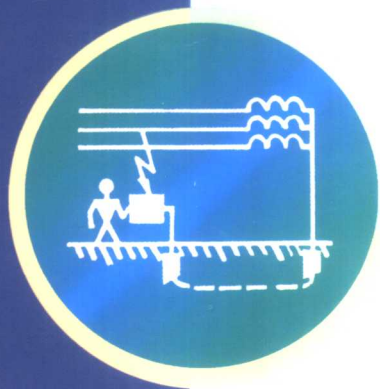




安全工程系列教材

ANQUAN
GONGCHENG
XILIEJIAOCAI

DIANQIANQUANGONGCHENG



电气安全工程

杨有启 钮英建 / 编著

 首都经济贸易大学出版社

安全工程系列教材

电气安全工程

杨有启 钮英建 编著

首都经济贸易大学出版社
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

电气安全工程/杨有启、钮英建编著. - 北京:首都经济贸易
大学出版社, 2000.9

ISBN 7-5638-0800-0

I.电… II.杨… III.电气设备-安全工程 IV.TM08
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 31258 号

首都经济贸易大学出版社出版发行
(北京市朝阳区红庙)

北京怀柔师范校办印刷厂印刷

全国新华书店经销

148×217毫米 16开本 17.5印张 420千字

2000年9月第1版 2000年9月第1次印刷

印数:1~6 000

ISBN 7-5638-0800-0/TM·1

定价:31.50元

《安全工程系列教材》

编委会

主 任 闪淳昌

副主任 姜 亢 钮英建

委 员 (按姓氏笔画为序)

王勇毅 毛海峰 刘清方

李泰国 吴孟娴 杨有启

杨泗霖 袁化临 郭晓宏

2A 9 23 / 06

内容提要

本书以电气为范围,以安全为中心,研究各种电气事故的构成、规律和相关联的安全理论、现代工程技术方法及管理方法。本书共九章,第一章介绍电气安全专业基础;第二、三、四章横向介绍通用防触电技术;第五、六章纵向介绍电气线路和电气设备的安全技术;第七章介绍电气防火防爆工程;第八章介绍防雷安全和静电安全;第九章介绍电气安全管理。

本书主要用作大专院校的专业教材或教学参考书,还可供有关研究人员、工程技术人员和技术管理人员自学和查阅之用。

《安全工程系列教材》 出版说明

随着社会的发展和科学技术的进步,人们在生产及生活中接触的高速、高能设备及机电设施愈来愈多,与之相关的安全问题也愈来愈受到全社会的关注,这为安全工程技术的发展提供了物质基础和社会基础。

安全工程技术是涉及人、机、环境及多学科领域的系统安全工程,其中的机电安全领域不仅涉及多个特殊工种的安全操作,更涉及多种机电设备的本质安全性能及大、中、小各种形式的作业环境和社会环境。安全工程技术涵盖的内容,随着社会生产力的发展及科学技术的进步而不断变化和更新。

首都经济贸易大学安全工程系在安全工程技术领域,特别是在机电安全领域进行过长期的探索和研究,在这方面具有一定的优势和特点。大约 10 年前,曾经组织编写出版了一套《安全与卫生工程系列教材》(91 系列),在国内安全监察、管理及教育中发挥了积极的作用。

读者现在看到的《安全工程系列教材》,在一定意义上是 91 系列的发展、更新与精练。它包括《现代安全管理理论与实务》、《电气安全工程》、《起重与机械安全》、《锅炉压力容器安全》和《防火与防爆》等 5 本教材。

根据教学与实际工作的需要,本系列教材体现少而精和深入浅出的原则,将安全工程的基本内容、相关主要法规及最新技术进展简明扼要地展现出来,使读者可以在较短的时间内方便地了解、掌握本领域的基本知识。

本系列教材除可用作安全工程专业本科教材外,还可用作专业安全技术工作者的培训教材和参考资料。

《安全工程系列教材》编委会
2000 年 6 月

前 言

电气安全是安全领域中与电气相关联的科学技术及管理工程。电气安全具有应用广、涉及范围广、发展迅速的特点。

电气安全必须与科学技术的发展相适应。在工程技术方面的任务是进一步完善传统的安全技术方法,研究和开发新兴的安全技术方法,以求建立完整的电气安全体系;并注重开发先进的自动化技术和电气检测、监测技术在安全领域的应用。在管理科学方面的任务是逐步提高相关人员的电气安全水平,逐步实现电气安全标准化;并引进系统工程的方法,提高电气安全管理的科学性。

电气事故的原因是多种多样的,预防电气事故的措施也是多种多样的。本书侧重技术,以电气安全方法和电气危险因素为横、纵两条主线,介绍预防电气事故的各种理论和工程方法。

本书曾公开发行人于1991年。近10年来,电气安全又有了较大的发展。编者在总结以往教学与实践经验的基础上,结合我国当前情况,汲取国内外最新技术和研究成果,重新编写了这本新的《电气安全工程》。

本书共九章,第三、五、六、七、八、九章由杨有启教授编写,第一、二、四章由钮英建副教授编写。

本书主要用作大学本科安全工程专业的专业教材,并用作各类电气安全教学人员的教学参考书,还可供从事电气工作的工程技术人员和技术管理人员自学和查阅之用。

由于作者水平所限,书中不当乃至错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2000年5月

目 录

第一章 电气安全基础	(1)
第一节 工业企业供配电	(1)
一、电力系统	(1)
二、工业企业供电	(3)
三、工业企业配电	(4)
第二节 电气事故	(6)
一、电气事故概要	(7)
二、电气事故的类型	(8)
三、触电事故的分布规律.....	(10)
第三节 电流对人体的作用	(11)
一、电流对人体的作用.....	(11)
二、人体阻抗.....	(19)
第二章 直接接触电击防护	(22)
第一节 绝缘	(22)
一、绝缘材料的电气性能.....	(22)
二、绝缘的破坏.....	(24)
三、绝缘检测和绝缘试验.....	(26)
第二节 屏护和间距	(30)
一、屏护.....	(31)
二、间距.....	(31)
第三章 间接接触电击防护	(36)
第一节 IT 系统	(36)
一、接地的基本概念.....	(36)
二、IT 系统的安全原理	(38)
三、保护接地的应用范围.....	(40)
四、接地电阻的确定.....	(41)
五、绝缘监视.....	(43)
六、过电压的防护.....	(45)
第二节 TT 系统	(46)
一、TT 系统的原理	(46)
二、TT 系统的应用	(47)
第三节 TN 系统	(49)
一、TN 系统的安全原理及类别	(49)

二、TN 系统速断和限压的要求	(49)
三、保护接零的应用范围	(51)
四、重复接地	(52)
五、工作接地	(56)
六、保护接零的计算	(58)
七、速断保护元件	(62)
第四节 保护导体	(63)
一、保护导体的组成	(63)
二、保护导体的截面积	(64)
三、等电位联结	(66)
四、保护导体的安装	(66)
五、相 - 零线回路检测	(67)
第五节 接地装置	(68)
一、自然接地体和人工接地体	(68)
二、接地线	(69)
三、接地装置的安装	(70)
四、接地装置的连接	(72)
五、接地装置设计的条件	(72)
六、降低接地电阻的施工法	(74)
七、流散电阻的计算	(76)
八、接地测量	(90)
九、接地装置的检查和维护	(93)
第四章 双重绝缘、加强绝缘、安全电压和漏电保护	(94)
第一节 双重绝缘和加强绝缘	(94)
一、双重绝缘和加强绝缘的结构	(94)
二、双重绝缘和加强绝缘的安全条件	(95)
三、不导电环境	(96)
第二节 安全电压	(96)
一、特低电压的区段、限值和安全电压额定值	(96)
二、特低电压防护的类型及安全条件	(97)
三、SELV 和 PELV 的安全电源及回路配置	(97)
四、SELV 及 PELV 的特殊要求	(98)
五、FELV 的辅助要求	(99)
六、插头及插座	(99)
第三节 电气隔离	(99)
一、电气隔离的安全原理	(99)
二、电气隔离的安全条件	(100)
第四节 漏电保护	(101)
一、漏电保护装置的原理	(101)

二、漏电保护装置的分类	(102)
三、漏电保护装置的主要技术参数	(103)
四、漏电保护装置的应用	(104)
第五章 电气线路	(109)
第一节 电气线路的种类及特点	(109)
一、架空线路	(109)
二、电缆线路	(110)
三、户内配线	(111)
第二节 电气线路常见故障	(111)
一、架空线路故障	(112)
二、电缆线路故障	(113)
第三节 线路安全条件	(114)
一、导电能力	(114)
二、线路绝缘	(122)
三、机械强度	(122)
四、线路间距	(122)
五、线路防护	(123)
六、导线连接	(123)
七、线路管理	(124)
第四节 负荷计算	(124)
一、设备功率的确定	(124)
二、负荷计算的 ABC 法	(125)
第六章 电气设备安全	(128)
第一节 用电设备安全	(128)
一、用电设备的环境条件和外壳防护等级	(128)
二、电动机	(130)
三、单相电气设备	(137)
第二节 低压电器	(143)
一、低压控制电器	(143)
二、低压保护电器	(150)
第三节 变、配电设备	(154)
一、变、配电所	(154)
二、变压器	(158)
三、互感器	(168)
四、高压电器	(171)
五、电力电容器	(177)
第七章 电气防火防爆	(181)
第一节 电气引燃源	(181)
一、危险温度	(181)

二、电热器具和照明灯具引燃源	(183)
三、电火花和电弧	(183)
第二节 危险物质	(184)
一、危险物质分级分组	(185)
二、危险物质分组和分级举例	(191)
第三节 危险环境	(192)
一、气体、蒸气爆炸危险环境	(192)
二、粉尘、纤维爆炸危险环境	(196)
三、火灾危险环境	(197)
第四节 防爆电气设备和防爆电气线路	(197)
一、防爆电气设备	(197)
二、防爆电气线路	(203)
第五节 电气防火防爆措施	(208)
一、消除或减少爆炸性混合物	(208)
二、隔离和间距	(208)
三、消除引燃源	(209)
四、爆炸危险环境接地和接零	(210)
五、消防供电	(210)
六、电气灭火	(211)
第八章 雷电和静电	(213)
第一节 雷电安全	(213)
一、雷电的种类	(213)
二、雷电参数	(214)
三、雷电的危害	(216)
四、防雷的分类	(217)
五、防雷装置	(218)
六、防雷技术	(229)
第二节 静电防护技术	(234)
一、静电的产生	(234)
二、静电的消失	(237)
三、静电的影响因素	(239)
四、静电的危害	(241)
五、防静电的措施	(242)
第九章 电气安全管理	(250)
第一节 电气安全组织管理	(250)
一、管理机构和人员	(250)
二、规章制度	(250)
三、安全检查	(251)
四、安全教育	(251)

五、安全资料	(251)
第二节 电工安全用具.....	(252)
一、绝缘安全用具	(252)
二、携带式电压指示器和电流指示器	(252)
三、登高安全用具	(253)
四、临时接地线、遮栏和标示牌.....	(253)
五、安全用具的使用和试验	(254)
第三节 检修安全措施.....	(256)
一、安全工作制度	(256)
二、停电安全措施	(260)
三、不停电检修	(261)
第四节 电气安全分析和评价.....	(262)
一、事故树分析	(262)
二、安全评价	(264)
参考文献.....	(267)

第一章 电气安全基础

本章首先介绍工业企业供配电的一些基本知识,然后讲述电气事故概要、触电事故的类型及其分布规律,最后重点论述电流对人体的作用。本章内容是电气安全工程的基础知识。

第一节 工业企业供配电

工业企业供配电是指工业企业所需电能的供应和分配。由于电能易于由其他形式的能量转换而来,又易于转换为其他形式的能量而被利用,并且,电能传输和分配上简单经济,便于控制,因此,电能成为现代工业生产的重要能源和动力。实际上,电能的生产、输送、分配和使用是在同一瞬间完成的,实现这个全过程的各个环节构成了一个有机联系的整体,这个整体就称为电力系统。

一、电力系统

1. 电力系统的组成

电力系统由发电厂、送电线路、变电所、配电网和电力负荷组成,图 1-1 是典型的电力系统主接线单线图。图中未画出用户内部的配电网。

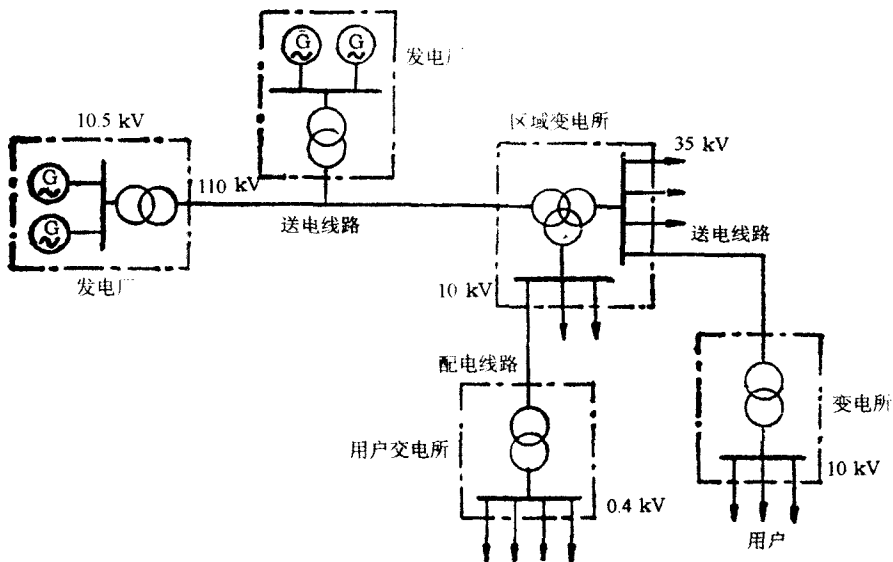


图 1-1 电力系统图

发电厂又称发电站,是将自然界蕴藏的各种一次能源转换为电能(二次能源)的工厂。发电厂根据一次能源的不同,分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂以及风力发电厂、地

热发电厂、太阳能发电厂等。在现代的电力系统中,最常见的是火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂。

送电线路是指电压为 35 kV 及其以上的电力线路,分为架空线路和电缆线路。其作用是将电能输送到各个地区的区域变电所和大型企业的用户变电所。

变电所是构成电力系统的中间环节,分为区域变电所(中心变电所)和用户变电所。其作用是汇集电源、升降电压和分配电力。

配电网由电压为 10 kV 及其以下的配电线路和相应电压等级的变电所组成,也有架空线路和电缆线路之分。其作用是将电能分配到各类用户。

电力负荷是指国民经济各部门用电以及居民生活用电的各种负荷。

2. 额定电压和电压等级

电气设备都是设计在额定电压下工作的。额定电压是保证设备正常运行并能够获得最佳经济效果的电压。

电压等级是国家根据国民经济发展的需要、电力工业的水平以及技术经济的合理性等因素综合确定的。

我国标准规定的三相交流电网和电力设备常用的额定电压如表 1-1 所列。

表 1-1 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

kV

分类	电网和用电设备额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15, 75, 18, 20	13.8, 15, 75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
330	—	330	363	
500	—	500	550	

我国标准规定:额定电压 1 000 V 以上的属高压装置,1 000 V 及其以下的属低压装置。对地电压而言,250 V 以上为高压,250 V 及其以下为低压。

一般又将高压分为中压(1~10 kV)、高压(10~330 kV)、超高压(330~1 000 kV)、特高压(>1 000 kV)。电力网的电压随着大型电站和输电距离的增加,送电电压有提高的趋势。

在表 1-1 列出的工频高压多个等级中,应用较多的是 10 kV, 35 kV, 110 kV 和 220 kV。

我国工频低压最常用的是 380 V 和 220 V 电压;在井下及其他场合,常采用 127 V 和

660 V 电压;在安全要求高的场合,还采用 50 V 以下的安全电压。

就直流电压而言,我国常用的有 110 V, 220 V 和 440 V 三个电压等级,用于电力牵引的还有 250 V, 550 V, 750 V, 1 500 V, 3 000 V 等电压等级。

用电设备的额定电压规定为与同级电网的额定电压相同。考虑用电设备运行时线路上要产生电压降,所以发电机额定电压要高于同级电网额定电压 5%。同样,变压器的二次绕组额定电压高于同级电网额定电压 5%。变压器一次绕组的额定电压分两种情况:当变压器直接与发电机相连时,其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同,即高于同级电网额定电压的 5%;当发电机接在电力网的末端,其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

电力系统的电压和频率是衡量电力系统电能质量的两个基本参数。《全国供用电规则》(1983 年)规定,一般交流电力设备的额定频率为 50 Hz,一般称其为“工频”。设备的端电压与其额定电压有偏差时,设备的工作性能和使用寿命将受到影响,总的经济效果将会下降。例如,当感应电动机的端电压比其额定电压低 10% 时,其实际转矩将只有额定转矩的 81%,而负荷电流将增大 5%~10% 以上,温升将提高 10%~15% 以上,绝缘老化程度将比规定增加 1 倍以上,将明显缩短电动机的使用寿命。此外,由于转矩减小,使转速下降,不仅降低生产效率,减少产量,还会影响产品质量,增加废次品。当感应电动机的端电压偏高时,负荷电流一般也要增加,绝缘也要受损。

用户供电电压允许的变化范围见表 1-2,电力网频率允许偏差值见表 1-3。

表 1-2 用户供电电压允许变化范围

线路额定电压(U_e)	电压允许变化范围
≥ 35 kV	$\pm 5\% U_e$
≤ 10 kV	$\pm 7\% U_e$
低压照明	$+5\% U_e \sim -10\% U_e$
农业用户	$+5\% U_e \sim -10\% U_e$

表 1-3 电力网频率允许偏差

运行情况		允许偏差/Hz	允许标准时钟误差/s
正常运行	中、小容量系统	± 0.5	60
	大容量系统	± 0.2	30
事故运行	≤ 30 min	± 1	—
	≤ 15 min	± 1.5	—
	绝不允许	-4	—

二、工业企业供电

1. 工业企业供电系统的组成

工业企业供电系统由高压配电线路、配电所、低压配电线路等组成。其高压部分如图 1-2 所示。该图表示了系统的组成及相互关系,具体各部分的设立及连接方式还须根据工业企业的具体情况确定。常见的供电方式有以下四种:

(1) 进线电压为 35 kV, 先经总降压变电所变为 10 kV 的配电电压,分送到各车间变电

所,再经车间变电所变为 0.4 kV 低压电分送到各配电箱或用电设备。此方式适用于大型企业和大中型企业。

(2) 进线电压为 10 kV,经总配电所分送到各车间,经车间变电所变为 0.4 kV 低压电,分送到各配电箱或用电设备。此方式适用于大中型企业和中型企业。

(3) 进线电压为 10 kV,经变电所变为低压电分送到车间,再送到各配电箱或用电设备。此方式适用于中型企业和中小型企业。

(4) 进线电压为 0.4 kV,经配电室分送到各车间或直接送到配电箱或用电设备。此方式适用于小型企业。

2. 企业高压供电

高压供电方式由供电可靠性及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度决定,亦即由负荷的性质决定。电力负荷分为下列三级:

(1) 一级负荷,为中断供电将造成人身伤亡,或在政治、经济上将造成重大损失者,如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。

一级负荷中有特别重要的负荷,其供电的中断会造成爆炸、火灾、中毒、混乱等,如在正常电源发生中断供电的情况下,用于处理安全停产的事故照明系统、通信系统及火灾报警设备,保证安全停产的自动控制装置、执行机构和配套装置等。

(2) 二级负荷,为中断供电将在政治、经济上造成较大损失者,如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重大企业大量减产等。

(3) 三级负荷,为一般的电力负荷,所有不属于上述一、二级负荷者。

不同级别的负荷对供电电源有不同的要求,一级负荷要求应由两个电源供电,而且要求当任一个电源发生故障时,另一个电源应不致同时受到损坏。除此之外,对一级负荷中特别重要的负荷,还要求增设应急电源。二级负荷要求应由两回路供电,供电变压器也应有两台。在其中一回路或一台变压器发生常见故障时,二级负荷应做到不致中断供电,或中断后能够迅速恢复供电。三级负荷属不重要负荷,对供电电源无特殊要求。

三、工业企业配电

1. 企业高压配电

企业高压配电有放射式、树干式、环式等三种基本接线方式。

(1) 放射式,如图 1-3 所示。此方式是由一条母线分别给大型电动机、电炉变压器、电力变压器送电。其优点是各个线路上的故障不产生相互影响,因此可靠性较高,而且便于装设自动装置以实现自动化。缺点是使用高压开关设备较多,使投资增加。

高压放射式配电适用于具有位置分散、大型集中负荷的企业。

(2) 树干式,如图 1-4 所示。此方式是由一条高压配电干线引出若干支线,向用电负

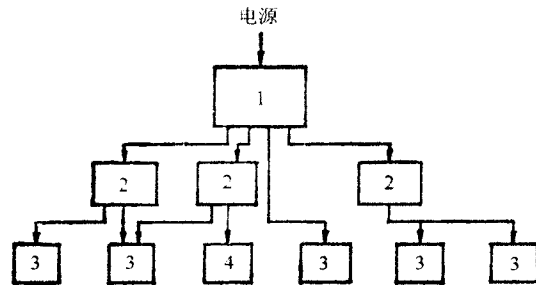


图 1-2 企业高压配电系统

1—总变电所;2—配电所;3—车间变电所;

4—高压用电设备

荷送电。其优点是线路简化,减少了线路的有色金属消耗量;采用的高压开关数量少,因此投资较少。缺点是供电可靠性低,当高压配电干线发生故障或检修时,接于干线的所有变电所都要停电;且在实现自动化方面适应性也较差。要提高其供电可靠性,可采用双干线供电或两端供电的接线方式。

(3) 环式,如图 1-5 所示。此方式实质上是两端供电的树干式接线,为了避免环形线路上发生故障时影响整个电网,以及便于实现线路保护的选择性,大多数环行线路采用开环运行,即环行线路中有一处开关是断开的。

实际上,高压配电系统往往是根据具体情况,由上述几种接线方式组合而成。

2. 企业低压配电

企业低压配电线路也有放射式、树干式和环式等基本接线方式。

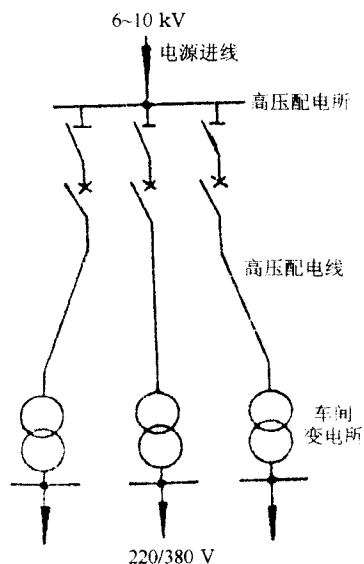


图 1-3 高压放射式线路

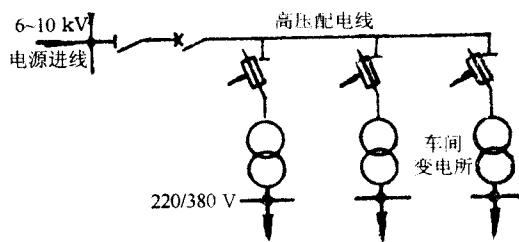


图 1-4 高压树干式线路

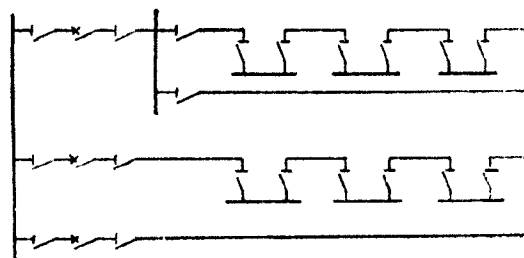


图 1-5 环式配电

(1) 放射式,如图 1-6 所示。此方式的特点是各个引出线在发生故障时相互之间不产生影响,供电可靠性较高。其应用范围主要是用电设备容量大,或负荷性质重要,或潮湿及腐蚀性环境的车间,或有爆炸危险性的厂房等。

(2) 树干式,如图 1-7 所示。此方式在干线发生故障时,影响范围大,供电可靠性较差,适用于供电给容量较小而分布较均匀的用电设备,如机床、小型加热炉等。图 1-7 b 所示树干式是“变压器-干线式”接线,由于省去了变电所低压侧整套低压配电装置,使变电所结构简化,投资大为降低。

图 1-8 所示为由树干式变形而得到的链式接线方式,适用于离开供电点较远、用电设备之间相距很近的容量很小的次要用电设备。链式相连的用电设备数量一般限制在 3~5 台以下,或总容量不超过 10 kW。

(3) 环式,如图 1-9 所示。它是由一台变压器供电的低压环式接线。此方式的特点是供电的可靠性较高,但其保护装置及其整定比较复杂,若配合不当,易发生误动作。实际上,低压环式接线多采用开环方式运行。