—	—	579	428	574	424	
环境温度/℃		40	25	40	25	40	25
土壤热阻系数/(K·m/W)		—	1.2	—	2.0	—	2.0

注: 1. 适用于铝芯电缆, 铜芯电缆的允许持续载流量值可乘以 1.29。
2. 电缆导体工作温度大于 70℃ 时, 允许载流量还应符合以下规定:
1) 数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时, 应计入对环境温升的影响。
2) 电缆直埋敷设于干燥或潮湿土壤中, 除实施换土处理能避免水分迁移的情况外, 土壤热阻系数取值不宜小于 2.0K·m/W。

35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数见表 2-23。

表 2-23 35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数

敷设位置		空气中				土壤中			
环境温度/℃		30	35	40	45	20	25	30	35
电缆导体最高 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

除表 2-23 以外的其他环境温度下电缆载流量的校正系数可按下式计算:

$$K = \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_2}{\theta_m - \theta_1}} \quad (2-5)$$

式中 θ_m ——电缆导体最高工作温度 (°C)；

θ_1 ——对应于额定载流量的基准环境温度 (°C)；

θ_2 ——实际环境温度 (°C)。

不同土壤热阻系数时电缆载流量的校正系数见表 2-24。

表 2-24 不同土壤热阻系数时电缆载流量的校正系数

土壤热阻系数 ($K \cdot m/W$)	分类特征 (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 10% 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. 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. 校正系数适用于土壤热阻系数为 $1.2 K \cdot m/W$ 的情况, 不适用于三相交流系统的高压单芯电缆。

土中直埋多根并行敷设时电缆载流量的校正系数见表 2-25。

表 2-25 土中直埋多根并行敷设时电缆载流量校正系数

并列根数		1	2	3	4	5	6
电缆之间净距 /mm	100	1	0.9	0.85	0.80	0.78	0.75
	200	1	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81
	300	1	0.93	0.90	0.87	0.86	0.85

注: 不适用于三相交流系统单芯电缆。

空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数见表 2-26。

表 2-26 空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数

并列根数		1	2	3	4	5	6
电缆中心距	$S = d$	1.00	0.90	0.85	0.82	0.81	0.80
	$S = 2d$	1.00	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90
	$S = 3d$	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96

注: 1. S 为电缆中心间距, d 为电缆外径。

2. 按全部电缆具有相同外径条件制订, 当并列敷设的电缆外径不同时, d 值可近似地取电缆外径的平均值。

3. 不适用于交流系统中使用的单芯电力电缆。

电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数见表 2-27。

表 2-27 电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数

叠置电缆层数		一	二	三	四
桥架类别	梯架	0.8	0.65	0.55	0.5
	托盘	0.7	0.55	0.5	0.45

注：呈水平状并列电缆数不少于 7 根。

1 ~ 6kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数见表 2-28。

表 2-28 1 ~ 6kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数

电缆截面积/mm ²				35	50	70	95	120	150	185	240
电压 /kV	1	芯数	三	—	—	—	0.90	0.98	0.97	0.96	0.94
	6		三	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88
	单		—	—	—	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	

注：运用本表系数校正对应的载流量基础值，是采取户外环境温度的户内空气中电缆载流量。

2. 按短路热稳定条件计算

(1) 固体绝缘电缆导体允许最小截面积

1) 电缆导体允许最小截面积，由下式确定：

$$S \geq \frac{\sqrt{Q}}{C} \times 10^2 \quad (2-6)$$

$$C = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{Jq}{\alpha k \rho} \ln \frac{1 + \alpha(\theta_m - 20)}{1 + \alpha(\theta_p - 20)}} \quad (2-7)$$

$$\theta_p = \theta_o + (\theta_H - \theta_o) \left(\frac{I_p}{I_H} \right)^2 \quad (2-8)$$

2) 除电动机馈线回路外，均可取 $\theta_p = \theta_H$ 。

3) Q 值确定，应符合下列规定：

① 对火电厂 3 ~ 10kV 厂用电动机馈线回路，当机组容量为 100MW 及以下时：

$$Q = I^2 (t + T_b) \quad (2-9)$$

② 对火电厂 3 ~ 10kV 厂用电动机馈线回路，当机组容量大于 100MW 时， Q 的表达式见表 2-29。

表 2-29 机组容量大于 100MW 时火电厂电动机馈线回路 Q 值表达式

t/s	T_b/s	T_d/s	$Q/(A^2 \cdot s)$
0.15	0.045	0.062	$0.195I^2 + 0.22I_d + 0.09I_d^2$
	0.06		$0.21I^2 + 0.23I_d + 0.09I_d^2$
0.2	0.045	0.062	$0.245I^2 + 0.22I_d + 0.09I_d^2$
	0.06		$0.26I^2 + 0.24I_d + 0.09I_d^2$

注：1. 对于电抗器或 $U_d\%$ 小于 10.5 的双绕组变压器，取 $T_b = 0.045$ ，其他情况取 $T_b = 0.06$ 。

2. 对中速断路器， t 可取 0.15s；对慢速断路器， t 可取 0.2s。

③ 除火电厂 3 ~ 10kV 厂用电动机馈线外的情况：

$$Q = I^2 t \quad (2-10)$$

式中 S ——电缆导体截面积 (mm^2);
 J ——热功当量系数, 取 1.0;
 q ——电缆导体的单位体积热容量 ($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), 铝芯取 2.48, 铜芯取 3.4;
 θ_m ——短路作用时间内电缆导体允许最高温度 ($^\circ\text{C}$);
 θ_p ——短路发生前的电缆导体最高工作温度 ($^\circ\text{C}$);
 θ_H ——电缆额定负荷的电缆导体允许最高工作温度 ($^\circ\text{C}$);
 θ_o ——电缆所处的环境温度最高值 ($^\circ\text{C}$);
 I_H ——电缆的额定负荷电流 (A);
 I_p ——电缆实际最大工作电流 (A);
 I ——系统电源供给短路电流的周期分量起始有效值 (A);
 I_d ——电动机供给反馈电流的周期分量起始有效值之和 (A);
 t ——短路持续时间 (s);
 T_b ——系统电源非周期分量的衰减时间常数 (s);
 α —— 20°C 时电缆导体的电阻温度系数 ($1/^\circ\text{C}$), 铜芯为 0.00393, 铝芯为 0.00403;
 ρ —— 20°C 时电缆导体的电阻系数 ($\Omega\text{cm}^2/\text{cm}$), 铜芯为 0.0184×10^{-4} , 铝芯为 0.031×10^{-4} ;
 η ——计入包含电缆导体充填物热容影响的校正系数, 对 3 ~ 10kV 电动机馈线回路, 宜取 $\eta = 0.93$, 其他情况可按 $\eta = 1$;
 K ——电缆导体的交流电阻与直流电阻之比值, 可由表 2-30 选取。

表 2-30 K 值选择

电缆类型		6 ~ 35kV 挤塑					自容式充油		
导体截面积/ mm^2		95	120	150	185	240	240	400	600
芯数	单芯	1.002	1.003	1.004	1.006	1.010	1.003	1.011	1.029
	多芯	1.003	1.006	1.008	1.009	1.021	—	—	—

(2) 自容式充油电缆导体允许最小截面积 电缆导体允许最小截面积应满足下式要求:

$$S^2 + \left(\frac{q_0}{q} S_0 \right) S \geq \left[\alpha K \rho I^2 t / J q \ln \frac{1 + \alpha (\theta_m - 20)}{1 + \alpha (\theta_p - 20)} \right] 10^4 \quad (2-11)$$

式中 S_0 ——不含油道内绝缘油的电缆导体中绝缘油充填截面积 (mm^2);

q_0 ——绝缘油的单位体积热容量 ($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), 可取 1.7。

除对变压器回路的电缆可按最大工作电流作用时的 θ_p 值外, 其他情况宜取 $\theta_p = \theta_H$ 。

2.3 短路电流计算

2.3.1 概述

1. 短路的原因及危害

短路的概念是供配电系统中相导体之间或相导体与地之间不通过负载阻抗而发生了直接电气连接, 是电力系统最常见故障之一, 也是最严重的一种故障。短路发生的原因及其危

害，见表 2-31。

表 2-31 短路发生的原因及其危害

短路原因	根本原因	系统中某一部位设定的绝缘状态遭到破坏	
	主要原因	绝缘老化或外界机械损伤	大多数的绝缘都是由高分子材料制造的，老化是这类材料一种特性，它是不可避免的。老化总是导致绝缘性能的降低，当绝缘性能降低到一定程度后，在正常工作电压或允许过电压的作用下，绝缘也可能被击穿 机械损伤是绝缘破坏的另一种途径，如掘沟时损伤电缆等。对这类绝缘破坏，应管理措施和技术措施并重，才能有效避免
		雷击或高电位侵入	电气设备的绝缘是有一定的介电强度的，外加电压超过绝缘的介电强度时，绝缘就可能被击穿，从而造成短路。外加电压过高的常见原因是雷击和高电位侵入
		误操作	带载拉闸、挂接地线合闸、错相并联和违规并网等
		动、植物造成的短路	鸟兽跨越相导体，藻类植物生长造成的相导体间净距减小，霉菌等造成的绝缘性能下降
短路危害	短路的电动效应和热效应		短路电流将产生很大的电动力和很高的温度，可能造成电路及电气设备的损坏
	电压骤降		短路将造成系统电压骤然下降，越靠近短路点电压越低，将严重影响电气设备的正常运行
	造成停电事故		短路时，电力系统的保护装置动作，使熔断器熔断或开关跳闸，从而造成停电事故。越靠近电源短路，引起停电的范围越大，从而给国民经济造成的损失也越大
	影响系统稳定		严重的短路可使并列运行的发电机组异步，造成电力系统解列，影响电力系统的稳定运行
	产生电磁干扰		单相接地短路电流，可对附近的信号系统、通信线路及电子设备等产生电磁干扰，使之无法正常运行，甚至引起误动作

2. 短路的形式

在供配电系统中，可能发生的短路类型有三相短路、两相短路、单相短路和两相接地短路，见表 2-32。

表 2-32 短路的基本形式

短路形式	示意图	表示符号	短路电流表示符号	相关说明
对称短路		$k^{(3)}$	$I_k^{(3)}$ 或 I_k	因为短路回路的三相阻抗相等，所以三相短路电流和电压仍然是对称的，只是电流比正常值增大，电压比额定值降低。电力系统中发生三相短路的可能性最小，约占 2% ~ 5%，但短路电流最大，造成的危害也最严重，因此是选择校验电气设备的依据

(续)

短路形式	示意图	表示符号	短路电流表示符号	相关说明
两相短路		$k^{(2)}$	$I_k^{(2)}$	发生两相短路的几率和三相短路的差不多，但两相短路电流比三相短路电流要小，一般用作校验继电保护的灵敏度
单相短路		$k^{(1)}$	$I_k^{(1)}$	电力系统中发生单相短路的可能性最大，约占 70% ~ 80%，甚至更高。小接地电流系统的单相短路电流很小。单相短路电流主要用于单相短路保护的整定和单相短路热稳定度的校验
两相接地短路		$k^{(1,1)}$	$I_k^{(1,1)}$	电力网运行经验表明，常常先发生单相接地故障，然后进一步发展到两相接地，再导致相间短路。还有一种情况是两相短路后又接地，这实质上就是两相接地短路。 两相接地短路发生的几率大约为 6%

3. 短路电流计算的内容及目的

设计供配电工程时，需确定的高压电网短路电流及计算目的见表 2-33。

表 2-33 需要确定的高压电网短路电流及计算目的

短路物理量	符号	计算目的
三相对称短路电流初始值 (超瞬态短路电流)	I''_{k3}	用于校验高压电器导体的热稳定、整定继电保护（电流速断保护）装置

(续)

短路物理量	符号	计 算 目 的
三相对称开断电流 (有效值)	I_{k3}	开关电器的第一对触头分断瞬间, 预期短路电流对称交流分量在一个周期内的有效值, 用于校验高压开关的分断能力
三相短路电流峰值 (短路冲击电流)	i_{p3}	用于校验高压电器、母线、绝缘子的动稳定, 校验断路器的额定关合电流
三相稳态短路电流 (有效值)	I_{k3}	计算其他短路电流的依据; 对远离发电机端短路, $I_{k3} = I''_{k3}$
两相稳态短路电流 (有效值)	I_{k2}	用于校验继电保护装置或高压熔断器的灵敏度; 对远离发电机端短路, 等于两相短路电流初始值
对称短路容量初始值	S''_{k3}	用于校验高压电动机起动的依据, 也是计算低压电网短路电流的依据
单相接地电容电流	I_C	用于确定高压系统中性点接地方式; 对高压非有效接地系统, 用于验算接地装置的接触电压和跨步电压
单相接地短路电流	I''_{k1}	对高压有效接地系统, 用于验算接地装置的接触电压和跨步电压

注: 需根据不同用途分别计算出系统可能发生的最大短路电流和最小短路电流。

设计供配电工程时, 需确定的低压电网短路电流及计算目的见表 2-34。

表 2-34 需要确定的低压电网短路电流及计算目的

短路物理量	符号	计 算 目 的
三相对称短路电流初始值	I''_{k3}	用于校验低压电器导体的热稳定
三相对称开断电流 (有效值)	I_{k3}	用于校验低压开关的分断能力
三相短路电流峰值	i_{p3}	用于校验低压电器、母线、绝缘子的动稳定
三相稳态短路电流 (有效值)	I_{k3}	计算其他短路电流的依据
两相稳态短路电流 (有效值)	I_{k2}	用于校验低压过电流保护电器的灵敏度
单相接地故障电流	I''_{k1E}	用于校验低压接地故障保护电器的灵敏度; 也用于验算接地装置的接触电压和跨步电压

注: 1. 在计算短路电流时, 需根据不同用途分别计算出系统可能发生的最大短路电流和最小短路电流。

2. 短路计算点一般选取在变电所低压母线、配电线路首末端或配电箱 (分箱) 低压母线、用电设备端等处。

2.3.2 短路电流的计算方法

1. 标幺值法

标幺值法, 又称相对单位值法, 因其短路计算中的有关物理量采用标幺值即相对单位而得名。

采用标幺值法计算高压电网三相对称短路电流, 其计算步骤及公式见表 2-35。

表 2-35 采用标幺值法计算高压电网三相对称短路电流

序号	计 算 步 骤	计 算 公 式		符 号 说 明	备 注
1	设定基准容量和基准电压, 计算短路点基准电流	基准容量	$S_d = 100\text{MV} \cdot \text{A}$	c ——短路计算电压系数, 取平均 1.05	短路计算点应根据计算目的选取, 一般为高压电源引入处、高压配电所母线、车间变电所变压器一次侧和二次侧等处
		基准电压	$U_d = cU_n$	U_n ——短路计算点所在电网的标称电压 (kV)	
		基准电流	$I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3}U_d} = \frac{S_d}{\sqrt{3}cU_n}$	I_d ——短路计算点的基准电流 (kA)	

(续)

序号	计算步骤	计算公式		符号说明	备 注
2	计算短路回路中各主要元件的电抗标么值 (X_S^* , X_W^* , X_T^* , X_L^*)	电力系统	$X_S^* = \frac{S_d}{S_{k3}''}$	S_{k3}'' ——电力系统变电所高压馈电线出口处的短路容量 ($MV \cdot A$), 取具体工程的设计规划容量 (供电部门提供)	当线路结构数据不详时, x_0 可取其平均值, 对 10kV 架空线路可取 $x_0 = 0.35\Omega/km$, 对 10kV 电力电缆可取 $x_0 = 0.10\Omega/km$
		电力线路	$X_W^* = x_0 l \frac{S_d}{(cU_n)^2}$	x_0 ——电力线路单位长度的电抗 (Ω/km), 可查表 2-36 l ——电力线路的长度 (km) U_n ——元件所在电网的标称电压 (kV)	
		配电变压器	$X_T^* = \frac{U_k \% S_d}{100 S_{rT}}$	$U_k \%$ ——配电变压器的短路电压 (即阻抗电压) 百分值 S_{rT} ——配电变压器的额定容量 ($MV \cdot A$)	
		限流电抗器	$X_L^* = \frac{X_L \% U_{rL}}{100 \sqrt{3} I_{rL}} \frac{S_d}{(cU_n)^2}$	$X_L \%$ 、 U_{rL} 、 I_{rL} ——限流电抗器的电抗百分值、额定电压 (kV)、额定电流 (kA)	
3	绘制出短路回路的等效电路, 按阻抗串、并联关系求等效阻抗的方法化简电路, 计算短路回路的总电抗标么值 (X_Σ^*)	—		—	针对不同短路计算点分别计算
4	计算三项短路电流周期分量有效值及其他短路电流和三相短路容量	三相对称短路电流初始值 (kA)	$I_{k3}'' = I_d / X_\Sigma^*$	K_p ——峰值系数, $K_p = 1 + e^{-\pi R_\Sigma / X_\Sigma}$ 对高压电路, $R_\Sigma < X_{\Sigma/3}$, 可取 $K_p = 1.8$, 则 $i_{p3} = 2.55 I_{k3}''$ U_n ——短路计算点所在电网的标称电压 (kV)	—
		三相对称开断电流 (有效值) (kA)	对远离发电机端短路, $I_{b3} = I_{k3}''$		
		三相短路电流峰值 (kA)	$i_{p3} = \sqrt{2} K_p I_{k3}''$		
		三相稳态短路电流 (有效值) (kA)	对远离发电机端短路, $I_{k3} = I_{k3}''$		
		对称短路容量初始值 ($MV \cdot A$)	$S_{k3}'' = \sqrt{3} c U_n I_{k3}''$		
5	列出短路计算表	—		—	—

表 2-36 三相线路电线电缆单位长度每相阻抗值

类 别		导线截面积/mm ²											
		6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
导线类型	导线温度/℃	每相电阻 $r/(\Omega/\text{km})$											
铝	20	—	—	1.798	1.151	0.822	0.575	0.411	0.303	0.240	0.192	0.156	0.121
LJ 绞线	55	—	—	2.054	1.285	0.950	0.660	0.458	0.343	0.271	0.222	0.179	0.137
LGJ 绞线	55	—	—	—	—	0.938	0.678	0.481	0.349	0.285	0.221	0.181	0.138
铜	20	2.867	1.754	1.097	0.702	0.501	0.351	0.251	0.185	0.146	0.117	0.095	0.077
BV 导线	60	3.467	2.040	1.248	0.805	0.579	0.398	0.291	0.217	0.171	0.137	0.112	0.086
VV 电缆	60	3.325	2.035	1.272	0.814	0.581	0.407	0.291	0.214	0.169	0.136	0.110	0.085
YJV 电缆	80	3.554	2.175	1.359	0.870	0.622	0.435	0.310	0.229	0.181	0.145	0.118	0.091
导线类型	线距/mm	每相电抗 $x/(\Omega/\text{km})$											
LJ 裸铝绞线	800	—	—	0.381	0.367	0.357	0.345	0.335	0.322	0.315	0.307	0.301	0.293
	1000	—	—	0.390	0.376	0.366	0.355	0.344	0.335	0.327	0.319	0.313	0.305
	1250	—	—	0.408	0.395	0.385	0.373	0.363	0.350	0.343	0.335	0.329	0.321
LGJ 钢芯铝绞线	1500	—	—	—	—	0.39	0.38	0.37	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33
	2000	—	—	—	—	0.403	0.394	0.383	0.372	0.365	0.358	0.35	0.34
	3000	—	—	—	—	0.434	0.424	0.413	0.399	0.392	0.384	0.378	0.369
BV 导线	明敷	100	0.300	0.280	0.265	0.251	0.241	0.229	0.219	0.206	0.199	0.191	0.184
		150	0.325	0.306	0.290	0.277	0.266	0.251	0.242	0.231	0.223	0.216	0.209
	穿管敷设	0.112	0.108	0.102	0.099	0.095	0.091	0.087	0.085	0.083	0.082	0.081	0.080
VV 电缆 (1kV)		0.093	0.087	0.082	0.075	0.072	0.071	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
YJV 电缆	1kV	0.092	0.085	0.082	0.082	0.080	0.079	0.078	0.077	0.077	0.077	0.077	0.077
	10kV	—	—	0.133	0.120	0.113	0.107	0.101	0.096	0.095	0.093	0.090	0.087

注：计算线路功率损耗与电压损失时取导线实际工作温度推荐值下的电阻值，计算线路三相最大短路电流时取导线在 20℃ 时的电阻值。

2. 欧姆法（有单位制法）

欧姆法也称有单位制法，由于其短路计算中的阻抗都采用有单位“欧姆”而得名。

采用欧姆法计算低压电网三相和两相短路电流，其计算步骤如下：

1) 计算低压短路回路各元件的（正序）阻抗值，其公式见表 2-37。

表 2-37 低压短路回路各元件的（正序）阻抗值计算公式（单位：mΩ）

序号	元件名称	（正序）阻抗计算公式			符号说明
		阻抗	电阻	电抗	
1	高压系统	$Z_S = \frac{(cU_n)^2}{S_{k3}''} \times 10^{-3}$	$R_S = 0.1X_S$	$X_S = 0.995Z_S$	S_{k3}'' ——配电变压器高压侧短路容量 (MV·A)
2	配电变压器	$Z_S = \frac{U_k \% (cU_n)^2}{100S_{rT}}$	$R_T = \frac{\Delta P_k (cU_n)^2}{S_{rT}^2}$	$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$	U_n ——低压电网的额定电压, 380V ΔP_k ——配电变压器的短路损耗 (kW)
3	配电母线	$Z_{WB} = \sqrt{R_{WB}^2 + X_{WB}^2}$	$R_{WB} = rl$	$X_{WB} = xl$	S_{rT} ——配电变压器的额定容量 (kV·A) r, x ——母线、线路单位长度的电抗 (mΩ/m), 可查表 2-36、表 2-38 ~ 表 2-40 或设计手册
4	配电线路	$Z_{WP} = \sqrt{R_{WP}^2 + X_{WP}^2}$	$R_{WP} = rl$	$X_{WP} = xl$	l ——母线、配电线路的长度 (m)

2) 确定低压铜母线单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值, 见表 2-38。

表 2-38 低压铜母线单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值（单位：mΩ/m）

母线规格/mm	65℃ 相电阻 r_{65}°	20℃ 相电阻 r	相线 - 中性线电阻 $r_{L-N} = r_L + r_N$	相电抗 x	相线 - 中性线电抗 x_{L-N}
				$D = 125\text{mm}$	$D_N = 125\text{mm}$
4 [2 (125 × 10)]	0.011	0.009	0.019	0.105	0.238
3 [2 (125 × 10)] + 125 × 10	0.011	0.009	0.028	0.105	0.238
4 (125 × 10)	0.022	0.019	0.037	0.105	0.238
3 (125 × 10) + 80 × 10	0.022	0.019	0.045	0.105	0.260
4 [2 (100 × 10)]	0.013	0.011	0.022	0.116	0.260
3 [2 (100 × 10)] + 100 × 10	0.013	0.011	0.033	0.116	0.260
4 (100 × 10)	0.026	0.022	0.044	0.116	0.260
3 (100 × 10) + 63 × 10	0.026	0.022	0.055	0.116	0.283
4 [2 (80 × 10)]	0.016	0.013	0.026	0.127	0.271
3 [2 (80 × 10)] + 80 × 10	0.016	0.013	0.039	0.127	0.282
4 (80 × 10)	0.031	0.026	0.052	0.127	0.282
3 (80 × 10) + 63 × 8	0.031	0.026	0.066	0.127	0.296
4 [2 (100 × 8)]	0.016	0.013	0.026	0.118	0.264
3 [2 (100 × 8)] + 100 × 8	0.016	0.013	0.039	0.118	0.264
4 (100 × 8)	0.031	0.026	0.053	0.118	0.264
3 (100 × 8) + 80 × 6.3	0.031	0.026	0.066	0.118	0.277
4 [2 (80 × 8)]	0.019	0.016	0.031	0.129	0.287
3 [2 (80 × 8)] + 80 × 8	0.019	0.016	0.047	0.129	0.287
4 (80 × 8)	0.037	0.031	0.063	0.129	0.287
3 (80 × 8) + 63 × 6.3	0.037	0.031	0.084	0.129	0.301

(续)

母线规格/mm	65℃ 相电阻 r_{65}°	20℃ 相电阻 r	相线 - 中性线电阻 $r_{L-N} = r_L + r_N$	相电抗 x	相线 - 中性线电抗 x_{L-N}
				$D = 125\text{mm}$	$D_N = 125\text{mm}$
4 (80 × 6.3)	0.047	0.040	0.080	0.131	0.290
3 (80 × 6.3) + 50 × 6.3	0.047	0.040	0.101	0.131	0.317
4 (63 × 6.3)	0.062	0.053	0.105	0.143	0.315
3 (63 × 6.3) + 50 × 5	0.062	0.053	0.126	0.143	0.329
4 (50 × 5)	0.087	0.074	0.147	0.157	0.343
3 (50 × 5) + 40 × 4	0.087	0.074	0.161	0.157	0.356
4 (40 × 4)	0.103	0.087	0.175	0.170	0.370

注：1. 母线竖放，相邻相母线中心间距 D 按 125mm 计；当 N 母线与相母线并列放置时，N 线在边位，与相邻相母线中心间距 D_N 按 125mm 计。

2. 两片母线并联时相电阻减半，相电抗近似不变。

3) 确定低压密集绝缘铜母线槽单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值，见表 2-39。

表 2-39 低压密集绝缘铜母线槽单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值

(单位：mΩ/m)

型号规格		65℃ 相电阻 r_{65}°	20℃ 相电阻 r	相线 - 中性线电阻 $r_{L-N} = r_L + r_N$	相电抗 x	相线 - 中性线电抗 x_{L-N}
额定电流 /A	相母线规格 /mm					
200	6.3 × 30	0.111	0.094	0.188	0.030	0.080
400	6.3 × 40	0.084	0.071	0.142	0.027	0.072
630	6.3 × 50	0.066	0.056	0.112	0.025	0.067
800	6.3 × 70	0.047	0.040	0.080	0.023	0.061
1000	6.3 × 80	0.041	0.035	0.070	0.018	0.048
1250	6.3 × 125	0.027	0.023	0.046	0.014	0.037
1600	6.3 × 150	0.022	0.019	0.038	0.010	0.027
2000	6.3 × 200	0.017	0.014	0.028	0.008	0.021

注：1. 实际工程中应按具体生产厂家提供的数据进行计算。

2. 相线母线与中性线母线包以绝缘无间距并列放置，中性线母线在边位。额定电流 2000A 及以下，中性线母线与相线母线截面积相等。

4) 确定低压铜芯电线电缆单位长度相线 - 中性线阻抗值，见表 2-40。

表 2-40 低压铜芯电线电缆单位长度相线 - 中性线阻抗值 (单位：mΩ/m)

$r_{L-N} = 1.5 (r_L + r_N)$												
保护线截面积/mm ² $A_N = A$	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
铜芯	8.601	5.262	3.291	2.106	1.503	1.053	0.753	0.555	0.438	0.351	0.285	0.231
保护线截面积/mm ² $A_N \approx 0.5A$	4	6	10	16	16	25	35	50	70	70	95	120
铜芯	10.751	6.932	4.277	2.699	2.397	1.580	1.128	0.804	0.596	0.552	0.420	0.335

(续)

$x_L - N$														
导线截面积 A/mm^2			6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
绝缘导线明敷	线距 150mm	$A_N = A$	0.681	0.643	0.611	0.583	0.563	0.537	0.517	0.493	0.478	0.464	0.448	0.428
		$A_N \approx 0.5A$	—	—	0.627	0.597	0.587	0.559	0.539	0.516	0.498	0.491	0.470	0.452
	线距 100mm	$A_N = A$	0.631	0.591	0.561	0.533	0.513	—	—	—	—	—	—	—
		$A_N \approx 0.5A$	—	—	0.576	0.547	0.537	—	—	—	—	—	—	—
绝缘导线穿管敷设		$A_N = A$	0.26	0.26	0.25	0.23	0.24	0.21	0.22	0.23	0.21	0.20	—	—
		$A_N \approx 0.5A$	—	—	0.25	0.25	0.25	0.22	0.23	0.21	0.21	0.21	—	—
YJV/VV 电力电缆		$A_N = A$	0.200	0.188	0.174	0.164	0.160	0.158	0.156	0.158	0.152	0.152	0.152	0.152
		$A_N \approx 0.5A$	0.211	0.224	0.201	0.192	0.191	0.187	0.178	0.186	0.161	0.161	0.179	0.179

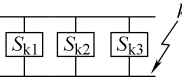
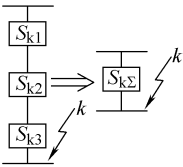
5) 列出短路计算表。

3. 短路容量法

短路容量法, 也就是短路功率法, 也称兆伏安法, 它是因在短路计算中以元件的短路功率来代替元件的阻抗而得名。短路容量法特别适用于在已知电力系统短路容量的条件下, 按无穷大功率电源供电系统计算短路电流的情况。

采用短路容量法计算短路电流的步骤及公式见表 2-41。

表 2-41 采用短路容量法计算短路电流的计算步骤及公式

序号	计算步骤	计算公式		符号说明
1	采用框图形式绘制等效电路	—		—
2	分别独立计算各主要元件的短路容量 (S_{sk} , S_{Tk} , S_{Wlk})	电力系统	$S_{sk} = S_{oc}$	S_{oc} ——电力系统出口处断路器的断流容量 ($\text{MV} \cdot \text{A}$) U_{av} ——线路所在处的平均额定电压 (kV)
		电力变压器	$S_{Tk} = \frac{100}{U_k \%} S_N$	
		电流线路	$S_{Wlk} = \frac{U_{av}^2}{x_0 L}$	
3	化简等效电路, 求出以电源至短路点的总短路容量	多元件的并联 (以 3 个元件为例) 	$S_{k\Sigma} = S_{k1} + S_{k2} + S_{k3} = \sum_{i=1}^n S_{ki}$	—
		多元件的串联 (以 3 个元件为例) 	$S_{k\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \frac{1}{S_{k3}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_{ki}}}$	

(续)

序号	计算步骤	计算公式	符号说明
4	计算三项短路电流周期分量有效值及其他短路电流和三相短路容量	$I_k^{(3)} = \frac{S_k^{(3)}}{\sqrt{3}U_{av}}$	—
5	列出短路计算表	—	—

4. 对称分量法

是将三相不对称系统转化为三相对称的3个分量系统,也就是把不对称短路的计算问题转化为正序、负序和零序这3个相序下的对称电路来计算。在各相参数相同的三相对称电路中,电压的对称分量与相应相序的电流对称分量成正比,故经变换所得的对称分量系统,其中每个相序分量,对于三相电路而言均为对称的,且是相互独立的。

采用对称分量法计算单相短路电流,其计算步骤及公式如下:

1) 计算接地故障回路各元件的相线-保护线阻抗值,其公式见表2-42。

表 2-42 接地故障回路各元件的相线-保护线阻抗值

序号	元件名称	相线-保护线阻抗 (mΩ) 的计算公式		符号说明
		相线-保护线电阻	相线-保护线电抗	
1	高压系统	$R_{L-PE} = \frac{2}{3}R_S$ (高压无零序)	$X_{L-PE} = \frac{2}{3}X_S$ (高压无零序)	r_{L-PE} , x_{L-PE} ——母线、线路单位长度的相线-保护线阻抗 (mΩ/m), 可查表 2-38 ~ 表 2-40 或设计手册 其余符号含义同表 2-37
2	配电变压器	$R_{L-PET} = R_T$ (Dyn11 连接)	$X_{L-PET} = X_T$ (Dyn11 连接)	
3	配电母线	$R_{L-PEWB} = r_{L-PE}l$	$X_{L-PEWB} = x_{L-PE}l$	
4	配电线路	$R_{L-PEWP} = r_{L-PE}l$	$X_{L-PEWP} = x_{L-PE}l$	

注: 1. 高压系统与变压器的相线-保护线阻抗均为折算到低压侧的值。

2. 元件相线-保护线阻抗计算公式 $R_{L-PE} = (R_1 + R_2 + R_0)/3$ 、 $X_{L-PE} = (X_1 + X_2 + X_0)/3$, 式中 R_1 、 X_1 、 R_2 、 X_2 、 R_0 、 X_0 分别为元件的正序阻抗、负序阻抗和零序阻抗。对静止元件, $R_1 = R_2 = R$ 、 $X_1 = X_2 = X$; 对三三相三线制高压系统, $R_0 = 0$ 、 $X_0 = 0$; 对 Dyn11 连接配电变压器, $R_0 = R$ 、 $X_0 = X$, 对 Yyn0 连接配电变压器, 其 R_0 、 X_0 比正序阻抗大得多, 由制造厂家通过测试提供。对三相四线制母线、线路, $R_0 = R_{0L} + 3R_{0PE}$ 、 $X_0 = X_{0L} + 3X_{0PE}$ 。

2) 绘制接地故障回路的等效电路, 针对不同故障计算点分别计算故障回路的总相线-保护线阻抗 $R_{\Sigma L-PE}$ 、 $X_{\Sigma L-PE}$ 。

3) 计算单相接地故障电流 (单位为 kA), 其计算公式如下:

$$I''_{kIE} = \frac{cU_n / \sqrt{3}}{\sqrt{(R_{\Sigma L-PE}^2 + X_{\Sigma L-PE}^2)}} = \frac{220}{\sqrt{(R_{\Sigma L-PE}^2 + X_{\Sigma L-PE}^2)}} \quad (2-12)$$

5. 变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系

变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系见表 2-43。表中, K 为变压器的电压比, I_k 为短路电流。

表 2-43 变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系

联结组标号	三相短路	两相短路	单相短路
Yyn0			
Yd11			
Dyn11			

3 电气设备

3.1 高压电器

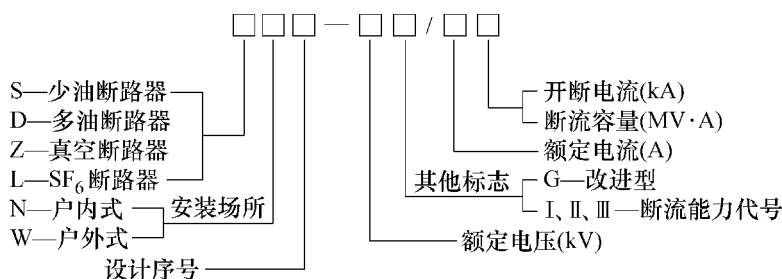
3.1.1 高压断路器

1. 高压断路器的定义及分类

高压断路器是一种专用于接通或断开电路的开关设备，配置了较完善的灭弧装置并且具有很强的灭弧功能，此开关设备不仅可在正常工作时通、断负荷电流，且能在出现短路故障情况下和配合保护装置切断短路电流。

按照使用的灭弧介质不同，高压断路器可分为油断路器、压缩空气断路器、六氟化硫(SF_6)断路器和真空断路器。油断路器则分为多油和少油两大类。目前在供电系统中， SF_6 断路器和真空断路器应用比较广泛，少油断路器因其结构简单、成本低廉，依然被广泛应用于不需要频繁操作和要求不高的各级高压电网中，但多油断路器和压缩空气断路器已基本被淘汰。

2. 高压断路器型号的表示及含义



3. SF_6 断路器

SF_6 断路器是指采用无色、无味、无毒且不易燃烧的惰性气体 SF_6 （六氟化硫）作灭弧和绝缘介质的断路器。当 SF_6 气体的温度在 150°C 以下时，化学性能很稳定，且 SF_6 气体不含碳元素，从绝缘和灭弧的角度来讲，是非常合适的一种介质。 SF_6 气体中也不含氧元素，所以不存在触头氧化问题。除此以外， SF_6 还有优良的电绝缘性能，当电流过零时，电弧暂时熄灭后，能迅速恢复绝缘强度，从而使电弧很快熄灭。

SF_6 断路器灭弧室的结构组成可分为压气式、自能灭弧式（旋弧式、热膨胀式）和混合灭弧式。国内生产的 LN1 型、LN2 型 SF_6 断路器采用压气式灭弧结构；LW3 型户外式 SF_6 断路器有旋弧式灭弧结构。

图 3-1 为 LN2—10 型高压 SF_6 断路器的外形结构与其灭弧室的内部结构剖面图。

4. 高压真空断路器

高压真空断路器是利用“真空”作为绝缘和灭弧介质。真空断路器的触头为圆盘状，

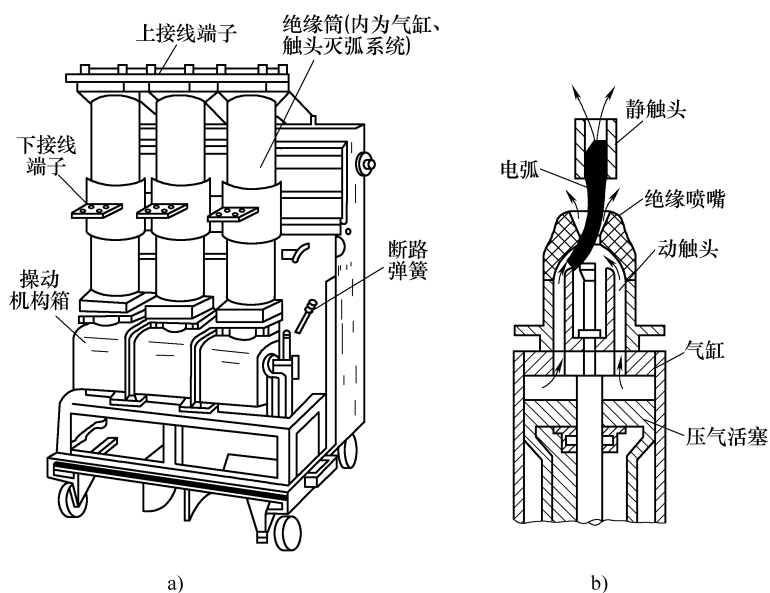


图 3-1 LN2—10 型高压 SF₆ 断路器

a) 外形结构 b) 灭弧室的内部结构剖面图

被放置在真空灭弧室内。由于真空中没有或极少有可能被游离的气体，所以绝缘强度很高、灭弧能力很强。

高压真空断路器根据其结构分为落地式、悬挂式、手车式三种形式；按使用场合可分为户内式和户外式。高压真空断路器是实现无油化改造的理想设备。

3.1.2 高压熔断器

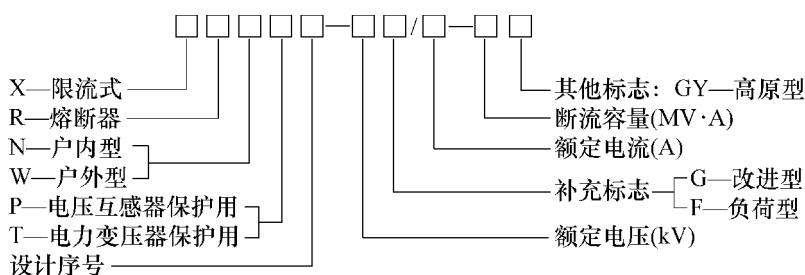
1. 高压熔断器的定义与分类

高压熔断器是电力系统中过载和短路故障的保护设备。它的原理是当电流超过给定值一定时间时，熔化一个或几个特殊设计的、相配合的熔件和分断电路的器件。它具有结构简单、体积小、维护方便、价格便宜、保护动作可靠和消除短路故障时间短等优点。高压熔断器的分类见表 3-1。

表 3-1 高压熔断器的分类

分类方式		分类名称
性能		限流式、非限流式
保护范围		一般、后备、全范围
熄弧方式		角状式（大气中熄弧）、石英砂填料、喷射式、真空等
安装场所		户外、户内
保护对象		变压器、电动机、电压互感器、单台并联电容器、电容器组、供电回路等
结构	型式	插入式、母线式、跌落式、非跌落式、混合式等
	极数	单极、三极
	底座绝缘子	柱、双柱

2. 高压熔断器型号的表示和含义



3. 常用的高压熔断器

在3~35kV的电站和变电所广泛采用的高压熔断器可分为两部分：一部分是户内高压管式熔断器，最高额定电压能达到40.5kV；另一部分是户外跌落式熔断器。

(1) 户内高压管式熔断器 高压管式熔断器是一种简单的保护电器。当电路发生短路故障或过负荷时，故障电流超过熔体的额定电流，熔体被电流迅速加热熔断，因而切断电流，避免故障扩大。熔断器的主要功能是对电路及电路中的设备进行短路保护，如图3-2所示。从高压管式熔断器的剖面图（见图3-2b）可以看出，其内部由几根长度和直径相等的镀银铜丝并联组成，在镀银铜丝中间焊有小锡球，管内填充石英砂；两端管帽封端，并在管帽的一端装有红色熔断指示器。

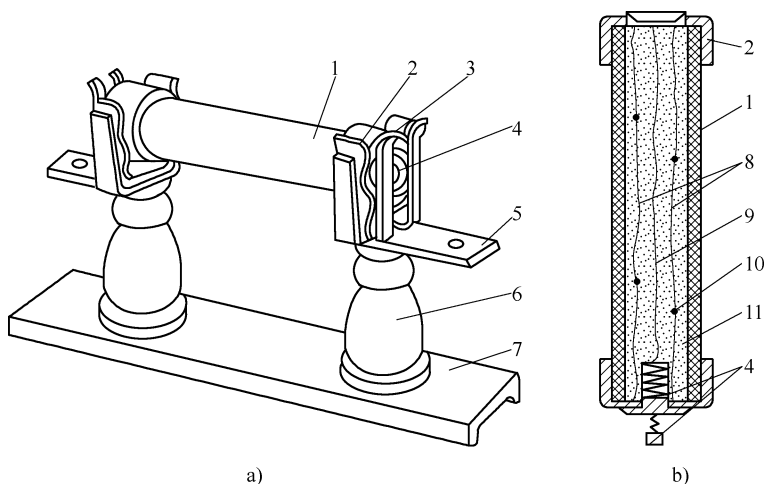


图3-2 高压管式熔断器

a) 外形 b) 剖面图

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—瓷绝缘子 7—底座 8—工作熔体 9—指示熔体 10—锡球 11—石英砂填料

熔体熔断的过程：当短路电流或过负荷电流通过熔体时，熔体被加热，由于锡熔点低，所以先熔化，并包围铜丝，铜、锡互相渗透生产熔点较低的铜锡合金，使铜丝能在较低的温度下熔断，这就是所谓的冶金效应。在熔体被熔断时，产生电弧，在几条平行的小直径沟中，各沟产生的金属蒸气喷向四周，渗入石英砂，电弧与其紧密接触，在短路电流未能达到冲击值之前（即短路后不到半个周期），电弧迅速熄灭，从而使熔断器本身及其保护的线路、设备均未受到冲击电流的影响，因此，这种熔断器被称为限流式熔断器。在熔断器熔断后，红色指示器被弹出，表示熔体已熔断。

(2) 户外跌落式熔断器 跌落式熔断器如图 3-3 所示。

跌落式熔断器是一种最简便、性能良好、价格低廉的户外线路开关保护设备。既可以作配电线路和变压器的短路保护，也可在一定条件下（用高压绝缘钩棒操作），切断或接通小容量空载变压器或线路。

跌落式熔断器是由固定的支持部件与活动的熔管及熔体组成。熔管外壁由环氧玻璃钢构成，内壁衬红钢纸或桑皮纸用以灭弧，称为灭弧管。

当线路发生故障时，故障电流使熔体迅速熔断并产生电弧。电弧的高温能使灭弧管壁分解出大量气体，促使管内压力剧增，高压气体沿管道纵向强烈喷出，形成纵向吹弧，电弧迅速熄灭。同时，在熔体熔断后熔管下端动触头因失去张力而下翻，紧锁机构释放，在触头弹力和熔管自身重力作用下，绕轴跌落，造成明显可见的断路间隙。由于熔体熔断后，靠熔管自身重力跌落，故称为跌落式熔断器。

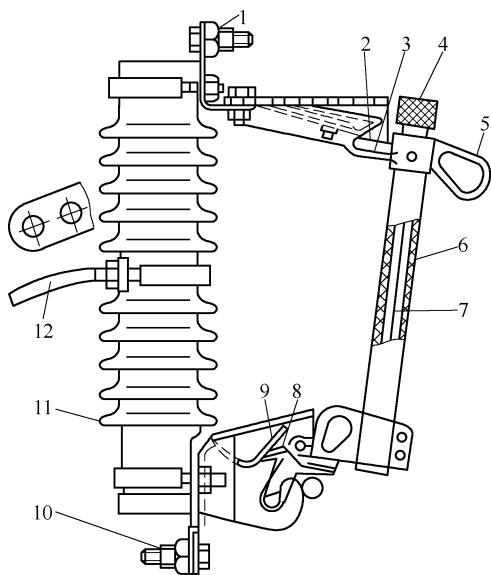


图 3-3 跌落式熔断器外形

- 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
7—铜熔丝 8—下动触头 9—下静触头
10—下接线端子 11—绝缘子 12—固定安装板

3.1.3 高压隔离开关

1. 高压隔离开关的定义

高压隔离开关是高压开关的一种，其主要功能是隔离高压电源，以保证其他设备和线路的安全检修和人身安全。由于它没有专门的灭弧装置，故不能用来切断和接通短路电流和负荷电流。高压隔离开关结构特点是断开后具有明显的可见断开间隙，绝缘可靠。

2. 高压隔离开关的分类

高压隔离开关按照安装地点可分为户内式和户外式，按照有无接地刀可分为无接地刀、单接地刀、双接地刀。

10kV 高压隔离开关的型号比较多，常用的包括 GN6、GN8、GN19、GN24、GN28、GN30 等系列，图 3-4 为 GN8—10 型户内式高压隔离开关的外形结构，它的三相闸刀安装在同一底座上，闸刀采用垂直回转运动方式，通常采用手动

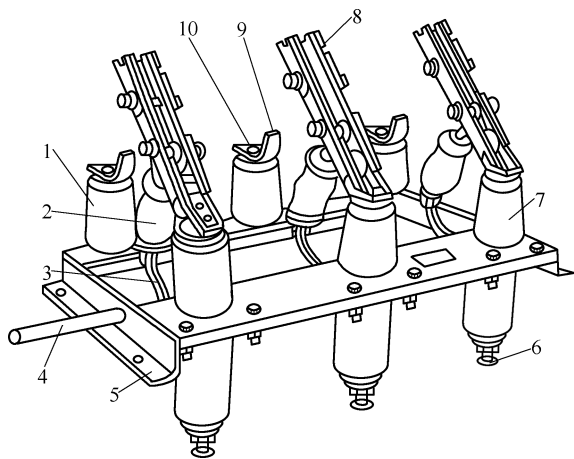
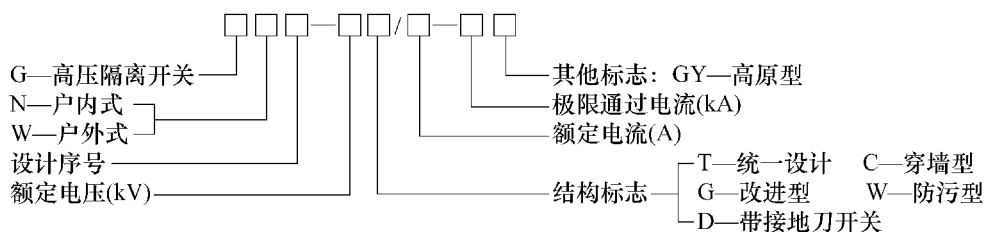


图 3-4 GN8—10 型户内式高压隔离开关

- 1—支柱绝缘子 2—升降绝缘子 3—拐臂 4—转轴 5—框架
6—下接线端子 7—套管绝缘子 8—闸刀 9—静触头 10—上接线端子

操动机构进行操作。

3. 高压隔离开关型号的表示和含义



3.1.4 高压负荷开关

1. 高压负荷开关的定义

高压负荷开关（电路文字符号为 QS）是指主要用于配电系统中开断、承载、关合正常条件下（也包括规定的过载系数）的电流，并且能通过规定异常（如短路）电流的关合，即负荷开关可以合、分正常的负荷电流以及关合短路电流（但不能开断短路电流）。故负荷开关受到使用条件的限制，不能作为电路中的保护开关，通常负荷开关必须与具有开断短路电流能力的开关设备相互配合使用，最常用的方式是负荷开关与高压熔断器相互配合，正常的合、分负荷电流由负荷开关完成，故障电流则由熔断器来完成开断。FN12—12RD 型负荷开关如图 3-5 所示。

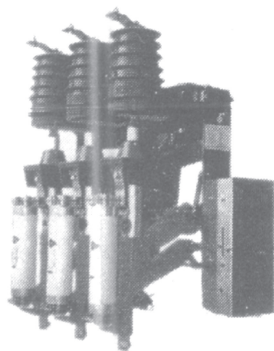


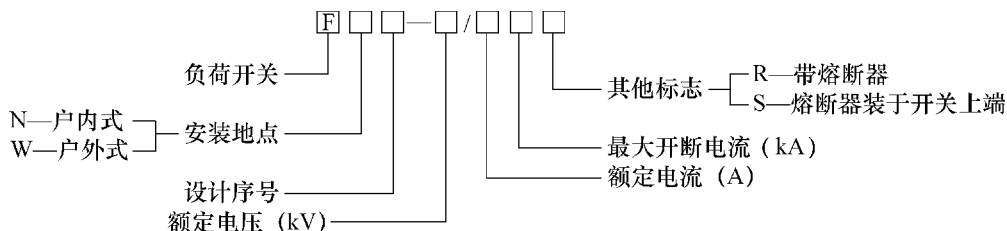
图 3-5 FN12—12RD 型负荷开关

由于负荷开关的特点，通常不作为直接的保护开关，主要用于较为频繁操作的场所和非重要的场合，特别是在小容量变压器保护中采用高压熔断器和负荷开关相配合，能体现出显著的优点。当变压器发生大电流故障时，由熔断器动作，切断电流，其动作时间在 20ms 左右，这远比采用断路器保护更快，正常操作由负荷开关完成，灵活性被提高。在 10kV 线路中采用负荷开关，以三相联动为主，当熔断器发生故障时，无论是三相还是单相故障，当由一相熔丝熔断后，能迅速脱扣三相联动机构，使三相负荷开关快速分断，防止造成三相不平衡及非全相运行。

高压负荷开关适用于无油化、不检修、要求频繁操作的场所。

2. 高压负荷开关型号的表示和含义

高压负荷开关型号的表示和含义如下：



3.1.5 高压开关柜

1. 高压开关柜的定义和功能

高压开关柜，也称为高压成套配电装置，是按不同的用途和使用场合，将所需一、二次设备（高压开关电器、保护和自动装置、监测仪表、母线、绝缘子等）按一定的线路方案有机组装而成的一种成套配电设备。高压开关柜主要用于 6 ~ 10kV 供配电系统中受电及配电的控制、监测与保护，35kV 系统也开始大量的采用。

无论是何种形式的开关柜，在结构设计上都要求具有“五防”的功能，即防止误操作断路器、防止带负荷拉合隔离开关（或防止带负荷推拉手车）、防止带电挂接地线（或防止带电合接地开关）、防止带接地线（或接地开关处于接地位置时）送电以及防止人员误入带电间隔。

2. 高压开关柜的分类及特点

高压开关柜的分类和特点见表 3-2。

表 3-2 高压开关柜的分类及特点

开关柜类别		结 构 型 式	型 号	断路器安 装位置	特 点
半封闭式高压开关柜		固定式（户内型）	GG—1A	固定式	高压开关柜中距地面 2.5m 以下的各组件安装在接地金属外壳内，2.5m 以上的母线或隔离开关无金属外壳封闭。主开关固定安装。结构简单、安全性能差、占用空间大，但检修方便、成本低、价格便宜，目前很少使用
金属 封闭 式高 压开 关柜	金属铠装式 高压开关柜	金属铠装式移开式 （户内型）	KYN/AMS/ GZS	下置式	全金属封闭型结构，柜内以接地金属隔板分割成继电器室、手车室、母线室及电缆室，可将故障电弧限制在产生隔室内，电弧触及金属板即被引入地内，柜内装有各种连锁装置，能达到“五防”要求，安全性好，断路器更换方便，价格较贵
				中置式	
	金属铠装式 高压开关柜	金属铠装式固定式 （户内型）	KGN	固定式	全金属封闭型结构，柜内以接地金属隔板分割成继电器室、母线室、电缆室、断路器室、操动机构室及压力释放通道，可将故障电弧限制在产生的隔室内，电弧触及金属板即被引入地内。柜内装有各种连锁装置，能达到“五防”要求。断路器更换不方便，价格较贵
间隔式高压 开关柜		间隔移开式 （户内型）	JYN	下置式	全金属封闭型结构，柜内以绝缘板或金属隔板分割成继电器室、手车室、母线室及电缆室，故障电弧可能烧穿绝缘板进入其他隔室内扩大事故。柜内装有各种连锁装置，能达到“五防”要求，断路器更换方便，价格较贵

(续)

开关柜类别		结 构 型 式	型 号	断路器安 装位置	特 点
金属 封闭 式高 压开 关柜	箱式高压开 关柜	箱式固定式 (户内型)	XGN	固定式	全金属封闭型结构，柜内隔室数量少，隔板的防护等级低，或无隔板，安全性较差。柜内装有各种连锁装置，能达到“五防”要求，断路器更换不方便，价格便宜
		箱式环网式 (户内型)	HXGN	固定式	全金属封闭型结构，柜内隔室数量少，隔板的防护等级低，或无隔板，安全性较差。柜内装有各种连锁装置，能达到“五防”要求，断路器更换不方便，价格便宜
高压电缆分接箱		—	—	—	按分支数分三支、四分支、五分支、六分支等。按进出线分单端型、双端型。按主干和分支分为带开关型和不带开关型

注:本表所列开关柜型号均为国内定型产品。

3. 常用的高压开关柜

(1) KYN61B—40.5 (Z) 型铠装移开式交流金属封闭开关设备 KYN61B—40.5 (Z) 型铠装移开式交流金属封闭开关设备如图 3-6 所示,其技术参数见表 3-3。

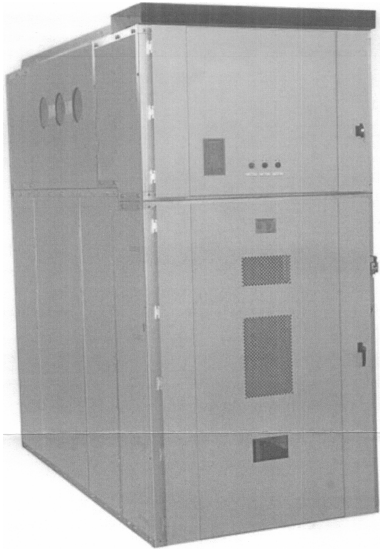


图 3-6 KYN61B—40.5 (Z) 型铠装移开式交流金属封闭开关设备

表 3-3 KYN61B—40.5 (Z) 型开关设备技术参数

名 称		单 位	技 术 参 数
额定电压		kV	40.5
额定电流	主母线的额定电流	A	630、1250、1600
	配用断路器的额定电流	A	630、1250、1600

(续)

名 称		单 位	技 术 参 数
额定绝缘水平	1min 工频耐受电压（峰值），极间，极地对/断口间	kV	95/115
	雷电冲击耐受电压（峰值），极间，极地对/断口间	kV	185/215
	辅助回路、控制回路的工频耐受电压/1min	V	2000
额定频率		Hz	50
额定短路开断电流		kA	20、25、31.5
额定短路时耐受电流/额定短路持续时间		kA/4s	20、25、31.5
额定峰值耐受电流		kA	50、63、80
额定短路关合电流		kA	50、63、80
控制回路额定电压		V	DC：110 220 AC：110 220
防护等级	开关设备外壳	—	IP4X
	隔离间（柜门打开时）	—	IP2X
外形尺寸	$W \times D \times H$	mm	1400(1200) × 2800 × 2800

开关设备的结构如图 3-7 所示。

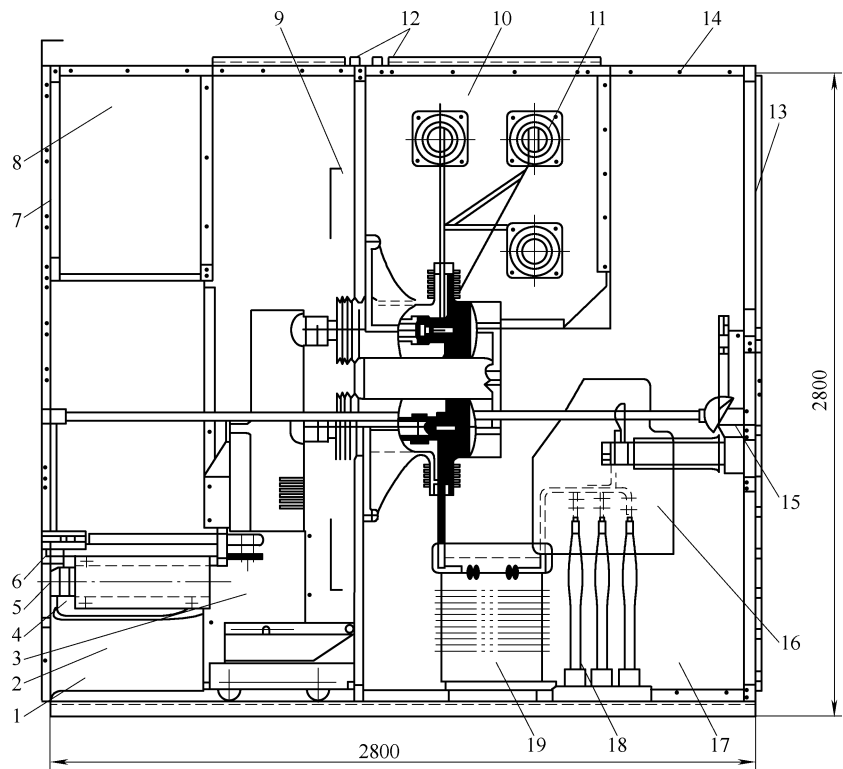


图 3-7 开关设备的结构

1—柜体 2—断路器室 3—ZN40.5 或 LN40.5 断路器 4—二次插头 5—断路器室门 6—丝杆螺母推进机构
7—仪表室门 8—仪表室 9—活门 10—主母线室 11—触头盒 12—泄压装置 13—后上板 14—后下板
15—接地开关 16—隔板 17—电缆室 18—电缆 19—电流互感器

KYN61b—40.5 (Z) 型柜体安装断面示意图如图 3-8 所示, 其安装基础示意图如图 3-9 所示。

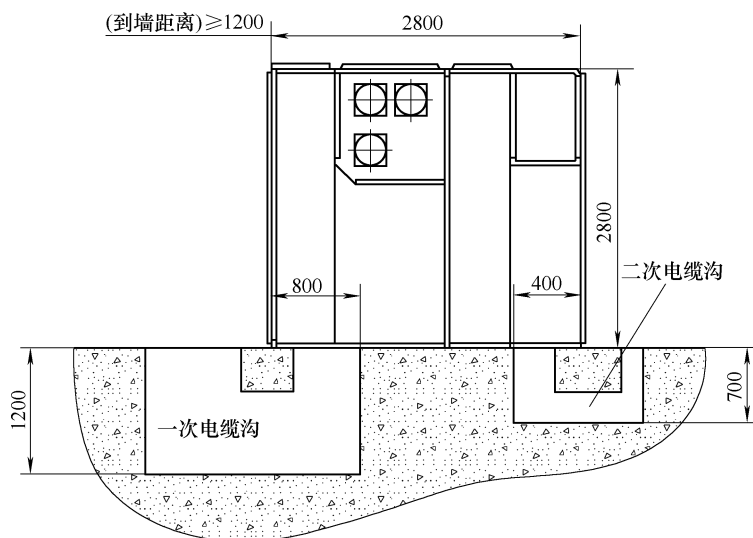


图 3-8 KYN61b—40.5 (Z) 型柜体安装断面示意图

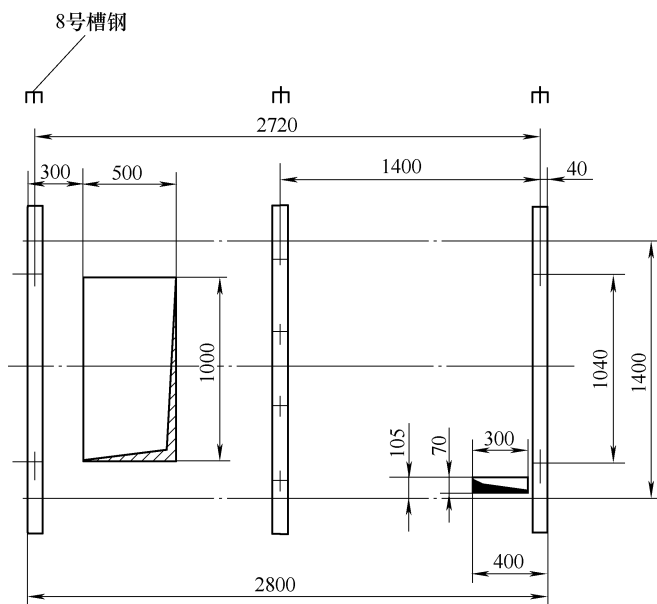


图 3-9 KYN61b—40.5 (Z) 型安装基础示意图

(2) KGN—10 型固定式开关柜 KGN—10 型固定式开关柜的外形尺寸及结构示意图如图 3-10 所示。

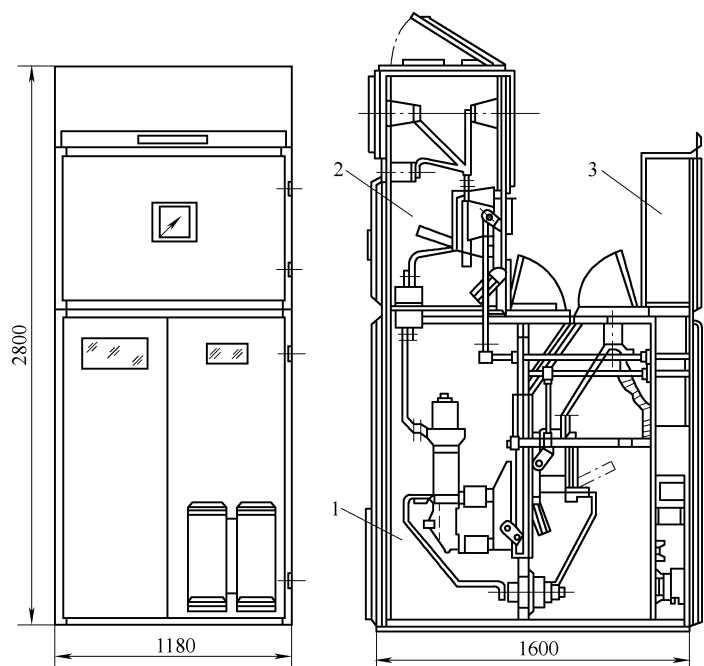


图 3-10 KGN—10 型固定式开关柜（05D ~ 08D）外形尺寸及结构示意图
1—本体装配 2—母线室装配 3—继电器室装配

3.2 低压电器

3.2.1 低压电气设备的类型与用途

低压电气设备是指电压在 500V 以下的各种继电器、各种控制设备及各种保护设备等。在建筑电气工程中常用的低压电器设备有断路器、熔断器、刀开关、接触器、电磁起动器以及各种继电器等。低压电气设备的类型和用途见表 3-4。

表 3-4 低压电气设备的分类与用途

分 类 名 称		主 要 品 种	用 途	标 准 号 ^①
配 电 电 器	断 路 器	万能式断路器 塑料外壳式断路器 限流式断路器 直流快速断路器 灭磁断路器 漏电保护断路器	用作交、直流线路的过载、短路或欠电压保护，也可用于不频繁通、断操作电路。灭磁断路器用于发电机励磁电路保护。漏电保护断路器用于人身触电保护	GB/T 14048. 2—2008
	熔 断 器	有填料封闭管式熔断器 保护半导体器件熔断器 无填料密闭管式熔断器 自复熔断器	用作交、直流线路和设备的短路和过载保护	GB 13539. 1—2008 GB/T 13539. 2—2008 GB 13539. 3—2008

(续)

分类名称		主要品种	用途	标准号 ^①
配电电器	刀开关	熔断器式刀开关 大电流刀开关 负荷开关	用作电路隔离, 也能接通与分断电路额定电流	GB/T 14048. 3—2008
	转换开关	组合开关 换向开关	主要作为两种及以上电源或负载的转换和通断电路用	GB/T 14048. 3—2008
控制电器	接触器	交流接触器 直流接触器 真空接触器 半导体接触器	用作远距离频繁地起动或控制交、直流电动机以及接通分断正常工作的主电路和控制电路	GB/T 14048. 4—2010
	控制继电器	电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热过载继电器 温度继电器	在控制系统中, 作控制其他电路或作主电路的保护之用	GB/T 14048. 5—2008
	起动器	电磁起动器 手动起动器 农用起动器 自耦减压起动器	用作交流电动机的起动或正反向控制	GB/T 14048. 4—2010
	变阻器	励磁变阻器 起动变阻器 频敏变阻器	用作发电机调压以及电动机的平滑起动和调速	—
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重操纵或牵引机械装置	—

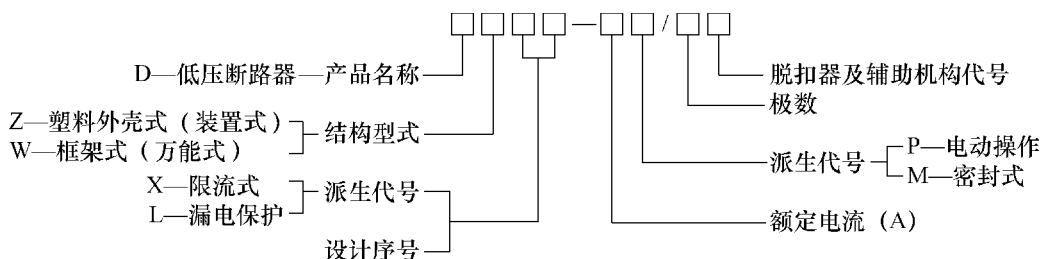
① 通用标准有: 《低压开关设备和控制设备 第1部分: 总则》(GB/T 14048. 1—2006); 《电工术语 低压电器》(GB/T 2900. 18—2008)。

3.2.2 低压断路器

1. 低压断路器的定义

低压断路器是一种不仅能通、断正常负荷电流, 又能切断故障电流, 用于不频繁地接通和切断设备的电源, 且具有交、直流线路过载、短路或欠电压、接地故障保护功能, 是保护人身安全及电力设备安全的重要设备。通、断正常负荷电流, 切断故障电流, 完成过载保护和断路保护是断路器的基本功能。

2. 低压断路器型号的表示和含义



3. 低压断路器的工作原理

低压断路器原理如图 3-11 所示，当出现过载时，电流增大，发热元件 6 发热，使双金属片 8 弯曲，通过顶杆顶开锁扣 3，拉力弹簧 1 使低压断路器跳闸。出现短路时，电磁铁 5 产生强大吸力，使顶杆顶开锁扣 3 而跳闸。失电压或欠电压时，电磁铁 7 吸力下降，拉力弹簧 9 的弹力使顶杆顶开锁扣 3，使开关跳闸。

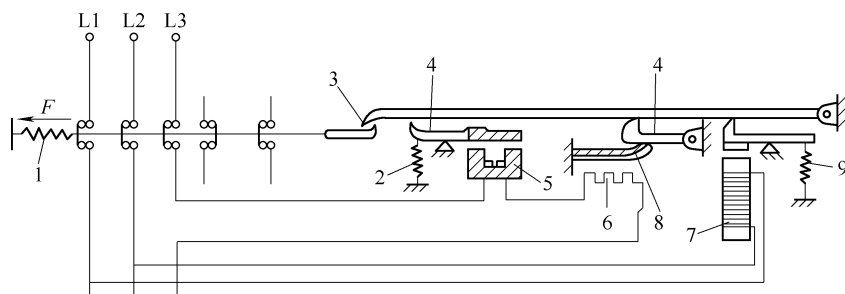


图 3-11 低压断路器原理图

1、2、9—拉力弹簧 3—锁扣 4—顶杆 5—电磁铁
6—发热元件 7—失电压电磁铁 8—双金属片

4. 常用的低压断路器

(1) 塑料外壳式低压断路器 塑料外壳式低压断路器，俗称装置式自动开关。它的全部元件都安装在一个塑料外壳中（只在塑料外壳正面中央有外露的操作手柄），没有裸露的带电部分，从而提高了使用的安全性。小容量的断路器（50A 以下）采用手动操作；大容量的断路器可以采用手动操作，亦可采用电动操作。

塑料外壳式断路器通常用于配电馈线的控制和保护、住宅配电终端的控制和保护、动力配电终端的控制和保护、小型配电变压器的低压侧出线总开关，也可用于各种生产机械的电源开关。

我国自行开发的塑料外壳式断路器包括 DZ15 系列、DZ20 系列和 DZ25 系列等，引进技术生产包括 TO 系列、TG 系列、H 系列、3VE 系列、M611（DZ106）系列和 C45N（DZ47）系列等，和生产厂以各自产品命名的新型塑料外壳式断路器如 CM1 系列、NM8 系列等。

DZ20 系列塑料外壳式低压断路器是我国生产的第二代产品，目前应用比较广泛。其具有较高的分断能力，电气绝缘性能和外壳的机械强度也较好，而且所带的附件较多。图 3-12 为 DZ20 系列塑料外壳式低压断路器的外形结构和内部结构剖面。

(2) 框架式低压断路器 框架式低压断路器也称为万能式低压断路器，它安装在金属

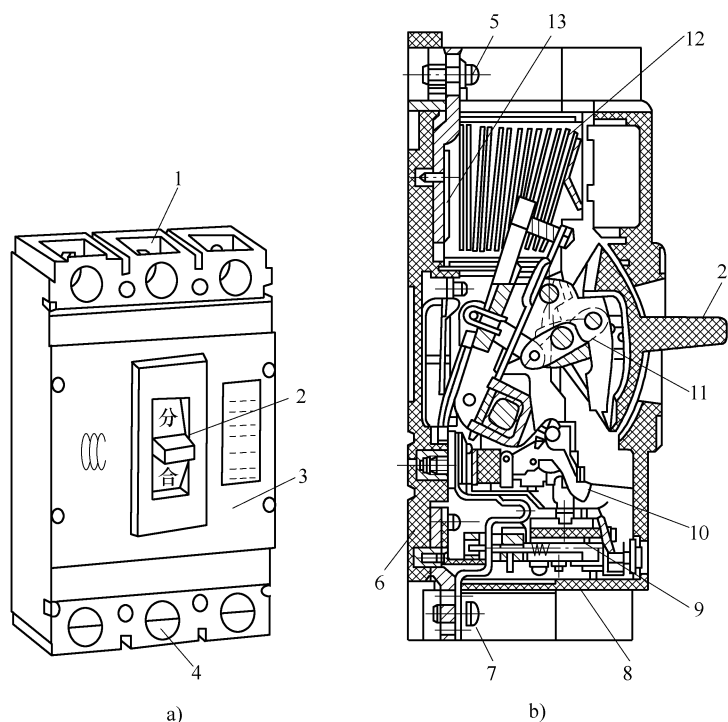


图 3-12 DZ20 系列塑料外壳式低压断路器

a) 外形结构 b) 内部结构剖面

1—上接线端子 2—操作手柄 3—塑料外壳 4—下接线端子 5—引入线接线端 6—塑料底座 7—引出线接线端
8—塑料壳盖 9—过电流脱扣器 10—锁扣 11—跳钩 12—灭弧室 13—主触头

或塑料框架上。框架式低压断路器的保护方案和操作方式较多，既有手柄操作，又有杠杆操作、电磁操作和电动操作等。而且安装地点也很灵活，既可以安装在配电装置中，又可以安装在墙上或支架上。另外，相对于塑料外壳式低压断路器，框架式断路器的电流容量和断流能力比较大。框架式低压断路器主要用于配电变压器的低压侧总开关、低压母线的分段开关或大容量馈线开关和大型电动机的控制开关等。

我国自行开发的框架式断路器有 DW15、DW18、DW40、DW48、DW914 等系列。引进技术生产的有 AH 系列 (DW914)、AE 系列 (DW19)、ME 系列 (DW17)、和 3WE 系列等，以及生产厂家以各自产品命名的新型框架式断路器，如 CW1 系列等。

图 3-13 是 DW15 系列框架式低压断路器的外形结构和内部结构剖面。该断路器主要由触头系统、操作机构和脱扣器系统组成。其触头系统安装在绝缘底板上，由动触头、静触头、弹簧、连杆和支架等组成。灭弧室内采用钢纸板材料和数十片铁片作灭弧栅来加快电弧的熄灭。操作机构由操作手柄、电磁铁操作机构及强力弹簧组成。脱扣器系统有过负荷长延时脱扣器、短路瞬时脱扣器、欠电压脱扣器和分励脱扣器等。带有电子脱扣器的框架式断路器还可把过负荷长延时、短路瞬时、短路短延时、欠电压瞬时和延时脱扣的保护功能汇集在一个部件中，并且利用分励脱扣器使断路器断开。

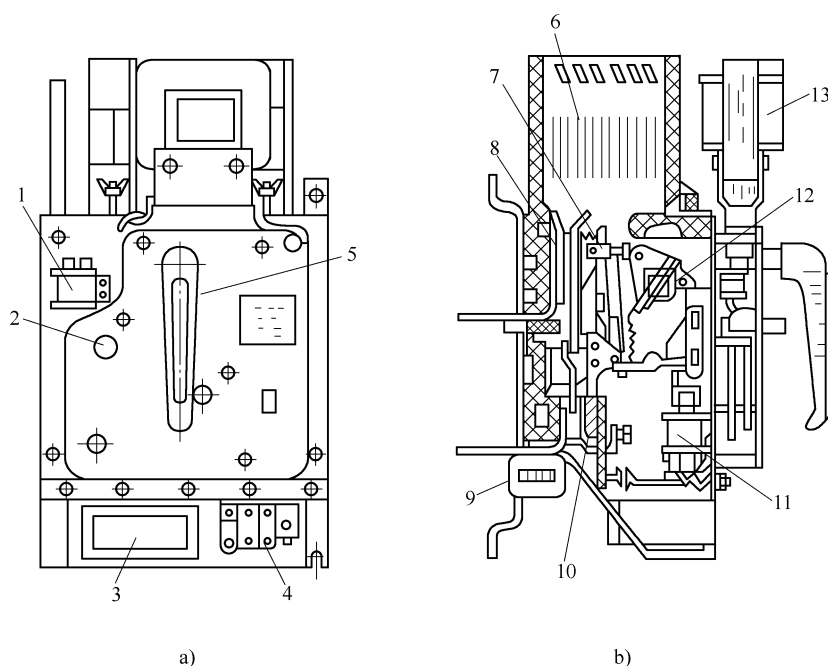


图 3-13 DW15 系列框架式低压断路器

a) 外形结构 b) 内部结构剖面

- 1—分励脱扣器 2—手动断开按钮 3—阻容延时装置 4—热脱扣器和电子脱扣器
5—操作机构 6—灭弧罩 7—动触头 8—静触头 9—电流互感器 10—快速电磁铁
11—欠电压脱扣器 12—主轴 13—电磁铁

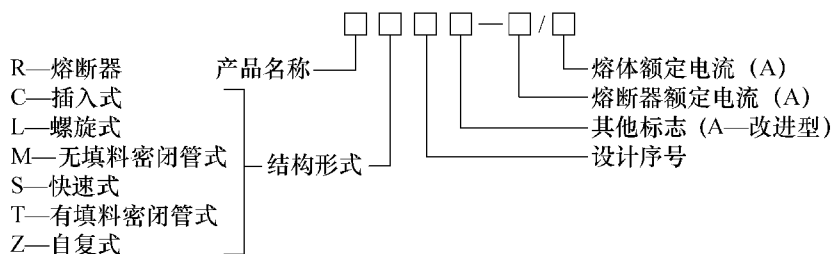
3.2.3 低压熔断器

1. 低压熔断器的定义

低压熔断器可用于电力与照明线路的过电流保护。低压熔断器由熔管、熔体构成，有些熔断器还要填充一些如石英砂等填充料用来熄灭电弧。熔断器中的熔体是将具有低熔断点的各种金属，按不同的比例混合而成。当电流升高达到或超过其额定电流时，熔体可立即熔断。合金中各种金属的比例不同，其熔化特性也不同，也就可以对不同的保护对象进行相应恰当的选择。

按照结构及其原理，熔断器还可以分为插入式、螺旋式、无填料密闭管式和有填料密闭管式。其中填料密闭管式亦可分为刀形触头、螺栓连接和圆筒帽形。

2. 低压熔断器型号的表示和含义



3. 常用的低压熔断器

(1) 螺旋式 螺旋式熔断器也称塞头式熔断器 (RL1、RL2)。它由瓷帽、瓷座、熔管和铜片螺纹等组成。此熔断器熔管内已配好熔件，并有指示片。一旦熔断，连在熔丝上的弹簧立刻将指示片顶出，故在瓷帽上的玻璃孔可见，需要更换熔丝管。螺旋式熔断器常用于配电柜中，属于快速型熔断器。RL 型螺旋式熔断器如图 3-14 所示。

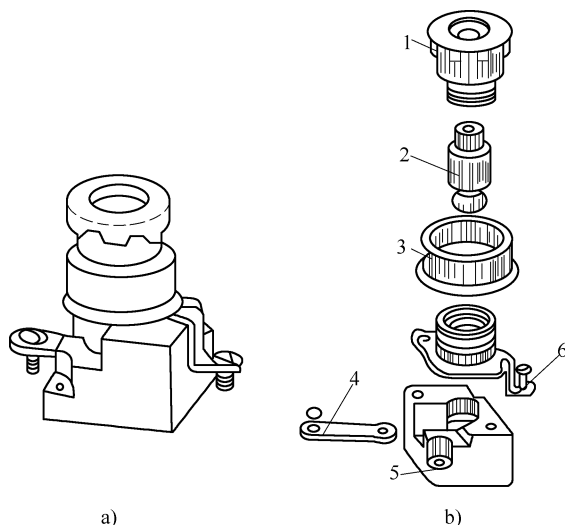


图 3-14 RL 型螺旋式熔断器

a) 外形 b) 结构

1—瓷帽 2—熔断体 3—瓷套 4—下接线端 5—底座 6—上接线端

(2) 有填料封闭管式断路器 有填料封闭管式熔断器是一种高分断能力的熔断器，通常由熔断体、底座、载熔件等组成。熔断体的熔管由耐热骤变、高强度的瓷件制成，它的内部按照一定工艺充填含三氧化二铁（低于 0.35%）、二氧化硅（大于 96%）的石英砂。熔体由特殊设计的变截面铜带与具有冶金效应的低熔点金属或合金（如纯锡和锡镉合金）组成的过载保护带构成，以确保有高的分断能力和优良的过载保护特性。RT0 型有填料封闭管式熔断器如图 3-15 所示。

(3) 无填料密闭管式熔断器 RM10 型熔断器如图 3-16 所示。纤维质熔管两端带有铜环，铜环上有螺纹；熔管内安装变截面锌熔片。锌熔片之所以冲制成宽窄不同的变截面，其目的在于改善熔断器的保护性能。短路时，短路电流首先使熔片窄部（阻值较大）加热熔断，熔管内形成几段串联短弧，且中段熔片熔断后跌落，迅速拉长电弧，使电弧迅速熄灭。在过负荷电流通过时，由于电流加热时间较长，熔片窄部散热较好，因此通常不在窄部熔断，而在宽窄之间的斜部熔断。根据熔片熔断的部位，可大致判断熔断器熔断的故障电流性质。

纤维质熔管壁在高温下受热产生气体（氢、二氧化碳等），这些气体有较好的灭弧性能，可以使管内的压力增加，促使电弧熄灭。每次熔断器的熔断都会使纤维质熔管内壁有所损耗。因此，多次断流后，需更换纤维管。

这种熔断器由于结构简单、价格低廉及更换熔片方便，故现在仍比较普遍地应用在低压配电装置中。

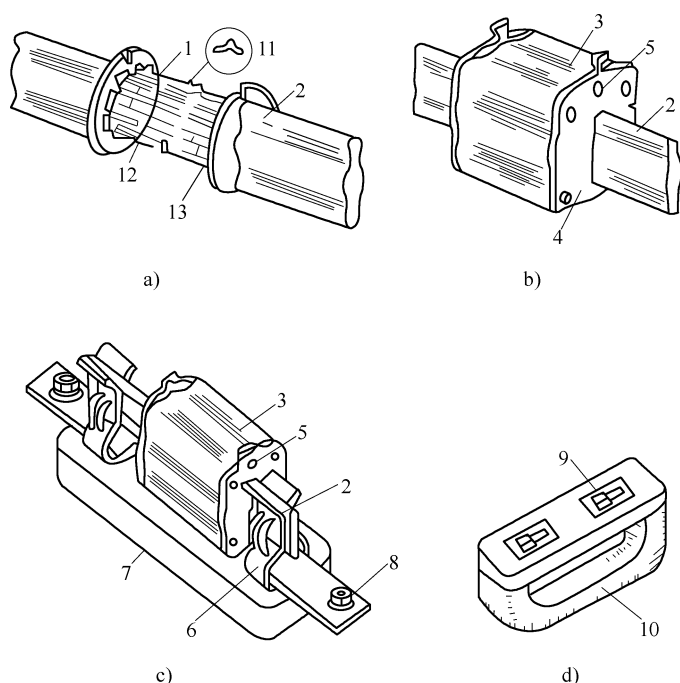


图 3-15 RT0 型有填料封闭管式熔断器

a) 熔体 b) 熔管 c) 熔断器 d) 操作手柄

1—工作熔体（栅状） 2—触刀 3—瓷熔管 4—盖板 5—熔断指示器
6—弹性触头 7—底座 8—接线端 9—扣眼 10—操作手柄 11—锡桥 12—引燃栅 13—变截面小孔

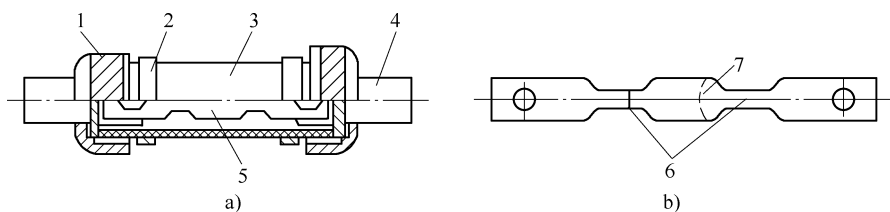


图 3-16 RM10 型熔断器

a) 外形结构 b) 短路熔断部位

1—铜帽 2—管夹 3—纤维质熔管 4—触刀 5—变截面锌熔片 6—短路熔断部位 7—过负荷熔断部位

3.2.4 接触器

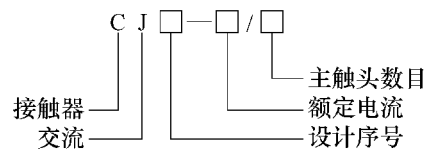
1. 接触器的定义

接触器是在按钮或继电器的控制下，通过电磁铁在通电时的吸引力使动触头、静触头闭合或断开的控制电器。通常条件下，接触器主要用来频繁地切断、接通电路，来控制需要频繁起动的控制对象。一般接触器只能进行负荷电流的通断操作，不能切断过载的电流和故障电流。因此接触器经常和熔断器、热继电器配合使用。

低压接触器是电气传动和自动控制系统中应用非常广泛的一种电器，适用于远距离频繁地接通与分断交、直流主电路以及大容量控制电路。控制对象可以是电动机，亦可用于控制

照明设备、电焊机、电容器、电热设备等其他负荷。接触器主要有交流接触器和直流接触器两种。

2. 接触器的型号表示和含义



3. 低压接触器的主要技术参数

- (1) 额定电压 是指主触头的额定电压，且在使用中注意辅助触头、线圈的工作电压。
- (2) 额定电流 是指主触头的额定电流，在规定的额定电压、使用类别、额定工作环境下，能确保电器正常工作的电流值。
- (3) 动作值 包括起动值和返回值，也就是线圈吸合和释放电压。根据相关规定，接触器在达到线圈额定电压的 85% 及以上时应可靠吸合；释放的电压应不高于线圈额定电压的 70%，下限值交流接触器不低于线圈额定电压的 10%，且直流接触器不低于线圈额定电压的 5%。
- (4) 闭合和分断能力 是指主触头在规定的条件下能可靠接通与分断的最大电流。在这个电流下主触头不会发生磨损、飞弧、熔焊和过分老化等现象。
- (5) 机械寿命和电气寿命 机械寿命主要是指可以操作的次数；电气寿命则是指在额定的工况下的满负荷操作次数。
- (6) 操作频率 操作频率主要是指每小时操作次数。操作频率会影响接触器的寿命及交流接触器线圈的温升。目前常用的操作频率为 300 次/h、600 次/h、1200 次/h。

3.2.5 低压起动器

1. 低压起动器的定义

低压起动器是说起动和停止电动机，并和相关的开关电器与过载保护电器相结合的组合电器。因异步电动机起动时要产生较大的冲击电流（一般为 I_N 的 5 ~ 8 倍），由此产生的起动应力比较大，致使设备使用寿命降低。通常，规定电动机起动时的电网电压降不应超过额定电压的 15%，可采取两个措施解决：增大配电容量；采用限制电动机起动电流的起动设备。

2. 起动器的分类与用途

起动器的分类和用途见表 3-5。

表 3-5 起动器的分类和用途

分 类		用 途
全压直接起动器	电磁	远距离频繁控制三相笼型异步电动机的直接起动、停止和可逆运转，有过载、断相和失电压保护
	手动	不频繁控制三相笼型异步电动机的直接起动、停止，有过载、断相和失电压保护，主要用于农村

(续)

分 类			用 途
减压 起 动 器	星—三角起动器	手动	三相笼型异步电动机的星—三角起动及停止
		自动	三相笼型异步电动机的星—三角起动及停止，有过载、断相和失电压保护，起动过程中，时间继电器能通过接触器自动将电动机的定子绕组由星形联结转换为三角形联结
	自耦减压起动器	手动自动	三相笼型异步电动机的不频繁地减压起动、停止，有过载、断相和失电压保护
	电抗减压起动器		三相笼型异步电动机的减压起动，起动时利用电抗线圈降压，限制起动电流
	电阻减压起动器		三相笼型异步电动机或小容量的直流电动机的减压起动，起动时利用电阻降压，限制起动电流
	延边星—三角起动器		三相笼型异步电动机作延边三角形起动，有过载、断相和失电压保护，起动时将电动机绕组接成延边三角形，起动完毕后自动换成三角形联结
综合起动器			远距离直接控制三相笼型异步电动机的起动、停止，有过载、断相和失电压保护和事故报警指示装置
软起动器			起动时电压自动平滑无级地从初始值上升到全压，转矩匀速增加

3.2.6 漏电保护器

1. 漏电保护器的原理

漏电保护器又称漏电电流动作保护器, 主要是用来对有致命危险的人身触电进行保护, 以及避免因线路或电气设备漏电而引起的火灾事故。漏电保护器是在规定条件下, 当漏电电流达到或超过给定值时会自动断开电路的机械开关电器或组合电器。现在生产的漏电保护器同属电流动作型, 如单相漏电保护器, 其原理如图 3-17 所示。

当电气设备正常运行时, 各相线路上的电流相量和为零。当电气设备或线路因绝缘损坏而发生接地故障、漏电或人触及外壳带电设备时, 则有漏电电流通过地线或人体、大地而流向电源。这时线路上的电流相量和 $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_0$, $\dot{I}_0$ 经高灵敏零序电流互感器检出, 并在它的二次回路感应出电压信号, 经过放大器放大。当漏电电流达到或超过给定值时, 漏电脱扣器立刻动作, 开关切断电源, 故起到了漏电保护作用。

2. 电气设备的漏电电流

通常情况下, 漏电保护器用作手握式用电设备的漏电保护时的动作电流为 15mA; 高空或潮湿 (水下) 场所的用电设备的动作电流为 6 ~ 10mA; 医疗用电设备为 6mA; 建筑施工工地的用电设备为 15 ~ 30mA; 照明回路或家用电器应不大于 30mA; 成套开关柜、配电箱等上一级保护的動作电流应在 100mA 以上; 用于总保护的在 200 ~ 500mA; 防止电气火灾的漏电保护的動作电流是 300mA。

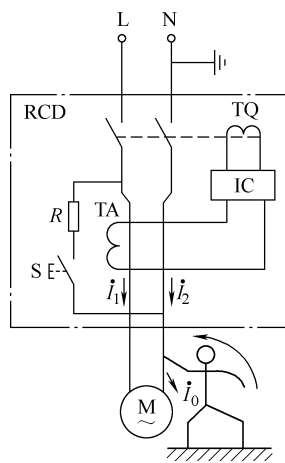


图 3-17 漏电保护器原理

RCD—漏电保护器 TQ—漏电脱扣器
IC—电子放大器 TA—零序电流互感器
S—试验按钮 R—电阻 M—电动机或其他负荷

不同电气设备的漏电电流的数值见表 3-6、表 3-7。

表 3-6 220/380V 单相及三相线路埋地、沿墙敷设穿管电线的漏电电流

(单位: mA/km)

绝缘材料		聚氯乙烯	橡胶	聚乙烯
截面积/mm ²	4	52	27	17
	6	52	32	20
	10	56	39	25
	16	62	40	26
	25	70	45	29
	35	70	49	33
	50	79	49	33
	70	89	55	33
	95	99	55	33
	120	109	60	38
	150	112	60	38
	185	116	60	38
	240	127	61	39

表 3-7 电动机的漏电电流

(单位: mA)

运行方式		正常运行	起动
额定功率/kW	1.5	0.15	0.58
	2.2	0.18	0.79
	5.5	0.29	1.57
	7.5	0.38	2.05
	11	0.50	2.39
	15	0.57	2.63
	18.5	0.65	3.03
	22	0.72	3.48
	30	0.87	4.58
	37	1.00	5.57
	45	1.09	6.60
	55	1.22	7.99
	75	1.48	10.54

3.3 变压器

3.3.1 变压器的用途

电力变压器的功能主要是将电力系统中的电能电压升高或降低,以利于电能的合理输

送、分配和使用。电力变压器用途举例如图 3-18 所示。

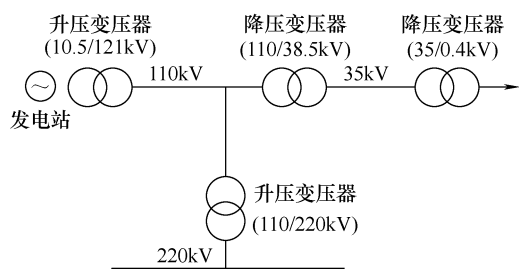


图 3-18 电力变压器用途举例

3.3.2 变压器的分类

变压器的分类见表 3-8。

表 3-8 变压器的分类

分类标准	名称
相数	单相和三相
调压方式	无载调压（又称无励磁调压）和有载调压
绕组形式	双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器
绕组绝缘及冷却方式	油浸式、干式和充气式（SF ₆ ）等

3.3.3 变压器的工作原理

电力变压器是用来变换交流电压和电流，并传输交流电能的一种静止电器。以单相变压器为例，其工作原理如图 3-19 所示。当匝数为 N_1 的一次绕组 AX 接到频率为 f 、电压为 u_1 的交流电源上时，空载电流在铁心中产生主磁通 Φ_m ，从而在一、二次绕组中感应出电动势 e_1 和 e_2 ；匝数为 N_2 的二次绕组 ax 端产生电压 u_2 ，当二次绕组接有负荷 Z 时，一、二次绕组中流过交流电流 i_1 和 i_2 。

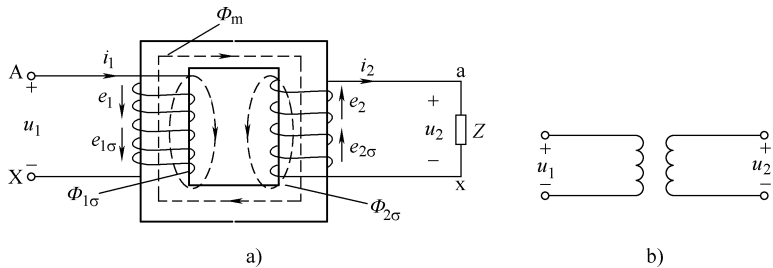
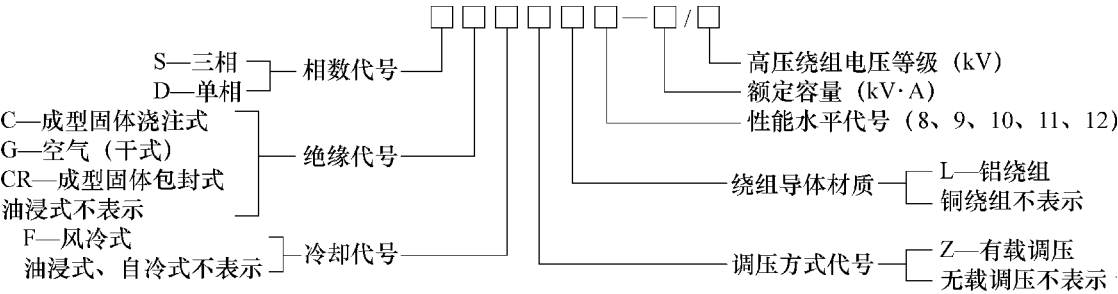


图 3-19 单相变压器

a) 单相变压器结构示意图 b) 变压器的符号

3.3.4 变压器的型号表示及含义

国产电力变压器型号表示及含义如下：



3.3.5 变压器的联结组标号

三相变压器的一、二次绕组可连接成三角形 (Δ) 和星形 (Y)。还有一种比较为特殊的曲折型 (Z)，主要是用于防雷性能高的配电变压器。当中、低压侧有中性点引出时，用 YN 、 ZN ，或 yn 、 zn 表示。

表 3-9 是双绕组变压器常用的联结组标号。

表 3-9 双绕组变压器常用的联结组标号

联结组	结构	特性及应用
三相 $Y_{yn}0$		绕组导线填充系数大、机械强度高、绝缘材料用量少，可以实现三相四线制供电，常用于小容量三相三柱式铁心的配电变压器上，但有三次谐波磁通（数量上不是很大），将在金属结构件中引起涡流损耗
三相 $Y_{zn}11$		在二次或一次绕组遭受过电压冲击时，同一心柱上的两个半绕组的磁动势互相抵消，一次绕组不会感应过电压或逆变过电压，适用于防雷性能高的配电变压器，但二次绕组需增加 15.5% 的材料用量
三相 $Y_{d}11$		二次绕组采用三角形联结，三次谐波电流可以循环流动，消除了三次谐波电压。中性点不引出，常用于中性点非有效接地的大、中型变压器
三相 $YN_{d}11$		特性同上，中性点引出，一次绕组中性点是稳定的，用于中性点有效接地的大型高压变压器

3.3.6 变压器台数和容量的选择

(1) 各类变压器的性能比较 各类变压器的性能比较见表 3-10。

表 3-10 各类变压器的性能比较

类别	矿油变压器	硅油变压器	SF ₆ 变压器	干式变压器	环氧树脂浇铸变压器
价格	低	中	高	高	较高
安装面积	中	中	中	大	小
体积	中	中	中	大	小
爆炸性	有可能	可能性小	不爆	不爆	不爆
燃烧性	可燃	难燃	不燃	难燃	难燃
噪声	低	低	低	高	低
耐湿性	良好	良好	良好	弱（无电压时）	优
防尘性	良好	良好	良好	弱	良好
损失	大	大	稍小	大	小
绝缘等级	A	A 或 H	E	B 或 H	B 或 F
重量	重	较重	中	重	轻

(2) 变压器允许过负荷的倍数和时间 变压器允许过负荷的倍数和时间，按制造厂的规定执行，如制造厂无规定，对油浸式及干式变压器见表 3-11、表 3-12。

表 3-11 油浸变压器允许过负荷的倍数和时间

过负荷倍数	允许持续时间/min
1.30	120
1.45	80
1.60	45
1.75	20
2.00	10

表 3-12 干式变压器允许过负荷的倍数和时间

过负荷倍数	允许持续时间/min
1.20	60
1.30	45
1.40	32
1.50	18
1.60	5

(3) 变压器的调压方式和范围 变压器的调压方式和范围见表 3-13。

表 3-13 变压器的调压方式和范围

方式	额定电压 /kV	调压范围 (%)	分接间隔 (%)	级数	常用调压形式	分接开关
无励磁调压	6 ~ 63 ^①	±5	5	3	中性点、中部调压	中性点、中部开关
	35 ~ 220 ^②	±2 × 2.5	2.5	5	中部调压	中部开关
有载调压	6.10	±4 × 2.5	2.5	9	中性点、中部调压	有载或选择开关
	35	±3 × 2.5	2.5	7	中性点、中部调压	有载或选择开关
	63 ~ 220	±8 × 1.25	1.25	17	中部调压	有载开关

① 35kV 级用于变压器额定容量 6300kV · A 及以下，63kV 级用于变压器额定容量 6300kV · A 以下。

② 35kV 级用于变压器额定容量 6300kV · A 以上，63kV 级用于变压器额定容量 6300kV · A 及以上。

(4) 变压器台数的选择 主变压器台数的选择见表 3-14。

表 3-14 主变压器台数的选择

主变压器台数	适用范围
一台	1. 总计算负荷不大于 1250kV · A 的三级负荷变电所 2. 变电所另有低压联络线，或有其他备用电源，而总计算负荷不大于 1250kV · A 的含有部分一、二级负荷的变电所
两台	1. 含有大量一、二级负荷的变电所 2. 总计算负荷大于 1250kV · A 的三级负荷变电所 3. 季节性负荷变化较大，从技术经济上考虑经济运行有利的三级负荷变电所，见表 3-15
备注	1250kV · A 为变电所单台变压器一般的容量上限，见表 3-16

表 3-15 变电所主变压器经济运行的条件

	主变压器台数	经济运行的临界负荷	经济运行条件
	n 台	$S_{Nr} = S_N \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$	如 $S < S_{Nr}$ ，宜 $n-1$ 台运行； 如 $S > S_{Nr}$ ，宜 n 台运行

符号
含义

S_{Nr} ——经济运行临界负荷 (kV · A)；
 S_N ——变压器的额定容量 (kV · A)；
 S ——变电所实际负荷 (kV · A)；
 ΔP_0 ——变压器的空载损耗 (kW)；
 ΔQ_0 ——变压器空载时的无功损耗 (kvar)，按下式计算
$$\Delta Q_0 \approx S_N (I_0)/100$$

其中 I_0 ——变压器空载电流占额定电流的百分值 (%)；
 ΔP_k ——变压器的负载损耗 (kW)；
 ΔQ_N ——变压器额定负荷时的无功损耗增量 (kvar)；按下式计算
$$\Delta Q_N \approx S_N (U_z)/100$$

其中 U_z ——变压器阻抗电压占额定电压的百分值 (%)；
 K_q ——无功功率经济当量 (kW/kvar)

(5) 主变压器容量的选择要求，见表 3-16。

表 3-16 主变压器容量的选择

主变压器台数	主变压器容量选择条件	符号含义
一台	$S_{N.T} \geq S_{js}$	$S_{N.T}$ ——单台主变压器容量； S_{js} ——变电所总的计算负荷； $S_{js(I+II)}$ ——变电所的一、二级负荷的计算负荷
两台	$S_{N.T} \approx 0.7 S_{js}$ $S_{N.T} \geq S_{js(I+II)}$	
备注	车间变电所中单台变压器（低压为 0.4kV）的容量，一般不宜大于 1250kV·A；但当负荷容量大而集中，且运行合理时，亦可选用 1600 ~ 2000kV·A 的更大容量变压器	

3.4 互感器

3.4.1 互感器的分类

互感器是一种特殊的变压器，它被广泛应用于供电系统中，向测量仪表和继电器的电压线圈或电流线圈供电。

根据用途的不同，互感器分为两类：一类是电流互感器，它是将一次侧的大电流按比例变为适合通过仪表或继电器使用的，额定电流为 5A 的低压小电流的设备；另一类是电压互感器，它是将一次侧的高电压降到线电压为 100V 的低电压，供给仪表或继电器用电的专用设备。

3.4.2 互感器的作用

互感器的作用有：

1) 隔离高压电路。互感器一次侧和二次侧没有电的联系，只有磁的联系，故应使测量仪表和保护电器与高压电路隔开，以确保二次设备及人员的安全。

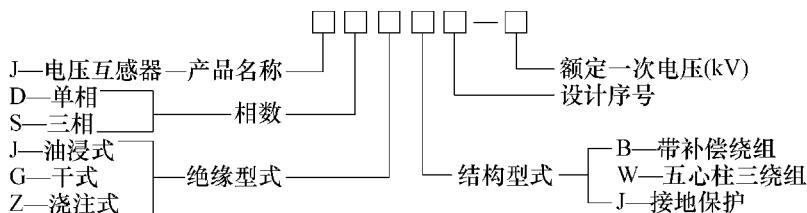
2) 使测量仪表和继电器小型化和标准化。如电流互感器二次绕组的额定电流都是 5A；电压互感器二次绕组的电压通常被规定为 100V。

3) 可以避免短路电流直接流过测量仪表和继电器的线圈，使其不受大电流的损坏。互感器的准确度等级一般分为 0.2、0.5、1、3 等级。一般 0.2 级作实验室精密测量用，0.5 级作计算电费测量用，1 级在供配电盘上的仪表中使用，通常指示仪表和继电保护用 3 级。

3.4.3 电压互感器

电压互感器按绝缘及冷却方式来分有干式和油浸式，按相数来分有单相和三相等。环氧树脂浇注绝缘的干式电压互感器应用最为广泛的是单相干式电压互感器。

(1) 型号与结构 电压互感器的结构如图 3-20 所示，其型号含义如下：



(2) 联结

1) Y_y 联结 由三个单相互感器一次侧、二次侧均接成Y联结, 可供给继电器和要求线电压的仪表以及要求相电压的绝缘监视电压表。

2) $Y_{yn}\Delta$ 联结 该联结在三相系统工作正常时, 三相电压平衡, 开口三角形 (Δ) 两端电压为零。当某一相接地时, 开口三角形两端出现零序电压, 使接在两端的继电器动作, 发出信号。

3) Dd 联结 该联结仅适用于测量三相三线式的线电压。

4) $V-V$ 联结 由两个单相互感器接线成 $V-V$ 联结, 供测量线电压和测量电能。

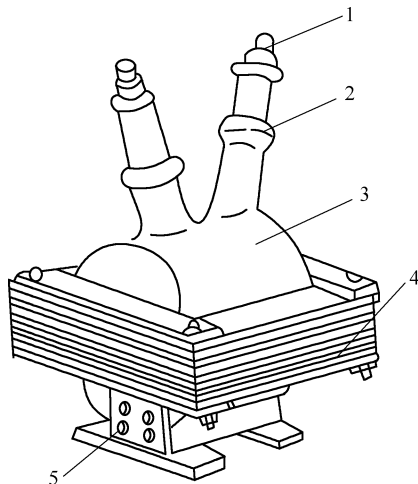


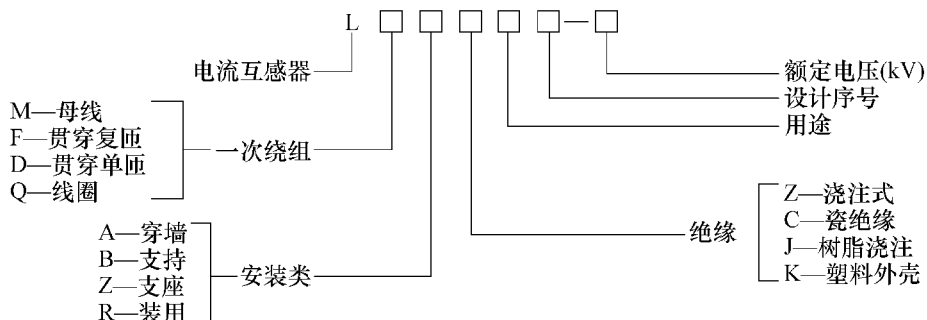
图 3-20 JDZ—10 型电压互感器

- 1—次接线端 2—高压绝缘套管
3—一、二次绕组, 环氧树脂浇注
4—铁心 5—二次接线端

3.4.4 电流互感器

电流互感器均为单相, 以便使用。按一次绕组的匝数, 可分为单匝 (套管式、心柱式、母线式) 和多匝 (线环式、线圈式、串级式); 按绝缘可分为干式、油浸式和浇注式; 按一次电压分为高压和低压等。

(1) 型号与结构 电流互感器的结构如图 3-21 所示, 其型号含义如下:



(2) 联结

1) 单相式接线。主要用于三相平衡负载的电路, 仅测量一相电流, 或在保护中作过载保护, 一般装在第二相上。

2) 三相完全星形 (Y) 联结。用于不平衡负载电路或三相平衡负载及三相四线制电路, 可分别测量三相电流。中性线中流过的电流是三相电流的相量和。三相平衡负载时, 中

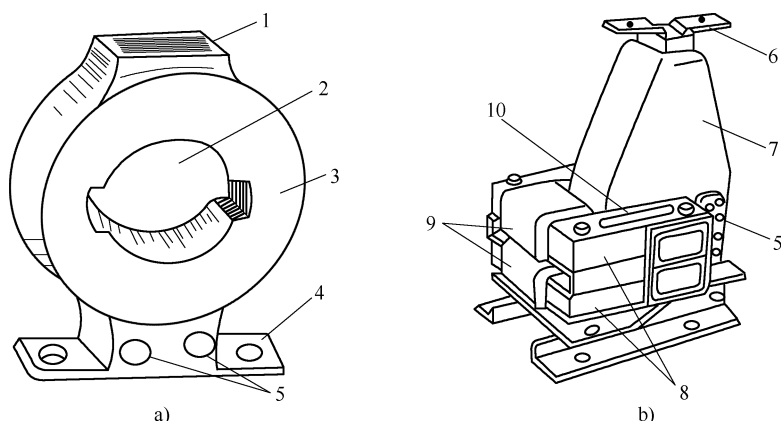


图 3-21 电流互感器

a) LMZJ1—0.5 型 b) LQJ—10 型

- 1—铭牌 2—一次母线穿过 3—铁心，外绕二次绕组，环氧树脂浇注
 4—安装板 5—二次接线端 6—一次接线端 7—一次绕组，环氧树脂浇注
 8—铁心 9—二次绕组 10—警告牌

性线中的电流为零。当不平衡负载或发生故障时，中性线中有电流通过。

3) 两相不完全星形(丫)联结。两只电流互感器、三只电流表测量三相电流，流入第三块电流表的电流是 L_1 、 L_3 两相电流的相量和，反映第三相(L_2)的电流，该联结被广泛应用于中性点不接地的三相三线制中。

4) 三角形(Δ)联结。此联结零相序电流在三相绕组内循环流动，不会出现在引出线。当变压器需要差动继电器保护时，多采用电流互感器三角形联结。

5) 零相序联结。此联结使三个电流互感器并联，测量的是二次侧中性线中的电流，等于三相电流的相量和，反映的是零相序电流。此联结用于架空线路单相接地的零序保护。

6) 两相差联结。该联结使两个电流互感器差动联结，流入继电器中的电流为线电流，通常用于电动机保护中。

常用高压电流互感器的型号是 LQJ 型，常用低压电流互感器包括 LMZ 系列(穿心式)、LQG 系列(双绕组式)。

4 电气工程常用技术数据

4.1 供配电系统

4.1.1 负荷分级

1. 负荷分级及供电要求

电力负荷应根据对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上所造成的影响程度进行分级，见表 4-1。

表 4-1 负荷分级及供电要求

负荷分级	定义	供电措施
一级负荷	1. 中断供电将造成人身伤害 2. 中断供电将在经济上造成重大损失 3. 中断供电将影响重要用电单位的正常工作 4. 在一级负荷中，中断供电将造成人员伤亡或重大设备损坏或发生中毒、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，应视为一级负荷中特别重要的负荷	1. 一级负荷应由双重电源供电，当一电源发生故障时，另一电源不应同时受到损坏 2. 一级负荷中特别重要的负荷供电，应符合下列要求： 1) 除应由双重电源供电外，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) 设备的供电电源的切换时间，应满足设备允许中断供电的要求
二级负荷	1. 中断供电将在经济上造成较大损失 2. 中断供电将影响较重要用电单位的正常工作	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，二级负荷可由一回线路 6kV 及以上专用的架空线路供电
三级负荷	不属于一级负荷和二级负荷者应为三级负荷	无特殊要求

2. 常用用电负荷分级

常用用电负荷分级见表 4-2。

表 4-2 常用用电负荷分级

序号	建筑物名称	用电负荷名称	负荷级别
1	国家级会堂、国宾馆、国家级国际会议中心	主会场、接见厅、宴会厅照明，电声、录像、计算机系统用电	一级*
		客梯、总值班室、会议室、主要办公室、档案室用电	一级
2	国家及省部级政府办公建筑	客梯、主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明用电	一级
3	国家及省部级计算中心	计算机系统用电	一级*

(续)

序号	建筑物名称	用电负荷名称	负荷级别
4	国家及省部级防灾中心、电力调度中心、交通指挥中心	防灾、电力调度及交通指挥计算机系统用电	一级*
5	地、市级办公建筑	主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明用电	二级
6	地、市级及以上气象台	气象业务用计算机系统用电	一级*
		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设备、气象绘图及预报照明用电	一级
7	电信枢纽、卫星地面站	保证通信不中断的主要设备用电	一级*
8	电视台、广播电台	国家及省、自治区、直辖市电视台、广播电台的计算机系统用电, 直接播出的电视演播厅、中心机房、录像室、微波设备及发射机房用电	一级*
		语音播音室、控制室的电力和照明用电	一级
		洗印室、电视电影室、审听室、楼梯照明用电	二级
9	剧场	特、甲等剧场的调光用计算机系统用电	一级*
		特、甲等剧场的舞台照明、贵宾室、演员化妆室、舞台机械设备、电声设备、电视转播用电	一级
		甲等剧场的观众厅照明、空调机房及锅炉房电力和照明用电	二级
10	电影院	甲等电影院的照明与放映用电	二级
11	博物馆、展览馆	大型博物馆及展览馆安防系统用电; 珍贵展品展室照明用电	一级*
		展览用电	二级
12	图书馆	藏书量超过 100 万册及重要图书馆的安防系统、图书检索用计算机系统用电	一级*
		其他用电	二级
13	体育建筑	特级体育场(馆)及游泳馆的比赛场(厅)、主席台、贵宾室、接待室、新闻发布厅、广场及主要通道照明、计时记分装置、计算机房、电话机房、广播机房、电台和电视转播及新闻摄影设备用电	一级*
		甲级体育场(馆)及游泳馆的比赛场(厅)、主席台、贵宾室、接待室、新闻发布厅、广场及主要通道照明、计时记分装置、计算机房、电话机房、广播机房、电台和电视转播及新闻摄影设备用电	一级
		特级及甲级体育场(馆)及游泳馆中非比赛用电、乙级及以下体育建筑比赛用电	二级

(续)

序号	建筑物名称	用电负荷名称	负荷级别
14	商场、超市	大型商场及超市的经营管理用计算机系统用电	一级*
		大型商场及超市营业厅的备用照明用电	一级
		大型商场及超市的自动扶梯、空调器用电	二级
		中型商场及超市营业厅的备用照明用电	二级
15	银行、金融中心、证交中心	重要的计算机系统和安防系统用电	一级*
		大型银行营业厅及门厅照明、安全照明用电	一级
		小型银行营业厅及门厅照明用电	二级
16	民用航空港	航空管制、导航、通信、气象、助航灯光系统设施和台站用电, 边防、海关的安全检查设备用电, 航班预报设备用电, 三级以上油库用电	一级*
		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
17	铁路旅客站	大型站和国境站的旅客站房、站台、天桥、地道用电	一级
18	水运客运站	通信、导航设施用电	一级
		港口重要作业区、一级客运站用电	二级
19	汽车客运站	一、二级客运站用电	二级
20	汽车库(修车库)、停车场	I类汽车库、机械停车设备及采用升降梯作车辆疏散出口的升降梯用电	一级
		II、III类汽车库和I类修车库、机械停车设备及采用升降梯作车辆疏散出口的升降梯用电	二级
21	旅游饭店	四星级及以上旅游饭店的经营及设备管理用计算机系统用电	一级*
		四星级及以上旅游饭店的宴会厅、餐厅、厨房、康乐设施、门厅及高级客房、主要通道等场所的照明用电, 厨房、排污泵、生活水泵、主要客梯用电, 计算机、电话、电声和录像设备、新闻摄影设备用电	一级
		三星级旅游饭店的宴会厅、餐厅、厨房、康乐设施、门厅及高级客房、主要通道等场所的照明用电, 厨房、排污泵、生活水泵、主要客梯用电, 计算机、电话、电声和录像设备、新闻摄影用电, 除上所述之外的四星级及以上旅游饭店的其他用电	二级
22	科研院所、高等院校	四级生物安全实验室等对供电连续性要求极高的国家重点实验室用电	一级*
		除上所述之外的其他重要实验室用电	一级
		主要通道照明用电	二级

(续)

序号	建筑物名称	用电负荷名称	负荷级别
23	二级以上医院	重要手术室、重症监护室等涉及患者生命安全的设备（如呼吸机等）及照明用电	一级*
		急诊部、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，以及病理切片分析、核磁共振、介入治疗用 CT 及 X 光机扫描室、血库、高压氧仓、加速器机房、治疗室及配血室的电力照明用电；培养箱、冰箱、恒温箱用电；走道照明用电；百级洁净度手术室空调系统用电；重症呼吸道感染区的通风系统用电	一级
		除上所述之外的其他手术室空调系统用电，电子显微镜、一般诊断用 CT 及 X 光机用电，客梯用电，高级病房、肢体伤残康复病房照明用电	二级
24	一类高层建筑	走道照明、值班照明、警卫照明、障碍照明用电，主要业务和计算机系统用电，安防系统用电，电子信息设备机房用电，客梯用电，排污泵、生活水泵用电	一级
25	二类高层建筑	主要通道及楼梯间照明用电，客梯用电，排污泵、生活水泵用电	二级

注：1. 负荷分级表中“一级*”为一级负荷中特别重要负荷。
2. 各类建筑物的分级见现行的有关设计规范。
3. 本表未包含消防负荷分级，消防负荷分级见相关的国家标准、规范。
4. 当序号 1~23 各类建筑物与一类或二类高层建筑的用电负荷级别不相同，负荷级别应按其中高者确定。

3. 住宅建筑中主要用电负荷的分级

住宅建筑中主要用电负荷的分级应符合表 4-3 的规定，其他未列入表 4-3 中的住宅建筑用电负荷的等级宜为三级。

表 4-3 住宅建筑主要用电负荷的分级

建筑规模	主要用电负荷名称	负荷等级
建筑高度为 100m 或 35 层以上的住宅建筑	消防用电负荷、应急照明、航空障碍照明、走道照明、值班照明、安防系统、电子信息设备机房、客梯、排污泵、生活水泵	一级
建筑高度为 50 ~ 100m 且 19 ~ 34 层的一类高层住宅建筑	消防用电负荷、应急照明、航空障碍照明、走道照明、值班照明、安防系统、客梯、排污泵、生活水泵	一级
10 ~ 18 层的二类高层住宅建筑	消防用电负荷、应急照明、走道照明、值班照明、安防系统、客梯、排污泵、生活水泵	二级

4.1.2 电压选择和电能质量

1) 各级电压线路输送能力见表 4-4。

表 4-4 各级电压线路输送能力

额定电压/kV	架空线		电缆	
	送电容量/kW	输送距离/km	送电容量/kW	输送距离/km
0.22	<50	0.15	<100	0.2
0.38	100	0.25	175	0.35
0.66	170	0.4	300	0.6
3	100 ~ 1000	1 ~ 3	—	—
6	2000	3 ~ 10	3000	<8
10	3000	5 ~ 15	5000	<10
35	2000 ~ 8000	20 ~ 50	—	—
66	3500 ~ 20000	25 ~ 100	—	—
110	10000 ~ 30000	50 ~ 150	—	—

2) 正常运行情况下, 用电设备端子电压偏差允许值宜符合表 4-5 的要求。

表 4-5 用电设备端子电压偏差允许值

用电设备名称	电压偏差允许值 (%)	
电动机	± 5	
照明灯	一般工作场所	± 5
	远离变电所的小面积一般场所	+5 -10
	应急照明、道路照明和警卫照明	+5 -10
其他用电设备无特殊规定时	± 5	

3) 公用电网谐波电压 (相电压) 限值见表 4-6。

表 4-6 公用电网谐波电压 (相电压) 限值

电网标称电压/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			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

4) 公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量 (方均根值) 不应超过表 4-7 中规定的允许值。

表 4-7 注入公共连接点的谐波电流允许值

标称电压 /kV	基准短路容量 /MV·A	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	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
0.38	10	78	62	39	62	26	44	29	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12	
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	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	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	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	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5	

4.2 变配电所

4.2.1 变配电所形式的选择

1. 变配电所的形式确定

1) 35/10 (6) kV 变配电所可分户内式和户外式两种。户内式运行维护方便, 占地面积少。在选择 35kV 总变配电所的形式时, 则应考虑所在地区的地理情况和环境条件, 因地制宜; 技术经济合理时, 则应优先选用占地少的形式。35kV 变配电所宜用户内式。

2) 用户 10kV 及以下变配电所按其位置还可分为以下几种形式, 其含义及适用场所见表 4-8。

表 4-8 10kV 及以下变配电所的形式、含义及适用场所

形 式		含 义	适 用 场 所
户内式	独立变电所	为一独立的建筑物, 主要在大、中型城市的中心区或负荷区, 供给多个分散的电力负荷点	主要用于负荷小而分散的工业企业和大、中型城市的居民区
	地下变电所	一般设置在建筑物的地下室内, 以节省用地, 通风散热条件差, 湿度较大, 且防火等级要求较高	独立地下变电所较少采用。高层民用建筑的变电所通常设置在主体建筑地下室内
	附设变电所	变电所的一面或数面墙与建筑物的墙共用, 且变压器室的门和通风窗向建筑物外开	主要用于负荷较大的车间、站房和无地下室的大型民用建筑
	车间内变电所	位于车间内部的变电所, 且变压器室的门向车间内开	特别适用于负荷较大、负荷中心在车间中部且环境较好的多跨厂房。目前, 车间内变电所多采用小型组合式成套变电站
户外式	露天/半露天变电所	变压器安装在室外抬高的地面上。如果变压器的上方设有顶棚或挑檐的, 则称为半露天变电所	用于周围环境无腐蚀性气体, 无易燃易爆物品, 无可燃粉尘、纤维或导电尘埃沉积的工业场所
	杆上式或高台式变电所	变压器一般位于室外的电线杆塔上, 或在专门的变压器台墩上	适用于采用架空线路、容量不大于 315kV·A 的中、小城镇居住区和工厂生活区

(续)

形 式		含 义	适 用 场 所
户外式	箱式变电站	一种把高压开关设备、配电变压器和低压配电装置，按一定接线方案排列成一体，工厂预制户内、户外紧凑型配电设备，即将高压受电、变压器降压、低压配电等功能有机地组合在一起	使用范围非常广泛，适用于城市公共配电、住宅小区、高层建筑、公园，还适用于油田、工矿企业及施工场所等，是继土建变电站之后崛起的一种崭新的变电站

2. 箱式变电站的选择

(1) 箱式变电站与常规变电站的对比 我国目前生产的箱式变电站按结构形式分，主要分三类：一类是引进欧洲技术生产的预装式变电站（简称欧式箱变）；另一类是引进美国技术并按我国电网现状改进生产的组合式变电站（简称美式箱变）；还有一类则是组合了组合式变电站与预装式变电站优点的国产紧凑型变电站。各种类型箱式变电站的技术性能特点对比见表 4-9。

表 4-9 各种类型箱式变电站的技术性能特点对比

序号	对比内容	预装式变电站	组合式变电站	紧凑型变电站
1	结构布置	分高压受电、配电变压器、低压配电 3 个隔室，组成“目”字形或“品”字形，体积较大	高压开关、熔断器和变压器共用油箱或分隔油箱，与低压配电隔室组成“品”字形，体积较小，为预装式变电站的 1/3	预装式变电站高压受电、低压配电，组合式变电站配电变压器组成“品”字形或“目”字形，体积适中
2	箱式变电站外壳	焊接钢板、铝合金或新型彩钢板组装，非金属（建筑结构材料）外壳	焊接钢板	焊接钢板及新型彩钢板组装
3	变压器	油浸式变压器或干式变压器，容量不宜超过 1250kV·A	户外式油浸式变压器，容量不宜超过 630kV·A	户外式油浸式变压器，容量不宜超过 630kV·A
4	防护等级	IP33	IP65，低压配电隔室为 IP33	IP33，变压器部分为 IP65
5	通风散热	变压器罩在外壳内，通风散热不良。采用自然通风时，变压器需降容使用，否则需要机械通风散热	变压器为户外式，自然通风散热，不需降容使用	变压器为户外式，自然通风散热，不需降容使用
6	高压设备	SF ₆ 负荷开关环网柜，变压器采用限流型熔断器保护，也可根据需要采用断路器保护	两工位或四工位负荷开关，变压器采用插入式熔断器和油箱内后备熔断器串联实现全范围保护	SF ₆ 负荷开关环网柜，变压器采用限流型熔断器保护
7	系统适应性	可用于高压中性点有效接地系统或非有效接地系统	用于高压中性点有效接地系统，用于非有效接地系统时需 在低压侧加装断相保护装置	可用于高压中性点有效接地系统或非有效接地系统
8	配网自动化	可实现自动化	需与环网柜配合	可实现自动化

(续)

序号	对比内容	预装式变电站	组合式变电站	紧凑型变电站
9	高压主接线	终端型、环网型、双电源型 (互为备用、高压单母线分段、 两台变压器)	终端型、环网型	终端型、环网型、双电源型 (一用一备高压单母线，一台变 压器)
10	电能计量	可高压侧计量或低压侧计量	只能在低压侧计量	可高压侧计量或低压侧计量
11	低压设备	配置完善，可装设低压计量 装置及无功补偿装置，低压出 线多(可达20路)	低压设备配置受隔室空间的 限制，低压出线不多(4~6 路)，改进设计可加装低压计 量及小容量无功补偿装置	配置完善，可装设低压计量装 置及无功补偿装置，低压出线 较多
12	低压主接线	一台变压器时为单母线，两 台变压器时为单母线分段	一台变压器时为单母线	一台变压器时为单母线
13	连接件	高压采用电缆，变压器与低 压柜采用母线连接或电缆连 接，低压出线采用电缆	高压采用电缆插入式连接， 变压器与低压柜采用母线连 接，低压出线采用电缆	高压采用电缆，变压器与低压 柜采用母线连接，低压出线采用 电缆
14	安装方式	台架式(地面上安装)或沉 箱式(部分地下安装)	台架式(地面上安装) 防护等级为IP68的地理式变 压器可在地面下安装	台架式(地面上安装)

(2) 箱式变电站的典型应用方案

1) 两路高压电源同时工作互为备用的预装式变电站，典型电气主接线及电气平面布置如图4-1所示。

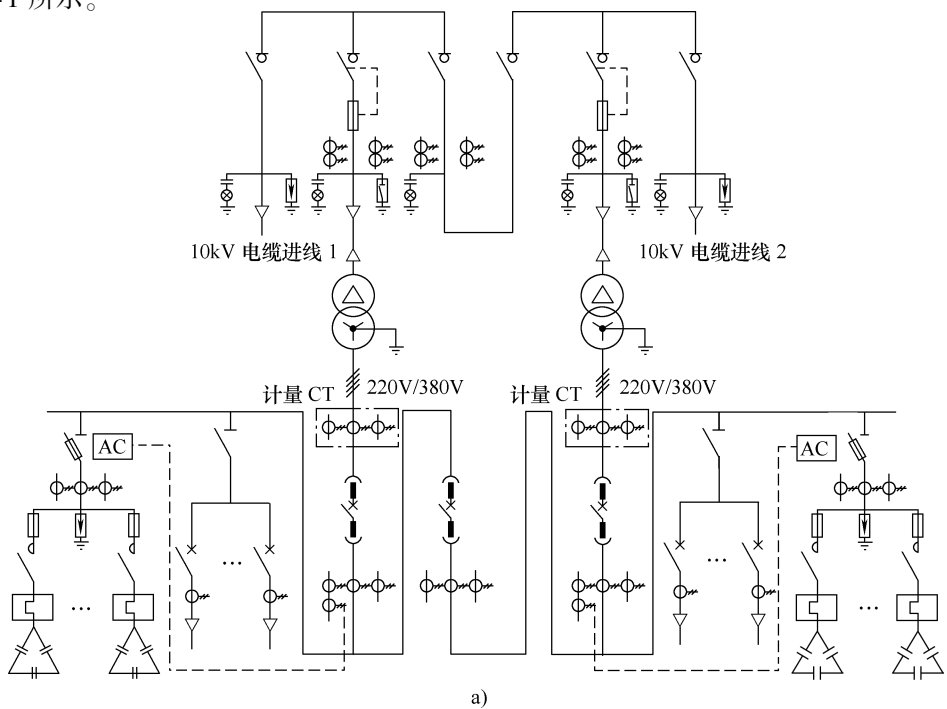


图 4-1 两路电源互为备用的预装式变电站的典型应用方案

a) 电气主接线

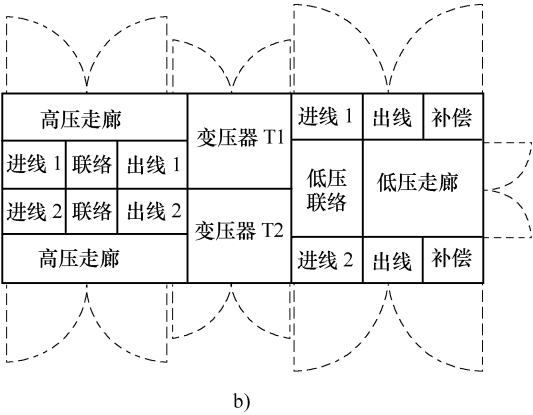


图 4-1 两路电源互为备用的预装式变电站的典型应用方案 (续)
b) 电气平面布置

2) 高压电源环网的预装式变电站, 典型电气主接线及电气平面布置如图 4-2 所示。

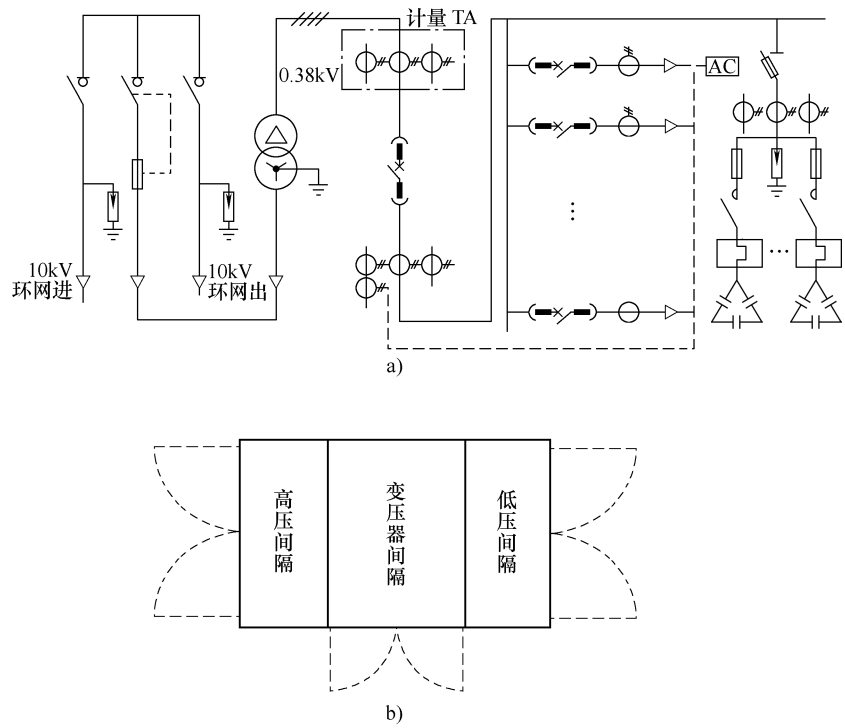


图 4-2 环网接线预装式变电站的典型应用方案
a) 电气主接线 b) 电气平面布置

3) 高压电源环网接线的组合式变电站, 典型电气主接线及电气平面布置如图 4-3 所示。

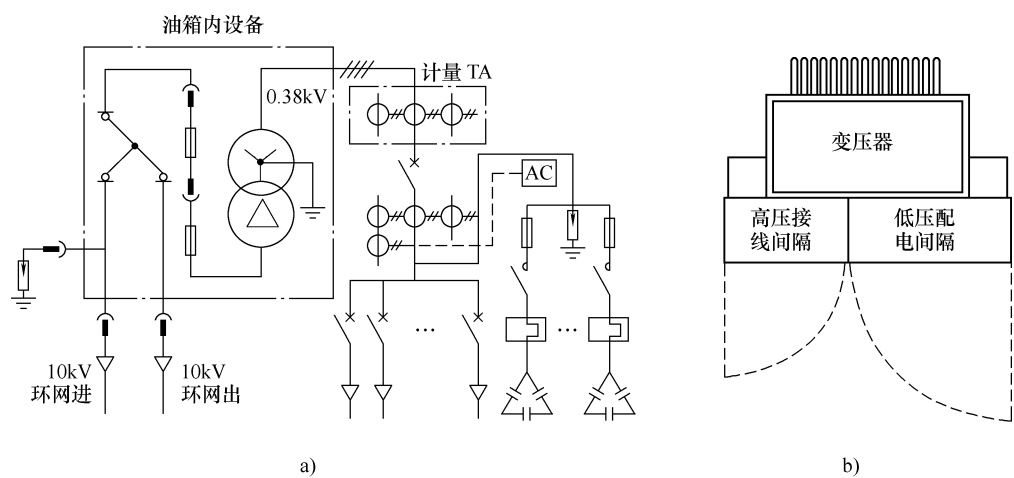


图 4-3 环网接线组合式变电站的典型应用方案
a) 电气主接线 b) 电气平面布置

4.2.2 变配电所的电气主接线设计

1. 变配电所主接线设计的基本要求

用户 35kV 及以下变配电所电气主接线的形式一般可分为单母线接线、分段单母线接线（包括两段母线之间装设、不装设联络断路器以及两组分段单母线接线）、双母线、线路变压器组接线（包括单回和双回线路变压器组）、内桥式接线等，工程设计时应该根据变配电所在供配电系统中的地位、负荷性质、进出线回路数、主变压器容量以及台数、设备特点等条件确定，并应满足表 4-10 所列的一般要求。

表 4-10 电气主接线的一般要求

序号	原 则	一 般 要 求
1	安全性	- 在断路器的电源侧及可能反馈电源的负荷侧，必须装设隔离开关或隔离触头 - 变配电所每段高压母线及架空线路末端应装设避雷器。接在母线上的避雷器和电压互感器，宜合用一组隔离开关或隔离触头。配电所、变电所架空进、出线上的避雷器回路中，可不装设隔离开关 - 采用架空或电缆线路进户时，应在变电所的室内靠近进线点处，装设便于操作维护的电源隔离装置 - 当两路电源之间不允许并列运行时，应有联锁装置 - 变压器一次侧开关的装设，应符合下列规定： - 以树干式供电时，应装设断路器，或负荷开关-熔断器组合电器（仅用于干式变压器单台容量不大于 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$，油浸式变压器单台容量不大于 $630\text{kV} \cdot \text{A}$），或跌落式熔断器（仅用于户外油浸式变压器且单台容量不大于 $400\text{kV} \cdot \text{A}$） - 以放射式供电时，宜装设隔离开关或负荷开关。当变压器在本配电所内时，可不装设开关 - 建筑物内变配电所应采用无油化电气设备

(续)

序号	原 则	一 般 要 求
2	可靠性	1. 变配电所的高压及低压母线宜采用单母线或单母线分段接线。当具有两路电源供电时, 根据负荷特点, 经过技术经济比较, 高压侧主接线可采用如下几种形式: 1) 两路电源同时供电互为备用, 采用断路器的分段单母线接线 2) 两路电源一用一备, 采用单母线不分段的接线 3) 只有两台变压器的 10kV 变电所, 可采用双回路变压器组接线 4) 只有两台主变压器的 35kV 变电所, 可采用桥式接线 2. 配电所的进线、母线分段、引出线开关宜采用断路器 3. 变电所低压总开关及母线联络开关宜采用断路器, 或熔断器 - 开关组合电器 4. 频繁操作的高压用电设备的操作开关, 应采用具有频繁操作性能的断路器或真空接触器 5. 高压电容器装置的回路, 应采用不重击穿断路器
3	灵活性	1. 从 35kV 总降压变电所或 10kV 总配电所以放射式向分配电所供电, 且分配电所需要带负荷操作或继电保护、自动装置有要求时, 该分配电所的电源进线开关应采用断路器 2. 两配电所之间的联络线, 应在供电侧的配电所装设断路器, 另一侧装设隔离开关或负荷开关; 当两侧的供电可能性相同时, 应在两侧均装设断路器 3. 当有继电保护或自动切换电源要求时, 变压器低压侧总开关和母线分段开关均采用断路器
4	经济性	1. 当能满足运行要求时, 35kV 变电所高压侧宜采用断路器较少或不用断路器的接线 2. 从 35kV 总降压变电所或 10kV 总配电所以放射式向分变配电所供电时, 该分变配电所的电源进线开关宜采用隔离开关或隔离触头 3. 变配电所的进线、引出线在满足继电保护和操作要求时可采用负荷开关 - 熔断器组合电器。变配电所母线的分段处无继电保护和自动装置要求时, 可采用负荷开关 4. 变压器容量不大于 $400\text{kV} \cdot \text{A}$ 的户外简易式变电所宜采用跌落式熔断器或隔离开关加高压限流熔断器的接线方式 5. 由地区电网供电的变配电所电源进线处, 应装设供计量用的专用电压、电流互感器。用户计量方式的确定, 应符合下列规定: 1) 受电变压器容量在 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上的电力用户应采用高供高计方式 2) 受电变压器容量在 $315 \sim 500\text{kV} \cdot \text{A}$ 电力用户宜采用高供高计方式 3) 受电变压器容量在 $315\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下的电力用户应采用高供低计方式 4) 单电源装设两台及以上变压器的电力用户应采用高供高计方式

2. 变配电所电气主接线方案

(1) 由地区电网供电的 10kV 变配电所电气主接线

1) 10kV 单电源进线、仅装有一台变压器的变电所变压器一次侧采用线路变压器组接线, 二次侧采用单母线接线, 如图 4-4 和图 4-5 所示 (注意: 因篇幅限制, 本书图中干式变压器均简称为干变, 油浸式变压器均简称为油变)。

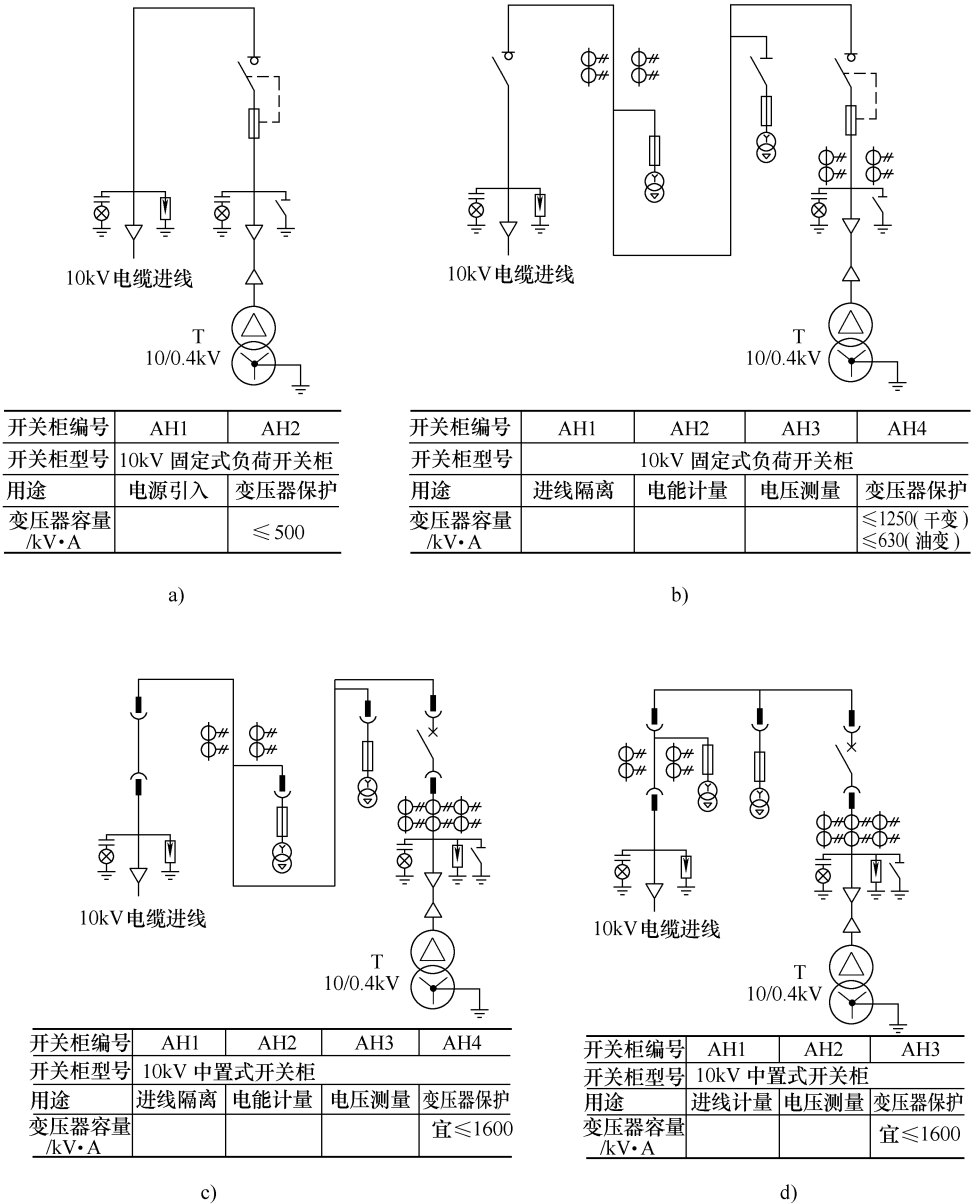
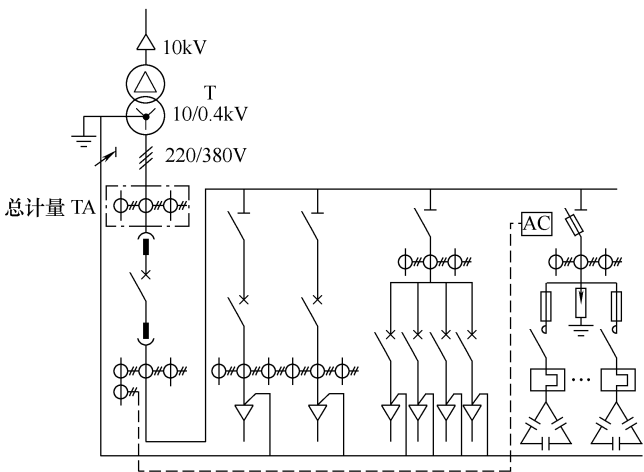


图 4-4 10kV 单电源进线，变压器一次侧采用线路变压器组接线

a) 高供低计、负荷开关 - 熔断器组合电器接线 b) 高供高计、负荷开关 - 熔断器组合电器接线
c) 高供高计、断路器接线（一） d) 高供高计、断路器接线（二）

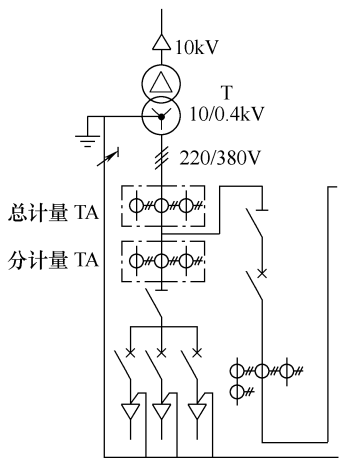
当变压器容量在 630kV·A 及以下时，应采用高供低计、变压器一次侧采用负荷开关 - 熔断器组合电器接线（见图 4-4a）。变压器二次侧采用有电能计量装置的单母线接线（见图 4-5a），当有少量负荷因电价不同需要分计量时，进线和低压计量部分可采用图 4-5b 所示的形式。

当干式变压器容量为 800 ~ 1250kV·A 时，应采用高供高计、变压器一次侧采用负荷开关 - 熔断器组合电器接线（见图 4-4b）。变压器二次侧采用单母线接线（见图 4-5c），低压无功补偿辅屏的取舍和数量根据所需无功补偿容量的大小确定。



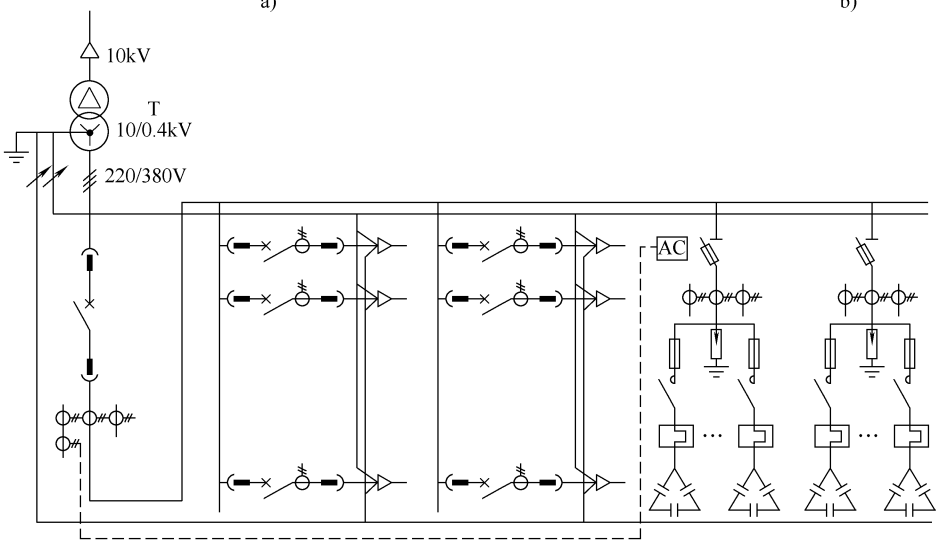
开关柜编号	AA1	AA2	AA3	AA4
开关柜型号	低压固定式开关柜 (具体型号由工程设计定)			
用途	低压计量 + 进线	出线	出线	无功补偿
备注	低压配电系统的接地形式可采用 TN-S 制			

a)



开关柜编号	AA1	AA2
开关柜型号	低压固定式开关柜	
用途	低压总计量 + 分计量出线	低压进线
备注	低压有分计量出线时采用	

b)



开关柜编号	AA1	AA2	AA3	AA4	AA5
开关柜型号	低压抽出式开关柜 (具体型号由工程设计定)				
用途	低压进线	出线	出线	无功补偿 (主)	无功补偿 (辅)
备注	低压配电系统的接地形式可采用 TN-C 制				

c)

图 4-5 变压器二次侧采用单母线接线

a) 高供低计的变压器二次侧接线 (一) b) 高供低计的变压器二次侧接线 (二)
c) 高供高计的变压器二次侧接线

当油浸式变压器容量在 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上或干式变压器容量在 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上时, 采用高供高计、变压器一次侧采用断路器接线。依据当地供电部门的相关规定可采用图 4-4c 或图 4-4d 所示的形式。

当油浸式变压器容量在 $400\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以下的户外简易变电所时, 采用高供低计、变压器一次侧采用隔离开关加高压限流式熔断器或跌落式熔断器接线 (图略)。

2) 10kV 单电源进线, 装有两台或以上变压器的变电所, 其变压器一次侧采用单母线接线, 二次侧采用分段单母线接线, 如图 4-6 和图 4-7 所示。

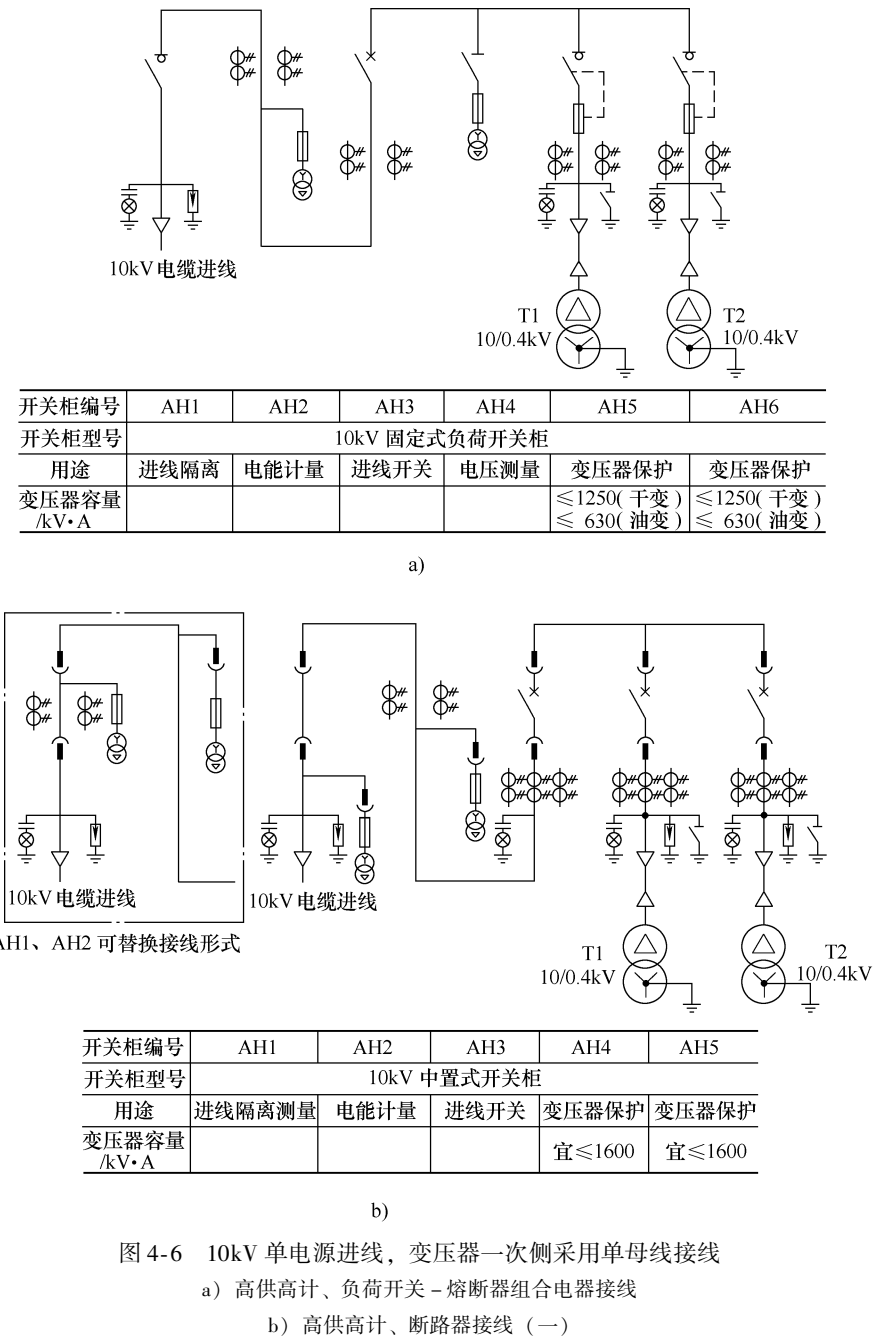
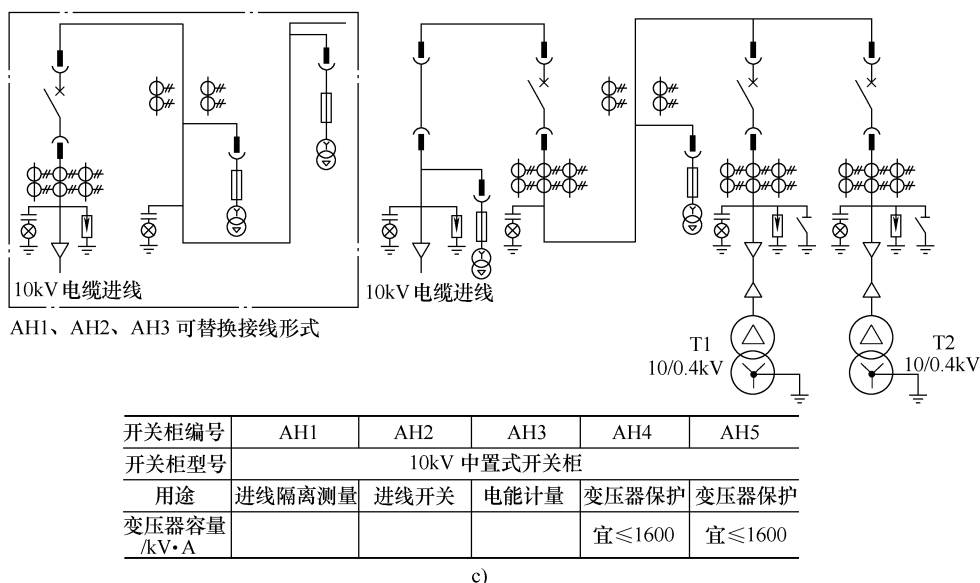


图 4-6 10kV 单电源进线, 变压器一次侧采用单母线接线

a) 高供高计、负荷开关-熔断器组合电器接线

b) 高供高计、断路器接线 (一)



c)

图 4-6 10kV 单电源进线，变压器一次侧采用单母线接线（续）

c) 高供高计、断路器接线（二）

当每台干式变压器的容量均不大于 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$ 或有两台油浸式变压器且单台容量不大于 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 时，应采用高供高计、电源进线开关采用断路器、变压器一次侧采用负荷开关—熔断器组合电器的接线方式（见图 4-6a）。当变压器台数仅为两台时，电源进线开关断路器可省略。

当有两台及以上干式变压器并且其中任意一台容量在 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、或有两台及以上油浸式变压器并且任意一台容量在 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上时，采用高供高计、变压器一次侧采用断路器的接线方式。根据当地供电部门相关规定，分别采用图 4-6b 或图 4-6c 所示的形式。

变压器二次侧接线依据低压配电屏的布局相应采用图 4-7a 或图 4-7b 所示的形式分段单母线接线。

3) 10kV 双电源进线，装有两台及以上变压器的变电所。其变压器一次侧的接线方式根据两个电源的性质、容量大小以变压器台数确定，变压器二次侧通常均采用分段单母线接线（见图 4-7）。

双电源同时供电不联络，变压器一次侧应采用双回路线路变压器组接线。每回路接线方式可参照图 4-4 设计。图 4-8 是以高供高计、负荷开关—熔断器组合电器接线为例，亦可根据需要采用断路器接线。双电源应在变压器二次侧互为备用。

双电源一用一备，变压器一次侧应采用单母线接线，如图 4-9 所示。两路高压主进线断路器实现联锁确保不同时闭合。

双电源同时供电互为备用，变压器一次侧采用分段单母线接线，如图 4-10 所示。当有两台干式变压器并且单台容量不大于 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$ 或两台油浸式变压器且单台容量不大于 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 时，采用高供高计、变压器一次侧采用负荷开关—熔断器组合电器的接线（见图 4-10a）。当有 3 台及以上变压器或有两台干式变压器且其中任意一台容量在 $1250\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上、两台油浸式变压器且任意一台容量在 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上时，应采用高供高计、变压器一次侧采用断路器的接线（见图 4-10b）。

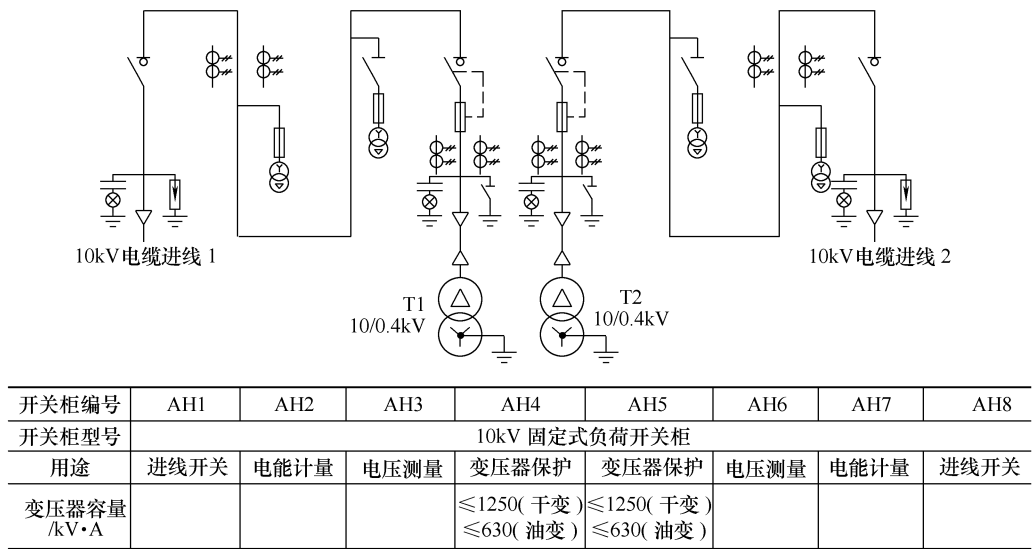


图 4-8 10kV 双电源进线，变压器一次侧采用双回路线路变压器组接线

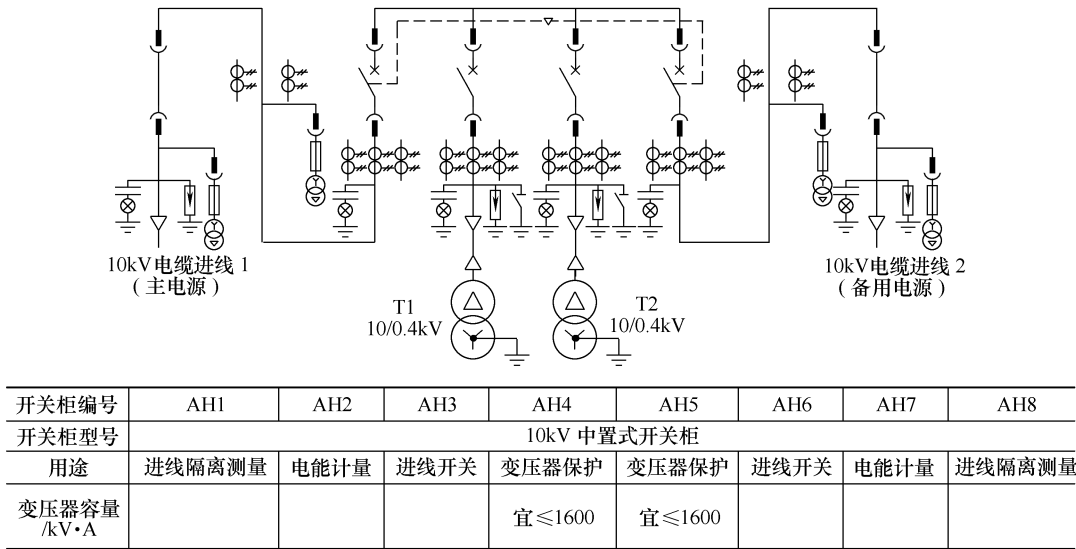


图 4-9 10kV 双电源进线，变压器一次侧采用单母线接线

双电源同时供电不联络，变电所装有 4 台变压器，每个回路供电给两台变压器，高压侧采用两组单母线接线，如图 4-11 所示。图中是以采用负荷开关 - 熔断器组合电器接线为例，亦可根据需要采用断路器接线式。分别接于两组单母线接线的两台变压器二次侧采用分段单母线接线，双电源在低压侧互为备用。

4) 10kV 配电所。双电源进线的 10kV 配电所，通常采用断路器的分段单母线接线，电气主接线如图 4-12 所示。单电源进线的 10kV 配电所，通常采用断路器的单母线接线，可参照图 4-12 的半幅接线确定。

(2) 由用户总降压变电所或配电所供电的车间变电所电气主接线 由用户总降压变电所或配电所供电的车间变电所的电气主接线相对简单：一是不由公共电网供电，不需装设专用电能计量装置；二是高压侧的开关电器、保护装置和测量仪表等一般都安装在高压配电线路的首端，也就是安装在总降压变电所或配电所的高压配电室内。采用高压放射式供电的车间变电所，高压侧电气主接线一般为线路变压器组接线，变压器一次侧通常只装设安全检修需要的隔离开关或负荷开关。采用高压树干式或环式供电的车间变电所，高压侧一般装设负荷开关-熔断器组合电器来控制和保护变压器，该电气接线图可参考图 4-4a 设计。当车间变电所负荷重要或变压器台数较多，亦可采用单母线或单母线分段接线，其电气接线图可参考图 4-6b 和图 4-10b 简化设计。

(3) 35kV 总降压变电所常见电气主接线

1) 35kV 单电源进线，仅装有一台主变压器的变电所，其变压器一次侧采用线路变压器组接线，二次侧采用单母线接线，如图 4-13 和图 4-14 所示。

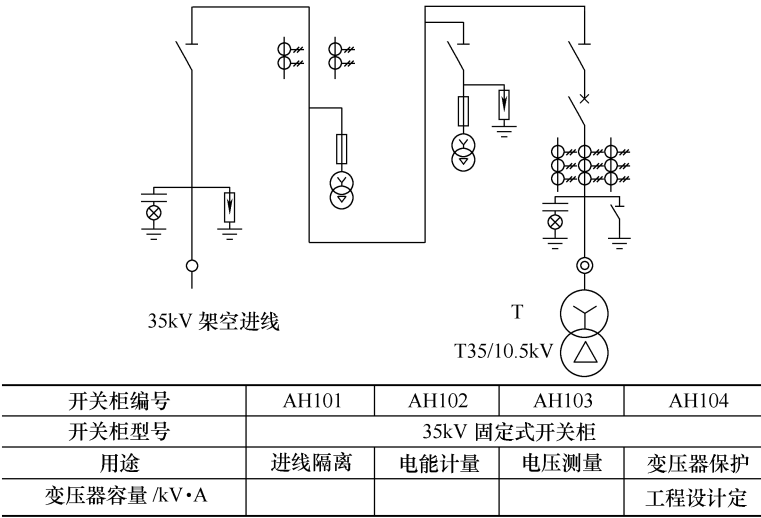


图 4-13 35kV 单电源进线，变压器一次侧采用线路变压器组接线

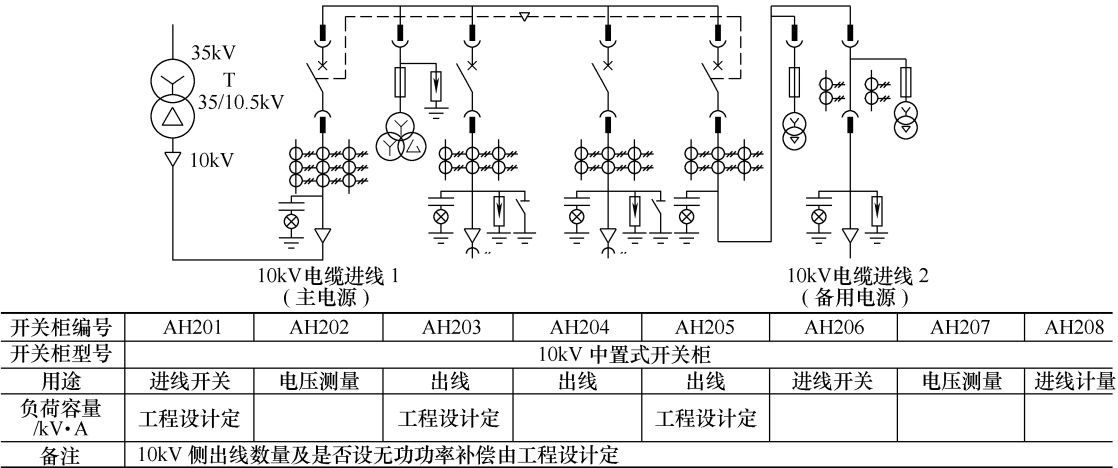


图 4-14 变压器二次侧采用单母线接线

2) 35kV 单电源进线，装有两台主变压器的变电所，其变压器一次侧采用单母线接线，二次侧采用分段单母线接线，如图 4-15 和图 4-16 所示。

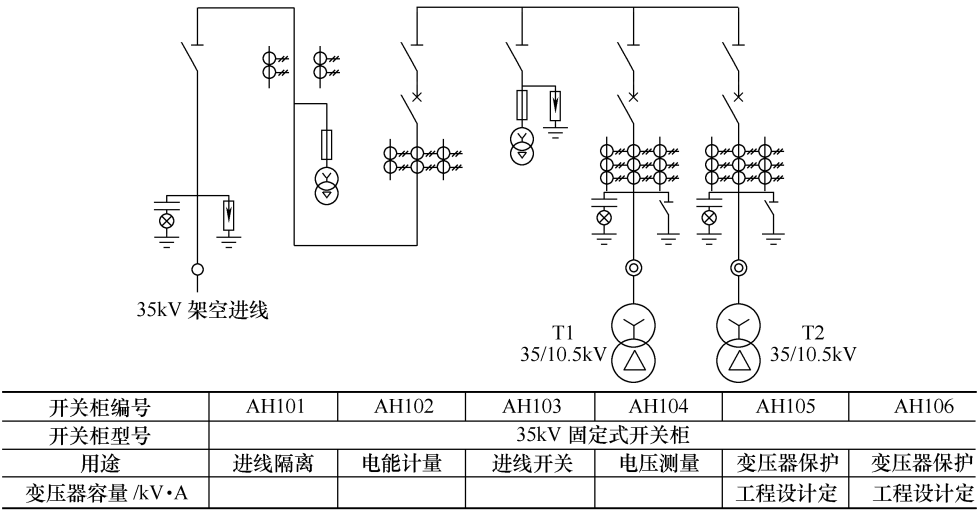


图 4-15 35kV 单电源进线，变压器一次侧采用单母线接线

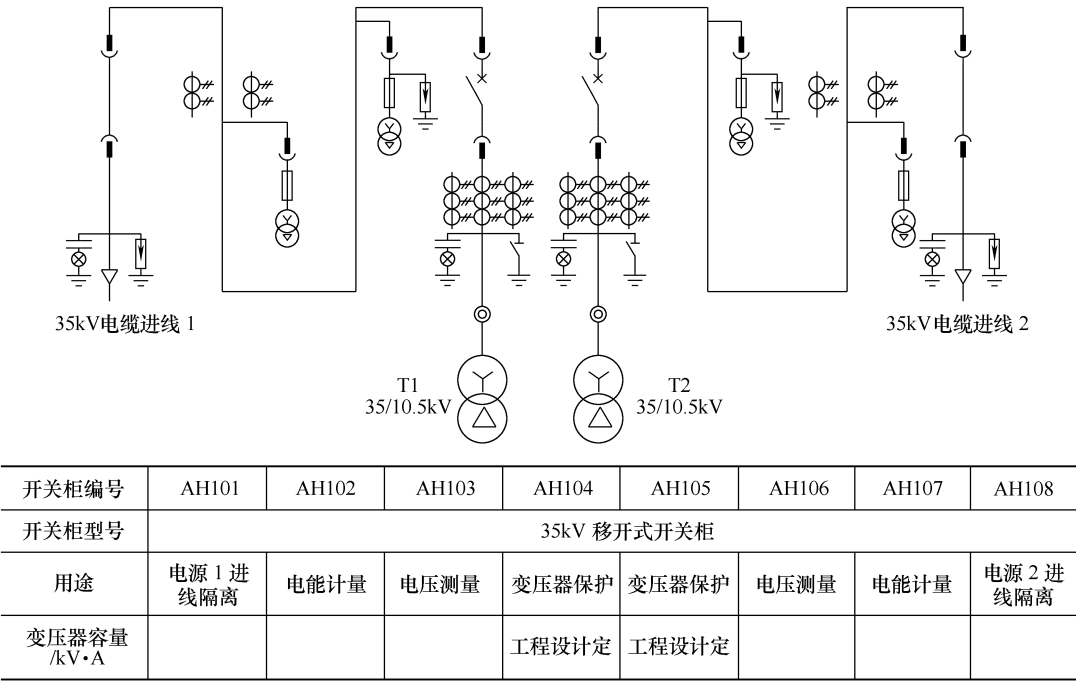
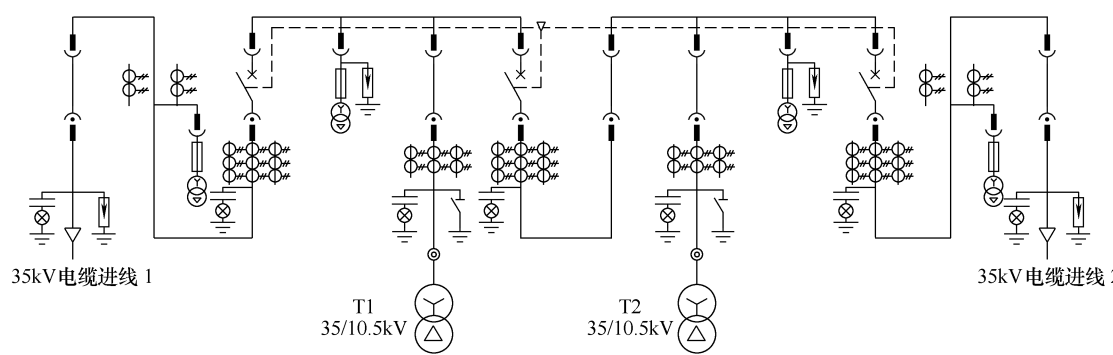


图 4-16 35kV 双电源进线，变压器一次侧采用双回路变压器组接线

3) 35kV 双电源进线，装有两台主变压器的变电所，其变压器一次侧可采用双回路变压器组接线（见图 4-16）或内桥式接线（见图 4-17），变压器二次侧则应采用分段单母线接线（见图 4-18）。当变电所重要或有 35kV 出线，变压器一次侧也可采用分段单母线接线（见图 4-19）。



开关柜编号	AH101	AH102	AH103	AH104	AH105	AH106	AH107	AH108	AH109	AH110	AH111	AH112
开关柜型号	35kV 移开式开关柜											
用途	电源 1 进线隔离	电能 计量	进线 开关	电压 测量	变压器	桥开关	隔离	变压器	电压 测量	进线 开关	电能 计量	电源 2 进 线隔离
变压器容量 /kV·A					工程设 计定			工程设 计定				

图 4-17 35kV 双电源进线，变压器一次侧采用内桥式接线

4.2.3 变配电所的布置

1. 变配电所总体布置的基本要求

变配电所的布置是在其位置与数量，电气主接线，变压器型式、数量及容量确定的基础上进行的，且与变配电所的类型密切相关。变配电所总体布置应满足的基本要求见表 4-11。

2. 变配电所的布置方案

35/10 (6)kV 室内变电所的常见总体布置方案如图 4-20 所示。10 (6)/0.38kV 室内变电所的常见总体布置方案如图 4-21 所示。

3. 变压器室的布置

1) 变压器外廓（防护外壳）与变压器室墙壁和门的净距不应小于表 4-12 的规定。

表 4-11 变配电所总体布置应满足的基本要求

序号	原 则	基 本 要 求
1	便于运行维护和检修	1. 有人值班的变配电所，一般应设值班室。值班室应尽量靠近高低压配电室，且有门直通。如值班室靠近高压配电室有困难时，则值班室可经走廊与高压配电室相通 2. 值班室也可以与低压配电室合并，但在放置值班工作桌的一面或一端，低压配电装置到墙的距离不应小于 3m 3. 主变压器应靠近交通运输方便的马路侧。条件许可时，可单设工具材料或检修间 昼夜值班的变配电所，应设休息室。有人值班的独立变配电所，宜设有厕所和给水排水设施
2	保证运行安全	1. 值班室内不得有高压设备，值班室的门应外开。高低压配电室和电容器室的门应朝值班室开，或外开 2. 油量为 100kg 及以上的变压器应装设在单独的变压器室内。变压器室的大门应朝马路开，但应避免朝向露天仓库。在炎热地区，应避免朝西开门 3. 变电所宜单层布置。当采用双层布置时，变压器应设在底层 4. 高压电容器组一般应装设在单独的房间内。但数量较少时，可装设在高压配电室内。低压电容器组可装设在低压配电室内，但数量较多时，以装设在单独的房间内 5. 所有带电部分隔墙和离地的尺寸以及各室维护操作通道的宽度等，均应符合有关规程的要求，以确保运行安全
3	便于进出线	1. 如果是架空进线，则高压配电室宜位于进线侧 2. 考虑到变压器低压出线通常是采用矩形裸母线，因此变压器的安装位置（户内式变电所）即为变压器室，宜靠近低压配电室
4	节约土地与建筑费用	1. 值班室可与低压配电室合并，这时低压配电室面积应适当增大，以便安置值班桌或控制台，满足运行值班的要求 2. 高压开关柜不多于 6 台时，可与低压配电屏设置在同一房间内，但高压柜与低压屏的间距不得小于 2m 3. 不带可燃油的高低压配电装置和非油浸电力变压器，可设置在同一房间内 4. 具有符合 IP3X 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电力变压器，当环境允许时，可相互靠近布置在车间内 5. 周围环境正常的变电所，宜采用露天或半露天变电所 6. 高压配电所应尽量与邻近的车间变电所合建
5	适应发展要求	1. 变压器室应考虑到扩建时有更换大一级容量变压器的可能 2. 高低压配电室内均应留有一定数量开关柜（屏）的备用位置 3. 既要考虑到变电所留有扩展的余地，又要不妨碍工厂或车间今后的发展

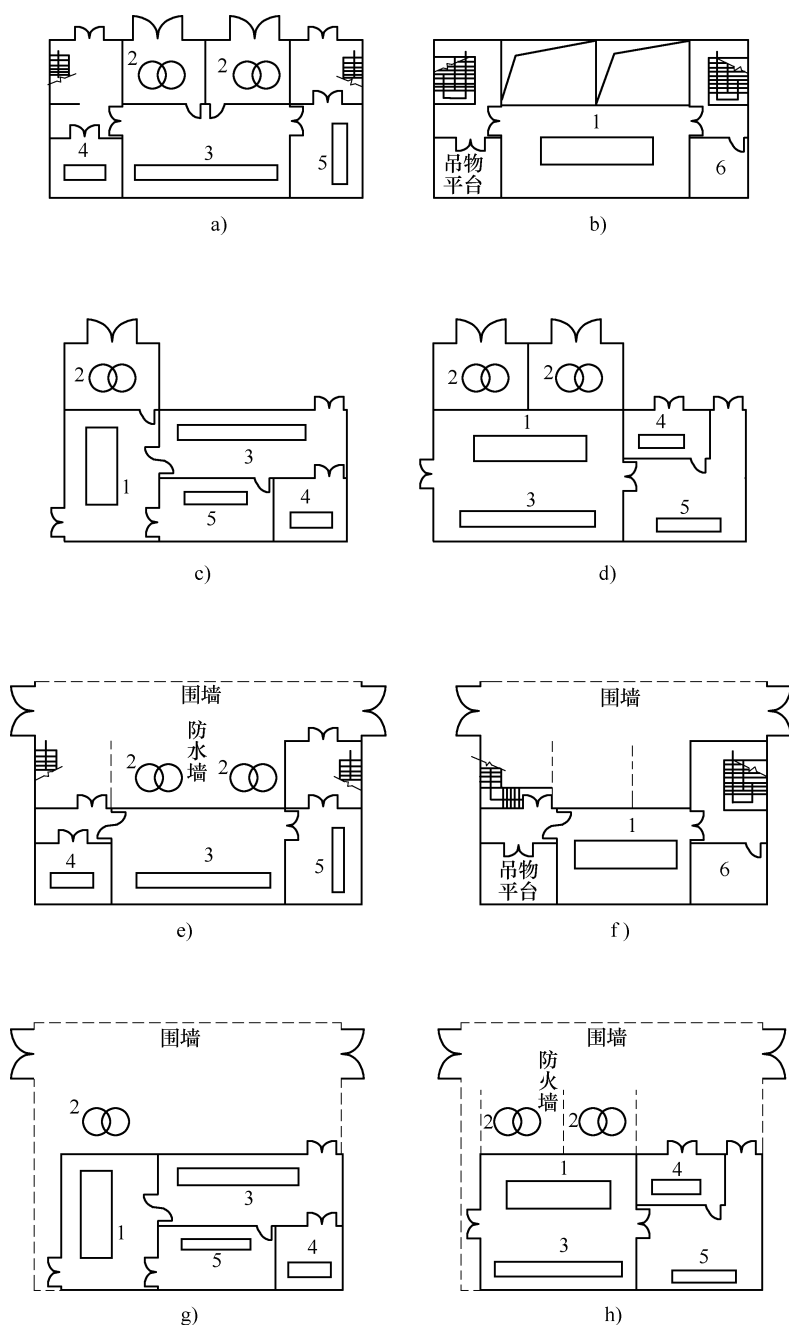


图 4-20 35/10 (6) kV 室内变电所的常见总体布置方案

a) 全户内双层布置 (一层) b) 全户内双层布置 (二层) c) 全户内单层分室布置

d) 全户内单层同室布置 e) 半户内双层布置 (一层) f) 半户内双层布置 (二层)

g) 半户内单层分室布置 h) 半户内单层同室布置

1—35kV 开关柜 2—变压器 3—10 (6) kV 开关柜 4—电容器 5—控制室 6—休息室

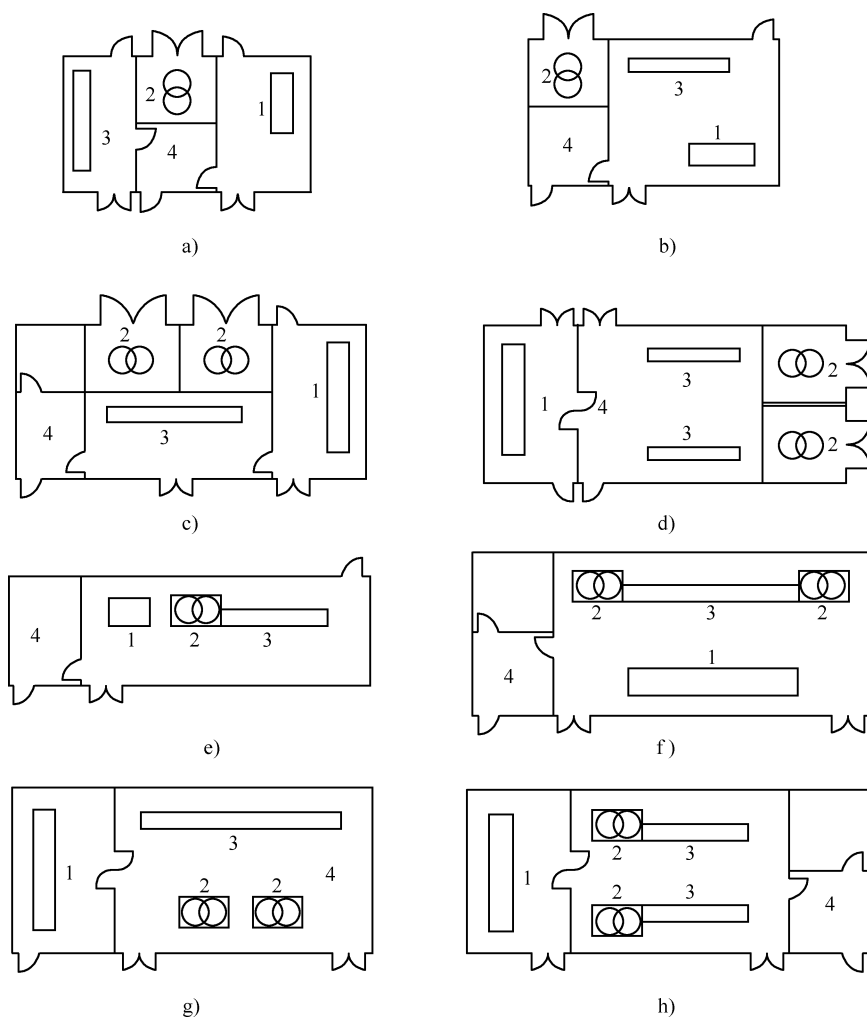


图 4-21 10 (6)/0.38kV 室内变电所的常见总体布置方案

- a) 一台油浸式变压器，高低压配电室分设 b) 一台油浸式变压器，高低压配电室合一
c) 两台油浸式变压器，设值班室 d) 两台油浸式变压器，低压配电室兼值班室
e) 一台干式变压器，与高低压配电装置设于同一房间 f) 两台干式变压器，与高低压配电装置设于同一房间
g) 两台干式变压器，与低压配电装置设于同一房间 h) 两台干式变压器，与低压配电装置设于同一房间
1—高压开关柜 2—变压器 3—低压配电屏 4—值班室

表 4-12 变压器外廓（防护外壳）与变压器室墙壁和门的最小净距 （单位：m）

项目	变压器容量/kV · A	
	100 ~ 1000	1250 ~ 1600
油浸变压器外廓与后壁、侧壁净距	0.6	0.8
油浸变压器外廓与门净距	0.8	1.0
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	0.6	0.8
干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与门净距	0.8	1.0

注：表中各值不适用于制造厂的成套产品。

2) 多台干式变压器布置在同一房间内时，变压器防护外壳间的净距不应小于表 4-13 及

图 4-22 和图 4-23 的规定（表 4-13 中的 A 、 B 值参见图 4-22、图 4-23）。

表 4-13 变压器防护外壳间的最小净距 (单位: m)

变压器容量/ $\text{kV} \cdot \text{A}$		100 ~ 1000	1250 ~ 2500
项目			
变压器侧面具有 IP2X 防护等级及以上的金属外壳	A	0.6	0.8
变压器侧面具有 IP3X 防护等级及以上的金属外壳	A	可贴邻布置	可贴邻布置
考虑变压器外壳之间有一台变压器拉出防护外壳	$B^{\text{①}}$	变压器宽度 $b + 0.6$	变压器宽度 $b + 0.6$
不考虑变压器外壳之间有一台变压器拉出防护外壳	B	1.0	1.2

① 当变压器外壳的门为不可拆卸式时，其 B 值应是门扇的宽度 c 加变压器宽度 b 之和再加 0.3m。

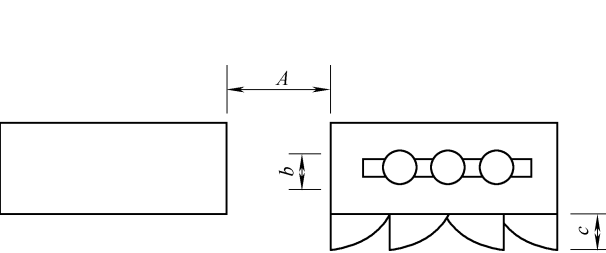


图 4-22 多台干式变压器之间的 A 值

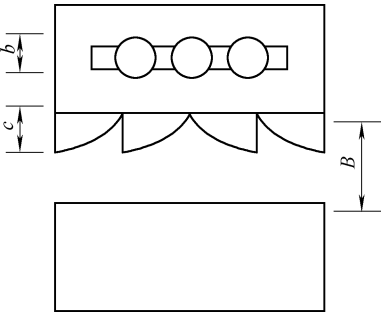


图 4-23 多台干式变压器之间的 B 值

4. 配电室的布置

1) 配电装置室内各种通道的净宽不应小于表 4-14 的规定。

表 4-14 配电装置室内各种通道的最小净宽 (单位: m)

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
单排布置	0.8	1.5	单车长度 + 1.2
双排面对面布置	0.8	2.0	双车长度 + 0.9
双排背对背布置	1.0	1.5	单车长度 + 1.2

注：1. 固定式开关柜为靠墙布置时，柜后与墙净距应大于 0.05m，侧面与墙净距应大于 0.2m。

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 0.2m。

2) 成排布置的配电屏，其屏前和屏后的通道净宽不应小于表 4-15 的规定。

表 4-15 配电屏前后的通道净宽 (单位: m)

布置方式	单排布置		双排对面布置		双排背对背布置	
	屏前	屏后	屏前	屏后	屏前	屏后
固定式	1.5	1.0	2.0	1.0	1.5	1.5
抽屉式	1.8	1.0	2.3	1.0	1.8	1.0
控制屏（柜）	1.5	0.8	2.0	0.8	—	—

3) 屋外配电装置的安全净距不应小于表 4-16 所列数值。电气设备外绝缘体最低部位距

地小于 2500mm 时，应装设固定遮栏。

表 4-16 屋外配电装置的安全净距 (单位: mm)

符号	适应范围	系统标称电压/kV					
		3 ~ 10	15 ~ 20	35	66	110J	110
A_1	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状遮栏向上延伸线距地 2.5m 处与遮栏上方带电部分之间	200	300	400	650	900	1000
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	200	300	400	650	1000	1100
B_1	1. 设备运输时，其设备外廓至无遮栏带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 3. 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间 4. 带电作业时带电部分至接地部分之间	950	1050	1150	1400	1650	1750
B_2	网状遮栏至带电部分之间	300	400	500	750	1000	1100
C	1. 无遮栏裸导体至地面之间 2. 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	2700	2800	2900	3100	3400	3500
D	1. 平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 2. 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	2200	2300	2400	2600	2900	3000

注: 1. 110J 指中性点有效接地系统。
2. 海拔超过 1000m 时, A_1 、 A_2 值应进行修正。
3. 本表所列各值不适用于制造厂的成套配电装置。
4. 带电作业时, 不同相或交叉的不同回路带电部分之间, 其 B_1 值可在 A_2 值上加 750mm。

4) 屋外配电装置的安全净距, 应按图 4-24、图 4-25 和图 4-26 校验。

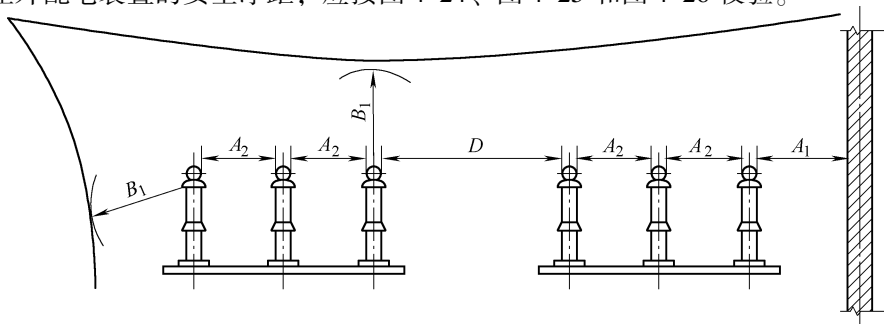


图 4-24 屋外 A_1 、 A_2 、 B_1 、 D 值校验

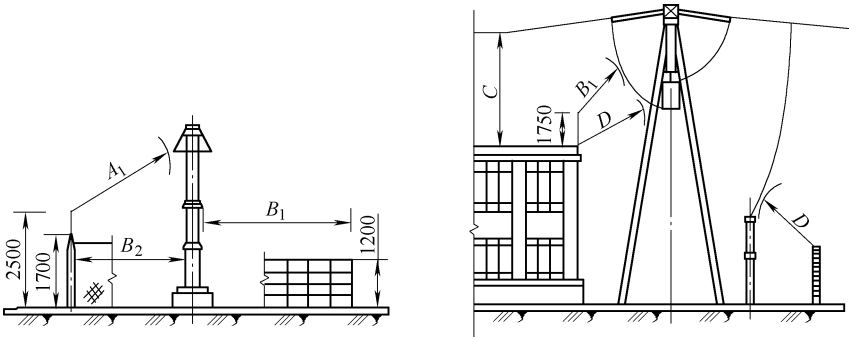


图 4-25 屋外 A_1 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 值校验

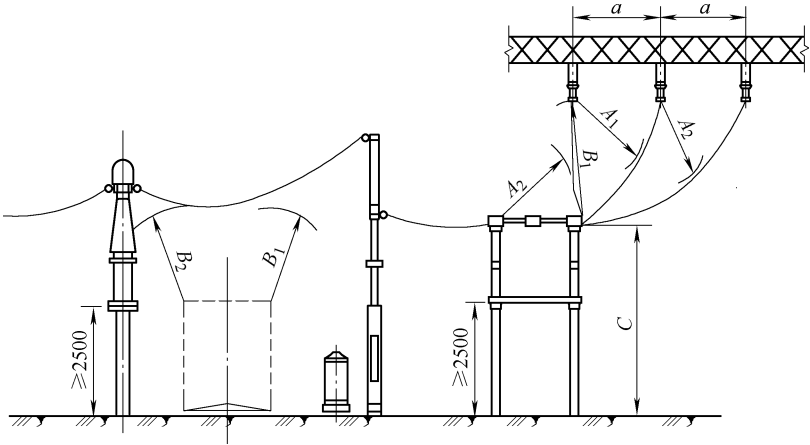


图 4-26 屋外 A_2 、 B_1 、 C 值校验

注： a 为不同相带电部分之间的距离。

5) 屋外配电装置使用软导线时, 在不同条件下, 带电部分至接地部分和不同相带电部分之间的最小安全净距, 应根据表 4-17 进行校验, 并应采用最大值。

表 4-17 带电部分至接地部分和不同相带电部分之间的最小安全净距 (单位: mm)

条件	校验条件	设计风速 /(m/s)	A 值	系统标称电压/kV			
				35	66	110J	110
雷电过电压	雷电过电压和风偏	10 ^①	A_1	400	650	900	1000
			A_2	400	650	1000	1100
工频过电压	1. 最大工作电压、短路和风偏 (取 10m/s 风速)	10 或最大 设计风速	A_1	150	300	300	450
	2. 最大工作电压和风偏 (取最大设计风速)		A_2	150	300	500	500

① 在最大设计风速为 35m/s 及以上, 以及雷暴时风速较大等气象条件恶劣的地区应采用 15m/s。

6) 屋内配电装置的安全净距不应小于表 4-18 所列数值。电气设备外绝缘体最低部位距地小于 2300mm 时, 应装设固定遮栏。

表 4-18 屋内配电装置的安全净距

(单位: mm)

符号	适应范围	系统标称电压/kV								
		3	6	10	15	20	35	66	110J	110
A_1	1. 带电部分至接地部分之间 2. 网状和板状遮栏向上延伸线距地 2300mm 处与遮栏上方带电部分之间	75	100	125	150	180	300	550	850	950
A_2	1. 不同相的带电部分之间 2. 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	75	100	125	150	180	300	550	900	1000
B_1	1. 栅状遮栏至带电部分之间 2. 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	825	850	875	900	930	1050	1300	1600	1700
B_2	网状遮栏至带电部分之间	175	200	225	250	280	400	650	950	1050
C	无遮栏裸导体至地(楼)面之间	2500	2500	2500	2500	2500	2600	2850	3150	3250
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	1875	1900	1925	1950	1980	2100	2350	2650	2750
E	通向屋外的出线套管至屋外通道的路面	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4500	5000	5000

注: 1. 110J 指中性点有效接地系统。

2. 海拔超过 1000m 时, A_1 、 A_2 值应进行修正。3. 当为板状遮栏时, B_2 值可在 A_1 值上加 30mm。4. 通向屋外配电装置的出线套管至屋外地面的距离, 不应小于表 4-16 中所列屋外部分的 C 值。

5. 本表所列各值不适用于制造厂的产品设计。

7) 屋内配电装置的安全净距应按图 4-27 和图 4-28 校验。

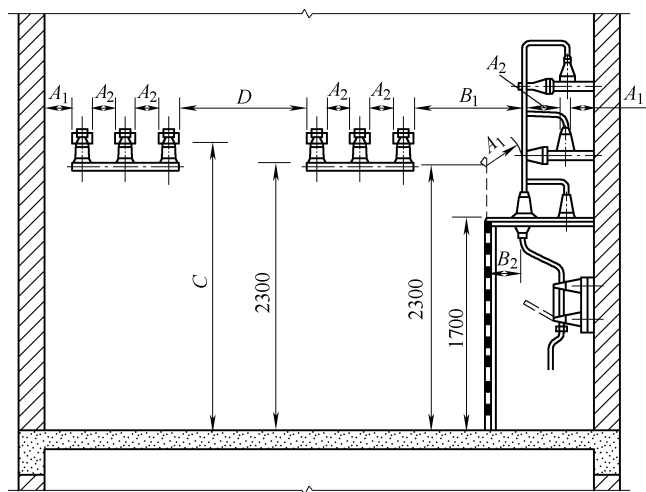


图 4-27 屋内 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 值校验

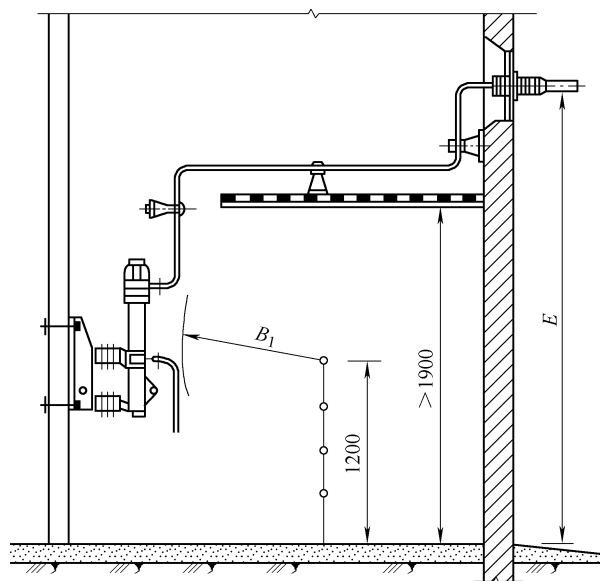


图 4-28 屋内 B_1 、 E 值校验

5. 典型变电所的布置

典型的独立变电所及地下变电所的布置形式如图 4-29 和图 4-30 所示。

4.3 继电保护装置

4.3.1 继电保护装置的构成

继电保护装置一般由测量元件、逻辑元件和执行元件三部分组成，如图 4-31 所示。

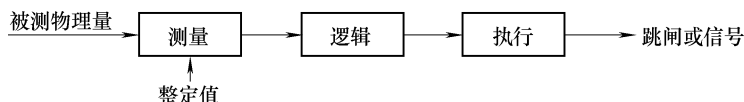


图 4-31 继电保护装置的构成

4.3.2 继电保护装置的基本要求

继电保护装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。这四个要求之间紧密联系，既矛盾又统一，见表 4-19。

表 4-19 继电保护装置的基本要求

序号	基本要求	具体内容
1	可靠性	指继电保护装置在保护范围内该动作时应可靠动作，在正常运行状态时，不该动作时应可靠不动作。任何电力设备（线路、母线、变压器等）都不允许在无继电保护的状态下运行，可靠性是对继电保护装置性能的最根本的要求
2	选择性	指首先由故障设备或线路本身的保护切除故障，当故障设备或线路本身的保护或断路器拒动时，才允许由相邻设备保护、线路保护或断路器失灵保护来切除故障。上、下级电网（包括同级）继电保护之间的整定，应遵循逐级配合的原则，以保证电网发生故障时有选择性地切除故障。切断系统中的故障部分，而其他非故障部分仍然继续供电
3	灵敏性	指在设备或线路的被保护范围内发生金属性短路时，保护装置应具有必要的灵敏系数（规程中有具体规定）。通过继电保护的整定值来实现。整定值的校验一般一年进行一次
4	速动性	指保护装置应尽快切除短路故障，其目的是提高系统稳定性，减轻故障设备和线路的损坏程度，缩小故障波及范围，提高自动重合闸和备用设备自动投入的效果

4.3.3 继电保护设计

1. 电流保护的接线方式

1) 三相三继电器完全星形联结应采用三只电流互感器和三只电流继电器，电流互感器的二次绕组与电流继电器的线圈分别接成星形联结，如图 4-32 所示。

2) 两相两继电器不完全星形联结如图 4-33 所示。

3) 两相一继电器差动式联结，如图 4-34 所示。

4) 两相三继电器的完全星形联结，如图 4-35 所示。

2. 保护配置

1) 6 ~ 10kV 线路的继电保护配置见表 4-20。

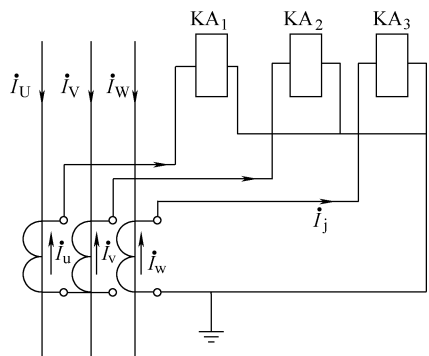


图 4-32 三相三继电器的完全星形联结

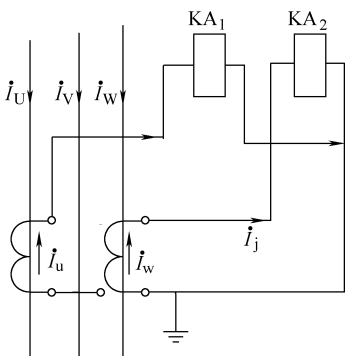


图 4-33 两相两继电器不完全星形联结

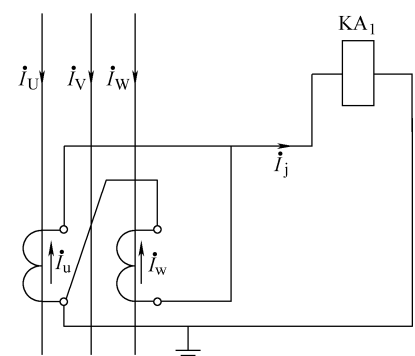


图 4-34 两相一继电器差动式联结

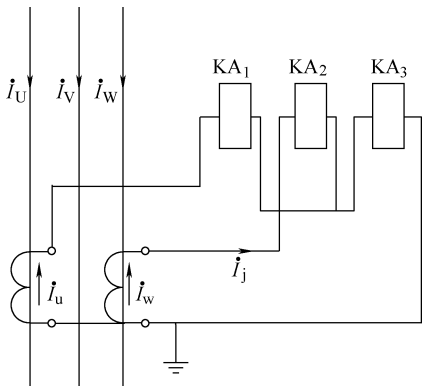


图 4-35 两相三继电器的完全星形联结

表 4-20 6~10kV 线路的继电保护配置

被保护线路	保护装置名称				说 明
	无时限电流速断保护 ^①	带时限速断保护	过电流保护	单相接地保护	
单侧电源放射式单回线路	自重要配电所引出的线路装设	当无时限电流速断不能满足选择性动作时装设	装设	根据需要装设	当过电流保护的时限不大于 0.5~0.7s，且没有保护配合上的要求时，可不装设电流速断保护

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

2) 电力变压器的继电保护配置见表 4-21。

表 4-21 电力变压器的继电保护配置

变压器容量 /kV·A	保护装置名称							备 注
	带时限的 ^① 过电流保护	电流速断保护	纵联差动保护	单相低压侧接地保护 ^②	过负荷保护	瓦斯保护	温度保护	
<400	—	—	—	—	—	≥315kV·A 的车间内油浸变压器装设	—	一般用高压熔断器保护

(续)

变压器 容量 /kV · A	保护装置名称							备 注	
	带时限的 ^① 过电流保护	电流速断保护	纵联差动保护	单相低电压侧 接地保护 ^②	过负荷保护	瓦斯保护	温度 保护		
400 ~ 630	高压侧采用 断路器时装设	高压侧采用 断路器且过电 流保护时限大 于 0.5s 时装设	—	装设	并联运行的 电压器装设, 作为其他备用 电源的变压器 根据过负荷的 可能性装设 ^③	车间内变压 器装设	—	一般采用 GL 型继电器兼作 过电流及电流 速断保护	
800			—			装设			
1000 ~ 1600		过电流保护 时限大于 0.5s 时装设	—				—		电压器装设, 作为其他备用 电源的变压器 根据过负荷的 可能性装设 ^③
2000 ~ 5000	当电流速断 保护不能满足 灵敏性要求时 时装设		—	装设					
6300 ~ 8000	单独运行的 变压器或负荷 不太重要的变 压器装设							并列运行的 变压器或重要 变压器或当电 流速断保护不 能满足灵敏性 要求时装设	
≥10000	装设	—				装设		—	

① 带时限的过电流保护不能满足灵敏性要求时,应采用低电压闭锁的带时限过电流保护。

② 当利用高压侧过电流保护及低压侧出线断路器不能满足灵敏性要求时,应装设变压器中性线上的零序过电流保护。

③ 低压电压为 230/400V 的变压器,当低压侧出线断路器带有过负荷保护时,可以装设专用的过负荷保护。

3) 6 ~ 10kV 电力电容器的继电保护配置见表 4-22。

表 4-22 6 ~ 10kV 电力电容器的继电保护配置

被保护 设备	保护装置名称									备 注
	带有短延 时的速断 保护	过电流 保护	过负荷 保护	横差 保护	中性线不 平衡电流 保护	开口三角 电压保护	过电压 保护	低电压 保护	单相接 地保护	
电容 器组	装设	装设	宜装设		对电容器内部故障及其引出 线短路采用专用的熔断器保护 时,可不装设		当电压可 能超过 110% 额 定 值 时, 宜装设	宜装设	电容器与 支架绝缘 时可不装 设	当电容器组的 容量在 400kvar 以内时,可以用 带熔断器的负荷 开关进行保护

4) 6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护配置见表 4-23。

表 4-23 6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称		说 明
	电流速断保护	过电流保护	
不并列运行的分段母线	仅在分段断路器合闸瞬间投 入,合闸后自动解除	装设	1) 采用反时限过电流保护时,继 电器瞬动部分应解除 2) 对出线不多的二、三级负荷供 电的配电所母线断路器分段,可不设 保护装置,设手动联络开关

3. 保护整定计算

1) 6~10kV 线路的继电保护整定计算公式见表 4-24。

表 4-24 6~10kV 线路的继电保护整定计算公式

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
过电流保护	动作电流、动作时限	1. 动作电流 (应躲过线路的过负荷电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I_{gh}}{K_h n_1} \text{ A}$ 2. 灵敏系数 (按最小运行方式下线路末端两相短路电流校验): $K_m = \frac{I''_{2k2min}}{I_{dz}} \geq 1.5$ 3. 动作时限, 应较相邻元件的过电流保护大一时限阶段, 一般大 0.5~0.7s	K_k——可靠系数, 用于过电流保护时, DL 型和 GL 型继电器分别取 1.2 和 1.3, 用于电流速断保护时分别取 1.2 和 1.5, 用于单相接地保护时, 无时限取 4~5, 有时限取 1.5~2; K_{jx}——接线系数, 接于相电流时取 1, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$; K_h——继电器返回系数, 取 0.85; n_1——电流互感器的电流比; I_{gh}——线路过负荷 (包括电动机起动所引起的) 电流 (A); I''_{2k2min}——最小运行方式下, 线路末端两相短路稳态电流 (A); I_{dz}——保护装置一次动作电流 (A): $I_{dz} = I_j \frac{n_1}{K_{jx}};$
无时限电流速断保护	动作电流	1. 动作电流 (应躲过线路末端短路时最大三相短路电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I''_{2k3max}}{n_1} \text{ (A)}$ 2. 灵敏系数 (按最小运行方式下线路始端两相短路电流校验): $K_m = \frac{I''_{1k2min}}{I_{dz}} \geq 2$	I''_{2k3max}——最大运行方式下线路末端三相短路超瞬变电流 (A); I''_{1k2min}——最小运行方式下线路始端两相短路超瞬变电流 (A);
带时限电流速断保护	动作电流、动作时限	1. 动作电流 (应躲过相邻元件末端短路时的最大三相短路电流或与相邻元件的电流速断保护的电流速断保护的电流相配合, 按两个条件中较大者整定): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I_{3k3max}}{n_1} \text{ (A)}$ 或 $I_j = K_{pk} K_{jx} \frac{I_{dz3}}{n_1} \text{ (A)}$ 2. 灵敏系数与无时限电流速断保护的公式相同 3. 动作时限, 应较相邻元件的电流速断保护大一个时限阶段, 一般大 0.5~0.7s	K_{pk}——配合系数, 取 1.1; I_{dz3}——相邻元件的电流速断保护的一次动作电流 (A); I_{3k3max}——最大运行方式下相邻元件末端三相短路稳态电流 (A); I_{cx}——被保护线路外部发生单相接地故障时, 从被保护元件流出的电容电流 (A);
单相接地保护	动作电流	一次动作电流 (按躲过被保护线路外部单相接地故障时, 从被保护元件流出的电容电流及按最小灵敏系数 1.25 整定): $I_{dz} \geq K_k I_{cx} \text{ (A)}$ 和 $I_{dz} \leq \frac{I_{e\sum} - I_{cx}}{1.25} \text{ (A)}$	$I_{e\sum}$——电网的总单相接地电容电流 (A)

(续)

1. 当保证母线上具有规定的残余电压时, 线路的最小允许长度按下式计算:

$$K_x = \frac{-\beta K_1 + \sqrt{1 + \beta^2 - K_1^2}}{\sqrt{1 + \beta^2}}$$

$$l_{\min} = \frac{X_{x\min}}{R_1} \frac{-\beta + \sqrt{\frac{K_k^2 \alpha^2}{K_x^2} (1 + \beta^2) - 1}}{1 + \beta^2}$$

式中 K_x ——计算运行方式下电力系统最小综合电抗 $X_{x\min}$ 上的电压与额定电压之比;

β ——每千米线路的电抗 X_1 与有效电阻 R_1 之比;

K_1 ——母线上残余相间电压与额定相间电压之比, 其值等于母线上最小允许残余电压与额定电压之比, 取 0.6;

R_1 ——每千米线路的有效电阻 (Ω/km);

$X_{x\min}$ ——按电力系统在最大运行方式下, 在母线上的最小综合电抗 (Ω);

K_k ——可靠系数, 一般取 1.2;

α ——表示电力系统运行方式变化的系数, 其值等于电力系统最小运行方式时的综合电抗 $X_{*x\max}$ 与最大运行方式时的综合电抗 $X_{*x\min}$ 之比

2. 电动机自启动时的过负荷电流按下式计算:

$$I_{gh} = K_{gh} I_{gxl} = \frac{I_{gxl}}{u_k + Z_{*ll} + \frac{S_{NT}}{K_q S_{M\Sigma}}}$$

式中 I_{gxl} ——线路工作电流 (A);

K_{gh} ——需要自启动的全部电动机, 在启动时所引起的过电流倍数;

u_k ——变压器阻抗电压相对值;

Z_{*ll} ——以变压器额定容量为基准的线路阻抗标么值;

S_{NT} ——变压器额定容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$);

$S_{M\Sigma}$ ——需要自启动的全部电动机容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$);

K_q ——电动机启动时的电流倍数

2) 电力变压器的电流保护整定计算公式见表 4-25。

表 4-25 电力变压器的电流保护整定计算公式

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
过电流保护	动作电流、动作时限	1. 动作电流 (应躲过可能出现的过负荷电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{K_{gh} I_{1NT}}{K_h n_1} \text{ (A)}$ 2. 灵敏系数 [按电力系统最小运行方式下, 低压侧两相短路时流过高压侧 (保护安装处) 的短跳电流校验]: $K_m = \frac{I_{2k2\min}}{I_{dz}} \geq 1.5$ 3. 动作时限 (应与下一级保护动作时限相配合), 一般取 0.5 ~ 0.7 s	K_k——可靠系数, 用于过电流保护时, DL 型和 GL 型继电器分别取 1.2 和 1.3, 用于电流速断保护时分别取 1.3 和 1.5, 用于低压侧单相接地保护时 (在变压器中性线上装设的) 取 1.2, 用于过负荷保护时取 1.05 ~ 1.1; K_{jx}——接线系数, 接于相电流时取 1, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$; K_h——继电器返回系数, 取 0.85; K_{gh}——过负荷系数^①, 包括电动机自启动引起的过电流倍数, 一般取 2 ~ 3, 当无自启动电动机时取 1.3 ~ 1.5; n_1——电流互感器的电流比; I_{1NT}——变压器高压侧的额定电流 (A);
电流速断保护	速动电流	1. 动作电流 (应躲过低压侧短路时, 流过保护装置的最大短路电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I_{2k3\max}''}{n_1} \text{ (A)}$ 2. 灵敏系数 (按系统最小运行方式下, 保护装置安装处两相短路电流校验): $K_m = \frac{I_{1k2\min}''}{I_{dz}} \geq 2$	

(续)

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
过负荷保护	动作电流、动作时限	1. 动作电流 (应躲过变压器额定电流): $I_j = K_{ks} \frac{I_{1NT}}{K_h n_1} \text{ (A)}$ 2. 动作时限 (应躲过允许的短时工作过负荷时间, 如电动机启动或自启动的时间): 一般定时限取 9 ~ 15s	I_{2k2min} ——最小运行方式下变压器低压侧两相短路时, 流过高压侧 (保护安装处) 的稳态电流 (A); I_{dz} ——保护装置一次侧动作电流 (A); $I_{dz} = I_j \frac{n_1}{K_{js}}$
低电压起动的带时限过电流保护	动作电流、动作电压、动作时限	1. 动作电流 (应躲过变压器额定电流): $I_j = K'_k K_{ks} \frac{I_{1NT}}{K'_h n_1} \text{ (A)}$ 动作电压: $U_j = \frac{U_{min}}{K_k K_h n_v} \text{ (V)}$ 2. 灵敏系数 (电流部分) 与过电流保护相同 3. 灵敏系数 (电压部分): $K_m = \frac{U_{dz1}}{U_{skmax}} = \frac{U_j n_v}{U_{skmax}}$ 4. 动作时限与过电流保护相同	I'_{2k3max} ——最大运行方式下变压器低压侧三相短路时, 流过高压侧 (保护安装处) 的超瞬变电流 (A); I'_{1k2min} ——最小运行方式下保护装置安装处两相短路超瞬变电流 (A); K'_k ——可靠系数, 取 1.2; K'_h ——继电器返回系数, 取 1.15; n_v ——电压互感器的电压比; U_{min} ——运行中可能出现的最低工作电压 (如电力系统电压降低, 大容量电动机启动及电动机自启动时引起的电压降低), 一般取 0.5 ~ 0.7 U_{NT} (U_{NT} 为变压器高压侧母线额定电压); U_{skmax} ——保护安装处的最大剩余电压 (V);
低压侧单相接地保护 (利用高压侧三相式过电流保护)	动作电流、动作时限	1. 动作电流和动作时限与过电流保护相同 2. 灵敏系数 [按最小运行方式下, 低压侧母线或母干线末端单相接地时, 流过高压侧 (保护安装处) 的短路电流校验]: $K_m = \frac{I_{2k1min}}{I_{dz}} \geq 1.5$	U_{skmax} ——保护安装处的最大剩余电压 (V); I_{2k1min} ——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地短路时, 流过高压侧 (保护安装处) 的稳态电流 (A); $I_{2k1min} = \frac{2}{3} I_{2k1min} / n_T$
低压侧单相接地保护 ^② (采用在低压侧中性线上装设专用的零序保护)	动作电流动作时限	1. 动作电流 (应躲过正常运行时, 变压器中性线上流过的最大不平衡电流, 其值不超过额定电流的 25%): $I_j = K_k \frac{0.25 I_{2NT}}{n_1} \text{ (A)}$ 2. 动作电流尚应与低压出线上的零序保护相配合: $I_j = K_{ph} \frac{I_{dzfz}}{n_1} \text{ (A)}$ 3. 灵敏系数 (按最小运行方式下, 低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流校验): $K_m = \frac{I_{2k1min}}{I_{dz}} \geq 1.5$ 4. 动作时限一般取 0.5s	I_{2k1min} ——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流 (A); n_T ——变压器电流比; K_{ph} ——配合系数, 取 1.1; I_{dzfz} ——低压分支线上零序保护的動作电流 (A); I_{2NT} ——变压器低压侧额定电流

① 带有自启动电动机的变压器, 其过负荷系数按电动机的自启动电流确定。当电源侧装设自动重合闸或备用电源自动投入装置时, 可近似地用下式计算:

$$K_{gh} = \frac{1}{u_k + \left(\frac{380}{400}\right)^2 \frac{S_{NT}}{K_q S_{M\Sigma}}}$$

式中 u_k ——变压器的阻抗电压相对值;

S_{NT} ——变压器的额定容量 (kV · A);

$S_{M\Sigma}$ ——需要自启动的全部电动机的总容量 (kV · A);

K_q ——电动机的启动电流倍数, 一般取 5。

② Yyn0 接线变压器采用在低压侧中性线上装设专用零序互感器的低压侧单相接地保护, 而 Dyn11 接线变压器可不装设

3) 6~10kV 电力电容器的继电保护整定计算公式见表 4-26。

表 4-26 6~10kV 电力电容器的继电保护整定计算公式

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
单相接地保护	一次动作电流	一次动作电流 (按最小灵敏系数 1.5 整定): $I'_{dz} \leq \frac{I_{c\Sigma}}{1.5}$	$I_{c\Sigma}$ ——电网的总单相接地电容电流 (A); K_k ——可靠系数, 取 2~2.5; K_{jx} ——接线系数, 接于相电流时取 1, 接于相电流差时取 $\sqrt{3}$; n_1 ——电流互感器的电流比; I_{NC} ——电容器组额定电流 (A); I'_{k2min} ——最小运行方式下电容器组首端两相短路时, 流过保护安装处的超瞬变电流 (A); I_{dz} ——保护装置一次侧动作电流 (A); $I_{dz} = \frac{I_j n_1}{K_{jx}}$
无时限或带时限过电流保护	动作电流、动作时限	1. 动作电流 (应躲过电容器组接通电路时的冲击电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I_{NC}}{n_1} \text{ (A)}$ 2. 灵敏系数 (按最小运行方式下, 电容器组首端两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验): $K_m = \frac{I'_{k2min}}{I_{dz}} \geq 1.5$ 3. 动作时限, 可不带时限或带短时限 (0.2s 及以上)	I_{bp} ——最大不平衡电流, 由测试决定 (A); Q ——单台电容器额定容量 (kvar); β_C ——单台电容器的元件击穿相对数, 取 0.5~0.75; U_{NC} ——电容器额定电压 (kV); m ——每相各串联段电容器并联台数; n ——每相电容器的串联段数; U_N ——电容器组的额定相电压 (V); n_V ——电压互感器的电压比; U_{N2} ——电压互感器的二次额定电压 (V), 其值为 100V; K_{min} ——系统正常运行母线电压可能出现的最低电压系数, 一般取 0.5
横联差动保护 (双三角形联结)	动作电流	动作电流 (应躲过正常时, 电流互感器二次侧差动回路中的最大不平衡电流, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 $K_m \geq 1.5$): $I_j \geq K_k I_{bp} \text{ (A)}$ $I_j \leq \frac{Q \beta_C}{U_{NC} (1 - \beta_C)} \frac{1}{n_1 K_m} \text{ (A)}$	
中性线不平衡电流保护 (双星形联结)	动作电流	动作电流 (应躲过正常时, 中性线上电流互感器二次回路中的最大不平衡电流, 及当单台电容器内部 50%~70% 串联元件击穿时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 $K_m \geq 1.5$): $I_j \geq K_k I_{bp} \text{ (A)}$ $I_j \leq \frac{1}{K_m n_1} \frac{3m \beta_C I_{NC}}{\{6n[m(1 - \beta_C) + \beta_C] - 5\beta_C\}} \text{ (A)}$	

(续)

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
开口三角 电 压 保 护 (单 星 形 联结)	动作电压	动作电压 (应躲过由于三相电容的不平衡及电网电压的不对称, 正常时所存在的不平衡零序电压, 及当单台电容器内部 50% ~ 70% 串联元件击穿时, 使保护装置有一定的灵敏系数, 即 $K_m \geq 1.5$): $U_j \geq K_k I_{bp} \quad (\text{V})$ $U_j \leq \frac{1}{K_m n_v} \frac{3\beta_c U_N}{\{3n[m(1-\beta_c) + \beta_c] - 2\beta_c\}} \quad (\text{V})$	
过 电 压 保 护	动作电压	动作电压 (按母线电压不超过 110% 额定电压值整定): $U_j = 1.1 U_{N2} \quad (\text{V})$	
低 电 压 保 护	动作电压	动作电压 (按母线电压可能出现的低电压整定): $U_j = K_{\min} U_{N2} \quad (\text{V})$	

4) 6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算公式见表 4-27。

表 4-27 6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算公式

保护类别	保护装置的整定参数	整定计算公式及项目	符号含义
过电流保护	动作电流、动作 时限	1. 动作电流 (应躲过任一母线段的最大负荷电流): $I_j = K_k K_{jx} \frac{I_{fh}}{K_h n_1} \quad (\text{A})$ 2. 灵敏系数 (按最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验。对后备保护, 则按最小运行方式下相邻元件末端两相短路时, 流过保护安装处的短路电流校验): $K_m = \frac{I_{k2\min}}{I_{dz}} \geq 1.5$ $K_m = \frac{I_{1k2\min}}{I_{dz}} \geq 1.2$ 3. 动作时限, 应较相邻元件的过电流保护大一个时限阶段, 一般大 0.5 ~ 0.7s	K_k——可靠系数; K_{jx}——接线系数; K_h——继电器返回系数, 取 0.85; I_{fh}——一段母线最大负荷 (包括电动机自启动引起的) 电流 (A); n_1——电流互感器的电流比; $I_{k2\min}$——最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的稳态电流 (A); $I_{1k2\min}$——最小运行方式下相邻元件末端两相短路时, 流过保护安装处的稳态电流 (A); I_{dz}——保护装置一次动作电流 (A);
电流速断 保护	动作电流	动作电流 (应按最小灵敏系数 2 整定): $I_j = \frac{I''_{k2\min}}{2n_1} \quad (\text{A})$	$I_{dz} = I_j \frac{n_1}{K_{jx}};$ $I''_{k2\min}$——最小运行方式下母线两相短路时, 流过保护安装处的超瞬变电流 (A)

4. 短路保护的最小灵敏系数

继电保护装置应具有必要的灵敏性。各类短路保护装置的灵敏系数不宜低于表 4-28 的规定。

表 4-28 短路保护的最小灵敏系数

保护分类	保护类型	组成元件	最小灵敏系数	备 注
主保护	变压器、线路的电流速断保护	电流元件	2.0	按保护安装处短路计算
	电流保护、电压保护	电流、电压元件	1.5	按保护区末端计算
	10kV 供电系统中单相接地保护	电流、电压元件	1.5	—
后备保护	近后备保护	电流、电压元件	1.3	按线路末端短路计算
辅助保护	电流速断保护	—	1.2	按正常运行方式下保护安装处短路计算

注：灵敏系数应根据不利的正常运行方式（含正常检修）和不利的故障类型计算。

4.4 自备应急电源

1) 机组之间、机组外廊至墙的净距应满足设备运输、就地操作、维护检修或布置辅助设备的需要，并不应小于表 4-29 及图 4-36 的规定。

表 4-29 机组之间及机组外廊与墙壁的净距 (单位：m)

容量/kW		64 以下	75 ~ 150	200 ~ 400	500 ~ 1500	1600 ~ 2000
项目						
机组操作面	<i>a</i>	1.5	1.5	1.5	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5
机组背面	<i>b</i>	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0
柴油机端	<i>c</i>	0.7	0.7	1.0	1.0 ~ 1.5	1.5
机组间距	<i>d</i>	1.5	1.5	1.5	1.5 ~ 2.0	2.5
发电机端	<i>e</i>	1.5	1.5	1.5	1.8	2.0 ~ 2.5
机房净高	<i>h</i>	2.5	3.0	3.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~ 7.0

注：当机组按水冷却方式设计时，柴油机端距离可适当缩小；当机组需要做消声工程时，尺寸应另外考虑。

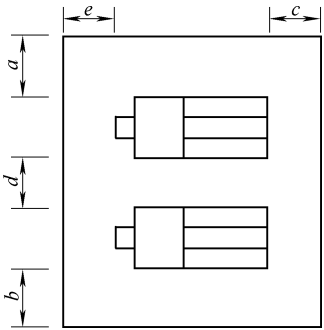


图 4-36 机组布置图

2) 机房设计时应采取机组消声及机房隔声综合治理措施, 治理后环境噪声不宜超过表 4-30 的规定。

表 4-30 城市区域环境噪声标准 [单位: dB (A)]

类别	适用区域	昼间	夜间
0	疗养、高级别墅、高级宾馆区	50	40
1	以居住、文教机关为主的区域	55	45
2	居住、商业、工业混杂区	60	50
3	工业区	65	55
4	城市中的道路交通干线两侧区域	70	55

3) 柴油发电机机房各房间的照度应符合表 4-31 的规定。

表 4-31 柴油发电机机房各房间的照度

房间名称	照度值/lx	规定照度的平面
发电机间	≥200	地面
控制与配电室	≥300	距地面 0.75m
值班室	≥300	距地面 0.75m
储油间	≥100	地面
检修间 (检修场地)	≥200	地面

4) 当设计柴油发电机机房时, 各房间温、湿度要求宜符合表 4-32 的规定。

表 4-32 柴油发电机机房各房间的温、湿度要求

房间名称	冬季		夏季	
	温度/℃	相对湿度 (%)	温度/℃	相对湿度 (%)
机房 (就地操作)	15 ~ 30	30 ~ 60	30 ~ 35	40 ~ 75
机房 (隔室操作、自动化)	5 ~ 30	30 ~ 60	32 ~ 37	≤75
控制及配电室	16 ~ 18	≤75	28 ~ 30	≤75
值班室	16 ~ 20	≤75	≤28	≤75

5) 机房各工作房间的耐火等级与火灾危险性类别应符合表 4-33 的规定。

表 4-33 机房各工作房间的耐火等级与火灾危险性类别

名称	火灾危险性类别	耐火等级
发电机间	丙	一级
控制与配电室	戊	二级
储油间	丙	一级

4.5 低压配电

1) 导体的最小截面积应满足机械强度的要求, 配电线路每一相的导体截面积不应小于表 4-34 的规定。

表 4-34 配电线路中导体的最小允许截面积

布线系统形式	线路用途	导体最小截面积/mm ²	
		铜	铝
固定敷设的电缆和绝缘线	电力和照明线路	1.5	2.5
	信号和控制线路	0.5	—
固定敷设的裸导体	电力（供电）线路	10	16
	信号和控制线路	4	—
用绝缘电线和电缆的柔性连接	任何用途	0.75	—
	特殊用途的特低压线路	0.75	—

2) 导体的允许载流量，应根据敷设处的环境温度进行校正，校正系数应符合表 4-35 和表 4-36 的规定。

表 4-35 环境空气温度不等于 30℃时的校正系数

环境温度/℃	绝缘			
	PVC	XLPE 或 EPR	矿物绝缘*	
			PVC 外护层和易于接触的裸护套 70℃	不允许接触的裸护套 105℃
10	1.22	1.15	1.26	1.14
15	1.17	1.12	1.20	1.11
20	1.12	1.08	1.14	1.07
25	1.06	1.04	1.07	1.04
35	0.94	0.96	0.93	0.96
40	0.87	0.91	0.85	0.92
45	0.79	0.87	0.77	0.88
50	0.71	0.82	0.67	0.84
55	0.61	0.76	0.57	0.80
60	0.50	0.71	0.45	0.75
65	—	0.65	—	0.70
70	—	0.58	—	0.65
75	—	0.50	—	0.60
80	—	0.41	—	0.54
85	—	—	—	0.47
90	—	—	—	0.40
95	—	—	—	0.32

注：1. 用于敷设在空气中的电缆载流量校正。

2. 更高的环境温度下的矿物绝缘，与制造厂协商解决。

3. PVC 为聚氯乙烯，XLPE 为交联聚乙烯，EPR 为乙丙橡胶。

表 4-36 埋地环境温度不等于 20℃ 的电缆载流量的校正系数

埋地环境温度/℃	绝缘	
	PVC	XLPE 和 EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	—	0.60
70	—	0.53
75	—	0.46
80	—	0.38

注：用于敷设于地下管道中的电缆载流量校正。

3) 当土壤热阻系数与载流量对应的热阻系数不同时，敷设在土壤中的电缆的载流量应进行校正，其校正系数应符合表 4-37 的规定。

表 4-37 土壤热阻系数不同于 $2.5\text{k} \cdot \text{m}/\text{W}$ 时电缆的载流量校正系数

热阻系数/ ($\text{k} \cdot \text{m}/\text{W}$)	1	1.5	2	2.5	3
校正系数	1.18	1.10	1.05	1.00	0.96

注：1. 此校正系数适用于埋地管道中的电缆，管道埋设深度不大于 0.8m。

2. 对于直埋电缆，当土壤热阻系数小于 $2.5\text{k} \cdot \text{m}/\text{W}$ 时，此校正系数可以提高。

4) 多回路或多根多芯电缆成束敷设的载流量校正系数应符合表 4-38 的规定。

表 4-38 多回路或多根多芯电缆成束敷设的载流量校正系数

项目	排列（电缆相互接触）	回路数或多芯电缆数											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	嵌入式或封闭式成束敷设在空气中的一个表面上	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38
2	单层敷设在墙、地板或无孔托盘上	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	多于 9 个回路或 9 根多芯电缆不再减小校正系数		
3	单层直接固定在木质顶棚下	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61			
4	单层敷设在水平或垂直的有孔托盘上	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72			
5	单层敷设在梯架或夹板上	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78			

注：1. 适用于尺寸和负荷相同的电缆束。

2. 相邻电缆水平间距超过了 2 倍电缆外径，可不校正。

3. 下列情况使用同一系数：由 2 根或 3 根单芯电缆组成的电缆束；多芯电缆。

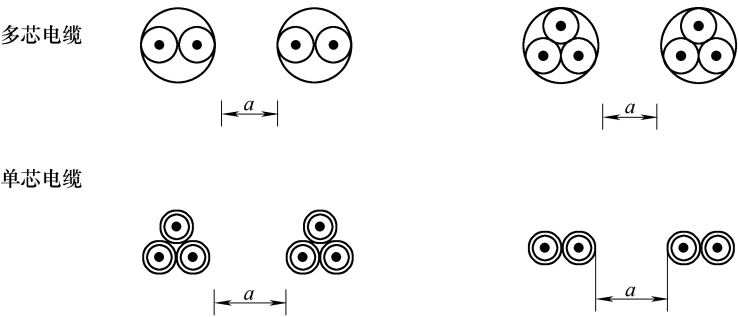
4. 当系统中同时有 2 芯和 3 芯电缆时，应以电缆总数作为回路数，2 芯电缆应作为 2 根带负荷导体，3 芯电缆应作为 3 根带负荷导体查取表中相应系数。

5. 当电缆束中含有 n 根单芯电缆，它可考虑为 $n/2$ 回路（2 根负荷导体回路），或 $n/3$ 回路（3 根负荷导体回路）。

5) 多回路直埋电缆的载流量校正系数, 应符合表 4-39 的规定。

表 4-39 多回路直埋电缆的载流量校正系数

回路数	电缆间的间距 a				
	无间距 (电缆相互接触)	一根电缆外径	0.125m	0.25m	0.5m
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80



注: 适用于埋地深度 0.7m, 土壤热阻系数为 $2.5\text{ k} \cdot \text{m}/\text{W}$ 。

6) 当线路中存在高次谐波时, 在选择导体截面积时应对载流量加以校正, 校正系数应符合表 4-40 的规定。当预计中性导体电流高于相导体电流时, 电缆截面积应按中性线电流来选择。当中性导体电流大于相电流 135% 且按中性导体电流选择电缆截面积时, 电缆的载流量可不校正。当按中性导体电流选择电缆截面积, 而中性导体电流不高于相电流时, 应按表 4-40 选用校正系数。

表 4-40 4 芯和 5 芯电缆存在高次谐波的载流量校正系数

相电流中三次谐波分量 (%)	降低系数	
	按相电流选择截面积	按中性导体电流选择截面积
0 ~ 15	1.00	—
15 ~ 33	0.86	—
33 ~ 45	—	0.86
> 45	—	1.00

注: 此表所给的校正系数仅适用于 4 芯 5 芯电缆内中性导体与相导体有相同的绝缘和相等的截面积。当预计有显著 (大于 10%) 的 9 次、12 次等高次谐波存在时, 可用一个较小的校正系数。当相与相之间存在大于 50% 的不平衡电流时, 可使用一个更小的校正系数。

7) 对常用的不同导体材料和绝缘的 K 值可按表 4-41 选取。

表 4-41 不同导体材料和绝缘的 *K* 值

绝缘 材料		导体绝缘					
		70℃ PVC	90℃ PVC	85℃ 橡胶	60℃ 橡胶	矿物质	
						带 PVC	裸的
初始温度/℃		70	90	85	60	70	105
最终温度/℃		160/140	160/140	220	200	160	250
导体 材料	铜	115/103	100/86	134	141	115	135
	铝	76/68	66/57	89	93	—	—

8) 当保护导体与相导体使用相同材料时, 保护导体的截面积不应小于表 4-42 的规定。

表 4-42 保护导体的最小截面积 (单位: mm²)

相导体的截面积 <i>S</i>	相应保护导体的最小截面积 <i>S</i>
$S \leq 16$	<i>S</i>
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	<i>S</i> /2

4.6 配电线路布线系统

4.6.1 金属导管布线

当电线管与热水管、蒸气管同侧敷设时, 电线管宜敷设在热水管、蒸气管的下面; 若有困难, 也可敷设在热水管、蒸气管的上面。电线管与各种管道间的净距应符合表 4-43 的规定。

表 4-43 电线管与各种管道间的最小净距

敷设情况		最小净距/mm
电线管路平行敷设在热水管下面		200
电线管路平行敷设在热水管上面		300
电线管路与热水管交叉敷设		100
电线管路敷设在蒸气管下面		500
电线管路敷设在蒸气管上面		1000
电线管路与蒸气管交叉敷设		300
电线管路与蒸气管敷设 (蒸气管有保温措施)		200
电线管与其他管道 (不包括可燃气体及易燃、可燃液体管道) 布线	平行净距	100
	交叉净距	50

4.6.2 金属线槽布线

金属线槽布线与各种管道平行或交叉时, 其最小净距应符合表 4-44 的规定。

表 4-44 金属线槽和电缆桥架与各种管道的最小净距 (单位: m)

管道类别		平行净距	交叉净距
一般工艺管道		0.4	0.3
具有腐蚀性气体管道		0.5	0.5
热力管道	有保温层	0.5	0.3
	无保温层	1.0	0.5

4.6.3 电力电缆布线

1) 电缆敷设时, 任何弯曲部位都应满足允许弯曲半径的要求。电缆的最小允许弯曲半径, 不应小于表 4-45 的规定。

表 4-45 电缆最小允许弯曲半径

电缆种类	最小允许弯曲半径
无铅包和钢铠护套的橡皮绝缘电力电缆	10d
有钢铠护套的橡皮绝缘电力电缆	20d
聚氯乙烯绝缘电力电缆	10d
交联聚乙烯绝缘电力电缆	15d
控制电缆	10d

注: d 为电缆外径。

2) 埋地敷设的电缆严禁平行敷设于地下管道的正上方或下方。电缆与电缆及与各种设施平行或交叉的净距离, 不应小于表 4-46 的规定。

表 4-46 电缆与电缆或其他设施相互间容许最小净距 (单位: m)

项 目	敷设条件	
	平行	交叉
建筑物、构筑物基础	0.5	—
电杆	0.6	—
乔木	1.0	—
灌木丛	0.5	—
10kV 及以下电力电缆之间, 以及与控制电缆之间	0.1	0.5 (0.25)
不同部门使用的电缆	0.5 (0.1)	0.5 (0.25)
热力管沟	2.0 (1.0)	0.5 (0.25)
上、下水管道	0.5	0.5 (0.25)
油管及可燃气体管道	1.0	0.5 (0.25)
公路	1.5 (与路边)	(1.0) (与路面)
排水明沟	1.0 (与沟边)	(0.5) (与沟底)

注: 1. 表中所列净距, 应自各种设施 (包括防护外层) 的外缘算起。

2. 路灯电缆与道路灌木丛平行距离不限。

3. 表中括号内数字是指局部地段电缆穿导管、加隔板保护或加隔热层保护后允许的最小净距。

3) 电缆在电缆沟和电缆隧道内敷设时, 其支架层间垂直距离和通道净宽不应小于表 4-47 和表 4-48 的规定。

表 4-47 电缆支架层间垂直距离的允许最小值 (单位: mm)

电缆电压级和类型, 敷设特征		普通支架、吊架	桥架
控制电缆明敷		120	200
电力电 缆明敷	10kV 及以下, 但 6 ~ 10kV 交联聚乙烯电缆除外	150 ~ 200	250
	6 ~ 10kV 交联聚乙烯电缆	200 ~ 250	300
电缆敷设在槽盒中		$h + 80$	$h + 100$

注: h 表示槽盒外壳高度。

表 4-48 电缆沟、隧道中通道净宽允许最小值 (单位: mm)

电缆支架配置及其通道特征	电缆沟沟深			电缆隧道
	< 600	600 ~ 1000	> 1000	
两侧支架间净通道	300	500	700	1000
单列支架与壁间通道	300	450	600	900

4) 电缆在电缆沟或电缆隧道内敷设时, 支架间或固定点间的距离不应大于表 4-49 的规定。

表 4-49 电缆支架间或固定点间的最大距离 (单位: mm)

电缆特征	敷设方式	
	水平	垂直
未含金属套、铠装的全塑小截面电缆	400 ^①	1000
除上述情况外的 10kV 及以下电缆	800	1500
控制电缆	800	1000

① 能维持电缆平时时, 该值可增加 1 倍。

4.6.4 矿物绝缘 (MI) 电缆布线

1) 电缆敷设时, 电缆的最小允许弯曲半径不应小于表 4-50 的规定。

表 4-50 矿物绝缘 (MI) 电缆最小允许弯曲半径

电缆外径 d/mm	$d < 7$	$7 \leq d < 12$	$12 \leq d < 15$	$d \geq 15$
电缆内侧最小允许弯曲半径 R	$2d$	$3d$	$4d$	$6d$

2) 除支架敷设在支架处固定外, 电缆敷设时, 其固定点之间的距离不应大于表 4-51 的规定。

表 4-51 矿物绝缘 (MI) 电缆固定点或支架间的最大距离

电缆外径 d/mm		$d < 9$	$9 \leq d < 15$	$15 \leq d \leq 20$	$d > 20$
固定点间的最大距离/mm	水平	600	900	1500	2000
	垂直	800	1200	2000	2500

4.6.5 室外布线

各类地下管线之间的最小水平和交叉净距，应分别符合表 4-52 和表 4-53 的规定。

表 4-52 各类地下管线之间的最小水平净距 (单位: m)

管线名称	给水管			排水管	燃气管		热力管	电力电缆	弱电管道
	D_1	D_2	D_3		P_1	P_2			
电力电缆	0.5			0.5	1.0	1.5	2.0	0.25	0.5
弱电管道	0.5	1.0	1.5	1.0	1.0	2.0	1.0	0.5	0.5

注: 1. D 为给水管直径, $D_1 \leq 300\text{mm}$, $300\text{mm} < D_2 \leq 500\text{mm}$, $D_3 > 500\text{mm}$ 。
2. P 为燃气压力, $P_1 \leq 300\text{kPa}$, $300\text{kPa} < P_2 \leq 800\text{kPa}$ 。

表 4-53 各类地下管线之间的最小交叉净距 (单位: m)

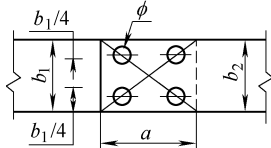
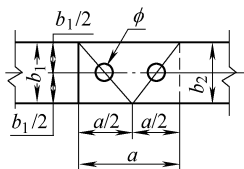
管线名称	给水管	排水管	燃气管	热力管	电力电缆	弱电管道
电力电缆	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
弱电管道	0.15	0.15	0.30	0.25	0.50	0.25

4.6.6 母线安装

1. 硬母线加工

1) 矩形母线搭接应符合表 4-54 的规定; 当母线与设备接线端子连接时, 应符合现行国家标准《变压器、高压电器和套管的接线端子》(GB/T 5273—1985) 的有关规定。

表 4-54 矩形母线搭接规定

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	ϕ /mm	个数/个	
	直线连接	1	125	125	b_1 或 b_2	21	4	M20
		2	100	100	b_1 或 b_2	17	4	M16
		3	80	80	b_1 或 b_2	13	4	M12
		4	63	63	b_1 或 b_2	11	4	M10
		5	50	50	b_1 或 b_2	9	4	M8
		6	45	45	b_1 或 b_2	9	4	M8
		7	40	40	80	13	2	M12
		8	31.5	31.5	63	11	2	M10
		9	25	25	50	9	2	M8

(续)

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	ϕ /mm	个数/个	
	垂直 连接	10	125	125	—	21	4	M20
		11	125	100 ~ 80	—	17	4	M16
		12	125	63	—	13	4	M12
		13	100	100 ~ 80	—	17	4	M16
		14	80	80 ~ 63	—	13	4	M12
		15	63	63 ~ 50	—	11	4	M10
		16	50	50	—	9	4	M8
		17	45	45	—	9	4	M8
		18	125	50 ~ 40	—	17	2	M16
		19	100	63 ~ 40	—	17	2	M16
		20	80	63 ~ 40	—	15	2	M14
		21	63	50 ~ 40	—	13	2	M12
		22	50	45 ~ 40	—	11	2	M10
		23	63	31.5 ~ 25	—	11	2	M10
		24	50	31.5 ~ 25	—	9	2	M8
			25	125	31.5 ~ 25	60	11	2
26			100	31.5 ~ 25	50	9	2	M8
27			80	31.5 ~ 25	50	9	2	M8
		28	40	31.5 ~ 25	—	13	1	M12
		29	40	25	—	11	1	M10
		30	31.5	31.5 ~ 25	—	11	1	M10
		31	25	22	—	9	1	M8

2) 母线弯质应符合下列规定 (见图 4-37):

- ① 母线开始弯曲处与最近绝缘子的母线支持夹板边缘的距离不应大于 $0.25L$, 但不得小于 50mm;
- ② 母线开始弯曲处距母线连接位置不应小于 50mm;
- ③ 矩形母线应减少直角弯, 弯曲处不得有裂纹及显著的折皱, 母线的最小弯曲半径应符合表 4-55 的规定;
- ④ 多片母线的弯曲度、间距应一致。

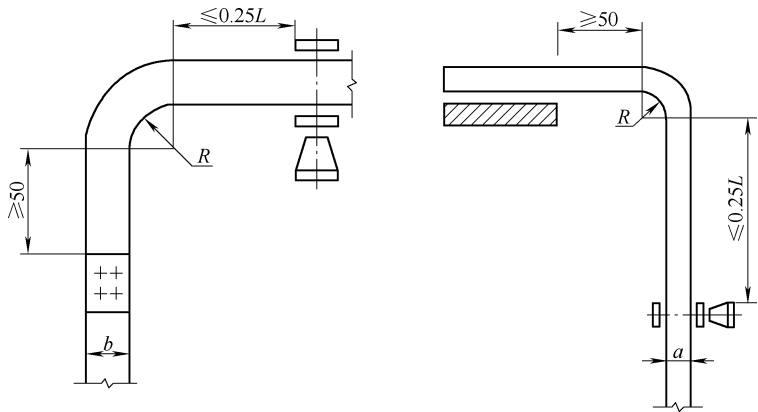


图 4-37 硬母线的立弯与平弯

a —母线厚度 b —母线宽度 L —母线两支持点间的距离 R —母线最小弯曲半径

表 4-55 母线的最小弯曲半径

母线种类	弯曲方式	母线断面尺寸/mm	最小弯曲半径/mm		
			铜	铝	钢
矩形母线	平弯	50 × 5 及以下	$2a$	$2a$	$2a$
		125 × 10 及以下	$2a$	$2.5a$	$2a$
	立弯	50 × 5 及以下	$1b$	$1.5b$	$0.5b$
		125 × 10 及以下	$1.5b$	$2b$	$1b$
棒形母线	—	直径为 16 及以下	50	7	50
		直径为 30 及以下	150	150	150

3) 矩形母线采用螺栓固定搭接时, 连接处距支柱绝缘子的支持夹板边缘不应小于 50mm; 上片母线端头与下片母线平弯开始处的距离不应小于 50mm (见图 4-38)。

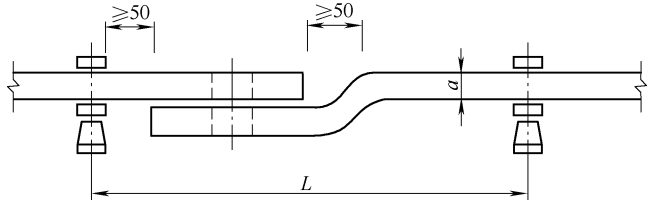


图 4-38 矩形母线搭接

a —母线的厚度 L —母线两支持点之间的距离

4) 矩形母线扭转 90°时, 其扭转部分的长度应为母线宽度的 2.5 倍~5 倍 (见图 4-39)。

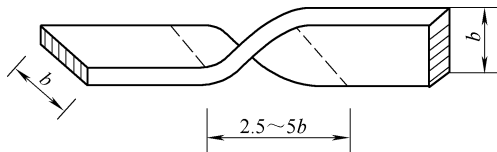


图 4-39 母线扭转 90°

b —母线的宽度

5) 按制造长度供应的铝合金管，其弯曲度不应超过表 4-56 的规定。

表 4-56 铝合金管的允许弯曲度

管型母线规格/mm	单位长度 (m) 内的弯度/mm	全长内的弯度/mm
直径为 150 以下冷拔管	<2.0	<2.0L
直径为 150 以下热挤压管	<3.0	<3.0L
直径为 150 ~ 250 冷拔管	<4.0	<4.0L
直径为 150 ~ 250 热挤压管	<4.0	<4.0L

注：L 为管子的制造长度 (m)。

2. 硬母线安装

母线接触面应连接紧密，连接螺栓应用力矩扳手紧固，钢制螺栓紧固力矩值应符合表 4-57 的规定，非钢制螺栓紧固力矩值应符合产品技术文件要求。

表 4-57 钢制螺栓的紧固力矩值

螺栓规格/mm	力矩值/ (N · m)
M8	8.8 ~ 10.8
M10	17.7 ~ 22.6
M12	31.4 ~ 39.2
M14	51.0 ~ 60.8
M16	78.5 ~ 98.1
M18	98.0 ~ 127.4
M20	156.9 ~ 196.2
M24	274.6 ~ 343.2

3. 硬母线焊接

1) 焊接前对口应平直，其弯折偏移不应大于 0.2% (见图 4-40)；对接接头对口时，根部表面偏移不应大于 0.5mm (见图 4-41)。

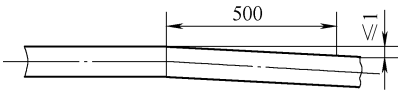


图 4-40 对口允许弯折偏移

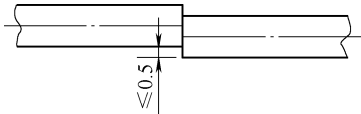
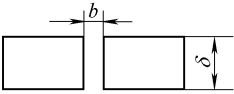


图 4-41 对口中心线允许偏差

2) 铝及铝合金硬母线对焊时，焊口尺寸应符合表 4-58 的规定。

表 4-58 对口焊焊口尺寸

(单位：mm)

接头类型	图 形	焊件厚度 δ	焊接结构尺寸			适用 范围
			α (°)	b	p	
对接接头		<5	—	0.5 ~ 2	—	板围

(续)

接头类型	图 形	焊件厚度 δ	焊接结构尺寸			适用 范围
			$\alpha (^{\circ})$	b	p	
对接接头		5 ~ 12	35 ~ 40	2 ~ 3	1 ~ 2	板件或 管件
		> 10	30 ~ 35	2 ~ 3	1.5 ~ 3	板件
		> 5	25 ~ 30	6 ~ 8 5 ~ 6	1 ~ 2	板件或 管件
角接头		3 ~ 12	—	—	—	板件
		> 10	35 ~ 40	1 ~ 2	2 ~ 3	板件
		> 15	35 ~ 40	1 ~ 2	2 ~ 3	板件
搭接接头		> 5	搭接长度 $L \geq 2\delta$			板件或 管件

3) 管形母线补强衬管的纵向轴线应位于焊口中央, 衬管与管母线的间隙应小于 0.5mm (见图 4-42)。

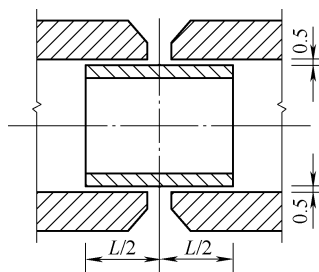


图 4-42 衬管位置

L—衬管长度

4.7 电气照明

4.7.1 照明质量

1) 照明光源的颜色质量取决于光源本身的表观颜色及其显色性能。一般照明光源可根据其相关色温分为三类，其适用场所可按表 4-59 选取。

表 4-59 光源的颜色分类

光源颜色分类	相关色温/K	颜色特征	适用场所示例
I	<3300	暖	居室、餐厅、宴会厅、多功能厅、酒吧、咖啡厅、重点陈列厅
II	3300 ~ 5300	中间	教室、办公室、会议室、阅览室、营业厅、一般休息厅、普通餐厅、洗衣房
III	>5300	冷	设计室、计算机房、高照度场所

2) 在设计一般照明时，应根据视觉工作环境特点和眩光程度，合理确定对直接眩光限制的质量等级 UGR（统一眩光值）。眩光限制的质量等级应符合表 4-60 的规定。

表 4-60 眩光程度与统一眩光值（UGR）对照

UGR 的数值	对应眩光程度的描述	视觉要求和场所示例
<13	没有眩光	手术台、精细视觉作业
13 ~ 16	开始有感觉	使用视频终端、绘图室、精品展厅、珠宝柜台、控制室、颜色检验
17 ~ 19	引起注意	办公室、会议室、教室、一般展室、休息厅、阅览室、病房
20 ~ 22	引起轻度不适	门厅、营业厅、候车厅、观众厅、厨房、自选商场、餐厅、自动扶梯
23 ~ 25	不舒适	档案室、走廊、泵房、变电站、大件库房、交通建筑的入口大厅
26 ~ 28	很不舒适	售票厅、较短的通道、演播室、停车区

3) 直接型灯具应控制视线内光源平均亮度与遮光角之间的关系，其最低允许值应符合表 4-61 的规定。

表 4-61 不同亮度灯具的最小遮光角

灯具亮度/（cd/m ² ）	灯具的最小遮光角
1000 ~ 20000	10°
20000 ~ 50000	15°
50000 ~ 500000	20°
≥500000	30°

4) 有视觉显示终端的工作场所照明应限制灯具中垂线以上等于和大于 65°高度角的亮

度。灯具在该角度上的平均亮度限值宜符合表 4-62 的规定。

表 4-62 灯具平均亮度限值

屏幕分类, 见 ISO 9241—7	I	II	III
屏幕质量	好	中等	差
灯具平均亮度限值	$\leq 1000\text{cd/m}^2$		$\leq 200\text{cd/m}^2$

- 注: 1. 本表适用于仰角小于等于 15° 的显示屏。
2. 对于特定使用场所, 如敏感的屏幕或仰角可变的屏幕, 表中亮度限值应用在更低的灯具高度角(如 55°)上。

5) 长时间工作的房间, 其表面反射比宜按表 4-63 选取。

表 4-63 工作房间表面反射比

表面名称	反射比
顶棚	0.6 ~ 0.9
墙面	0.3 ~ 0.8
地面	0.1 ~ 0.5
作业面	0.2 ~ 0.6

6) 航空障碍标志灯技术要求应符合表 4-64 的规定。

表 4-64 航空障碍灯技术要求

障碍标志灯类型	低光强	中光强		高光强
灯光颜色	航空红色	航空红色	航空白色	航空白色
控光方式及数据/ (次/min)	恒定光	闪光 20 ~ 60	闪光 20 ~ 60	闪光 20 ~ 60
有效光强	32.5cd, 用于夜间	2000cd $\pm$ 25%, 用于 夜间	2000cd $\pm$ 25%, 用于 夜间 20000cd $\pm$ 25%, 用于 白昼、黎明或黄昏	2000cd $\pm$ 25%, 用于 夜间 20000cd $\pm$ 25%, 用于 黄昏与黎明 270000cd/140000cd $\pm$ 25%, 用于白昼
可视范围	水平光束扩散角 360° 垂直光束扩散角 $\geq 10^\circ$	水平光束扩散角 360° 垂直光束扩散角 $\geq 3^\circ$	水平光束扩散角 360° 垂直光束扩散角 $\geq 3^\circ$	水平光束扩散角 90° 或 120° 垂直光束扩散角 $3^\circ \sim 7^\circ$
	最大光强位于水平仰 角 $4^\circ \sim 20^\circ$	最大光强位于水平仰角 0°		
适用高度	高出地面 45m 以下全 部使用 高出地面 45m 以上部 分与中光强结合使用	高出地面 45m 时	高出地面 90m 时	高出地面 153m (500 英尺) 时

注: 夜间对应的背景亮度小于 50cd/m^2 ; 黄昏与黎明对应的背景亮度小于 $50 \sim 500\text{cd/m}^2$; 白昼对应的背景亮度小于 500cd/m^2 。

4.7.2 照明水平

1) 各类视觉工作对应的照度范围宜按表 4-65 选取。

表 4-65 视觉工作对应的照度范围值

视觉工作性质	照度范围/lx	区域或活动类型	适用场所示例
简单视觉工作	≤20	室外交通区, 判别方向和巡视	室外道路
	30 ~ 75	室外工作区、室内交通区, 简单识别物体表征	客房、卧室、走廊、库房
一般视觉工作	100 ~ 200	非连续工作的场所 (大对比大尺寸的视觉作业)	病房、起居室、候机厅
	200 ~ 500	连续视觉工作的场所 (大对比小尺寸和小对比大尺寸的视觉作业)	办公室、教室、商场
	300 ~ 750	需集中注意力的视觉工作 (小对比小尺寸的视觉作业)	营业厅、阅览室、绘图室
特殊视觉工作	750 ~ 1500	较困难的远距离视觉工作	一般体育场馆
	1000 ~ 2000	精细的视觉工作、快速移动的视觉对象	乒乓球、羽毛球
	≥2000	精密的视觉工作、快速移动的小尺寸视觉对象	手术台、拳击台、赛道终点区

2) 在计算照度时, 应计入表 4-66 所规定的维护系数。

表 4-66 照度维护系数

环境维护特征	工作房间或场所	灯具最少擦洗次数 / (次/年)	维护系数	
			白炽灯、荧光灯、 金属卤化物灯	卤钨灯
清洁	住宅卧室、办公室、餐厅、阅览室、绘画室	2	0. 80	0. 80
一般	商店营业厅、候车室、影剧院观众厅	2	0. 70	0. 75
污染严重	厨房	3	0. 60	0. 65

4.7.3 照明标准值

1) 居住建筑照明标准值宜符合表 4-67 的规定。

表 4-67 居住建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	Ra
起居室	一般活动	0. 75m 水平面	100	80
	书写、阅读		300 *	
卧室	一般活动	0. 75m 水平面	75	80
	书写、阅读		150 *	
餐厅		0. 75m 餐桌面	150	80
厨房	一般活动	0. 75m 水平面	100	80
	操作台	台面	150 *	
卫生间		0. 75m 水平面	100	80

注: * 宜用混合照明。

2) 图书馆建筑照明标准值应符合表 4-68 的规定。

表 4-68 图书馆建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
一般阅览室	0.75m 水平面	300	19	80
国家、省市及其他重要图书馆的阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
老年阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
珍善本、舆图阅览室	0.75m 水平面	500	19	80
陈列室、目录厅(室)、出纳厅	0.75m 水平面	300	19	80
书库	0.25m 垂直面	50	—	80
工作间	0.75m 水平面	300	19	80

3) 办公建筑照明标准值应符合表 4-69 的规定。

表 4-69 办公建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
普通办公室	0.75m 水平面	300	19	80
高档办公室	0.75m 水平面	500	19	80
会议室	0.75m 水平面	300	19	80
接待室、前台	0.75m 水平面	300	—	80
营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
设计室	实际工作面	500	19	80
文件整理、复印、发行室	0.75m 水平面	300	—	80
资料、档案室	0.75m 水平面	200	—	80

4) 商业建筑照明标准值应符合表 4-70 的规定。

表 4-70 商业建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
一般商店营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档商店营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
一般超市营业厅	0.75m 水平面	300	22	80
高档超市营业厅	0.75m 水平面	500	22	80
收款台	台面	500	—	80

5) 影剧院建筑照明标准值应符合表 4-71 的规定。

表 4-71 影剧院建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
门厅	地面	200	—	80
观众厅	影院	100	22	80
	剧场	200	22	80

(续)

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
观众 休息厅	影院	地面	150	22	80
	剧场	地面	200	22	80
排演厅		地面	300	22	80
化妆室	一般活动区	0.75m 水平面	150	22	80
	化妆台	1.1m 高处垂直面	500	—	80

6) 旅馆建筑照明标准值应符合表 4-72 的规定。

表 4-72 旅馆建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
客房	一般活动区	0.75m 水平面	75	—	80
	床头	0.75m 水平面	150	—	80
	写字台	台面	300	—	80
	卫生间	0.75m 水平面	150	—	80
中餐厅		0.75m 水平面	200	22	80
西餐厅、酒吧间、咖啡厅		0.75m 水平面	100	—	80
多功能厅		0.75m 水平面	300	22	80
门厅、总服务台		地面	300	—	80
休息厅		地面	200	22	80
客房层走廊		地面	50	—	80
厨房		台面	200	—	80
洗衣房		0.75m 水平面	200	—	80

7) 医院建筑照明标准值应符合表 4-73 的规定。

表 4-73 医院建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
治疗室	0.75m 水平面	300	19	80
化验室	0.75m 水平面	500	19	80
手术室	0.75m 水平面	750	19	90
诊室	0.75m 水平面	300	19	80
候诊室、挂号厅	0.75m 水平面	200	22	80
病房	地面	100	19	80
护士站	0.75m 水平面	300	—	80
药房	0.75m 水平面	500	19	80
重症监护室	0.75m 水平面	300	19	80

8) 学校建筑照明标准值应符合表 4-74 的规定。

表 4-74 学校建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
教室	课桌面	300	19	80
实验室	实验桌面	300	19	80
美术教室	桌面	500	19	90
多媒体教室	0.75m 水平面	300	19	80
教室黑板	黑板面	500	—	80

9) 博物馆建筑陈列室展品照明标准值不应大于表 4-75 的规定。

表 4-75 博物馆建筑陈列室展品照明标准值

类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx
对光特别敏感的展品：纺织品、织绣品、绘画、纸质物品、彩绘、陶（石）器、染色皮革、动物标本等	展品面	50
对光敏感的展品：油画、蛋清画、不染色皮革、角制品、骨制品、象牙制品、竹木制品和漆器等	展品面	150
对光不敏感的展品：金属制品、石质器物、陶瓷器、宝玉石器、岩矿标本、玻璃制品、搪瓷制品、珐琅器等	展品面	300

注：1. 陈列室一般照明应按展品照度值的 20% ~ 30% 选取。

2. 陈列室一般照明 UGR 不宜大于 19。

3. 辨色要求一般的场所 Ra 不应低于 80，辨色要求高的场所，Ra 不应低于 90。

10) 展览馆展厅照明标准值应符合表 4-76 的规定。

表 4-76 展览馆展厅照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
一般展厅	地面	200	22	80
高档展厅	地面	300	22	80

注：高于 6m 的展厅 Ra 可降低到 60。

11) 交通建筑照明标准值应符合表 4-77 的规定。

表 4-77 交通建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
售票台	台面	500	—	80
问讯处	0.75m 水平面	200	—	80
候车（机、船）室	普通 地面	150	22	80
	高档 地面	200	22	80
中央大厅、售票大厅	地面	200	22	80
海关、护照检查	工作面	500	—	80
安全检查	地面	300	—	80
换票、行李托运	0.75m 水平面	300	19	80
行李认领、到达大厅、 出发大厅	地面	200	22	80
通道、连接区、扶梯	地面	150	—	80
有棚站台	地面	75	—	20
无棚站台	地面	50	—	20

12) 无彩电转播的体育建筑照明标准值应符合表 4-78 的规定。

表 4-78 无彩电转播的体育建筑照明标准值

运动项目			参考平面及其高度	照度标准值/lx	
				训练	比赛
篮球、排球、羽毛球、网球、手球、田径（室内）、体操、艺术体操、技巧、武术			地面	300	750
棒球、垒球			地面	—	750
保龄球			置瓶区	300	500
举重			台面	200	750
击剑			台面	500	750
柔道、中国摔跤、国际摔跤			地面	500	1000
拳击			台面	500	2000
乒乓球			台面	750	1000
游泳、蹼泳、跳水、水球			水面	300	750
花样游泳			水面	500	750
冰球、速度滑冰、花样滑冰			冰面	300	1500
围棋、中国象棋、国际象棋			台面	300	750
桥牌			桌面	300	500
射击	靶心		靶心垂直面	1000	1500
	射击位		地面	300	500
足球、曲棍球	观看距离	120m	地面	—	300
		160m		—	500
		200m		—	750
观众席			座位面	—	100
健身房			地面	200	—

注：足球和曲棍球的观看距离是指观众席最后一排到场地边线的距离。

13) 有彩电转播的体育建筑照明标准值应符合表 4-79 的规定。

表 4-79 有彩电转播的体育建筑照明标准值

项目分组	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
		最大摄影距离/m		
		25	75	150
A 组：田径、柔道、游泳、摔跤等项目	1.0m 垂直面	500	750	1000
B 组：篮球、排球、羽毛球、网球、手球、体操、花样滑冰、速滑、垒球、足球等项目	1.0m 垂直面	750	1000	1500
C 组：拳击、击剑、跳水、乒乓球、冰球等项目	1.0m 垂直面	1000	1500	—

14) 体育建筑照明质量标准值应符合表 4-80 的规定。

表 4-80 体育建筑照明质量标准值

类 别	GR	Ra
无彩电转播	50	65
有彩电转播	50	80

注：GR 值仅适用于室外体育场地。

15) 工业建筑一般照明标准值应符合表 4-81 的规定。

表 4-81 工业建筑一般照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra	备 注
1. 通用房间或场所						
实验室	一般	0.75m 水平面	300	22	80	可另加局部照明
	精细	0.75m 水平面	500	19	80	可另加局部照明
检 验	一般	0.75m 水平面	300	22	80	可另加局部照明
	精细，有颜色要求	0.75m 水平面	750	19	80	可另加局部照明
计量室，测量室		0.75m 水平面	500	19	80	可另加局部照明
变、配 电 站	配电装置室	0.75m 水平面	200	—	60	—
	变压器室	地面	100	—	20	—
电源设备室，发电机室		地面	200	25	60	—
控制室	一般控制室	0.75m 水平面	300	22	80	—
	主控制室	0.75m 水平面	500	19	80	—
电话站、网络中心		0.75m 水平面	500	19	80	—
计算机站		0.75m 水平面	500	19	80	防光幕反射
动力站	风机房、空调机房	地面	100	—	60	—
	泵房	地面	100	—	60	—
	冷冻站	地面	150	—	60	—
	压缩空气站	地面	150	—	60	—
	锅炉房、煤气站的 操作层	地面	100	—	60	炉水位表照度 不小于 50lx
仓库	大件库（如钢坯、 钢材、大成品、气瓶）	1.0m 水平面	50	—	20	—
	一般件库	1.0m 水平面	100	—	60	—
	精细件库（如工具、 小零件）	1.0m 水平面	200	—	60	货架垂直照度 不小于 50lx
车辆加油站		地面	100	—	60	油表照度不小于 50lx
2. 机、电工业						
机 械 加 工	粗加工	0.75m 水平面	200	22	60	可另加局部照明
	一般加工公差≥0.1mm	0.75m 水平面	300	22	60	应另加局部照明
	精密加工公差<0.1mm	0.75m 水平面	500	19	60	应另加局部照明
机电、 仪表、 装配	大件	0.75m 水平面	200	25	80	可另加局部照明
	一般件	0.75m 水平面	300	25	80	可另加局部照明
	精密	0.75m 水平面	500	22	80	应另加局部照明
	特精密	0.75m 水平面	750	19	80	应另加局部照明
电线、电缆制造		0.75m 水平面	300	25	60	—

(续)

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra	备 注
线圈 绕制	大线圈	0.75m 水平面	300	25	80	—
	中等线圈	0.75m 水平面	500	22	80	可另加局部照明
	精细线圈	0.75m 水平面	750	19	80	应另加局部照明
线圈浇注		0.75m 水平面	300	25	80	—
焊接	一般	0.75m 水平面	200	—	60	—
	精密	0.75m 水平面	300	—	60	—
钣金		0.75m 水平面	300	—	60	—
冲压、剪切		0.75m 水平面	300	—	60	—
热处理		地面至 0.5m 水平面	200	—	20	—
铸造	熔化、浇铸	地面至 0.5m 水平面	200	—	20	—
	造型	地面至 0.5m 水平面	300	25	60	—
精密铸造的制模、脱壳		地面至 0.5m 水平面	500	25	60	—
锻工		地面至 0.5m 水平面	200	—	20	—
电镀		0.75m 水平面	300	—	80	—
喷漆	一般	0.75m 水平面	300	—	80	—
	精细	0.75m 水平面	500	22	80	—
酸洗、腐蚀、清洗		0.75m 水平面	300	—	80	—
抛光	一般装饰性	0.75m 水平面	300	22	80	防频闪
	精细	0.75m 水平面	500	22	80	防频闪
复合材料加工、铺叠、装饰		0.75m 水平面	500	22	80	—
机电 修理	一般	0.75m 水平面	200	—	60	可另加局部照明
	精密	0.75m 水平面	300	22	60	可另加局部照明
3. 电子工业						
电子元器件		0.75m 水平面	500	19	80	应另加局部照明
电子零部件		0.75m 水平面	500	19	80	应另加局部照明
电子材料		0.75m 水平面	30	22	80	应另加局部照明
酸、碱、药液及粉配制		0.75m 水平面	300	—	80	—
4. 纺织、化纤工业						
纺织	选毛	0.75m 水平面	300	22	80	可另加局部照明
	清棉、和毛、梳毛	0.75m 水平面	150	22	80	—
	前纺：梳棉、并条、粗纺	0.75m 水平面	200	22	80	—
	纺纱	0.75m 水平面	300	22	80	—
	织布	0.75m 水平面	300	22	80	—

(续)

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra	备 注
织袜	穿综箱、缝纫、量呢、检验	0.75m 水平面	300	22	80	可另加局部照明
	修补、剪毛、染色、印花、裁剪、熨烫	0.75m 水平面	300	22	80	可另加局部照明
化纤	投料	0.75m 水平面	100	—	60	—
	纺丝	0.75m 水平面	150	22	80	—
	卷绕	0.75m 水平面	200	22	80	—
	平衡间、中间贮存、干燥间、废丝间、油剂高位槽间	0.75m 水平面	75	—	60	—
	集束间、后加工间、打包间、油剂调配间	0.75m 水平面	100	25	60	—
	组件清洗间	0.75m 水平面	150	25	60	—
	拉伸、变形、分级包装	0.75m 水平面	150	25	60	操作面可另加局部照明
	化验、检验	0.75m 水平面	200	25	80	可另加局部照明
5. 制药工业						
制药生产：配制、清洗、灭菌、超滤、制粒、压片、混匀、烘干、灌装、轧盖等		0.75m 水平面	300	22	80	—
制药生产流转通道		地面	200	—	80	—
6. 橡胶工业						
炼胶车间		0.75m 水平面	300	—	80	—
压延压出工段		0.75m 水平面	300	—	80	—
成型裁断工段		0.75m 水平面	300	22	80	—
硫化工段		0.75m 水平面	300	—	80	—
7. 电力工业						
火电厂锅炉房		地面	100	—	40	—
发电机房		地面	200	—	60	—
主控室		0.75m 水平面	500	19	80	—
8. 钢铁工业						
炼铁	炉顶平台、各层平台	平台面	30	—	40	—
	出铁场、出铁机室	地面	100	—	40	—
	卷扬机室、碾泥机室、煤气清洗配水室	地面	50	—	40	—
炼钢及连铸	炼钢主厂房和平台	地面	150	—	40	—
	连铸浇注平台、切割区、出坯区	地面	150	—	40	—
	精整清理线	地面	200	25	60	—

(续)

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra	备 注
轧钢	钢坯台、轧机区	地面	150	—	40	—
	加热炉周围	地面	50	—	20	—
	重绕、横剪及纵剪机组	0.75m 水平面	150	25	40	—
	打印、检查、精密分类、验收	0.75m 水平面	200	22	80	—
9. 制浆造纸工业						
备料		0.75m 水平面	150	—	60	—
蒸煮、选洗、漂白		0.75m 水平面	200	—	60	—
打浆、纸机底部		0.75m 水平面	200	—	60	—
纸机网部、压榨部、烘缸、压光、卷取、涂布		0.75m 水平面	300	—	60	—
复卷、切纸		0.75m 水平面	300	25	60	—
选纸		0.75m 水平面	500	22	60	—
碱回收		0.75m 水平面	200	—	40	—
10. 食品及饮料工业						
食品	糕点、糖果	0.75m 水平面	200	22	80	—
	肉制品、乳制品	0.75m 水平面	300	22	80	—
饮料		0.75m 水平面	300	22	80	—
啤酒	糖化	0.75m 水平面	200	—	80	—
	发酵	0.75m 水平面	150	—	80	—
	包装	0.75m 水平面	150	25	80	—
11. 玻璃工业						
备料、退火、熔制		0.75m 水平面	150	—	60	—
窑炉		地面	100	—	20	—
12. 水泥工业						
主要生产车间（破碎、原料粉磨、烧成、水泥粉磨、包装）		地面	100	—	20	—
储存		地面	75	—	40	—
输送走廊		地面	30	—	20	—
粗坯成形		0.75m 水平面	300	—	60	—
13. 皮革工业						
原皮、水浴		0.75m 水平面	200	—	60	—
轻鞣、整理、成品		0.75m 水平面	200	22	60	可另加局部照明
干燥		地面	100	—	20	—

(续)

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra	备 注
14. 卷烟工业						
制丝车间		0.75m 水平面	200	—	60	—
卷烟、接过滤嘴、包装		0.75m 水平面	300	22	80	—
15. 化学、石油工业						
厂区内经常操作的区域, 如泵、压缩机、阀门、电操作柱等		操作位高度	100	—	20	—
装置区现场控制和检测点, 如指示仪表、液位计等		测控点高度	75	—	60	—
人行通道、平台、设备顶部		地面或台面	30	—	20	—
装卸站	装卸设备顶部和底部操作位	操作位高度	75	—	20	—
	平台	平台	30	—	20	—
16. 木业和家具制造						
一般机器加工		0.75m 水平面	200	22	60	防频闪
精细机器加工		0.75m 水平面	500	19	80	防频闪
锯木区		0.75m 水平面	300	25	60	防频闪
模型区	0.75m 水平面	0.75m 水平面	300	22	60	—
	精细	0.75m 水平面	750	22	60	—
胶合、组装		0.75m 水平面	300	25	60	—
磨光、异形细木工		0.75m 水平面	750	22	80	—

注: 需增加局部照明的作业面, 增加的局部照明照度值宜按该场所一般照明照度值的 1.0~3.0 倍选取。

16) 公用场所照明标准值应符合表 4-82 的规定。

表 4-82 公用场所照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
门厅	普通	地面	100	—	60
	高档	地面	200	—	80
走廊、流动区域	普通	地面	50	—	60
	高档	地面	100	—	80
楼梯、平台	普通	地面	30	—	60
	高档	地面	75	—	80
自动扶梯		地面	150	—	60
厕所、盥洗室、浴室	普通	地面	75	—	60
	高档	地面	150	—	80
电梯前厅	普通	地面	75	—	60
	高档	地面	150	—	80

(续)					
房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	Ra
休息室		地面	100	22	80
储藏室、仓库		地面	100	—	60
车库	停车间	地面	75	28	60
	检修间	地面	200	25	60

注：居住、公共建筑的动力站、变电站的照明标准值按表 4-81 选取。

4.8 防雷与接地

4.8.1 建筑物的防雷分类

建筑物应根据建筑物的重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果，按防雷要求分为三类，见表 4-83。

表 4-83 建筑物的防雷分级

分 类	内 容
第一类防雷建筑物	在可能发生对地闪击的地区，遇下列情况之一时，应划为第一类防雷建筑物： 1. 凡制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物，易因电火花而引起爆炸、爆轰，会造成巨大破坏和人身伤亡者 2. 具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物 3. 具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，因电火花而引起爆炸，会造成巨大破坏和人身伤亡者
第二类防雷建筑物	在可能发生对地闪击的地区，遇下列情况之一时，应划为第二类防雷建筑物： 1. 国家级重点文物保护的建筑物 2. 国家级的会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站和飞机场、国宾馆，国家级档案馆、大型城市的重要给水泵房等特别重要的建筑物 注：飞机场不含停放飞机的露天场所和跑道 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的建筑物 4. 国家特级和甲级大型体育馆 5. 制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物，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 6. 具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物，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 7. 具有 2 区或 22 区爆炸危险场所的建筑物 8. 有爆炸危险的露天钢质封闭气罐 9. 预计雷击次数大于 0.05 次/a 的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所 10. 预计雷击次数大于 0.25 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物

(续)

分 类	内 容
第三类防雷建筑物	在可能发生对地闪击的地区，遇下列情况之一时，应划为第三类防雷建筑物： 1. 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆 2. 预计雷击次数大于或等于0.01次/a，且小于或等于0.05次/a的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物，以及火灾危险场所 3. 预计雷击次数大于或等于0.05次/a，且小于或等于0.25次/a的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物 4. 在平均雷暴日大于15d/a的地区，高度在15m及以上的烟囱、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

4.8.2 防雷与接地装置

1. 防雷装置使用的材料

1) 防雷装置的材料及使用条件，宜符合表4-84的规定。

表 4-84 防雷装置的材料及使用条件

材料	使用于大气中	使用于地中	使用于混凝土中	耐腐蚀情况		
				在下列环境中 能耐腐蚀	在下列环境中 增加腐蚀	与下列材料接触 形成直流电耦合 可能受到严重腐蚀
铜	单根导体，绞线	单根导体，有 镀层的绞线， 铜管	单根导体，有 镀层的绞线	在许多环境中良好	硫化物有机材料	—
热镀锌钢	单根导体，绞线	单根导体， 钢管	单根导体， 绞线	敷设于大气、混凝土和无腐蚀性的一般土壤中受到的腐蚀是可接受的	高氯化物含量	铜
电镀铜钢	单根导体	单根导体	单根导体	在许多环境中良好	硫化物	—
不锈钢	单根导体，绞线	单根导体，绞线	单根导体，绞线	在许多环境中良好	高氯化物含量	—
铝	单根导体，绞线	不适合	不适合	在含有低浓度硫和氯化物的大气中良好	碱性溶液	铜
铅	有镀铅层的 单根导体	禁止	不适合	在含有高浓度硫酸化合物的大气中良好	—	铜不锈钢

注：1. 敷设于粘土或潮湿土壤中的镀锌钢可能受到腐蚀。

2. 在沿海地区，敷设于混凝土中的镀锌钢不宜延伸进入土壤中。

3. 不得在地中采用铅。

2) 防雷等电位连接各连接部件的最小截面积, 应符合表 4-85 的规定。

表 4-85 防雷装置各连接部件的最小截面积

等电位连接部件			材料	截面积/mm ²
等电位连接带 (铜、外表面镀铜的刚或热镀锌钢)			Cu (铜)、Fe (铁)	50
从等电位连接带至接地装置或 各等电位连接带之间的连接导体			Cu (铜)	16
			Al (铝)	25
			Fe (铁)	50
从屋内金属装置至等电位连接带的连接导体			Cu (铜)	6
			Al (铝)	10
			Fe (铁)	16
连接电涌保 护器的导体	电气系统	I 级试验的电涌保护器	Cu (铜)	6
		II 级试验的电涌保护器		2.5
		III 级试验的电涌保护器		1.5
	电子系统	D1 类电涌保护器		1.2
		其他类的电涌保护器 (连接 导体的截面积可小于 1.2mm ²)		根据具体 情况确定

2. 接闪器

1) 接闪器的材料、结构和最小截面积应符合表 4-86 的规定。

表 4-86 接闪线 (带)、接闪杆和引下线的材料、结构与最小截面积

材料	结构	最小截面积/mm ²	备注 ^⑩
铜, 镀锡铜 ^①	单根扁铜	50	厚度 2mm
	单根圆铜 ^⑦	50	直径 8mm
	铜绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆铜 ^{③④}	176	直径 15mm
铝	单根扁铝	70	厚度 3mm
	单根圆铝	50	直径 8mm
	铝绞线	50	每股线直径 1.7mm
铝合金	单根扁形导体	50	厚度 2.5mm
	单根圆形导体 ^③	50	直径 8mm
	绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆形导体	176	直径 15mm
	外表面镀铜的 单根圆形导体	50	直径 8mm, 径向镀铜厚度至少 70μm, 铜纯度 99.9%
热浸镀锌钢 ^②	单根扁钢	50	厚度 2.5mm
	单根圆钢 ^⑨	50	直径 8mm
	绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆钢 ^{③④}	176	直径 15mm

(续)

材料	结构	最小截面积/mm ²	备注 ^⑩
不锈钢 ^⑤	单根扁钢 ^⑥	50 ^⑧	厚度 2mm
	单根圆钢 ^⑥	50 ^⑧	直径 8mm
	绞线	70	每股线直径 1.7mm
	单根圆钢 ^{③④}	176	直径 15mm
外表面 镀铜的钢	单根圆钢 (直径 8mm)	50	镀铜厚度至少 70μm, 铜纯度 99.9%
	单根扁钢 (厚 2.5mm)		

注: ① 热浸或电镀锡的锡层最小厚度为 1μm。
 ② 镀锌层宜光滑连贯、无焊剂斑点, 镀锌层圆钢至少 22.7g/m², 扁钢至少 32.4g/m²。
 ③ 仅应用于接闪杆。当应用于机械应力没达到临界值之处, 可采用直径 10mm、最长 1m 的接闪杆, 并增加固定。
 ④ 仅应用于入地之处。
 ⑤ 不锈钢中, 铬的含量等于或大于 16%, 镍的含量等于或大于 8%, 碳的含量等于或小于 0.08%。
 ⑥ 对埋于混凝土中以及与可燃材料直接接触的不锈钢, 其最小尺寸宜增大至直径 10mm 的 78mm² (单根圆钢) 和最小厚度 3mm 的 75mm² (单根扁钢)。
 ⑦ 在机械强度没有重要要求之处, 50mm² (直径 8mm) 可减为 28mm² (直径 6mm), 并应减小固定支架间的间距。
 ⑧ 当温升和机械受力是重点考虑之处时, 50mm² 加大至 75mm²。
 ⑨ 避免在单位能量 10MJ/Ω 下熔化的最小截面积是铜为 16mm²、铝为 25mm²、钢为 50mm²、不锈钢为 50mm²。
 ⑩ 截面积允许误差为 -3%。

2) 避雷针宜采用圆钢或焊接钢管制成, 其直径应符合表 4-87 的规定。

表 4-87 避雷针的直径

材料规格 针长、部位	圆钢直径/mm	钢管直径/mm
1m 以下	≥12	≥20
1 ~ 2m	≥16	≥25
烟囱顶上	≥20	≥40

3) 避雷网和避雷带宜采用圆钢或扁钢, 其尺寸应符合表 4-88 的规定。

表 4-88 避雷网、避雷带及烟囱顶上的避雷环规格

材料规格 类别	圆钢直径/mm	扁钢截面积/mm ²	扁管厚度/mm
避雷网、避雷带	≥8	≥48	≥4
烟囱上的避雷环	≥12	≥100	≥4

4) 明敷接闪导体固定支架的间距不宜大于表 4-89 的规定。固定支架的高度不宜小于 150mm。

5) 专门敷设的接闪器, 其布置应符合表 4-90 的规定。布置接闪器时, 可单独或任意组合采用接闪杆、接闪带、接闪网。

表 4-89 明敷接闪导体和引下线固定支架的间距

布置方式	扁形导体和绞线固定 支架的间距/mm	单根圆形导体固定 支架的间距/mm
安装于水平面上的水平导体	500	1000
安装于垂直面上的水平导体	500	1000
安装于从地面至高 20m 垂直面上的垂直导体	1000	1000
安装在高于 20m 垂直面上的垂直导体	500	1000

表 4-90 接闪器布置

建筑物防雷类别	滚球半径 h_r /m	接闪网网格尺寸/m
第一类防雷建筑物	30	$\leq 5 \times 5$ 或 $\leq 6 \times 4$
第二类防雷建筑物	45	$\leq 10 \times 10$ 或 $\leq 12 \times 8$
第三类防雷建筑物	60	$\leq 20 \times 20$ 或 $\leq 24 \times 16$

3. 接地装置

接地体的材料、结构和最小尺寸应符合表 4-91 的规定。

表 4-91 接地体的材料、结构和最小尺寸

材料	结构	最小尺寸			备注
		垂直接地体 直径/mm	水平接地体 /mm ²	接地板 /mm	
铜、镀锡铜	铜绞线	—	50	—	每股直径 1.7mm
	单根圆铜	15	50	—	—
	单根扁铜	—	50	—	厚度 2mm
	铜管	20	—	—	壁厚 2mm
	整块铜板	—	—	500 × 500	厚度 2mm
	网格铜板	—	—	600 × 600	各网格边截面积为 25mm × 2mm， 网格网边总长度不少于 4.8m
热镀锌钢	圆钢	14	78	—	—
	钢管	20	—	—	壁厚 2mm
	扁钢	—	90	—	厚度 3mm
	钢板	—	—	500 × 500	厚度 3mm
	网格钢板	—	—	600 × 600	各网格边截面积为 30mm × 3mm， 网格网边总长度不少于 4.8m
	型钢	注 3	—	—	—
裸钢	钢绞线	—	70	—	每股直径 1.7mm
	圆钢	—	78	—	—
	扁钢	—	75	—	厚度 3mm

(续)

材料	结构	最小尺寸			备注
		垂直接地体 直径/mm	水平接地体 /mm ²	接地板 /mm	
外表面 镀铜的钢	圆钢	14	50	—	镀铜厚度至少 250μm, 铜纯度 99.9%
	扁钢	—	90 (厚 3mm)	—	
不锈钢	圆形导体	15	78	—	—
	扁形导体	—	100	—	厚度 2mm

注: 1. 热镀锌层应光滑连贯、无焊剂斑点, 镀锌层圆钢至少 22.7g/m²、扁钢至少 32.4g/m²。

2. 热镀锌之前螺纹应先加工好。

3. 不同截面的型钢, 其截面积不小于 290mm², 最小厚度 3mm, 可采用 50mm×50mm×3mm 角钢。

4. 当完全埋在混凝土中时才可采用裸钢。

5. 外表面镀铜的钢, 铜应与钢结合良好。

6. 不锈钢中, 铬的含量等于或大于 16%, 镍的含量等于或大于 5%, 钼的含量等于或大于 2%, 碳的含量等于或小于 0.08%。

7. 截面积允许误差为 -3%。

4. 防雷击电磁脉冲

1) 按建筑物电子系统的重要性和使用性质确定的雷击电磁脉冲防护等级应符合表 4-92 的规定。

表 4-92 雷击电磁脉冲防护等级

雷击电磁脉冲防护等级	设置电子信息系统的建筑物
A 级	1. 大型计算机中心、大型通信枢纽、国家金融中心、银行、机场、大型港口、火车枢纽站等 2. 甲级安全防范系统, 如国家文物、档案馆的闭路电视监控和报警系统 3. 大型电子医疗设备、五星级宾馆
B 级	1. 中型计算机中心、中型通信枢纽、移动通信基站、大型体育场馆监控系统、证券中心 2. 乙级安全防范系统, 如省级文物、档案馆的闭路电视监控和报警系统 3. 雷达站、微波站、高速公路监控和收费系统 4. 中型电子医疗设备 5. 四星级宾馆
C 级	1. 小型通信枢纽、电信局 2. 大中型有线电视系统 3. 三星级以下宾馆
D 级	除上述 A、B、C 级以外的电子信息设备

2) 当无法获得设备的耐冲击过电压时, 220/380V 三相配电系统设备的绝缘耐冲击过电压额定值可按表 4-93 选用。

3) 配电线路用 SPD 应根据工程防护等级和安装位置对 SPD 的标称导通电压、标称放电电流、冲击通流容量、限制电压、残压等参数进行选择。用于配电线路 SPD 的最大放电电流参数应符合表 4-94 的规定。

表 4-93 220/380V 三相配电系统各种设备绝缘耐冲击过电压额定值

设备位置	电源处的设备	配电线路和最后分支线路的设备	用电设备	特殊需要保护的設備
耐冲击过电压类别	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类
耐冲击电压额定值/kV	6	4	2.5	1.5

- 注：1. Ⅰ类—需要将瞬态过电压限制到特定水平的设备。
2. Ⅱ类—如家用电器、手提工具和类似负荷。
3. Ⅲ类—如配电盘，断路器，包括电缆、母线、分线盒、开关、插座等的布线系统，以及应用于工业设备和永久接至固定装置的电动机等一些其他设备。
4. Ⅳ类—如电气计量仪表、一次线过流保护设备、波纹控制设备。

表 4-94 配电线路 SPD 的最大放电电流参数

防护等级	LPZ0 与 LPZ1 交界处		后续防雷区交界处			直流电源最大放电电流/kA
	第一级最大放电电流/kA		第二级最大放电电流/kA	第三级最大放电电流/kA	第四级最大放电电流/kA	
	(10/350μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	
A 级	≥20	≥80	≥40	≥20	≥10	≥10
B 级	≥15	≥60	≥40	≥20	—	直流配电系统中根据线路长度和工作电压选用最大放电电流≥10kA 适配的 SPD
C 级	≥12.5	≥50	≥20	—	—	
D 级	≥12.5	≥50	≥10	—	—	

注：配电线路用 SPD 应具有 SPD 损坏告警、热容和过流保护、保险跳闸告警、遥信等功能；SPD 的外封装材料应为阻燃材料。

4) 信息系统的信号传输线路 SPD，应根据线路工作频率、传输介质、传输速率、工作电压、接口形式、阻抗特性等参数，选用电压驻波比和插入损耗小的适配的产品，并应符合表 4-95 和表 4-96 的规定。

表 4-95 信号线路 SPD 的性能参数

缆线类型	非屏蔽双绞线	屏蔽双绞线	同轴电缆
参数要求			
标称导通电压	≥1.2U _n	≥1.2U _n	≥1.2U _n
测试波形	(1.2/50μs、8/20μs) 混合波	(1.2/50μs、8/20μs) 混合波	(1.2/50μs、8/20μs) 混合波
标称放电电流/kA	≥1.0	≥0.5	≥3.0

注：U_n表示额定工作电压。

表 4-96 信号线路、天馈电路 SPD 的性能参数

名称	插入损耗/dB	电压驻波比	响应时间/ns	用于收发通信系统的 SPD 平均功率/kW	特性阻抗/Ω	传输速率/bps	工作频率/MHz	接口形式
数值	≤0.5	≤1.3	≤10	≥1.5 倍系统平均功率	应满足系统要求	应满足系统要求	应满足系统要求	应满足系统要求

注：信号线用 SPD 应满足信号传输速率及带宽的需要，其接口应与被保护设备兼容。

5) 安装磁场屏蔽后续防雷区、安装协调配合好的多组电涌保护器, 宜按需要保护的设备的数量、类型和耐压水平及其所要求的磁场环境选择 (见图 4-43)。

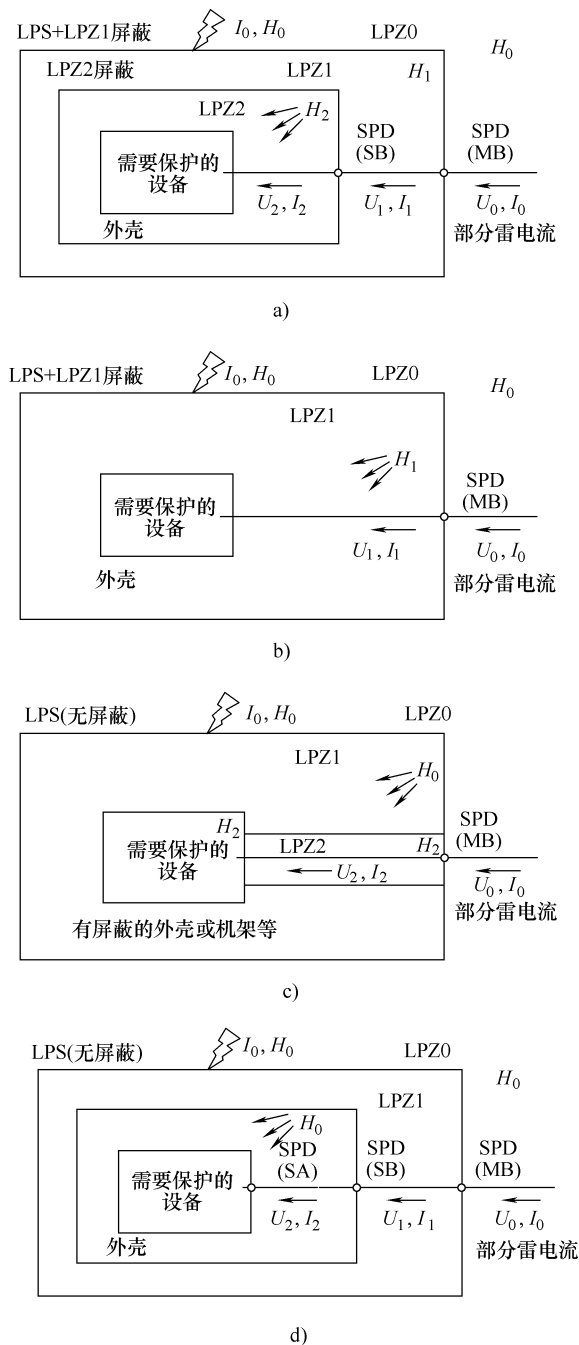


图 4-43 防雷击电磁脉冲

- a) 采用大空间屏蔽和协调配合好的电涌保护器保护 b) 采用 LPZ1 的大空间屏蔽和进户处安装电涌保护器的保护 c) 采用内部线路屏蔽和在进入 LPZ1 处安装电涌保护器的保护 d) 仅采用协调配合好的电涌保护器保护
- MB—总配电箱 SB—分配电箱 SA—插座

图 4-43a 中, 设备得到了良好的防导入电涌的保护, U_2 大大小于 U_0 和 I_2 大大小于 I_0 , 以及 H_2 大大小于 H_0 防辐射磁场的保护; 图 4-43b 中, 设备得到了防线路导入电涌的保护, U_1 小于 U_0 和 I_1 小于 I_0 , 以及 H_1 小于 H_0 防辐射磁场的保护; 图 4-43c 中, 设备得到了防线路导入电涌的保护, U_2 小于 U_0 和 I_2 小于 I_0 , 以及 H_2 小于 H_0 防辐射磁场的保护; 图 4-43d 中, 设备得到了防线路导入电涌的保护, U_2 大大小于 U_0 和 I_2 大大小于 I_0 , 但不需防 H_0 辐射磁场的保护。

6) 对应三类建筑物最大雷电流的滚球半径应符合表 4-97 的规定。

表 4-97 与最大雷电流对应的滚球半径

防雷 建筑物 类别	最大雷电流 i_0/kA			对应的滚球半径 R/m		
	正极性 首次雷击	负极性 首次雷击	负极性 后续雷击	正极性 首次雷击	负极性 首次雷击	负极性 后续雷击
第一类	200	100	50	313	200	127
第二类	150	75	37.5	260	165	105
第三类	100	50	25	200	127	81

7) 每幢建筑物本身应采用一个接地系统 (见图 4-44)。

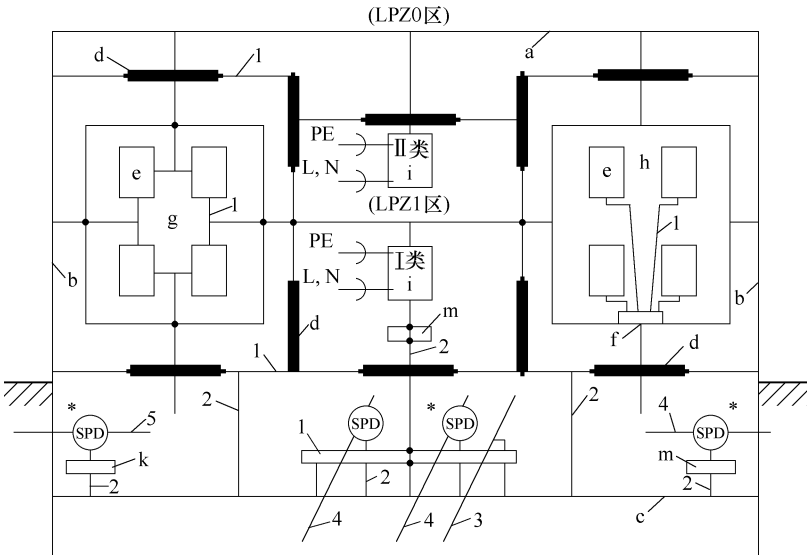


图 4-44 接地、等电位连接和接地系统的构成

a—防雷装置的接闪器及可能是建筑物空间屏蔽的一部分 b—防雷装置的引下线及可能是建筑物空间屏蔽的一部分
c—防雷装置的接地装置 (接地体网络、共用接地体网络) 以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分, 如基础内钢筋和基础接地体 d—内部导电物体, 在建筑物内及其上不包括电气装置的金属装置, 如电梯轨道, 起重机, 金属地面, 金属门框架, 各种服务性设施的金属管道, 金属电缆桥架, 地面、墙和天花板的钢筋 e—局部电子系统的金属组件 f—局部等电位连接带单点连接的接地基准点 (ERP) g—局部电子系统的网形等电位连接结构 h—局部电子系统的星形等电位连接结构 i—固定安装有 PE 线的 I 类设备和无 PE 线的 II 类设备 k—主要供电系统等电位连接用的总接地带、总接地母线、总等电位连接带, 也可用作共用等电位连接带 l—主要供电子系统等电位连接用的环形等电位连接带、水平等电位连接导体, 在特定情况下采用金属板, 也可用作共用等电位连接带, 用接地线多次接到接地系统上做等电位连接, 宜每隔 5m 连一次 m—局部等电位连接带 n—等电位连接导体 o—接地线 p—服务性设施的金属管道 q—电子系统的线路或电缆 r—电气系统的线路或电缆 *—进入 LPZ1 区处, 用于管道、电气和电子系统的线路或电缆等外来服务性设施的等电位连接

8) S 型等电位连接应仅通过唯一的 ERP 点, 形成 S_s 型连接方式 (见图 4-45)。

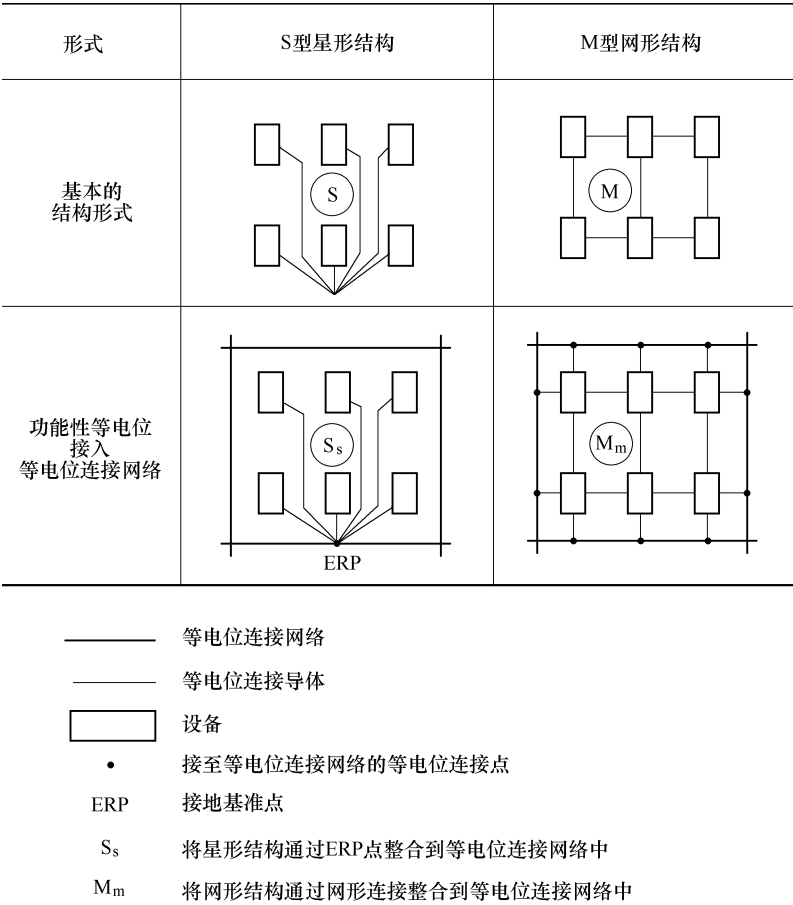


图 4-45 电子系统功能性等电位连接整合到等电位连接网络中

9) 两栋定为 LPZ1 区的独立建筑物用电气线路或信号线路的屏蔽电缆或穿钢管的无屏蔽线路连接时, 屏蔽层流过的分雷电流在其上所产生的电压降不应对线路和所接设备引起绝缘击穿, 同时屏蔽层的截面积应满足通流能力 (见图 4-46)。

10) LPZ1 区内两个 LPZ2 区之间用电气线路或信号线路的屏蔽电缆或屏蔽的电缆沟或穿钢管屏蔽的线路连接在一起, 当有屏蔽的线路没有引出 LPZ2 区时, 线路的两端可不安装电涌保护器 (见图 4-47)。

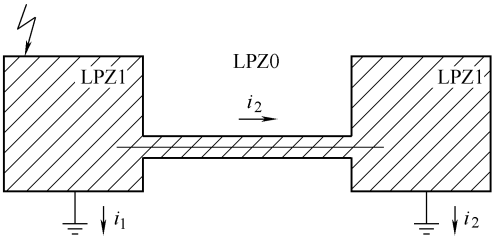


图 4-46 用屏蔽电缆或穿钢管线路将两栋独立的 LPZ1 区连接在一起

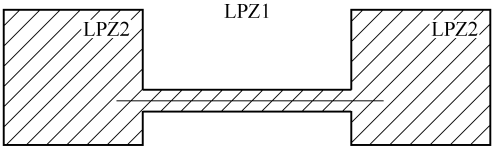


图 4-47 用屏蔽的线路将两个 LPZ2 区连接在一起

4.8.3 防雷与接地装置安装

1. 防雷系统安装

(1) 一般规定 阀型避雷器的主要技术参数见表 4-98。

表 4-98 阀型避雷器的主要技术参数

型号	额定电压 有效值 /kV	最大允许 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（预放 时间为 1.5 ~ 20μs） 峰值/kV	残压（波形为 10/20μs） 峰值/kV 不大于		
				不小于	不大于		3kA	5kA	10kA
FS-3	3	3.5	3.8	9	11	≤21	≤16	≤17	—
FS-6	6	6.9	7.6	16	19	≤35	≤28	≤30	—
FS-10	10	11.5	12.7	26	31	≤50	≤47	≤50	—
FZ-3	3	3.5	3.8	9	11	≤20	—	≤14.5	≤16
FZ-6	6	6.9	7.6	16	19	≤30	—	≤27	≤30
FZ-10	10	11.5	12.7	26	31	≤45	—	≤45	≤50

注：1. FS 型适用于配电网络，FZ 型适用于发电厂和变电所。

2. 选用时除考虑上述参数外，还要考虑安装地点的海拔高度。

CX2 系列管型避雷器的主要技术参数见表 4-99。

表 4-99 CX2 系列管型避雷器的主要技术参数

规格	额定电压 /kV	灭弧管 间隙 /mm	隔离 间隙 /mm	灭弧管 内径/mm	冲击放电电压 (1.5/20μs) /kV				工频耐受 电压/kV		额定断流 能力/kV	
					负极性		正极性					
					波前	最小	波前	最小	干	湿	上限	下限
CX2 $\frac{10}{2-7}$	10	130	$\frac{15}{20}$	$\frac{10}{10.5}$	76	60	77	75	33	27	7	2
CX2 $\frac{10}{0.8-4}$	10	130	$\frac{15}{20}$	$\frac{8.5}{9}$	74	60	77	75	33	27	4	0.8
CX2 $\frac{6}{2-8}$	6	130	$\frac{10}{15}$	$\frac{9.5}{10}$	60	55	59	44	20	16	8	2
CX2 $\frac{6}{0.5-3}$	6	130	$\frac{10}{15}$	$\frac{8}{8.5}$	60	55	59	44	20	16	3	0.5

避雷器的选用参考表 4-100。

表 4-100 避雷器特点和主要用途

名称与型号		特 点	主 要 用 途
羊角（保护） 间隙避雷器		结构简单、经济、安装容易。 当雷击高压侵入，羊角间隙放电 （自动灭弧）时，将雷电流引地	可用作变压器高压侧及电度表的保护
普通 阀型 避雷器	配电所型 FS	仅有间隙和阀片（碳化硅）	用作配电变压器、电缆头、柱上断路器等设备的 防雷保护。电压等级较低
	变电所型 FZ	同 FS 型，但间隙带有均压电 阻，使熄弧能力增大	用作变电所电气设备防雷，其中 3 ~ 60kV 型用于 中性不接地系统；110kV 型分接地与不接地两种； 220kV 型仅用于中性接地

(续)

名称与型号		特 点	主 要 用 途
磁吹 阀型 避雷器	旋转电机型 FCD	同 FZ 型, 但间隙加磁吹灭弧元件, 使熄弧能力增强, 且部分间隙并联电容器以改善特性	用于旋转电机的防雷
管型 避雷器	CX	由产气管、内部间隙和外部间隙三部分组成。管内无阀片, 不存在冲击电流通过时所产生的残压问题	保护线路中的绝缘弱点 (特高杆塔、大挡距交叉跨越杆塔等) 和发电厂、变电所的进线段, 以及雷雨季节中经常断开而其线路侧又有电压的隔离开关或断路器
金属氧化物 避雷器	Y5C Y3W Y5W	采用非线性特性较好的氧化锌阀片, 无间隙或局部阀片有并联间隙。比普通阀型避雷器动作迅速、可靠性高、寿命长、维护简便, 是更新产品	低压氧化锌避雷器用于 380V 及以下设备, 如配电变压器 (低压侧)、低压电机、电表表等的防雷。高压氧化锌避雷器可用来保护高压电机或变电所电气设备或电容器组

(2) 安装要求

各类建筑物、电力设施防雷系统安装要求见表 4-101 ~ 表 4-104。

表 4-101 第一类建筑物的防雷系统安装要求

项 目	安 装 要 求
防直击雷	1. 装设独立避雷针 (或架空避雷线) 进行保护, 其保护范围高出排放危险物 (气体、蒸气或粉尘) 的建筑物顶部不应小于 2m。独立避雷针应有独立的接地装置, 冲击接地电阻 R_{ch} 宜小于 10Ω 2. 避雷针 (带) 可装在建筑物上, 冲击接地电阻 R_{ch} 应小于 10Ω 3. 独立避雷针及其接地装置, 至被保护建筑物及与其有联系的金属物之间的距离, 空气中应不小于 $(0.3R_{ch} + 0.1h)$ m, 且应大于 5m; 地中应不小于 $0.3R_{ch}$ m, 且应大于 3m 4. 建筑物的钢筋及室内的金属设备, 均应彼此连接和接地
防感应雷	1. 非金属物面要装避雷网, 建筑物内的金属物和突出屋面的金属物均应接地, 金属屋面和钢筋混凝土屋面沿周边应每隔 18 ~ 24m 用引下线接地一次 2. 平行敷设的长金属物, 如管道、构架和电缆外皮等, 其相互间净距小于 100mm 时, 应每隔 20 ~ 30m 用金属线跨接, 净距小于 100mm 的交叉处及金属管道连接处 (如弯头、阀门、法兰盘等), 应用金属线跨接后接地 3. 防雷电感应的接地装置, 接地电阻应小于 10Ω, 应和电气设备的接地装置连接。室内接地干线与接地装置的连接不应少于 2 处
防雷电波入侵	1. 采用不小于 50m 的电缆进线保护。在电缆与架空线连接处还应装设阀型避雷器。避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚应连接在一起并接地, 冲击接地电阻应小于 10Ω 2. 架空、埋地或地沟内的金属管道, 在进入建筑物处应与防雷电感应的接地装置相连。距离建筑物 100m 内的架空管道, 应每隔 25m 接地一次, 冲击接地电阻应小于 20Ω

注: 除有特殊要求外, 防直击雷、防感应雷、防雷电波侵入以及电气设备的接地装置允许连在一起。

表 4-102 第二类建筑物的防雷系统安装要求

项 目	安 装 要 求
防直击雷	1. 在建筑物、构筑物上装设避雷针或避雷网，避雷网应沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击部位装设，并应在整个屋面组成小于 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的网络。避雷针之间要用避雷带互相连接。冲击接地电阻要小于 10Ω 2. 厚度大于 4mm 的金属层面可作为接闪器 3. 金属管道、混凝土内的钢筋可作为引下线，其与接地装置的接连焊接，与外部连接的钢筋与预留连接板的连接要焊接。接地装置各构件之间要连成电气通路 4. 引下线应不少于两根，其间距应小于 24m 5. 对排放具有爆炸危险的气体、蒸气或粉尘的突出屋面的排风管、呼吸阀等，应在其附近装设避雷针保护，避雷针的针尖应高出管口 3m 以上，且管口北方 1m 应在保护范围内。屋面接闪器保护范围之外的非金属物体，要装接闪器，并和屋面防雷装置相连
防感应雷	1. 屋内的主要金属物体（如设备、管道、构架等），应与接地装置相接 2. 屋内平行敷设的长金属物体的防雷要求同第一类建筑物、构筑物的防雷要求。用法兰盘或丝扣连接的金属管道，其连接处可不用金属跨接线 3. 屋内接地干线与接地装置的连接不应少于 2 处
防雷电波入侵	1. 采用电缆进线时的防雷保护措施与第一类建筑物、构筑物相同 2. 采用低压架空进线时，进户线电杆的绝缘子铁脚应接地，其冲击接地电阻应小于 10Ω。前两基电杆的绝缘子铁脚也均应接地，其冲击接地电阻应小于 20Ω。装在入户墙上的低压避雷器或保护间隙，应与绝缘子铁脚及接地装置相连，其总的冲击接地电阻应小于 5Ω 3. 架空或直接埋入地下的金属管道在入户处应与接地装置相连，架空金属管道在距建筑物约 25m 处应接地一次，其冲击接地电阻应小于 10Ω

表 4-103 第三类建筑物的防雷系统安装要求

项 目	安 装 要 求
防感应雷	1. 建筑物、构筑物最容易受雷击的部位（屋脊、屋角、山墙等）应装设避雷针或避雷带，其冲击接地电阻应小于 30Ω 2. 引下线不宜少于两根，其间距不宜大于 $30 \sim 40\text{m}$，当建筑物的周长和高度均不超过 40m 时，可只设一根引下线 3. 如为钢筋混凝土屋面，可利用其钢筋作为防雷装置。金属屋面宜作为接闪器
防雷电波入侵	1. 在低压架空线入户处，应将绝缘子铁脚接到防雷及电气设备的接地装置上 2. 进入建筑物的架空金属管道，在入户处宜与上述接地装置相连

表 4-104 电力设施的防雷系统安装要求

项 目		安 装 要 求
电力线路	高压架空线路 (220/380V)	1. 采用瓷横担,或在铁横担上采用高一级的绝缘瓷瓶 2. 利用三角形线架的顶线作保护线,即在顶相绝缘子上装羊角间隙避雷器 3. 对线路上个别特别高的电杆、线路的交叉跨越处、电缆头、开关等,装管形避雷器或保护间隙 4. 采用自动重合闸开关或自动重合熔断器作辅助防雷
	低压架空线路 (3 ~ 10kV)	1. 一般用户的接户线的绝缘子铁脚接地,接地电阻应小于 30Ω 2. 在重要用户进户线前 50m 处安装一组低压避雷器,入户后再装一组 3. 人员密集的场所(如学校教学楼等)以及由木杆、木横担作引下的接线路,绝缘子铁脚应另设接地线接地 4. 在多雷区或易遭雷击区,直接与架空线相连的电表要装设低压阀型避雷器或保护间隙,并要重复接地
变配电所		1. 装设避雷针保护整个变电所 2. 装设避雷线保护变电所的进出线,防止雷击沿线路入侵变电所对于 35kV 电力线路,在进、出变电所 1 ~ 2km 段内架设架空避雷线,并在避雷线两端装设管型避雷器,其接地电阻应小于 10Ω , 10kV 及以下的配电线路的进出线,只要装设 FZ 或 FS 型阀式避雷器 3. 装设阀型避雷器,防止雷电波进入变电所,在变电所的母线上装设一组阀型避雷器,以保护主变压器,对于 6 ~ 10kV 的变电所,避雷器与主变压器的间距应大于 5m
配电变压器		1. 6 ~ 10kV/0.4kV, Yyn 接线的配电变压器 1) 高压侧。在高压熔断器内侧装设阀型避雷器,避雷器引下线与变压器中性线及各金属外壳连在一起共同接地 2) 低压侧。装一组阀型避雷器(220V)、440V 压敏电阻或击穿熔丝 2. 6 ~ 10kV/0.4kV, Yyn 接线的配电变压器 1) 高压侧。与上述相同 2) 低压侧。除上述外,还应在中性点增设保护间隙,其接地端必须与总接地网相连 3. 35/0.4kV 直配变压器 1) 高压侧。装设阀型变压器,且要在变压器与避雷器之间增设一 $20\mu\text{H}$ (直径 20cm, 长 24cm, 绕 30 匝) 的电感线圈 2) 低压侧。对于 $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上容量的变压器,接地电阻要小于 4Ω , 对于 $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 以下容量的变压器,接地电阻要小于 10Ω
柱上开关		3 ~ 10kV 的柱上开关,常用阀型避雷器,也可以用保护间隙。经常处于闭路运行状态的柱上开关,避雷器安装在电源侧。经常处于开路运行状态的柱上开关,应在两侧安装避雷器。其接地线与柱上开关的金属外壳连接并接地,接地电阻要小于 10Ω

2. 接地装置安装

低压配电系统接地,根据国际电工委员会(IEC)的规定,分为 TN-S 系统、TN-C 系统、TN-C-S 系统、TT 系统、IT 系统五类,见表 4-105,其中 N 为零线,PE 为接地线,PEN 为零线与接地线合成。

表 4-105 低压配电系统的接地方式与应用

接地方式	接线图示	特点及应用
TN-S 方式 (五线制)	电力系统接地点 电气设备外露可导电部分	特点：用电设备金属外壳接 PE 线，发生事故（一相碰壳漏电等）时，保护装置（熔断器、低压断路器）动作，切断电源。比较安全，费用较高 应用：环境条件较差的场所，高层建筑数据处理、精密检测装置供电系统
TN-C 方式 (四线制)	电力系统接地点 电气设备外露可导电部分	特点：N 线与 PE 线合用成 PEN，发生事故（如一相碰壳漏电）时，保护器会动作，比较安全，费用较低 应用：一般场所用
TN-C-S 方式 (四线半制)	电力系统接地点 电气设备外露可导电部分	特点：在系统的末端将 PEN 合线分成 PE 线和 N 线（分开后不允许再合），兼具 TN-C 和 TN-S 优点 应用：在线路末端环境较差的场所，为安全应单独装设 PE 线。TN-C 四线部分在建筑物外为外线，TN-C-S 五线在建筑物内部为内线
TT 方式 (直接接地)	电力系统接地点 电气设备外露可导电部分 三相四线制	特点：每一设备金属外壳或外露可导电部分采用各自 PE 接地线单独接地，故障电流小，保护装置难动作，安全性较差 应用：只适合于功率不大的设备，或作精密电子仪器设备的屏蔽接地
IT 方式 (经高阻接地)	电力系统接地点 电气设备外露可导电部分 三相三线制	特点：单相接地短路电流很小，保护装置不会动作，供电系统可继续运行。故障时外壳不带电，但中性线电压升高，需采取另外设备监视 应用：少停电的场所

4.9 信息设施系统与信息化应用系统

1) 通信网络由用户终端设备、交换设备、传输设备按一定拓扑模式组合而成。端局至汇接局的传输设备称为中继电路,端局至终端用户的传输设备称为用户电话。住宅小区通信网络结构如图 4-48 所示。

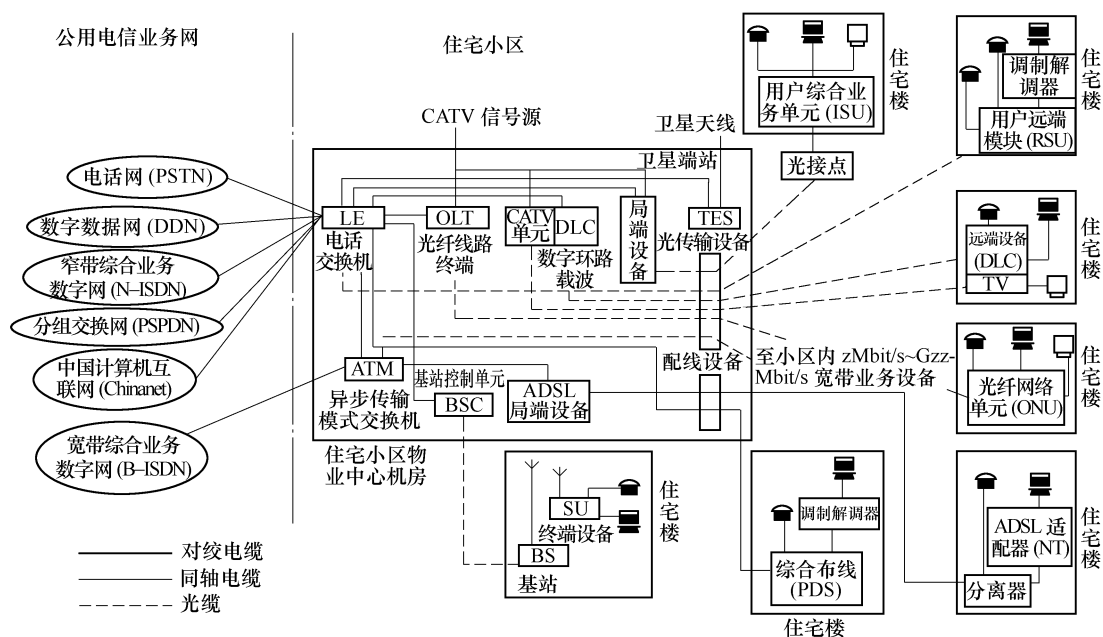


图 4-48 住宅小区通信网络结构综合示意图

2) 接入网在通信网中位置如图 4-49 所示。

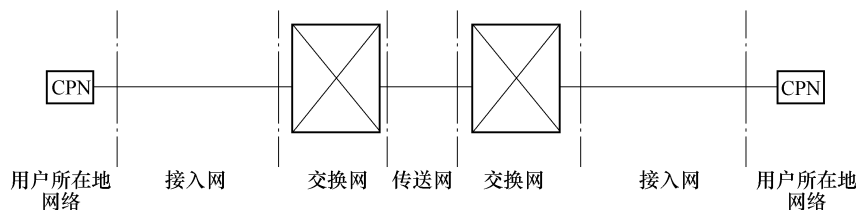


图 4-49 接入网的位置

3) 几种接入网技术介绍见表 4-106。

表 4-106 接入网技术简介

接入方式	主 要 内 容
铜缆接入	1. 高比特数字用户线（HDSL）。采用先进的数字信号均衡技术，它能够在现有的电话双绞线上利用2~3对线开放全双工的2Mbit/s速率的数字业务，传输距离约6km 2. 非对称数字用户线（ADSL）。ADSL采用调制技术将上行信道与下行信道分开，上行信道速率为64~640Kbit/s，传输距离一般为2~5km；下行信道速率从2~8Mbit/s，将实现音频、数据、视频信号在电话双绞线上传送。在不影响电话业务的情况下，用户端只需加装一个ANT（网络终端设备），即可接入宽带网络

接入方式	主 要 内 容
铜缆接入	1. 高比特数字用户线（HDSL）。采用先进的数字信号均衡技术，它能够在现有的电话双绞线上利用2~3对线开放全双工的2Mbit/s速率的数字业务，传输距离约6km 2. 非对称数字用户线（ADSL）。ADSL采用调制技术将上行信道与下行信道分开，上行信道速率为64~640Kbit/s，传输距离一般为2~5km；下行信道速率从2~8Mbit/s，将实现音频、数据、视频信号在电话双绞线上传送。在不影响电话业务的情况下，用户端只需加装一个ANT（网络终端设备），即可接入宽带网络

(续)

接入方式	主要内容
铜缆接入	ADSL 系统在业务侧以 155Mbit/s 速率光接口及多种接口方式接入公用网的 ATM 交换网、帧中继网、广域网等网络,在对绞线的两端可通过电话分离器将模拟电话业务和数字业务进行分离/混合。适配器设备能够提供棚 (25Mbit/s)、以太网接口 (10Mbit/s) 或 USB 接口的计算机终端、带机顶盒的电视机等,还具有提供无线接口终端设备的功能,ADSL 的接入可以和电话业务共享同一对双绞线。本系统也可不包括电话分离器 3. 线对增容技术是利用普通的电缆在交换局与用户间传送多路电话的复用传输技术。常用的有 0+2~0+8 数字增容设备。优点是充分利用电话线路实现增容;缺点是没有 V5 接口,传输容量小,且不能支持宽带业务 4. VDSL 数字用户线具有优良的高频传递性能,是属于宽带接入方式。在端局模拟电话不需更动,但图像信号经光纤传送至远端,传输速率可达 622Mbit/s 或更高;远端的收发机模块负责将各种信号耦合到双绞线中;在用户处又通过一个耦合器将电话信号分离出来至电话机,其余信号经用户收发机解调成相应的基带信号送至不同的终端
光纤接入	1. 光纤接入网 (OAN) 1) 无源光纤接入网的系统组成。所谓光纤接入网就是采用光纤传输技术的接入网。对于要真正解决宽带多媒体业务的用户,就必须将光纤引入到接入网中。而其他各种接入技术只是一种过渡性的临时措施。OAN 的系统组成如图 4-50 所示 光纤接入网定义为光接入传输系统支持并共享同样网络侧接入口的一系列接入链路,由光纤线路终端 (OLT)、光配线网 (ODN)、光网络单元 (ONU) 及适配功能 (AF) 组成,可能包括若干与同一 OLI 相连的 ODN ① OLT 的作用:OLT 是为光接入网提供网络侧与本地交换机之间的接口,并经一个或多个 ODN 与用户侧的 ONU 建立通信,OLT 与 ONU 为主从通信的关系。OLT 可设置在本地交换机接口处,也可设置在远端,与远端集中器或复用器相连 ② ODN 的作用:ODN 为 OLT 和 ONU 之间提供光传输手段,主要功能是完成光信号功率的分配。ODN 为无源光元件 (如光纤光缆、光连接器和光分路器等) 所组成的纯无源的光配线网,通常为树形分支结构 ③ ONU 是为光接入网提供远端的用户侧接口,处于 ODN 的用户侧 ④ AF 的作用:AF 为 ONU 和用户设备提供适配功能,它可以包含在 ONU 内或完全独立 2) 光纤接入网 (OAN) 的应用类型。ONU 在光纤接入网中所处的位置有三种类型,如图 4-51 所示 3) 光纤接入方式 ① 有源光纤数字环路载波 DLC 系统。这种系统以星形、链形、环形的光纤传输方式代替馈线和配线,然后再以对绞线分配到用户,以支持窄带业务,如果将来考虑网络升级,也可采用 PDH (光纤传输系统) 技术 有源光纤接入技术采用光纤传输设备,可在一对光纤上传输电话、ISDN、数据、租用线等业务 ② 无源光纤接入 (PON)。无源光纤接入系统不采用有源光器件,而是通过波分复用和无源光功率分离技术,达到业务透明和设备资源共享。系统主要由光纤线路终端 (OLT)、光网络单元 (ONU) 和光配线网 (19DN) 组成。它利用波分复用技术在一根或一对光纤的 1310nm 和 1550nm 波长窗口上传送上、下行信号,为用户提供高速数据、宽带视频和普通电话业务。ONU 的设置方式有: FITH——光纤到户、到办公室,可将 ONU 放在业务量需求较少的地方,并采用较为经济的点到多点组网。若业务需求较大,可采用点到点或环形的结构 FITC——光纤到路边,ONU 可设置在入孔或电线杆上的分线盒处,有时也可设在交接箱后,ONU 到用户间仍为双绞线铜缆,当传输宽带图像业务时,可为同轴电缆 FITB——光纤到楼,ONU 可设置在楼内,再经多对双绞线将业务传至各个用户,通常为点到点的结构,适用于高密度用户区和新建智能建筑、智能住宅楼以及宽带传输系统区 ③ 同步光纤接入。由于 SDH 在技术上的优势,主要优点是具有标准接口、传输速率高、网络的自愈能力强,因此可以和 ATM 结合,也可直接将 SDH 应用于各种企事业单位用户及住宅居民用户。同步光纤网络是为建立全球性的通信网而提出的一个通信网传输标准

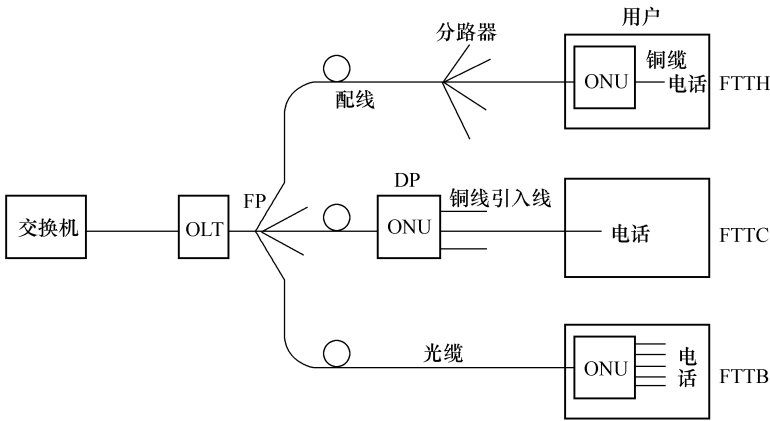


图 4-51 光纤接入网（OAN）的应用类型

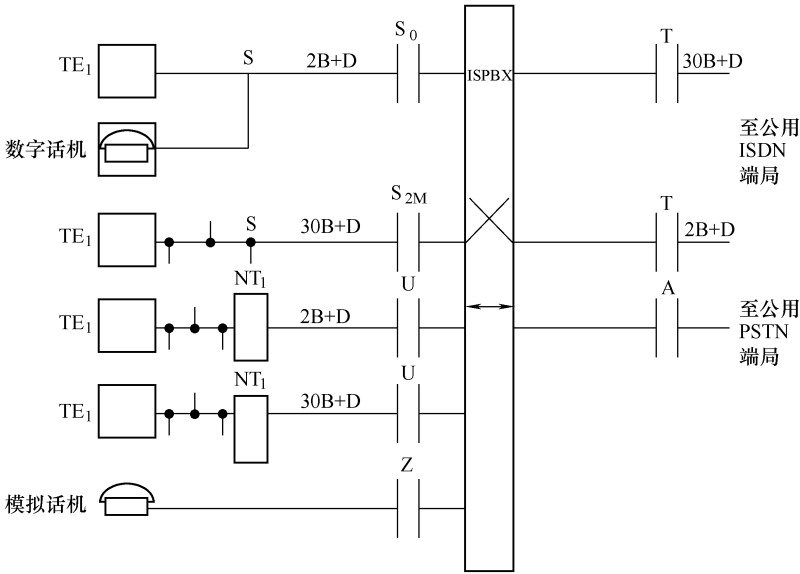


图 4-52 ISPBX 配置接口示意图

4) 电话站典型布置示例如图 4-53 ~ 图 4-55 所示。

5) 电话线路的配接，分为直接配线、交接箱配线及这两种的混合配线系统，见表 4-107。

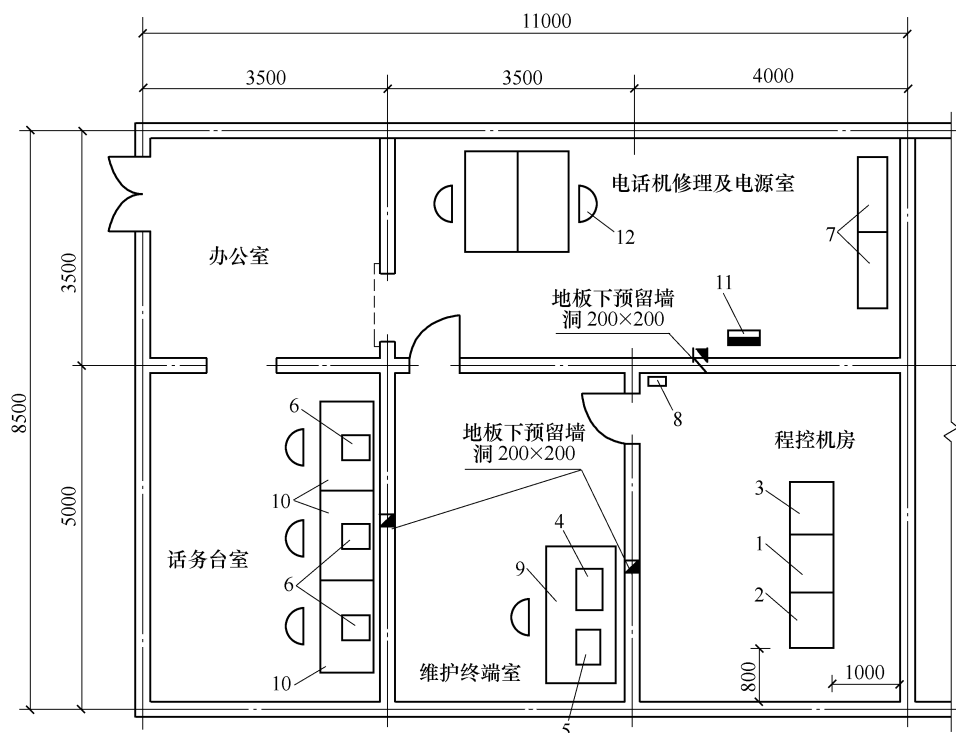


图 4-53 交换机 1000 门程控电话站平面布置示例

1—交换机主机柜 2—交换机扩展柜 3—配电电源柜 4—维护终端 (含打印机) 5—计费装置
6—话务台 7—全密封免维护铅酸蓄电池 8—接地板 9—终端桌 (大型) 10—终端桌 11—交流配电箱 12—椅子

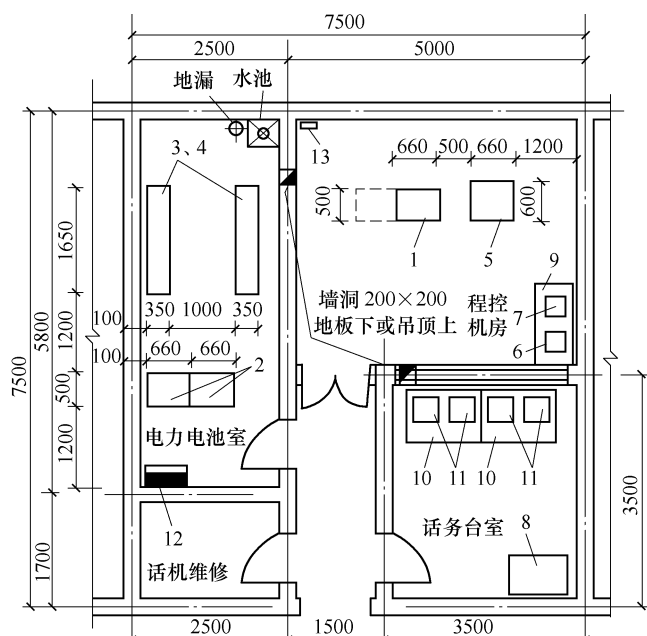


图 4-54 交换机 500/1000 门程控电话站平面布置示例

1—综合业务数字交换机 2—交直流组合电源 3—全密封免维护铅酸蓄电池 4—全密封免维护铅酸蓄电池柜
5—配线架 (柜式) 6—维护终端 7—计费装置 8—桌子 9—工作台 10—话务台桌 11—话务台
12—交流配电箱 13—接地板

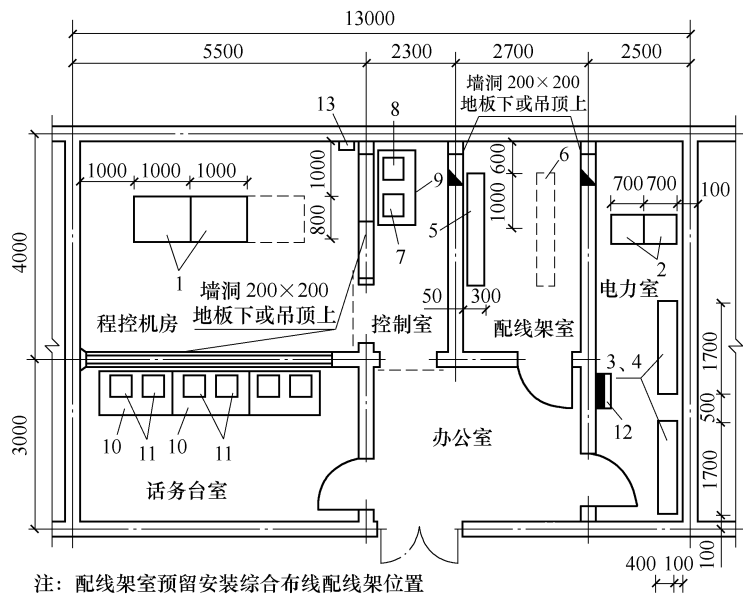
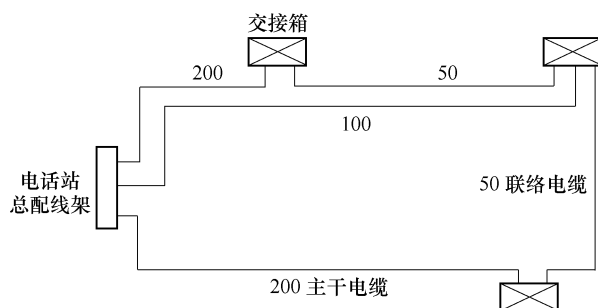
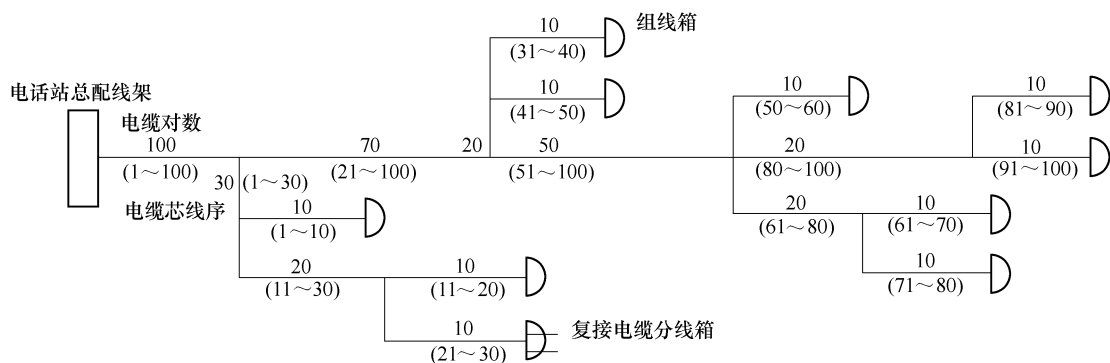


图 4-55 交换机 1000/2000 门程控电话站平面布置示例

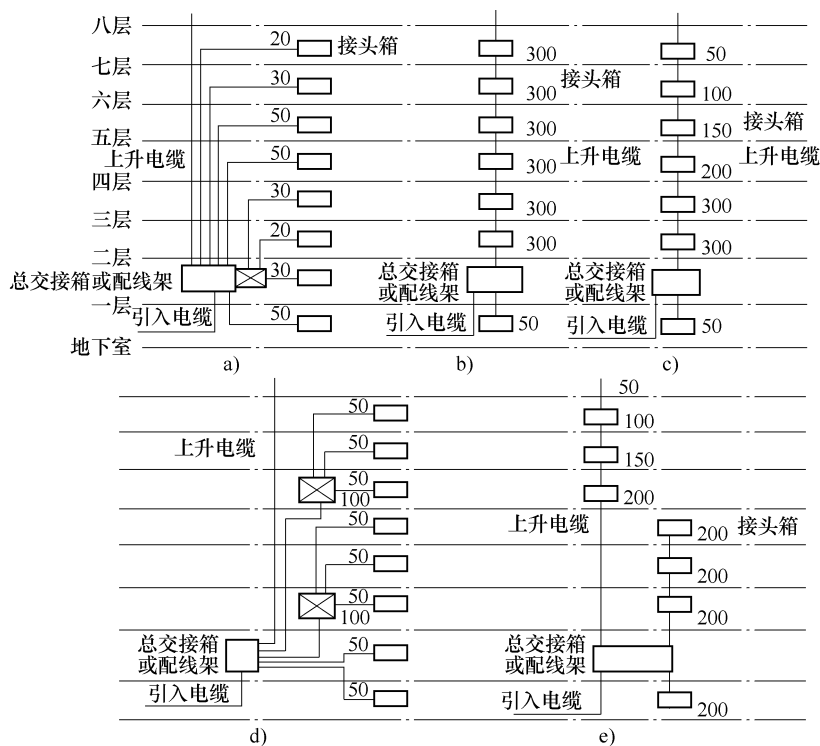
- 1—综合业务数字交换机 2—交直流组合电源 3—全密封免维护铅酸蓄电池
4—全密封免维护铅酸蓄电池柜 5—配线架 6—综合布线配线架
7—维护终端 8—计费装置 9—工作台 10—话务台桌
11—话务台 12—交流配电箱 13—接地板

表 4-107 电话线路的配接

配线方式	组 成	特 点
直接配线	由总机配线架直接引出主干电缆，再从主干电缆上分支到各用户的组线箱（电话端子箱），如图 4-56 所示	优点为节省投资、施工维护简单，但灵活性差、芯线使用率低（一般在 65% ~ 80%），通信可靠性较差。直配系统的每条电缆容量一般不超过 100 对。为了提高芯线使用率（达到 70% ~ 90%）及有调节的可能性，可采用复接电缆分线箱，如图 4-56 中电缆线序 21 ~ 30
交接箱配线	将电话用户划分为若干区，每区设一个交接箱。由总机配线架各引一条 100 对、200 对主干电缆至各交接箱，再由总机配线架引一条 50 ~ 100 对联络电缆至各交接箱备用，如图 4-57 所示	此种系统适用于建筑群，且每栋建筑物的电话用户多，能保证通信可靠，发展、调整灵活，主干线的芯线使用量为 80% ~ 92%



6) 目前高层建筑电话电缆的配线方式如图 4-58 所示。



a) 单独式 b) 复接式 c) 递减式 d) 交接式 e) 混合式

7) 通信人孔、手孔尺寸如图 4-59 所示。

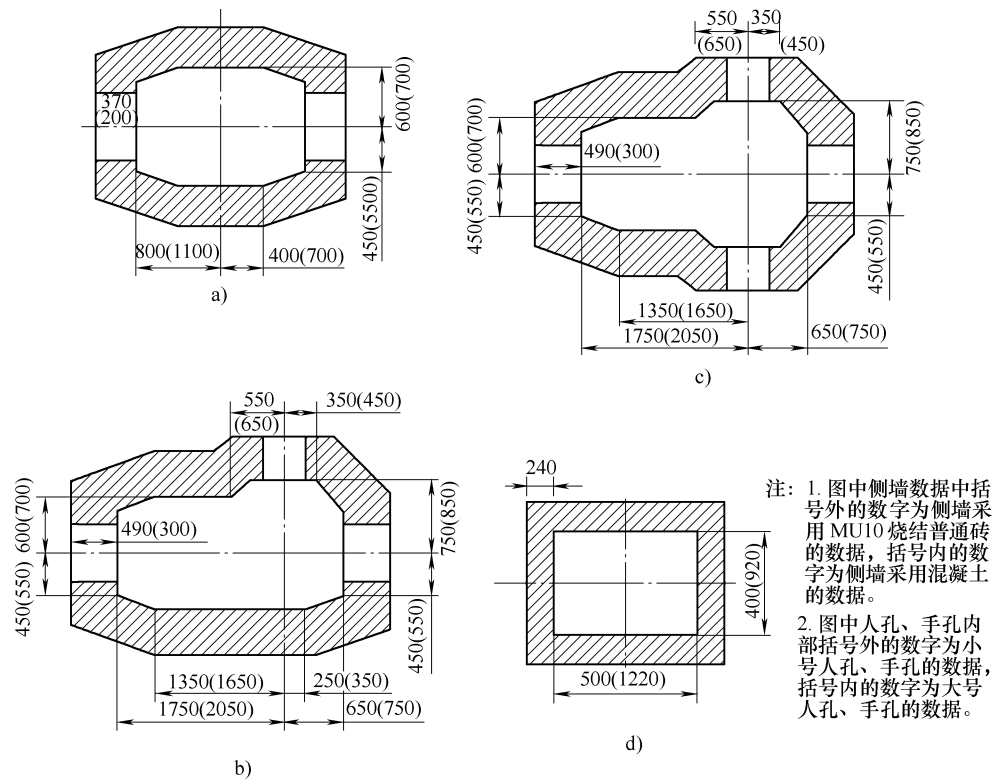


图 4-59 通信人孔、手孔尺寸

a) 直通型人孔 b) 三通型人孔 c) 四通型人孔 d) 手孔

4.10 公共安全系统

4.10.1 火灾自动报警系统

1. 概述

(1) 系统保护对象分级 民用建筑的火灾自动报警系统保护对象分级可按表 4-108 划分。

表 4-108 民用建筑火灾自动报警系统保护对象分级

等级	保护对象
一级	电子计算中心 省（市）级档案馆 省（市）级博展馆 4 万以上座位的大型体育场 星级以上旅游饭店

(续)

等级	保护对象
一级	大型及以上铁路旅客站 省（市）级及重要开放城市的航空港 一级汽车及码头客运站
二级	大、中型电子计算站 2 万以上座位体育场

(2) 报警区域的确定

1) 附属建筑物的划分区域。

附属建筑物，如屋顶电梯机房、装饰塔、瞭望塔、建筑物的地下层仓库、机械室及其他类似的建筑物等，如果其各自的水平投影面积在该建筑物楼层面积的 1/8 以下；如果其建筑面积超过 1/8，且各自近 500m²，可设为一个报警分区。如图 4-60 所示的 R_1 、 R_2 ，其面积（100m²以下）各为建筑层面积 1000m²的 1/8 以下，可不计算在内，并可将 R_1 和 R_2 设为一个报警区；或与第六层的 300m² 合并（近 500m²），设为一个报警区。图 4-60 中的 B_1 、 B_2 各超过楼层面积 1000m²的 1/8，且又涉及两层，可分别设报警区；但总面积不超过 500m²，又可合并为一个报警区。

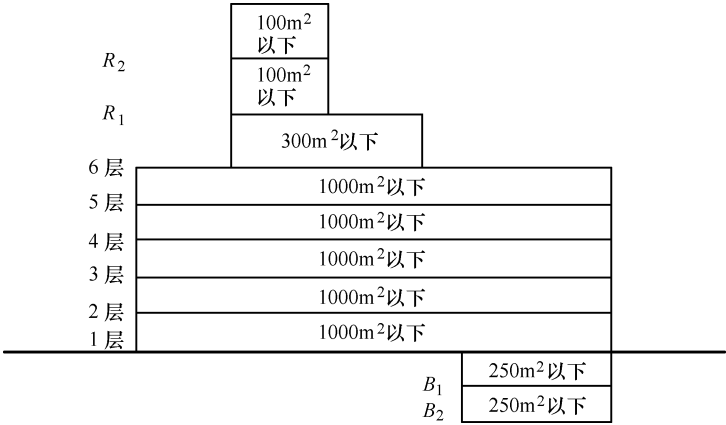


图 4-60 附属建筑物的分区

注： B_1 和 B_2 可合并为一个警戒区，也可各设一个区域。

在屋顶的电梯机房、装饰塔、瞭望塔、居室等，如图 4-61 所示，若两建筑物相距 50m 以下，可合并为一个报警区。

楼梯、斜坡路、电梯竖井、通风道等的分区范围如图 4-62 所示。图 4-62 中楼梯、电梯竖井、管道、各层的走廊、通道等与室内分开，可设为另外一个报警区。当楼梯、电梯竖井等的水平距离在 50m 以下，可合并设为一个报警区，但对地上、地下的通道应分别设区。

图 4-63 中设置探测器的纵向竖井①、②、③与楼梯的水平距离在 50m 以下，可把地上层的竖井列为一个区。但④即使与楼梯的水平距离在 50m 以内，因顶部在三层以上，可列为另外一个区。

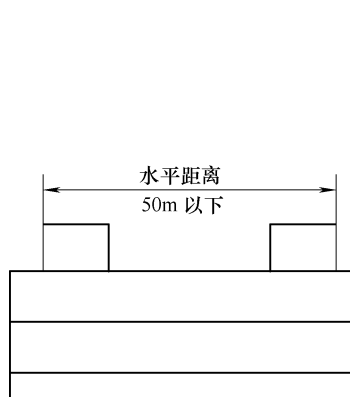


图 4-61 屋顶建筑物

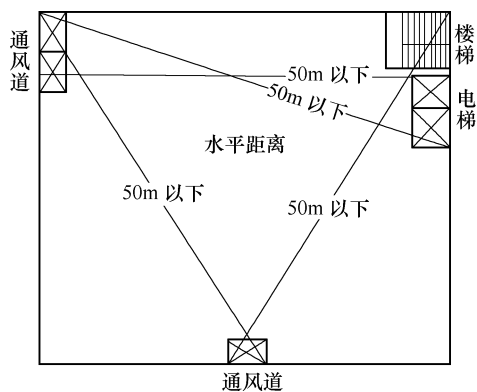


图 4-62 楼梯、通风道等的分区

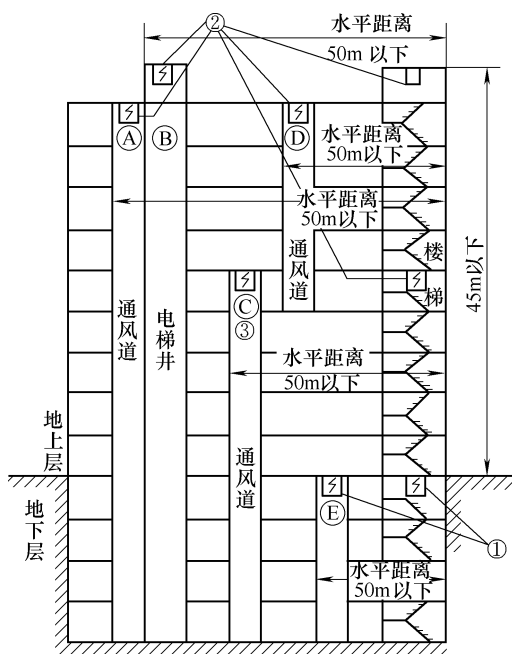


图 4-63 垂直通道的分区

注：地下与地上层应分别设区。○内数字为警戒区的编号。

图 4-63 中，地下层的⑤通风道与楼梯的水平距离在 50m 以内，可将地下层列为一个区。

在多层楼梯，每一垂直距离 45m 列为一个区。在两层以上的地下层楼梯与地上层楼梯应分别设区；但如地下仅有一层时则可列为一个区，如图 4-64 所示。

建筑物的楼层如在两层以下，其楼梯部与其两层的居室等如在 500m^2 以下，则可列为一个区，如图 4-65 所示。

2) 按建筑物面积及长度分区。

① 面积在 500m^2 以下而每一边长度在 50m 以下，可设为一个区，如图 4-66a 所示。

② 如果面积在 500m^2 以下，如一边长超过 50m，则应划为两个区，如图 4-66b、c 所示。

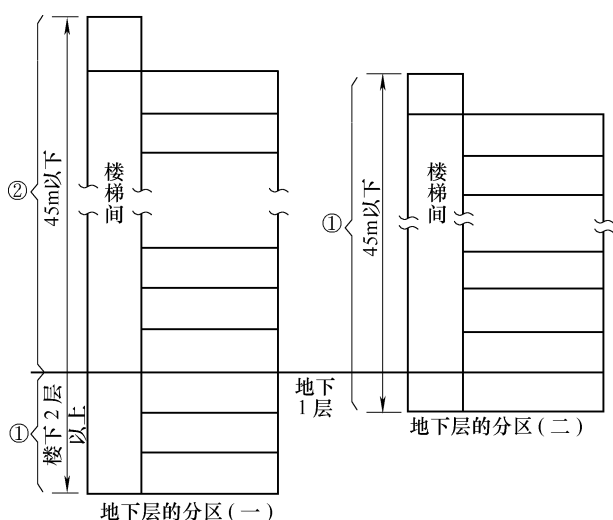


图 4-64 地下层分区

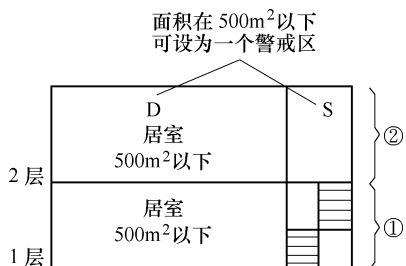
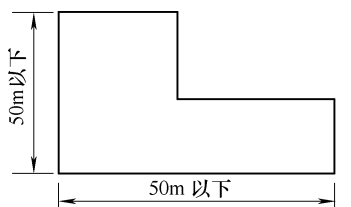
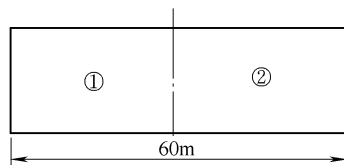


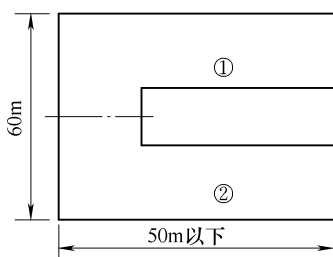
图 4-65 居室的区分



a)



b)



c)

图 4-66 按建筑物面积与长度分区

③ 在圆形及椭圆形建筑物中, 可将↔看做一边, 如图 4-67 所示。其中, 图 4-67a 为在圆的内侧或外侧的房间, 这时应将圆的通道半径为一边, 在斜线圆通道 ↔ 为一边; 图 4-67b 中未按墙壁划分, 而是按↔划为一边; 图 4-67c 中将椭圆或多角形按最长对角线作为一边。

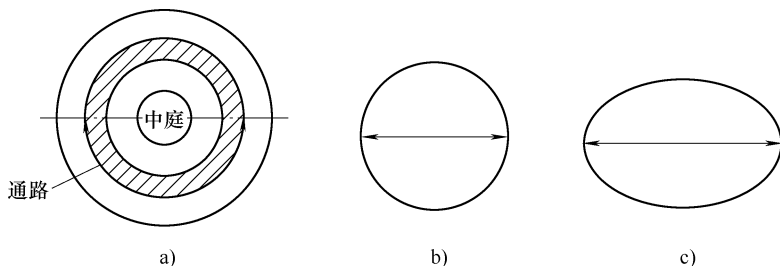


图 4-67 圆及椭圆建筑物的分区

3) 报警区范围的确定。

① 报警区面积的计算: 厕所、盥洗室等不设探测器场所的面积应计算在区域内, 但室外楼梯除外, 应以墙壁中心线作为计算的边界线。

② 报警区的界限: 走廊、通道、墙壁等应作为分区边界, 如图 4-68a 所示。

室外走廊及阳台的面积不应列入报警区内, 如图 4-68b 所示。

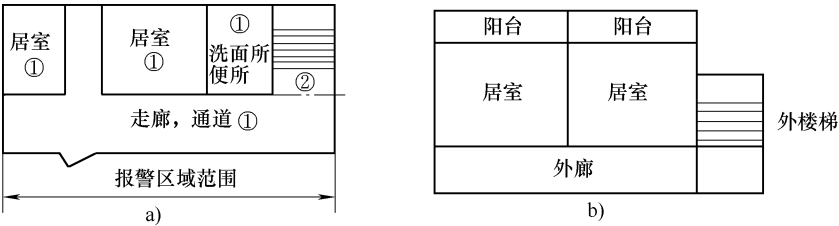


图 4-68 报警分区界线

不得将仓库、厂房及其他有间墙的房间中间做为边界线。厨房、备餐等房间可集中到一个区, 但对两个防火分区不得互相跨越。

③ 报警区的编号方法: 区域编号原则上从下往上顺序编号, 从区域报警器由近到远的场所顺次表示。楼梯、电梯、竖井、通道等的编号编在一般层的后面。

2. 火灾自动报警系统设计

(1) 报警系统的选择 根据建筑防火分类和火灾自动报警系统保护对象分级, 火灾自动报警系统一般有区域报警系统、集中报警系统、控制中心报警系统 3 种。3 种系统的组成、要求及适用场所见表 4-109。

表 4-109 火灾自动报警系统形式的选择和设计要求

类别	设计要求	应用范围
区域报警系统	1. 一个报警区域宜设置一台区域火灾报警控制器或一台火灾报警控制器, 系统中区域火灾报警控制器或火灾报警控制器不应超过两台 2. 区域火灾报警控制器或火灾报警控制器应设置在有人值班的房间或场所 3. 系统中可设置消防联动控制设备 4. 当用一台区域火灾报警控制器或一台火灾报警控制器警戒多个楼层时, 应在每个楼层的楼梯口或消防电梯前室等明显部位, 设置识别着火楼层的灯光显示装置 5. 区域火灾报警控制器或火灾报警控制器安装在墙上时, 其底边距地面高度宜为 1.3 ~ 1.5m, 其靠近门轴的侧面距墙不应小于 0.5m, 正面操作距离不应小于 1.2m	宜用于二级保护对象
集中报警系统	1. 系统中应设置一台集中火灾报警控制器和两台及以上区域火灾报警控制器, 或设置一台火灾报警控制器和两台及以上区域显示器 2. 系统中应设置消防联动控制设备 3. 集中火灾报警控制器或火灾报警控制器, 应能显示火灾报警部位信号和控制信号, 亦可进行联动控制 4. 集中火灾报警控制器或火灾报警控制器, 应设置在有专人值班的消防控制室或值班室内 5. 集中火灾报警控制器或火灾报警控制器、消防联动控制设备等在消防控制室或值班室内的布置, 应符合表 4-110 的规定	宜用于一级和二级保护对象
控制中心报警系统	1. 系统中至少应设置一台集中火灾报警控制器、一台专用消防联动控制设备和两台及以上区域火灾报警控制器; 或至少设置一台火灾报警控制器、一台消防联动控制设备和两台及以上区域显示器 2. 系统应能集中显示火灾报警部位信号和联动控制状态信号 3. 系统中设置的集中火灾报警控制器或火灾报警控制器和消防联动控制设备在消防控制室内的布置, 应符合表 4-110 的规定	宜用于特级和一级保护对象

表 4-110 消防控制室设计要求

类别	设计要求
消防控制室	1. 消防控制室的门应向疏散方向开启, 且入口处应设置明显的标志 2. 消防控制室的送、回风管在其穿墙处应设防火阀 3. 消防控制室内严禁与其无关的电气线路及管路穿过 4. 消防控制室周围不应布置电磁场干扰较强及其他影响消防控制设备工作的设备用房

(续)

类 别	设计 要 求
消防控制室内设备的布置	1. 设备面盘前的操作距离：单列布置时不应小于 1.5m；双列布置时不应小于 2m 2. 在值班人员经常工作的一面，设备面盘至墙的距离不应小于 3m 3. 设备面盘后的维修距离不宜小于 1m 4. 设备面盘的排列长度大于 4m 时，其两端应设置宽度不小于 1m 的通道 5. 集中火灾报警控制器或火灾报警控制器安装在墙上时，其底边距地面高度宜为 1.3 ~ 1.5m，其靠近门轴的侧面距墙不应小于 0.5m，正面操作距离不应小于 1.2m
消防控制设备应由右列部分或全部控制装置组成	1. 火灾报警控制器 2. 自动灭火系统的控制装置 3. 室内消火栓系统的控制装置 4. 防烟、排烟系统及空调通风系统的控制装置 5. 常开防火门、防火卷帘的控制装置 6. 电梯回降控制装置 7. 火灾应急广播的控制装置 8. 火灾警报装置的控制装置 9. 火灾应急照明与疏散指示标志的控制装置

区域报警系统、集中报警系统、控制中心报警系统的系统结构形式如图 4-69 ~ 图 4-72 所示。

(2) 消防联动控制系统 消防水泵联动控制框图如图 4-73 所示，气体灭火控制框图如图 4-74 所示，排烟控制框图如图 4-75 所示，防火卷帘门控制框图如图 4-76 所示，火灾自动报警与消防联动控制的关系框图如图 4-77 所示。

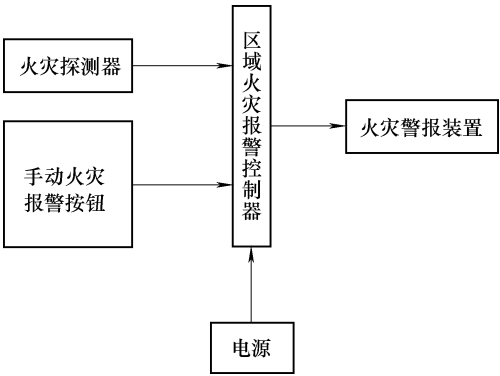


图 4-69 区域报警系统

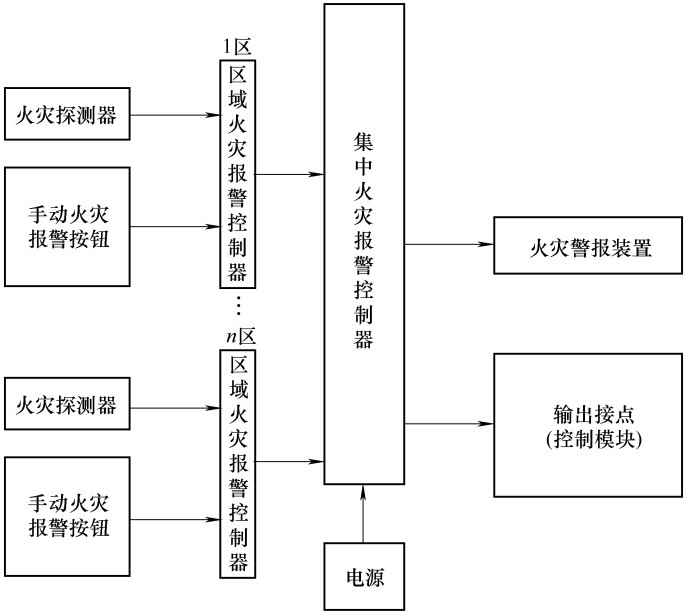


图 4-70 集中报警系统（一）

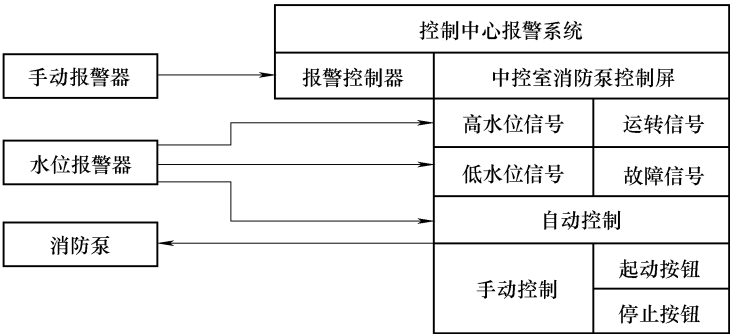


图 4-73 消防泵联动控制框图

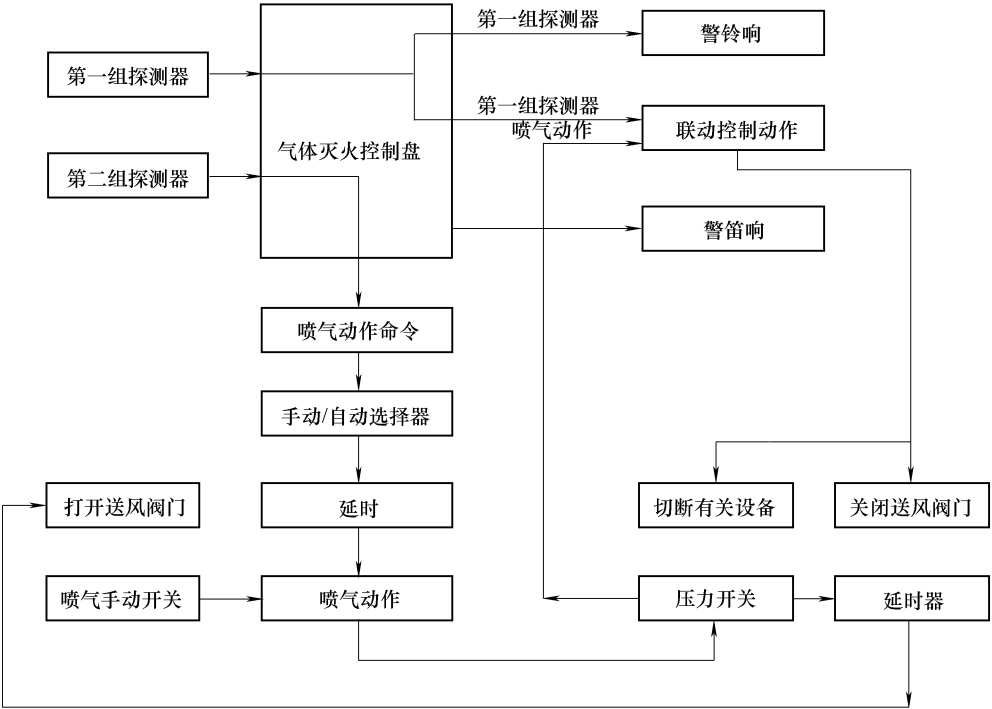


图 4-74 气体灭火控制框图

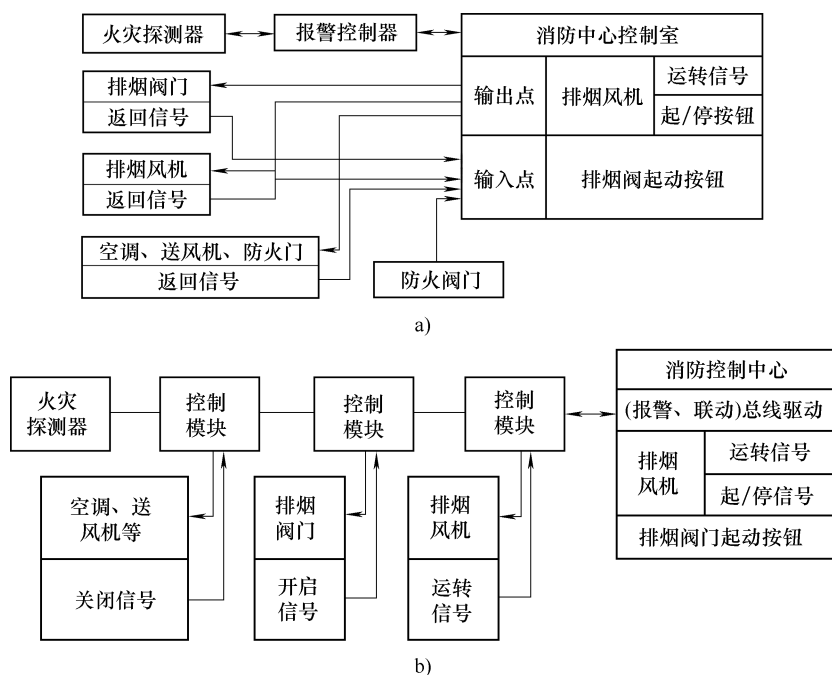


图 4-75 排烟控制框图

a) 中心控制方式 b) 模块控制方式

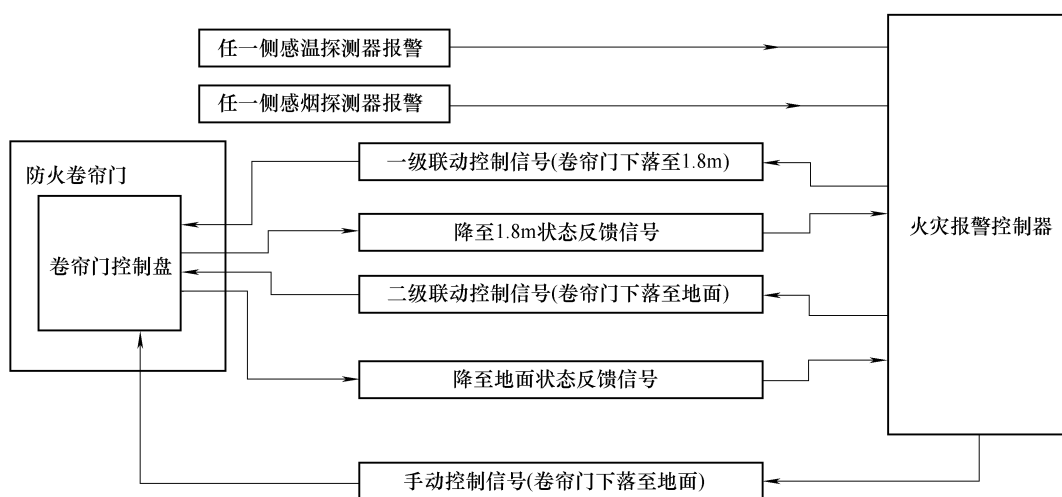


图 4-76 防火卷帘门控制框图

(3) 消防用电设备配电系统 消防电梯、消防泵、喷淋泵、排烟、正压风机、防火卷帘、排污泵、消防控制室、应急照明配电箱的配电系统如图 4-78 ~ 图 4-86 所示。

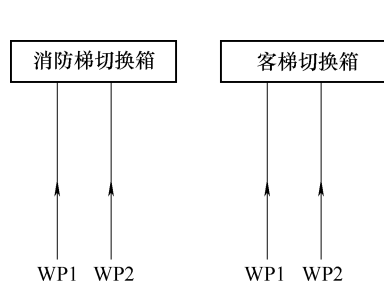


图 4-78 多台消防电梯和客梯的电梯配电

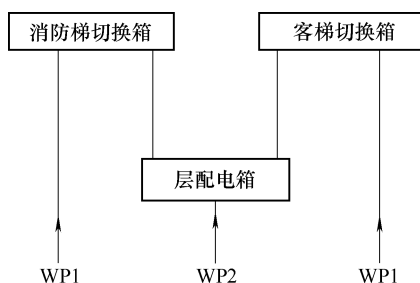


图 4-79 消防电梯与客梯总台数较少时的电梯配电

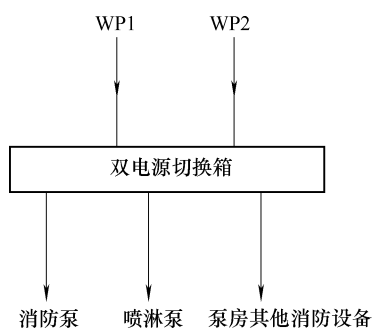


图 4-80 消防泵、喷淋泵的配电

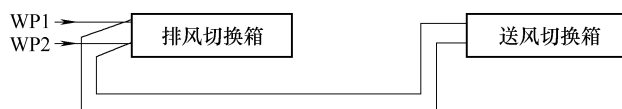
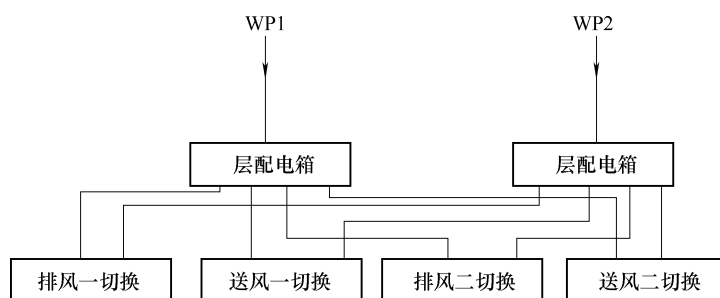


图 4-81 多台排烟、正压风机的配电排烟、正压风机较少时的配电

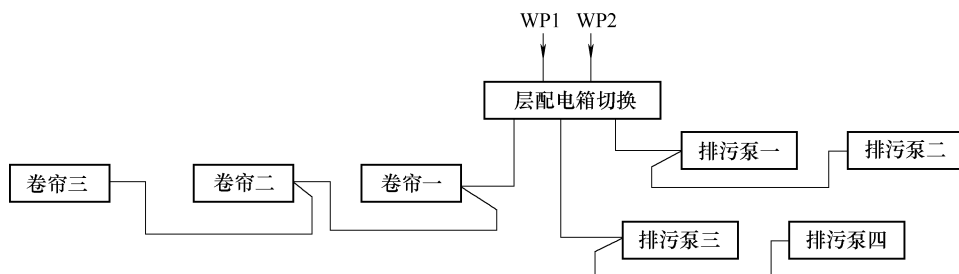


图 4-82 防火卷帘、排污泵的配电

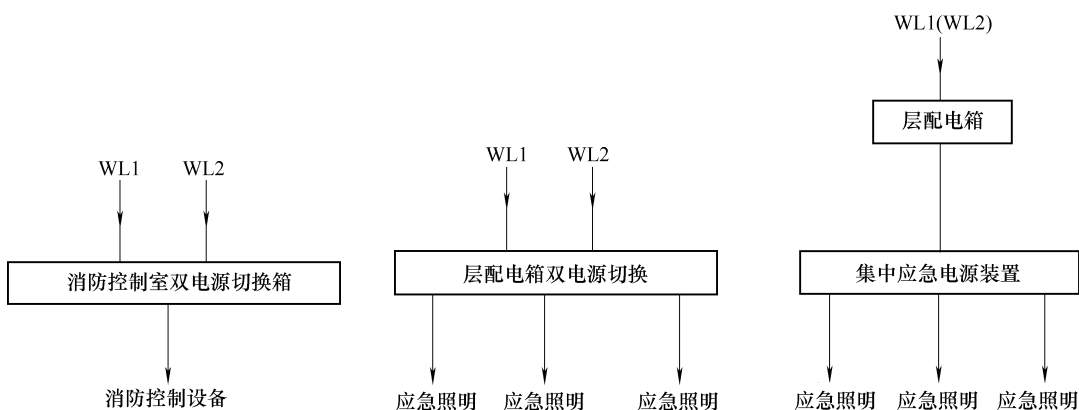


图 4-83 消防控制室的配电

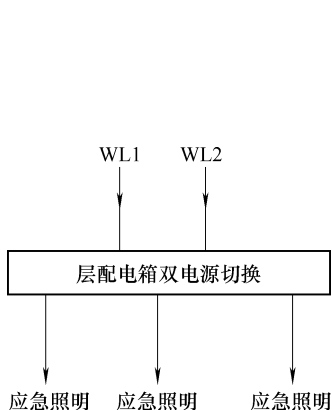
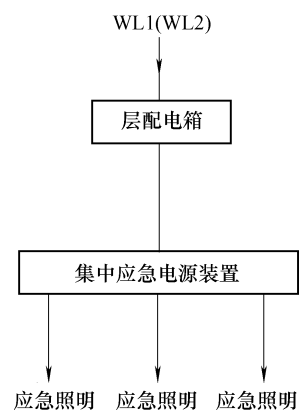
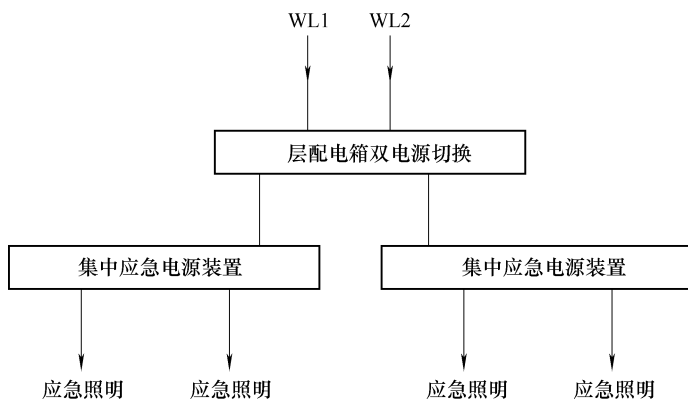
图 4-84 双电源到层配电箱
应急照明配电图 4-85 专线到层配电箱的
应急照明配电

图 4-86 双电源到层配电箱专线至集中电源的应急照明配电

4.10.2 安全技术防范系统

1. 安全防范系统设计的一般规定

1) 安全防范工程的设计应根据被防护对象的使用功能、建设投资及安全防范管理工作的要求，综合运用安全防范技术、电子信息技术、计算机网络技术等，构成先进、可靠、经济、适用、配套的安全防范应用系统。

2) 安全防范工程的设计应以结构化、规范化、模块化、集成化的方式实现,应能适应系统维护和技术发展的需要。

3) 安全防范系统的配置应采用先进而成熟的技术、可靠而适用的设备。

4) 安全防范系统中使用的设备必须符合国家法规和现行相关标准的要求,并经检验或认证合格。

5) 安全防范工程的设计应遵循下列原则:

- ① 系统的防护级别与被防护对象的风险等级相适应。
- ② 技防、物防、人防相结合,探测、延迟、反应相协调。
- ③ 满足防护的纵深性、均衡性、抗易损性要求。
- ④ 满足系统的安全性、电磁兼容性要求。
- ⑤ 满足系统的可靠性、维修性与维护保障性要求。
- ⑥ 满足系统的先进性、兼容性、可扩展性要求。
- ⑦ 满足系统的经济性、适用性要求。

6) 安全防范工程程序与要求应符合国家现行标准《安全防范工程程序与要求》(GA/T 75—1994)的有关规定。基本程序如图 4-87 所示。

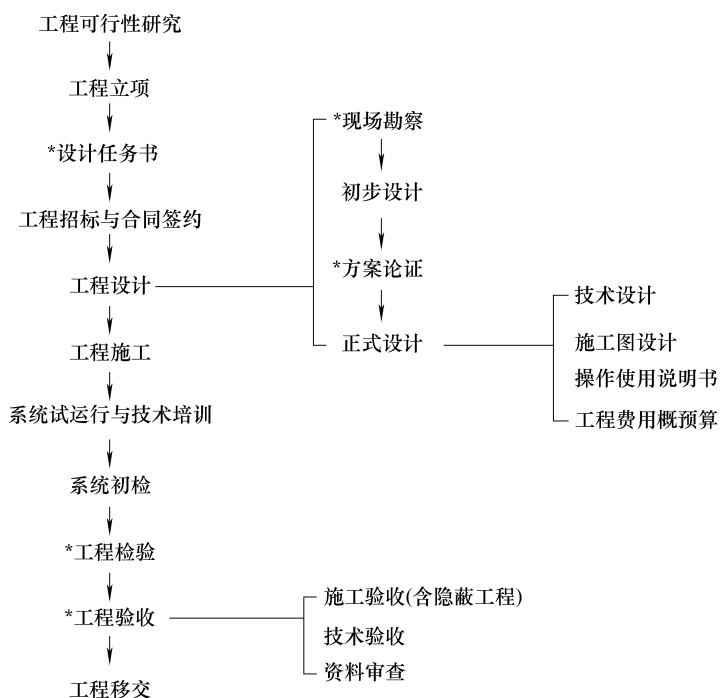


图 4-87 安全防范工程程序

注:图中带*号者为重点

2. 入侵报警系统的分类

入侵报警系统是遵循国家有关规范标准,根据业主要求和设防环境等因素进行设置的。常用的系统有分线制和总线制两大类。

(1) 分线制入侵报警系统 图 4-88 为分线制入侵报警系统模式一,该系统由前端设

备、传输设备、处理/控制/管理设备和显示/记录设备 4 部分组成。分线制系统的探测器、紧急报警装置通过多芯电缆与报警控制主机形成一一对应的专线联系。

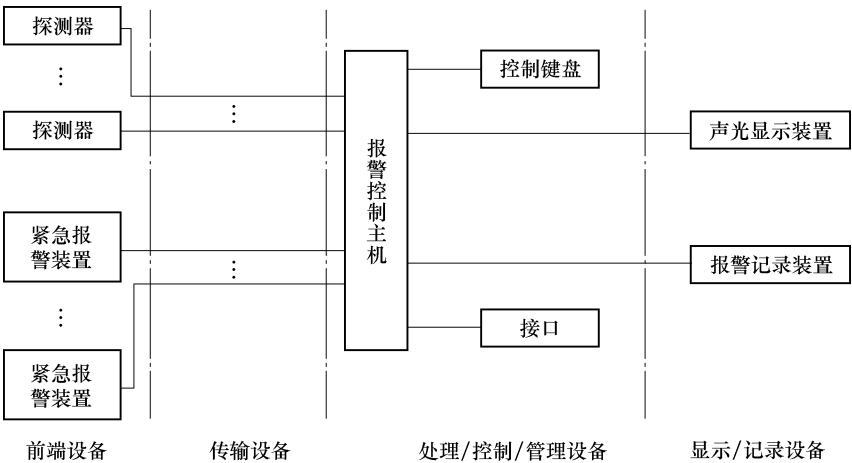


图 4-88 分线制入侵报警系统模式一

图 4-89 为分线制入侵报警系统模式二，探测器数量小于报警主机容量，系统可根据区域联动开启相关区域的照明和声光报警器，备用电源切换时间满足报警控制主机的供电要求，无源探测器宜采用两芯线，有源探测器宜采用不少于四芯的 RVV 线。

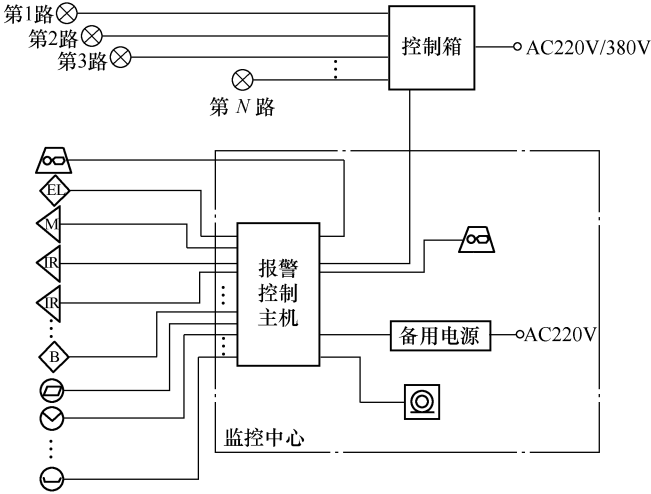


图 4-89 分线制入侵报警系统模式二

图 4-90 为分线制入侵报警系统模式三，也是周界防护电子报警系统示意图。备用电源切换时间应满足周界报警控制器的供电要求，前端设备选择、选型应由工程设计确定。

(2) 总线制入侵报警系统 图 4-91 为总线制入侵报警系统模式一，总线制控制系统是将探测器、紧急报警装置通过其相应的编址模块与报警控制器主机之间采用报警总线（专线）相连。与分线制入侵报警系统相同，它也是由前端设备、传输设备、处理/控制/管理

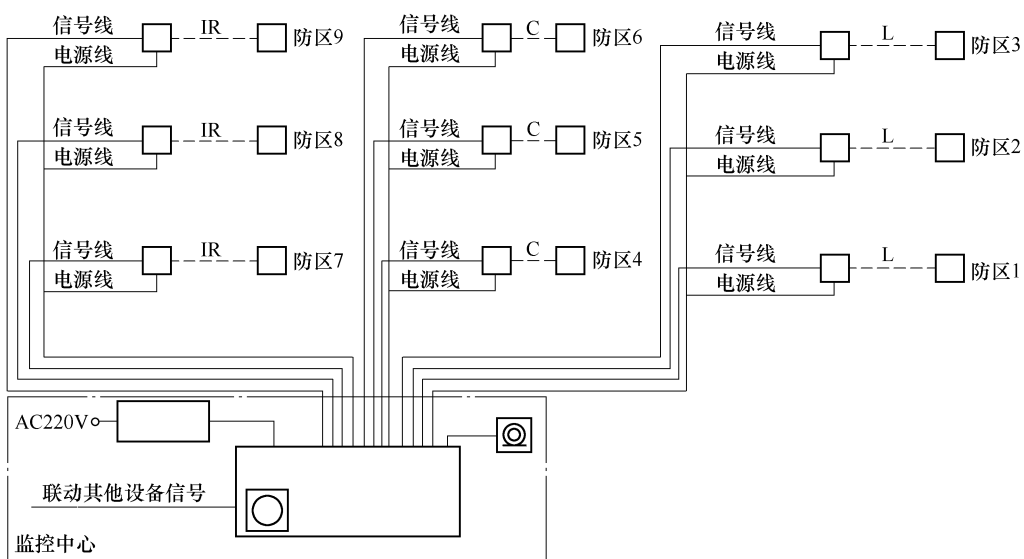


图 4-90 分线制入侵报警系统模式三

设备和显示/记录设备 4 部分组成，所不同的是其传输设备通过编址模块使传输线路变成了总线制，大大减少了传输导线的数量。图 4-92 为总线制入侵报警系统模式二，该系统备用电源的切换时间应满足周界报警控制器的供电要求，前端设备的选择应由工程设计确定。

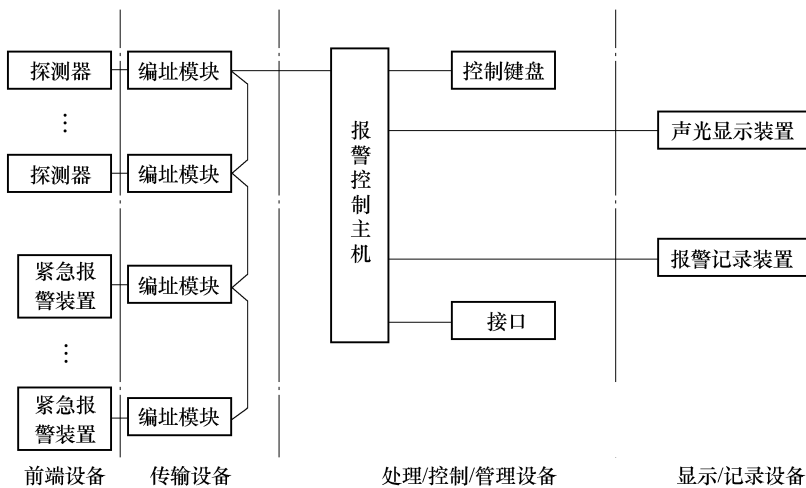


图 4-91 总线制入侵报警系统模式一

3. 出入口控制系统

1) 别墅小区门禁系统如图 4-93 所示。

该系统的特点有：读卡机使用非接触 IC 卡；每个门可设置 32 个时区，每张卡可分别限制各个门任意时间段进出权限；可单门使用，可联网集中控制，最多可联 128 个控制器，控制 256 个门；除提供开门超时警报外，还提供闯入警报、无效卡警报等功能。

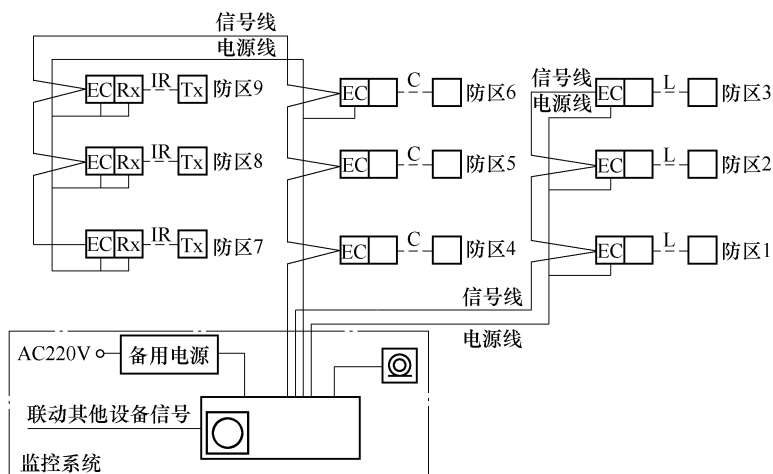


图 4-92 总线制入侵报警系统模式二

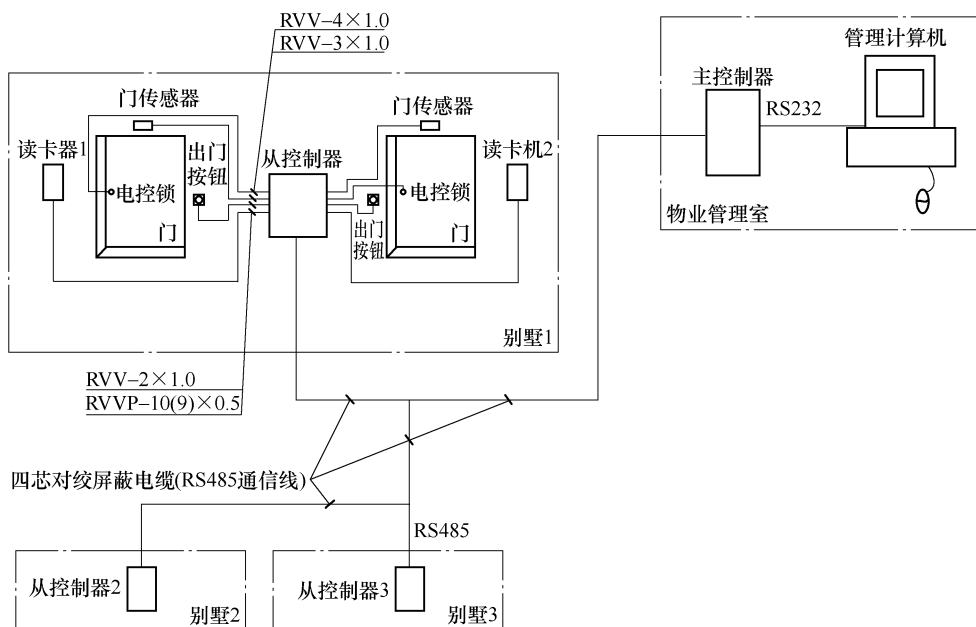


图 4-93 别墅小区门禁系统

小区的每次出入情况，包括卡号、时间、地点，以及是否授权等信息都会被记录在控制器中，并被传送到管理计算机，控制器可设置 2 万张有效识别卡（双门），可脱机存储 4000 条进出记录，对非法刷卡、手动开门等事件可传至管理计算机。

2) 出入口指纹识别系统如图 4-94 所示。

该系统的操作盒面板设有 LED 显示、ID 号码显示、ID 号码选择按钮、CCD 指纹读取窗口、门铃按钮等。

系统的性能及指标如下:

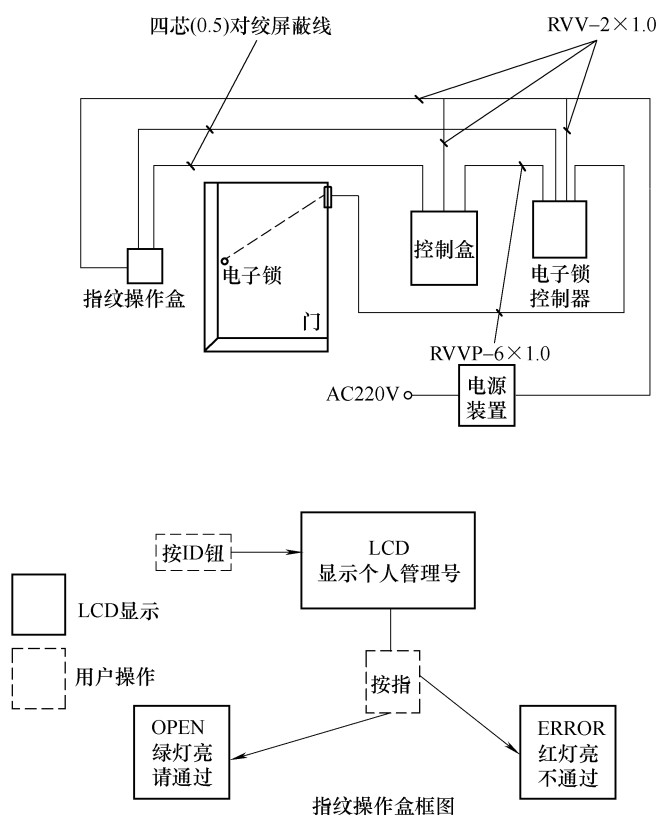


图 4-94 出入口指纹识别系统

支持指纹登记，指纹识别，识别结果的输出。

指纹登记数有 10 人以下、10 人、100 人等各种规格供选用，可增至 200 人。

识别时间：小于 1s/人。

识别精度：他人排除率 100%，本人识别率大于 99%。

连接方式：由无电压接点控制电子锁。

电源：AC220V。

输入功率：工作时 10W，待机时 1W。

操作盒外形尺寸：64mm（W）×130mm（H）×80mm（D）。

安装方式：操作盒为埋入墙壁式或墙壁悬挂式。

该系统可单机运行，也可以与系统计算机联网。

4. 电子巡查系统

电子巡查系统按系统结构形式分为在线式电子巡查系统、离线式电子巡查系统。图4-95 为在线式电子巡查系统，图 4-96 为离线式电子巡查系统。

5. 停车场（库）管理系统

停车场（库）管理系统流程示意图如图 4-97 所示。停车场（库）管理系统框图如图 4-98所示。

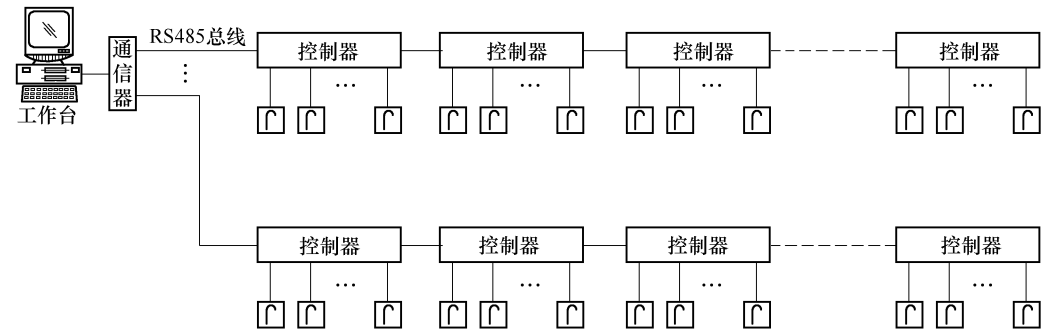


图 4-95 在线式电子巡查系统

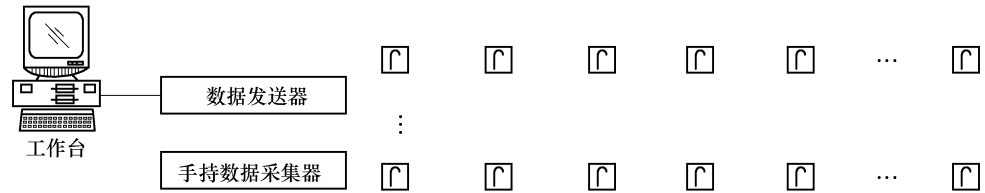


图 4-96 离线式电子巡查系统

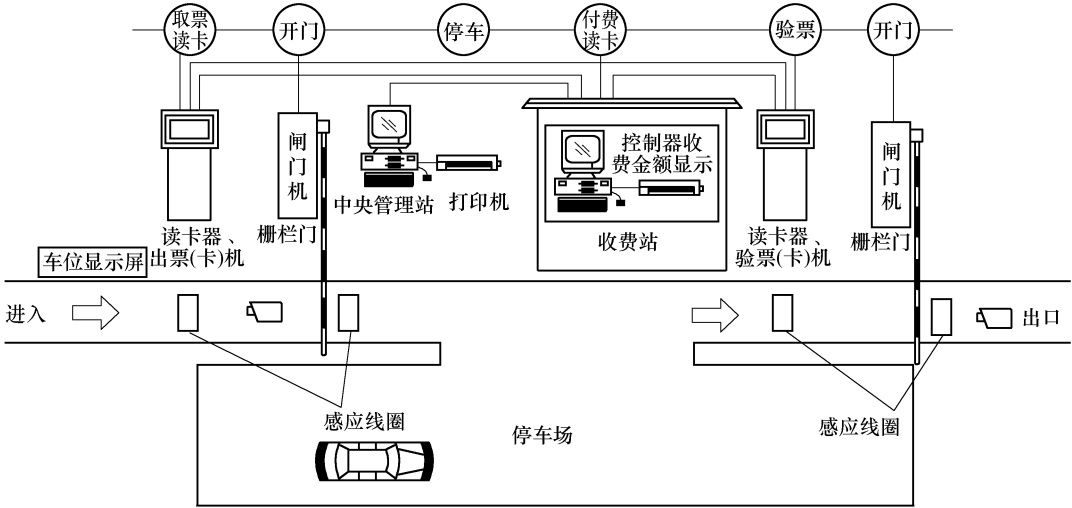


图 4-97 停车场（库）管理系统流程示意图

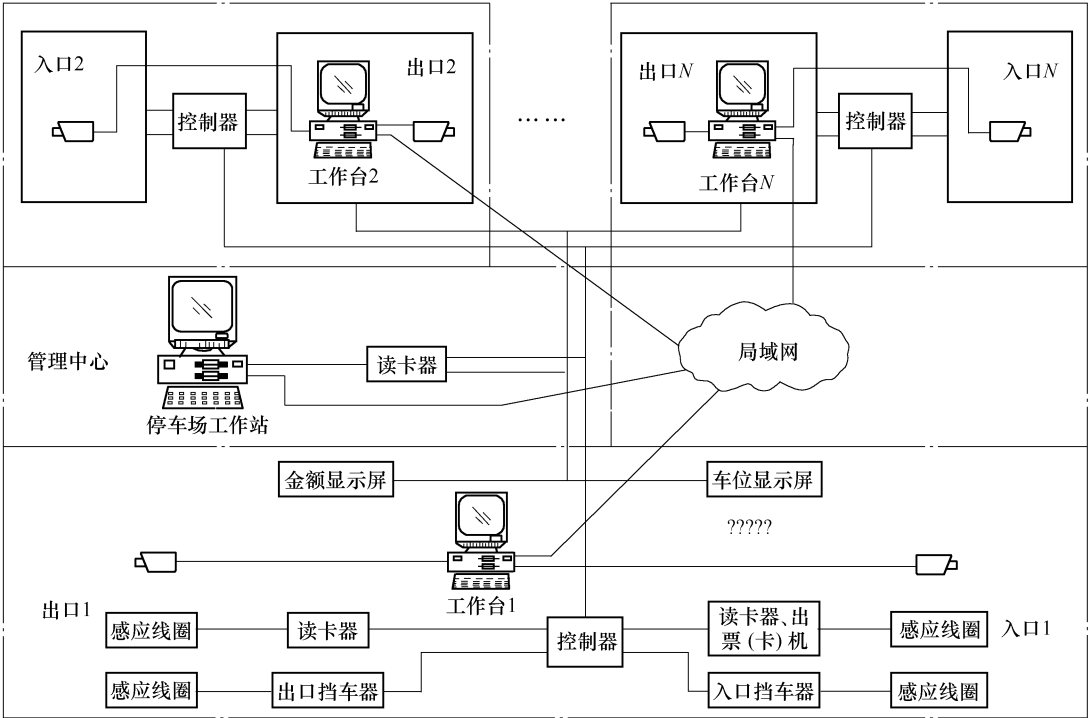


图 4-98 停车场（库）管理系统框图

4.11 机房工程

1) 各类机房的室内净高、荷载及地面、门窗等要求应符合表 4-111 的规定。

表 4-111 各类机房对土建专业的要求

房间名称		室内净高 (梁下或风管下) /m	楼、地面等效均 布活荷载/(kN/m ²)	地面材料	顶棚、墙面	门(及宽度)	窗
电 话 站	程控 交换机室	≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂不起灰、浅色、 无光涂料	外开双扇防火门, 1.2~1.5m	良好防尘
	总配线 架室	≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂不起灰、浅色、 无光涂料	外开双扇防火门, 1.2~1.5m	良好防尘
	话务室	≥2.5	≥3.0	防静电地面	阻燃吸声材料	隔声门, 1.0m	良好防尘 设纱窗
	免维护 电池室	≥2.5	<200A·h 时, 为 4.5 200~400A·h 时, 为 6.0 ≥500A·h 时, 为 10.0	注 2 防尘、 防滑地面	涂不起灰、无光 涂料	外开双扇防火门, 1.2~1.5m	良好防尘
	电缆 进线室	≥2.2	≥3.0	水泥地面	涂防潮涂料	外开双扇防火门, ≥1.0m	—

(续)

房间名称		室内净高 (梁下或风管下) /m	楼、地面等效均布活荷载/ (kN/m ²)	地面材料	顶棚、墙面	门 (及宽度)	窗
计算机网络机房		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂不起灰、浅色无光涂料	外开双扇防火门, 1.2 ~ 1.5m	良好防尘
建筑设备监控机房		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂不起灰、浅色无光涂料	外开双扇防火门, 1.2 ~ 1.5m	良好防尘
综合布线设备间		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂不起灰、浅色无光涂料	外开双扇防火门, 1.2 ~ 1.5m	良好防尘
广播室	录播室	≥2.5	≥2.0	防静电地面	阻燃吸声材料	隔声门 1.0m	隔声窗
	设备室	≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	双扇门, 1.2~1.5m	良好防尘 设纱窗
消防控制中心		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	外开双扇甲级防火门, 1.5m 或 1.2m	良好防尘 设纱窗
安防监控中心		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	外开双扇防火门, 1.5m 或 1.2m	良好防尘 设纱窗
有线电视前端机房		≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	外开双扇隔声门, 1.2 ~ 1.5m	良好防尘 设纱窗
会议电视	电视会议室	≥2.5	≥3.0	防静电地面	吸声材料	双扇门, 1.2 ~ 1.5m	隔声窗
	控制室	≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	外开单扇门, ≥1.0m	良好防尘
	传输室	≥2.5	≥4.5	防静电地面	涂浅色无光涂料	外开单扇门, ≥1.0m	良好防尘
电信间		≥2.5	≥4.5	水泥地	涂防潮涂料	外开丙级防火门, ≥0.7m	—

注: 1. 如选用设备的技术要求高于本表所列要求, 应遵照选用设备的技术要求执行。

2. 当 300A·h 及以上容量的免维护电池需置于楼上时, 不应叠放; 如需叠放, 应将其布置于梁上, 并需另行计算楼板负荷。
3. 会议电视室最低净高一般为 3.5m, 当会议室较大时, 应按最佳容积比来确定; 其混响时间宜为 0.6~0.8s。
4. 室内净高不含活动地板高度, 是否采用活动地毯, 由工程设计决定, 室内设备高度按 2.0m 考虑。
5. 电视会议室的围护结构应采用具有良好隔音性能的非燃烧材料或难燃材料, 其隔音量不低于 50dB(A); 电视会议室的内壁、顶棚、地面应作吸声处理, 室内噪声不应超过 35dB(A)。
6. 电视会议室的装饰布置, 严禁采用黑色和白色作为背景色。

2) 各类机房对电气、暖通专业的要求应符合表 4-112 的规定。

表 4-112 各类机房对电气、暖通专业的要求

房间名称		空调、通风			电气			备注
		温度/℃	相对湿度 (%)	通风	照度/lx	交流电源	应急照明	
电 话 站	程控交换机室	18 ~ 28	30 ~ 75	—	500	可靠电源	设置	注 2
	总配线架室	18 ~ 28	30 ~ 75	—	200	—	设置	注 2
	话务室	18 ~ 28	30 ~ 75	—	300	—	设置	注 2
	免维护电池室	18 ~ 28	30 ~ 75	注 2	200	可靠电源	设置	—
	电缆进线室	—	—	注 1	200	—	—	—
计算机网络机房		18 ~ 28	40 ~ 70	—	500	可靠电源	设置	注 2
建筑设备监控机房		18 ~ 28	40 ~ 70	—	500	可靠电源	设置	注 2
综合布线设备间		18 ~ 28	30 ~ 75	—	200	可靠电源	设置	注 2
广 播 室	录播室	18 ~ 28	30 ~ 80	—	300	—	—	—
	设备室	18 ~ 28	30 ~ 80	—	300	可靠电源	设置	—
消防控制中心		18 ~ 28	30 ~ 80	—	300	消防电源	设置	注 2
安防监控中心		18 ~ 28	30 ~ 80	—	300	可靠电源	设置	注 2
有线电视前端机房		18 ~ 28	30 ~ 75	—	300	可靠电源	设置	注 2
会 议 电 视	电视会议室	18 ~ 28	30 ~ 75	注 3	一般区 ≥ 500 主席区 ≥ 750 (注 4)	可靠电源	设置	—
	控制室	18 ~ 28	30 ~ 75	—	≥ 300	可靠电源	设置	—
	传输室	18 ~ 28	30 ~ 75	—	≥ 300	可靠电源	设置	—
电 信 间	有网络设备	18 ~ 28	40 ~ 70	注 1	≥ 200	可靠电源	设置	注 2
	无网络设备	5 ~ 35	20 ~ 80					

注：1. 地下电缆进线室、电信间一般采用轴流式通风机，排风按每小时不大于 5 次换风量计算，并保持负压。

2. 设有空调器的机房应保持微正压。

3. 电话会议室新鲜空气换气量应为每人 $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$ 。

4. 投影电视屏幕照度不高于 75lx，电视会议室照度应均匀可调，会议室的光源应采用色温为 3200K 的三基色灯。

图 表 索 引

图 表 号	图 表 名	页次
表 1-1	电气工程常用名词术语	1
表 1-2	电气工程主要代号	3
表 1-3	国际单位制（SI）的基本单位	4
表 1-4	国际单位制（SI）中包括辅助单位在内的具有专门名称的导出单位	5
表 1-5	可与国际单位制（SI）单位并用的我国法定计量单位	5
表 1-6	用于构成十进倍数和分数单位 SI 词头	6
表 1-7	空间、时间和周期的量和单位	7
表 1-8	力学的量和单位	7
表 1-9	电学和磁学的量和单位	8
表 1-10	热学的量和单位	10
表 1-11	声学的量和单位	11
表 1-12	光及有关电磁辐射量和单位	12
表 1-13	常用的物理化学和分子物理学的量和单位	12
表 1-14	常用的原子物理学、核物理学及固体物理学的量和单位	13
表 1-15	常用的核反应和电离辐射的量和单位	14
表 1-16	长度单位换算	15
表 1-17	面积单位换算	15
表 1-18	体积单位换算	15
表 1-19	时间单位换算	16
表 1-20	速度单位换算	16
表 1-21	加速度单位换算	16
表 1-22	角速度和转速单位换算	16
表 1-23	平面角单位换算	16
表 1-24	质量单位换算	17
表 1-25	压力、压强单位换算	17
表 1-26	力矩和转矩单位换算	18
表 1-27	功和能单位换算	18
表 1-28	温度单位换算	19
表 1-29	热导率单位换算	19
表 1-30	传热系数单位换算	19
表 1-31	比热容和比熵单位换算	19
表 1-32	声学单位换算	20

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 1-33	核反应和电离辐射单位换算	20
表 1-34	物理和电学常数	20
表 1-35	大气压力、温度与海拔的关系	21
表 1-36	常用电磁波谱频率区段	22
表 1-37	常用导体材料的电性能 (测量温度为 20℃)	22
表 1-38	常用绝缘材料的电性能	23
表 1-39	部分固体材料的机械性能	24
表 1-40	部分液体材料的性能	25
表 1-41	部分气体材料的性能	26
表 1-42	开关的图形符号	27
表 1-43	触点的图形符号	28
表 1-44	线圈的图形符号	30
表 1-45	电阻器的图形符号	30
表 1-46	电容器的图形符号	31
表 1-47	电感的图形符号	31
表 1-48	灯具的图形符号	31
表 1-49	继电器的图形符号	32
表 1-50	仪表的图形符号	32
表 1-51	插头的图形符号	34
表 1-52	变压器的图形符号	34
表 1-53	互感器的图形符号	36
表 1-54	交换器的图形符号	36
表 2-1	常用的负荷计算方法及适用场合	37
表 2-2	民用建筑用电设备组的需要系数及自然功率因数	38
表 2-3	工厂用电设备组的需要系数及自然功率因数	38
表 2-4	旅游宾馆的需要系数及自然功率因数	40
表 2-5	住宅建筑用电负荷需要系数	40
表 2-6	照明用电设备的需要系数	41
表 2-7	照明用电设备的 $\cos\varphi$ 及 $\tan\varphi$	41
表 2-8	$\cos\varphi$ 与 $\tan\varphi$ 、 $\sin\varphi$ 对应值	41
表 2-9	利用系数法确定计算负荷	43
表 2-10	多组用电设备的计算负荷	43
表 2-11	工厂用电设备组的利用系数及功率因数	43
表 2-12	用电设备组的附加系数 K_d	44
表 2-13	每套住宅用电负荷和电能表的选择	45
表 2-14	《小康住宅设计导则》推荐的每套住宅用电负荷及电能表规格	45

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 2-15	国家《商品住宅性能认定管理办法》评定指标	45
表 2-16	1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量	46
表 2-17	1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量	47
表 2-18	1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆空气中敷设时允许载流量	47
表 2-19	1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时允许载流量	48
表 2-20	6kV 三芯电力电缆空气中敷设时允许持续载流量	49
表 2-21	6kV 三芯电力电缆直埋敷设时允许持续载流量	49
表 2-22	10kV 常用电力电缆允许持续载流量	50
表 2-23	35kV 及以下电缆在不同环境温度时的载流量校正系数	50
表 2-24	不同土壤热阻系数时电缆载流量的校正系数	51
表 2-25	土中直埋多根并行敷设时电缆载流量校正系数	51
表 2-26	空气中单层多根并行敷设时电缆载流量的校正系数	51
表 2-27	电缆桥架上无间距配置多层并列电缆载流量的校正系数	52
表 2-28	1~6kV 电缆户外明敷无遮阳时载流量的校正系数	52
表 2-29	机组容量大于 100MW 时火电厂电动机馈线回路 Q 值表达式	52
表 2-30	K 值选择	53
表 2-31	短路发生的原因及其危害	54
表 2-32	短路的基本形式	54
表 2-33	需要确定的高压电网短路电流及计算目的	55
表 2-34	需要确定的低压电网短路电流及计算目的	56
表 2-35	采用标幺值法计算高压电网三相对称短路电流	56
表 2-36	三相线路电线电缆单位长度每相阻抗值	58
表 2-37	低压短路回路各元件的（正序）阻抗值计算公式	59
表 2-38	低压铜母线单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值	59
表 2-39	低压密集绝缘铜母线槽单位长度每相阻抗及相线 - 中性线阻抗值	60
表 2-40	低压铜芯电线电缆单位长度相线 - 中性线阻抗值	60
表 2-41	采用短路容量法计算短路电流的计算步骤及公式	61
表 2-42	接地故障回路各元件的相线 - 保护线阻抗值	62
表 2-43	变压器低压侧短路时折算到高压侧穿越电流的换算关系	63
表 3-1	高压熔断器的分类	65
表 3-2	高压开关柜的分类及特点	69
表 3-3	KYN61B—40.5 (Z) 型开关设备技术参数	70
表 3-4	低压电气设备的分类与用途	73
表 3-5	起动器的分类和用途	80
表 3-6	220/380V 单相及三相线路埋地、沿墙敷设穿管电线的漏电电流	82
表 3-7	电动机的漏电电流	82

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 3-8	变压器的分类	83
表 3-9	双绕组变压器常用的联结组标号	84
表 3-10	各类变压器的性能比较	85
表 3-11	油浸变压器允许过负荷的倍数和时间	85
表 3-12	干式变压器允许过负荷的倍数和时间	85
表 3-13	变压器的调压方式和范围	86
表 3-14	主变压器台数的选择	86
表 3-15	变电所主变压器经济运行的条件	86
表 3-16	主变压器容量的选择	87
表 4-1	负荷分级及供电要求	90
表 4-2	常用用电负荷分级	90
表 4-3	住宅建筑主要用电负荷的分级	93
表 4-4	各级电压线路输送能力	94
表 4-5	用电设备端子电压偏差允许值	94
表 4-6	公用电网谐波电压（相电压）限值	94
表 4-7	注入公共连接点的谐波电流允许值	95
表 4-8	10kV 及以下变配电所的形式、含义及适用场所	95
表 4-9	各种类型箱式变电站的技术性能特点对比	96
表 4-10	电气主接线的一般要求	99
表 4-11	变配电所总体布置应满足的基本要求	117
表 4-12	变压器外廓（防护外壳）与变压器室墙壁和门的最小净距	119
表 4-13	变压器防护外壳间的最小净距	120
表 4-14	配电装置室内各种通道的最小净宽	120
表 4-15	配电屏前后的通道净宽	120
表 4-16	屋外配电装置的安全净距	121
表 4-17	带电部分至接地部分和不同相带电部分之间的最小安全净距	122
表 4-18	屋内配电装置的安全净距	123
表 4-19	继电保护装置的基本要求	131
表 4-20	6 ~ 10kV 线路的继电保护配置	132
表 4-21	电力变压器的继电保护配置	132
表 4-22	6 ~ 10kV 电力电容器的继电保护配置	133
表 4-23	6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护配置	133
表 4-24	6 ~ 10kV 线路的继电保护整定计算公式	134
表 4-25	电力变压器的电流保护整定计算公式	135
表 4-26	6 ~ 10kV 电力电容器的继电保护整定计算公式	137
表 4-27	6 ~ 10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算公式	138

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 4-28	短路保护的最小灵敏系数	139
表 4-29	机组之间及机组外廓与墙壁的净距	139
表 4-30	城市区域环境噪声标准	140
表 4-31	柴油发电机机房各房间的照度	140
表 4-32	柴油发电机机房各房间的温、湿度要求	140
表 4-33	机房各工作房间的耐火等级与火灾危险性类别	140
表 4-34	配电线路中导体的最小允许截面积	141
表 4-35	环境空气温度不等于 30℃ 时的校正系数	141
表 4-36	埋地环境温度不等于 20℃ 的电缆载流量的校正系数	142
表 4-37	土壤热阻系数不同于 $2.5\text{ k} \cdot \text{m}/\text{W}$ 时电缆的载流量校正系数	142
表 4-38	多回路或多根多芯电缆成束敷设的载流量校正系数	142
表 4-39	多回路直埋电缆的载流量校正系数	143
表 4-40	4 芯和 5 芯电缆存在高次谐波的载流量校正系数	143
表 4-41	不同导体材料和绝缘的 K 值	144
表 4-42	保护导体的最小截面积	144
表 4-43	电线管与各种管道间的最小净距	144
表 4-44	金属线槽和电缆桥架与各种管道的最小净距	145
表 4-45	电缆最小允许弯曲半径	145
表 4-46	电缆与电缆或其他设施相互间容许最小净距	145
表 4-47	电缆支架层间垂直距离的允许最小值	146
表 4-48	电缆沟、隧道中通道净宽允许最小值	146
表 4-49	电缆支架间或固定点间的最大距离	146
表 4-50	矿物绝缘 (MI) 电缆最小允许弯曲半径	146
表 4-51	矿物绝缘 (MI) 电缆固定点或支架间的最大距离	146
表 4-52	各类地下管线之间的最小水平净距	147
表 4-53	各类地下管线之间的最小交叉净距	147
表 4-54	矩形母线搭接规定	147
表 4-55	母线的最小弯曲半径	149
表 4-56	铝合金管的允许弯曲度	150
表 4-57	钢制螺栓的紧固力矩值	150
表 4-58	对口焊焊口尺寸	150
表 4-59	光源的颜色分类	152
表 4-60	眩光程度与统一眩光值 (UGR) 对照	151
表 4-61	不同亮度灯具的最小遮光角	151
表 4-62	灯具平均亮度限值	152
表 4-63	工作房间表面反射比	152

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 4-64	航空障碍灯技术要求	153
表 4-65	视觉工作对应的照度范围值	154
表 4-66	照度维护系数	154
表 4-67	居住建筑照明标准值	154
表 4-68	图书馆建筑照明标准值	155
表 4-69	办公建筑照明标准值	155
表 4-70	商业建筑照明标准值	155
表 4-71	影剧院建筑照明标准值	155
表 4-72	旅馆建筑照明标准值	156
表 4-73	医院建筑照明标准值	156
表 4-74	学校建筑照明标准值	157
表 4-75	博物馆建筑陈列室展品照明标准值	157
表 4-76	展览馆展厅照明标准值	157
表 4-77	交通建筑照明标准值	157
表 4-78	无彩电转播的体育建筑照明标准值	158
表 4-79	有彩电转播的体育建筑照明标准值	158
表 4-80	体育建筑照明质量标准值	158
表 4-81	工业建筑一般照明标准值	159
表 4-82	公用场所照明标准值	163
表 4-83	建筑物的防雷分级	164
表 4-84	防雷装置的材料及使用条件	165
表 4-85	防雷装置各连接部件的最小截面积	166
表 4-86	接闪线 (带)、接闪杆和引下线的材料、结构与最小截面积	166
表 4-87	避雷针的直径	167
表 4-88	避雷网、避雷带及烟囱顶上的避雷环规格	167
表 4-89	明敷接闪导体和引下线固定支架的间距	168
表 4-90	接闪器布置	168
表 4-91	接地体的材料、结构和最小尺寸	168
表 4-92	雷击电磁脉冲防护等级	169
表 4-93	220/380V 三相配电系统各种设备绝缘耐冲击过电压额定值	170
表 4-94	配电线路 SPD 的最大放电电流参数	170
表 4-95	信号线路 SPD 的性能参数	170
表 4-96	信号线路、天馈电路 SPD 的性能参数	170
表 4-97	与最大雷电流对应的滚球半径	172
表 4-98	阀型避雷器的主要技术参数	174
表 4-99	CX2 系列管型避雷器的主要技术参数	174

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
表 4-100	避雷器特点和主要用途	174
表 4-101	第一类建筑物的防雷系统安装要求	175
表 4-102	第二类建筑物的防雷系统安装要求	176
表 4-103	第三类建筑物的防雷系统安装要求	176
表 4-104	电力设施的防雷系统安装要求	177
表 4-105	低压配电系统的接地方式与应用	178
表 4-106	接入网技术简介	179
表 4-107	电话线路的配接	184
表 4-108	民用建筑火灾自动报警系统保护对象分级	186
表 4-109	火灾自动报警系统形式的选择和设计要求	190
表 4-110	消防控制室设计要求	190
表 4-111	各类机房对土建专业的要求	205
表 4-112	各类机房对电气、暖通专业的要求	207
图 3-1	LN2—10 型高压 SF ₆ 断路器	65
图 3-2	高压管式熔断器	66
图 3-3	跌落式熔断器外形	67
图 3-4	GN8—10 型户内式高压隔离开关	67
图 3-5	FN12—12RD 型负荷开关	68
图 3-6	KYN61B—40.5 (Z) 型铠装移开式交流金属封闭开关设备	70
图 3-7	开关设备的结构	71
图 3-8	KYN61b—40.5 (Z) 型柜体安装断面示意图	72
图 3-9	KYN61b—40.5 (Z) 型安装基础示意图	72
图 3-10	KGN—10 型开关柜 (05D ~ 08D) 外形尺寸及结构示意图	73
图 3-11	低压断路器原理图	75
图 3-12	DZ20 系列塑料外壳式低压断路器	76
图 3-13	DW15 系列框架式低压断路器	77
图 3-14	RL 型螺旋式熔断器	78
图 3-15	RT0 型有填料封闭管式熔断器	79
图 3-16	RM10 型熔断器	79
图 3-17	漏电保护器原理	81
图 3-18	电力变压器用途举例	83
图 3-19	单相变压器	83
图 3-20	JDZ—10 型电压互感器	88
图 3-21	电流互感器	89
图 4-1	两路电源互为备用的预装式变电站的典型应用方案	97
图 4-2	环网接线预装式变电站的典型应用方案	98

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
图 4-3	环网接线组合式变电站的典型应用方案	99
图 4-4	10kV 单电源进线, 变压器一次侧采用线路变压器组接线	101
图 4-5	变压器二次侧采用单母线接线	102
图 4-6	10kV 单电源进线, 变压器一次侧采用单母线接线	103
图 4-7	变压器二次侧采用分段单母线接线	105
图 4-8	10kV 双电源进线, 变压器一次侧采用双回路线路变压器组接线	107
图 4-9	10kV 双电源进线, 变压器一次侧采用单母线接线	107
图 4-10	10kV 双电源进线, 变压器一次侧采用分段单母线接线	108
图 4-11	10kV 双电源进线, 高压侧采用两组单母线接线	110
图 4-12	双电源进线的 10kV 配电所电气主接线	111
图 4-13	35kV 单电源进线、变压器一次侧采用线路变压器组接线	112
图 4-14	变压器二次侧采用单母线接线	112
图 4-15	35kV 单电源进线、变压器一次侧采用单母线接线	113
图 4-16	35kV 双电源进线, 变压器一次侧采用双回路线路变压器组接线	113
图 4-17	35kV 双电源进线, 变压器一次侧采用内桥式接线	114
图 4-18	变压器二次侧采用分段单母线接线	115
图 4-19	35kV 双电源进线, 变压器一次侧采用分段单母线接线	116
图 4-20	35/10 (6) kV 室内变电所的常见总体布置方案	118
图 4-21	10 (6) /0.38kV 室内变电所的常见总体布置方案	119
图 4-22	多台干式变压器之间的 A 值	120
图 4-23	多台干式变压器之间的 B 值	120
图 4-24	屋外 A_1 、 A_2 、 B_1 、 D 值校验	121
图 4-25	屋外 A_1 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 值校验	122
图 4-26	屋外 A_2 、 B_1 、 C 值校验	122
图 4-27	屋内 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 、 C 、 D 值校验	124
图 4-28	屋内 B_1 、 E 值校验	124
图 4-29	独立变电所的平面布置图	125
图 4-30	地下变电所平面布置图	129
图 4-31	继电保护装置的构成	131
图 4-32	三相三继电器的完全星形联结	132
图 4-33	两相两继电器不完全星形联结	132
图 4-34	两相一继电器差动式联结	132
图 4-35	两相三继电器的完全星形联结	132
图 4-36	机组布置图	139
图 4-37	硬母线的立弯与平弯	149
图 4-38	矩形母线搭接	149

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
图 4-39	母线扭转 90°	149
图 4-40	对口允许弯折偏移	150
图 4-41	对口中心线允许偏差	150
图 4-42	衬管位置	151
图 4-43	防雷击电磁脉冲	171
图 4-44	接地、等电位连接和接地系统的构成	172
图 4-45	电子系统功能性等电位连接整合到等电位连接网络中	173
图 4-46	用屏蔽电缆或穿钢管线路将两栋独立的 LPZ1 区连接在一起	173
图 4-47	用屏蔽的线路将两个 LPZ2 区连接在一起	173
图 4-48	住宅小区通信网络结构综合示意图	179
图 4-49	接入网的位置	181
图 4-50	光纤接入网 (OAN) 的系统组成	181
图 4-51	光纤接入网 (OAN) 的应用类型	182
图 4-52	ISPBX 配置接口示意图	182
图 4-53	交换机 1000 门程控电话站平面布置示例	183
图 4-54	交换机 500/1000 门程控电话站平面布置示例	183
图 4-55	交换机 1000/2000 门程控电话站平面布置示例	184
图 4-56	直接配线系统示意图	185
图 4-57	交接箱配线系统示意图	185
图 4-58	高层建筑电话电缆的配线方式	185
图 4-59	通信人孔、手孔尺寸	186
图 4-60	附属建筑物的分区	187
图 4-61	屋顶建筑物	188
图 4-62	楼梯、通风道等的分区	188
图 4-63	垂直通道的分区	188
图 4-64	地下层分区	189
图 4-65	居室的区分	189
图 4-66	按建筑物面积与长度分区	189
图 4-67	圆及椭圆建筑物的分区	189
图 4-68	报警分区界线	190
图 4-69	区域报警系统	191
图 4-70	集中报警系统 (一)	191
图 4-71	集中报警系统 (二)	192
图 4-72	控制中心报警系统	193
图 4-73	消防泵联动控制框图	194
图 4-74	气体灭火控制框图	194

(续)

图 表 号	图 表 名	页次
图 4-75	排烟控制框图	195
图 4-76	防火卷帘门控制框图	195
图 4-77	火灾自动报警系统与消防联动控制的关系框图	196
图 4-78	多台消防电梯和客梯的电梯配电	197
图 4-79	消防电梯与客梯总台数较少时的电梯配电	197
图 4-80	消防泵、喷淋泵的配电	197
图 4-81	多台排烟、正压风机的配电排烟、正压风机较少时的配电	197
图 4-82	防火卷帘、排污泵的配电	198
图 4-83	消防控制室的配电	198
图 4-84	双电源到层配电箱应急照明配电	198
图 4-85	专线到层配电箱的应急照明配电	198
图 4-86	双电源到层配电箱专线至集中电源的应急照明配电	198
图 4-87	安全防范工程程序	199
图 4-88	分线制入侵报警系统模式一	200
图 4-89	分线制入侵报警系统模式二	200
图 4-90	分线制入侵报警系统模式三	201
图 4-91	总线制入侵报警系统模式一	201
图 4-92	总线制入侵报警系统模式二	202
图 4-93	别墅小区门禁系统	202
图 4-94	出入口指纹识别系统	203
图 4-95	在线式电子巡查系统	204
图 4-96	离线式电子巡查系统	204
图 4-97	停车场(库)管理系统流程示意图	204
图 4-98	停车场(库)管理系统框图	205

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50034—2004 建筑照明设计标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [3] 中华人民共和国机械工业部. GB 50053—1994 10kV 及以下变电所设计规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50054—2011 低压配电设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50055—2011 通用用电设备配电设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [6] 中国机械工业联合会. GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [7] 中国电力企业联合会. GB 50060—2008 3~110kV 高压配电装置设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50149—2010 电气装置安装工程母线装置施工及验收规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [9] 中华人民共和国工业和信息化部. GB 50174—2008 电子信息系统机房设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [10] 中华人民共和国建设部. GB/T 50314—2006 智能建筑设计标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50617—2010 建筑电气照明装置施工与验收规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [12] 中华人民共和国建设部. JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [13] 中华人民共和国建设部. JGJ 46—2005 施工现场临时用电安全技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [14] 中国建筑标准设计研究院. JGJ 242—2011 住宅建筑电气设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [15] 李恭慰. 建筑照明设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [16] 段春丽, 等. 建筑电气 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [17] 朱栋华. 建筑电气工程图识图方法与实例 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

—同类书推荐—

《施工现场临时用电安全要点200》

岳永铭 主编



本书是依据国家现行的建设工程安全生产法律法规和相关规范规程编写的。书中总结了建筑施工部门的安全生产管理经验，此外还集建筑施工安全管理技术、安全管理资料于一身，通过大量的图示、图表和翔实的文字，使本书图文并茂，具有实用性、科学性和指导性。本书完全按照新标准、新规范的要求编写，以利于施工现场管理人员随时学习及查阅。

书号：978-7-111-38048-1 定价：36.00元

《现场电工——专业技能入门与精通》

宋华 主编



本书主要包括现场电工基本知识和操作技能两大部分内容，具体介绍了电路基本知识、电气工程图形符号、常用的电工工具及仪表设备、电气施工图的识读、建筑物防雷接地工程、电气配管工程、电气配线工程、电气器具的安装等相关专业技术内容。

书号：978-7-111-37678-1 定价：39.80元

《建筑电气工程施工及验收手册》

张立新 主编



本手册图文并茂，通俗易懂，可读性强，可作为从事建筑电气设计、监督、建设、监理、施工单位工程技术人员及现场操作者进行质量验收和技术交底及施工的依据，也可供非电气专业工程技术人员参考。

书号：978-7-111-36850-2 定价：59.00元

《建筑电气工程图识读》

冯波 主编



图样是建筑工程人员的通用语言，读懂图样是施工技术人员需要跨过的第一道门槛，也是顺利开展其他工作的首要条件。特别是对于建筑施工技术人员来讲，通过识图来掌握专业技能远比通过文字更为直观、容易。作为入门类建筑读物，本书以电气工程的几大项目为核心，通过对图样范例解读来贯穿全书，典型实用，详列有序，用笔简省，导向正确。

书号：978-7-111-36788-8 定价：26.00元

《看范例快速识读建筑电气工程图》

《看范例快速识读建筑电气工程图》编委会 编



本书以《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001—2010)等制图规范为依据，以快速学会识图为主线，以一个例子说明制图过程，分为电气程制图与识图、某住宅楼建筑电气施工图识图详解两章。

书号：978-7-111-36329-3 定价：19.80元

《建筑工程法律责任风险与管理要点精析》

陈津生 主编



本书可作为建设工程施工单位、建设单位（包括房地产开发企业、基建单位）、招标投标代理机构、工程监理公司、安全质量监督机构、建筑机械租赁安装公司等有关人员法律风险管理的学习培训用书；也可作为高等院校相关专业师生的教学参考与辅导读物。

书号：978-7-111-34221-2 定价：58.00元

《电梯安装维护运行管理实例读本》

郑全法 主编



本书通俗易懂的内容既适合从事电气工程、电梯工程安装调试、运行维护的电气技术人员和电气技师阅读参考，也可作为技工培训机构的培训教材及工程院校、职业院校电气专业的教学参考用书。

书号：978-7-111-35353-9 定价：36.00元

《建筑工程临时用电实例教程》

罗良武 渠秋会 主编



本书主要介绍建筑工地临时用电的安全要求、管理规范、配电技术、电器选择和电气保护等方面的基本知识。本书是建筑工人朋友自学的好书，也可作为建筑工人岗前培训及高职院校相关专业的教材，还是电气工程技术人员参考资料。

书号：978-7-111-33636-5 定价：24.00元

读者调查问卷

亲爱的读者：

感谢您对机械工业出版社建筑分社的厚爱和支持，并再次对您填写并寄出（或传真或 E-mail）下面的读者调查问卷表示由衷地感谢！

请邮寄到：北京市百万庄大街 22 号机械工业出版社 建筑分社 收 邮编：100037

电话或传真：010-68994437 E-mail: cmpjz 2008@126.com

读者调查问卷

姓 名				性 别		☐ 男 ☐ 女		年 龄				
有效 联系 方式	地址								邮政编码			
	电 话	手机/小灵通					网 络	Email				
		住宅						QQ/MSN				
		办公室						其他即时方式				
现从事专业				从事现专业时间				所学专业				
现有职称		☐ 建筑师 ☐ 建造师 ☐ 土木工程师 ☐ 结构工程师 ☐ 建造师 ☐ 公用设备工程师 ☐ 咨询工程师 ☐ 房地产估价师 ☐ 城市规划师 ☐ 设备监理师 ☐ 造价工程师 ☐ 电气工程师 ☐ 安全工程师 ☐ 房地产经纪人员 ☐ 化工工程师 ☐ 其他										
教育程度		☐ 初中以下 ☐ 技校/中专/职高/高中 ☐ 大专 ☐ 本科 ☐ 硕士及以上										
个人平均 月收入(元)		☐ 1000 以下 ☐ 1000 ~ 2000 ☐ 2000 ~ 3000 ☐ 3000 ~ 5000 ☐ 5000 ~ 8000 ☐ 8000 ~ 12000 ☐ 12000 以上										
购书名称												
本书购买决定		☐ 书店 ☐ 网上书店 ☐ 邮购 ☐ 上门推销 ☐ 其他										
促使您决定 购买直接原因		☐ 内容 ☐ 书名 ☐ 封面 ☐ 现场人员推荐 ☐ 报纸/期刊广告 ☐ 电视/网络广告 ☐ 同事/同行/朋友推荐 ☐ 其他										
您愿意收到与您职业/专业相关图书的信息								☐ 愿意 ☐ 不愿意				
您有何建议? _____ _____ _____ _____												

注：1. 可选择项目用笔在□划“√”即可。

2. 对信息填写完整的读者，我们将努力为您的职业发展提供更多量身定做的贴心服务（如提供相关职业图书信息，机械工业出版社及其合作伙伴的信息或礼品等）。



建设工程常用图表手册系列

JIAN SHE GONG CHENG CHANG YONG TUBIAO SHOU CE XILIE

砌体结构常用图表手册

建筑抗震常用图表手册

混凝土工程常用图表手册

电梯工程常用图表手册

暖通空调常用图表手册

工程造价常用图表手册

建筑机械常用图表手册

地基基础常用图表手册

◎ 电气工程常用图表手册

钢结构工程常用图表手册

智能建筑常用图表手册

给水排水工程常用图表手册

市政工程常用图表手册

地址:北京市百万庄大街22号

邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 施工手册

ISBN 978-7-111-40097-4

策划编辑◎闫云霞 / 封面设计◎张静

ISBN 978-7-111-40097-4



9 787111 400974 >

定价: 45.00元