

煤炭高职高专（成人）“十二五”规划教材

矿山电工

第二版

刘卫国 张纪良 编著

Kuangshan Diangong

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

全国煤炭高职高专(成人)“十二五”规划教材

矿山电工

(第二版)

刘卫国 张纪良 编著



中国矿业大学出版社

内 容 摘 要

本书为全国煤炭高职高专(成人)“十二五”规划教材之一。全书共分八章,内容包括矿井供电系统、矿井供电设备、短路电流计算、井下供电安全技术、采区供电设备选型及计算等。本书在内容安排上加强了理论教学与工程实践的结合,并注重结合现行供电设计与运行规范的相关规定。

本书是煤炭成人高校、普通高校成人教育采矿工程、矿井通风与安全、矿井建设、矿山机电、矿山机械等专业矿山电工学课程用书,也可供煤炭企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山电工 / 刘卫国,张纪良编著. —徐州:中国矿业

大学出版社,2014.1

全国煤炭高职高专(成人)“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7- 5646 - 2143 - 8

I. ①矿… II. ①刘…②张… III. ①矿山电工 IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 286203 号

书 名 矿山电工

编 著 刘卫国 张纪良

责任编辑 耿东锋

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 413 千字

版次印次 2014 年 1 月第 2 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤炭高职高专(成人)“十二五”规划教材 建设委员会成员名单

主 任：李增全

副主任：于广云 丁三青 王廷弼

委 员：(按姓氏笔画排序)

王宪军 王继华 王德福 刘建中

刘福民 孙茂林 李维安 张吉春

陈兴华 周智仁 赵文武 赵济荣

郝虎在 荆双喜 徐国财 廖新宇

秘书长：王廷弼

秘 书：何 戈

煤炭高职高专(成人)“十二五”规划教材

矿山机电专业编审委员会成员名单

主 任：刘卫国

副主任：黄小广 陈 标 孙茂林

委 员：(按姓氏笔画排序)

王任远 王昌田 王金国 张建国

李虎伟 李福固 陈官兴 郝虎在

陶 昆 梁南丁

前 言

本书为全国煤炭普通高等院校(成人)“十二五”规划教材之一。本书根据成人高等教育的特点,主要介绍矿山供电的有关基本知识,系统地讲述电力负荷及其计算、短路电流及其计算、煤矿企业常用电气设备的选择计算、电力线路设计及计算、供电系统的继电保护、矿山供电安全技术、供电系统的保护接地与过电压保护、井下高低压供电设备及控制电器、采区供电设计计算、变电所二次接线等内容。为便于学员学习,每章均附有思考题与习题。

本书可作为煤炭成人高校、普通高校成人教育采矿工程、矿井通风与安全、矿山安全工程、矿山机电等专业的通用教材,也可作为机电一体化技术、电气自动化技术专业及相关的专业证书班(培训班)教材,对矿山机电技术人员也是一本较好的参考用书。

本书根据注重能力培养与技能训练的原则,在内容编排上注重以培养学生供电设计应用基本能力为主,并兼顾供电系统的运行和设备维护与管理等知识的学习。

本书尽量反映新技术和新设备,贯彻国家新的技术经济政策。书中的文字符号和图形符号全部采用了新国标,计量单位也全部采用法定计量单位。

本书由山东科技大学刘卫国、张纪良编写。在编写过程中得到了山东科技大学机电学院、信电学院、继续教育学院及兖州矿业集团、枣庄矿业集团的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,恳请使用本书的师生和广大读者批评指正。

编 者

2013年3月

目 录	
第一章 工矿企业供电系统及电力负荷的计算	1
第一节 概述	1
第二节 工矿企业供电系统	6
第三节 地面变电所电力负荷的计算	12
第四节 功率因数的改善	24
第五节 地面变电所所址选择及其布置	28
思考题与习题	35
第二章 短路电流	37
第一节 概述	37
第二节 三相短路电流的暂态过程	38
第三节 无限大电源容量电力系统三相短路电流的计算	44
第四节 大型电动机对短路电流的影响	58
第五节 短路电流的效应	60
第六节 1 kV 以下低压配电网的短路电流计算	63
思考题与习题	66
第三章 电气设备的选择	68
第一节 概述	68
第二节 电弧的成因和灭弧方法	69
第三节 高压断路器	73
第四节 变电所选择电气设备的原则	78
第五节 高压隔离开关与高压负荷开关的选择	80
第六节 高压断路器的选择	82
第七节 高压熔断器及其选择	85
第八节 变电所母线及绝缘子的选择	88
第九节 短路电流的限制及限流电抗器的选择	94
第十节 电流互感器和电压互感器	98
第十一节 常用低压电器	104
第十二节 成套配电装置	110
思考题与习题	123
第四章 电力线路	124
第一节 概述	124

第二节 架空线路导线截面的选择	127
第三节 电缆截面的选择	133
思考题与习题	135
第五章 继电保护装置	136
第一节 概述	136
第二节 常用继电器的结构与工作原理	138
第三节 电网的继电保护	146
第四节 电力变压器的继电保护	156
第五节 电动机的保护	166
第六节 6~10 kV 电力电容器的保护	169
第七节 3~10 kV 的母线保护	171
第八节 供电系统的微机保护	172
思考题与习题	178
第六章 安全用电	180
第一节 触电、漏电的危险及预防措施	180
第二节 电网中性点接地方式	183
第三节 漏电保护	188
第四节 矿用电气设备防爆原理	198
第五节 接地与接零	204
第六节 低压供电系统的保护	212
思考题与习题	217
第七章 采区供电设备选择及其计算	219
第一节 采区供电设计的准备	219
第二节 采区主变压器的选择	220
第三节 采区供电系统的拟定	223
第四节 采区低压电缆的选择	224
第五节 采区低压电网短路电流的计算	233
第六节 采区低压电器的选择	235
第七节 采区低压保护装置的整定计算	238
思考题与习题	242
第八章 工矿企业变电所的二次接线	243
第一节 二次接线的基本概念	243
第二节 变电所的自用电和操作电源	246
第三节 闪光装置	249
第四节 高压断路器的控制	249

第五节 中央信号回路.....	252
第六节 直流系统绝缘监察装置.....	253
思考题与习题.....	254
参考文献.....	255

第一章 工矿企业供电系统及电力负荷的计算

第一节 概 述

电力是国民经济发展的的重要组成部分,是现代化建设中必不可少的能量,是工农业现代化的技术基础。

电能是二次能源,是发电厂生产的产品。随着生产的发展,地区电厂已不再满足需要,必须通过输电线路进行联网运行,从而形成大的供电网,构成无限大容量电力系统。

一、电力系统的基本概念

用户所用的电能来自发电厂。发电厂是将各种形式的能量转换为电能的场所,往往距负荷中心较远,距动力资源较近。为此,必须架设输电线路,通过变电所将电能送往负荷中心,再经过降压、配电送到用户。所以,随着生产的发展和用电量的增加,根据供需的相互关系,逐渐形成一个“电”的整体,也就是电力系统。其主要环节简要说明如下。

(一) 发电厂

发电厂是电力系统的中心环节,是将不同形式的能量转换成电能的工厂。根据所用能源的不同,可分为火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂等。

火力发电厂以煤、石油等作为燃料,经过燃烧将化学能转变为热能,用其推动汽轮机工作,将热能转换为机械能,汽轮机带动发电机旋转,将机械能转变为电能。如果有条件,火力发电厂最好建在矿区附近。当电厂装有供热式汽轮发电机组时,它除了发电外,还要向附近工厂供热,以提高热能利用率,即所谓的热电厂。

水力发电厂是利用河流的水能资源来发电的。它往往需要修建大的拦河坝等水工建筑物,集中水量,提高压头,经引水管推动水轮机再带动发电机,将机械能(或位能)转变成电能。

原子能发电厂,是利用原子核裂变时产生的核能转变成热能,如同火力发电一样产生电能。

(二) 变电所

变电所是接受电能、变换电压和分配电能的中间环节。按其用途分为升压和降压变电所、枢纽变电所(大容量、处于联系各部分的重要位置)、中间变电所(可以转送或引出一部分负荷)和终端变电所。按其供电范围分为区域变电所和地区变电所。

对于不承担变换电压,而只用来接受和分配电能的场所,称为配电所。

用来将交流电能转换为直流电,或进行相反操作的变电场所,称为变流所。

(三) 电力网

电力网由各种不同电压等级的输电线路和变电所组成,是连接发电厂和用户的中间环节,起输送、变换和分配电能的作用。

按照电力网的供电范围和电压等级的高低可分为:1 kV 及以下的是低电压网;3 kV 至 330 kV 的为高电压网;330 kV 至 1 000 kV 的为超高压。35 kV 以下的为配电网,35 kV 及以上的为主网络。

由于工矿企业所需用的电能均来自电力网,因此,从上面的分析可知,由发电厂、升降降压变电所、各种不同电压等级的输电线路和用电户,在电气上连接起来构成的整体,称为电力系统(图 1-1)。电力系统加上热能动力装置和水能动力装置及其他能源动力装置,称为动力系统。

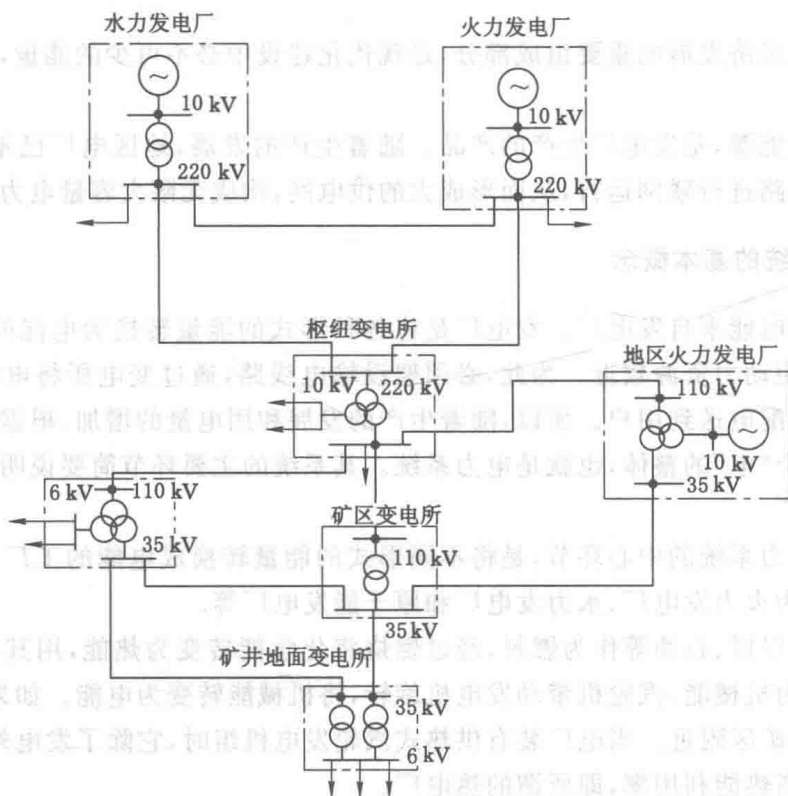


图 1-1 典型电力系统

随着生产的发展和需要,地方电网相互连接,形成并联运行的电力系统。其特点如下:

(1) 生产的电能是不能储存的。电能的生产和消费同时进行。系统的发电量取决于用电户的需用量,保持发电机发出的功率和负载消耗的功率平衡。

(2) 电力系统的过渡过程非常短暂。电气设备接通与断开电源,电力系统由一种运行状态转换到另一种运行状态,其过渡过程很短。

(3) 电能的生产与国民经济和人民生活的关系极为密切。供电中断会给国家带来不同程度的损失,给人民生活带来困难。

二、额定电压及电压等级

我们都知道,电气设备有规定的额定电压(又叫标称电压)。它是指用电设备(变压器、电机等)在正常运行时能保证安全可靠,获得最佳技术经济效益的电压。为使电力设备的制造、生产适应用户的需要,我国对电力设备的额定电压已标准化和统一化,使电力网的额定

电压与用电设备的额定电压相一致,构成了电力系统的标准电压等级。

我国制定的额定电压等级见表 1-1。

表 1-1 额定电压等级 单位:kV			
用电设备的额定电压	发电机的额定电压	变压器的额定电压	
		一次绕组	二次绕组
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
3	3.15	3~3.15	3.15~3.3
6	6.3	6~6.3	6.3~6.6
10	10.5	10~10.5	10.5~11
35	13.8	35	38.5
110	15.75	110	121
220	18.00	220	242

如图 1-2 所示,当供电线路输送功率时,沿线将产生一定的电压损失。线路越长,输送功率越大,产生的电压损失也就越大,因而形成线路各点的电压不相同。距离电源越远,电压损失越大。由于线路有电压损失,首端电压高于末端电压,因此规定以首末端电压的算术平均值 $\frac{1}{2}(U_1+U_2)$ 作为电网(即电力线路)的额定电压。用电设备的额定电压等于电网的额定电压。

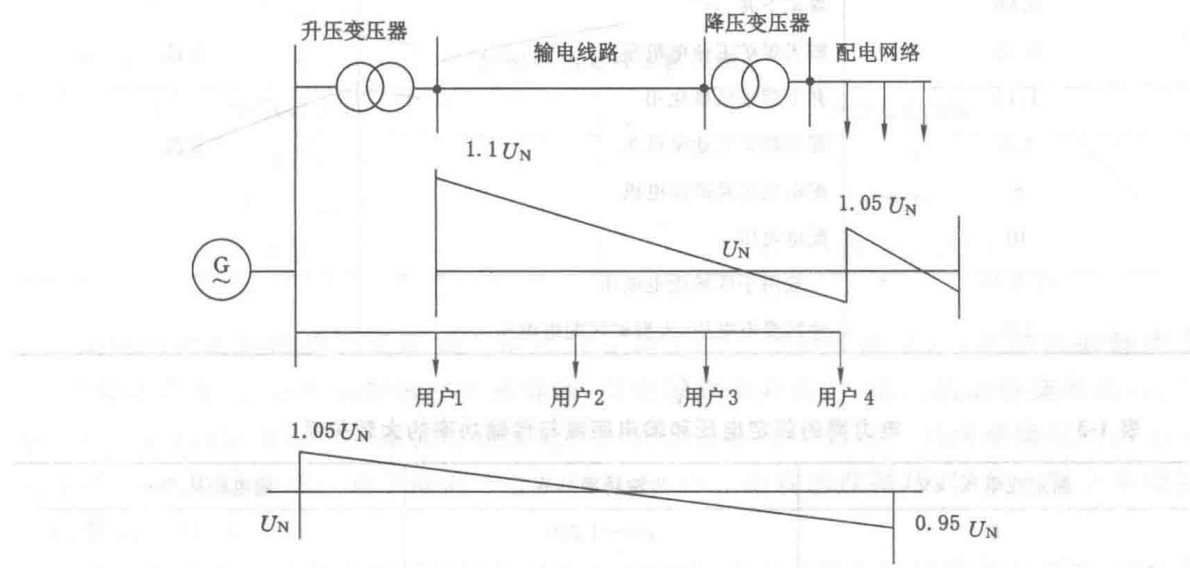


图 1-2 电力网各部分电压分布示意图

电力网中的变压器、发电机都是电力系统的组成部分,对它们有如下规定:
电力线路的沿线电压损失,一般为 10%。用电设备所允许的电压偏移为±5%。为了保证电能质量的要求,在电网末端的用电设备所允许的最低电压不低于额定电压的 5%。

所以,发电机的额定电压应较同级电网的额定电压高出 5%。

变压器既能接受输入功率,又能输出功率。因此,变压器一次绕组接入电网,相当于用电设备,其额定电压等于电网的额定电压;如果是与发电机直接相连,其额定电压与发电机的额定电压相同。变压器的二次侧(即二次绕组)输出功率,相当于供电电源,其额定电压就是二次侧的开路电压(即空载电压)。变压器二次绕组在满载时,本身的电压损失约为 5%,补偿电网的电压损失约为 5%,所以变压器二次额定电压应比同级电网的额定电压高出 10%。当变压器二次侧的供电线路很短时,电压损失很小,可不考虑。此时变压器的二次额定电压比电网额定电压高出 5%即可。

工矿企业供电系统电压等级关系到供电的技术经济合理性和企业今后的发展等问题,一般要在进行方案比较后确定。工矿企业常用的电压等级见表 1-2,电压等级与输送功率和距离之间的关系见表 1-3。

表 1-2 工矿企业常用的电压等级

电压等级/kV	用 途	备 注
≤0.036	电气设备的控制及局部照明	
0.127	煤矿井下用	
0.22	地面照明	
0.25	电机车	直流
0.38	地面及煤矿井下	
0.5	电机车	直流
0.66	煤矿下井	
0.75	露天煤矿工业电机车	直流
1.14	井下综采机械化用	
1.5	露天煤矿工业电机车	直流
6	配电电压及高压电机	
10	配电电压	
35 及 60	一般用于区域受电电压	
110	地区受电电压,大型矿区配电电压	

表 1-3 电力网的额定电压和输电距离与传输功率的大致关系

额定线电压/kV	传输功率/kW	输电距离/km
6	100~1 200	4~15
10	200~2 000	6~20
35	2 000~10 000	20~50
110	10 000~50 000	50~150
220	100 000~500 000	100~300
330	200 000~1 000 000	200~600

三、工矿企业对供电的要求

工矿企业是整个国民经济的重要部分,也是电能的重要用户。随着生产水平的不断提高,对供电的要求也日益提高,主要有以下几个方面:

(一) 供电可靠性

企业如果发生供电中断,不仅会造成减产,还有可能引起人身事故或设备的损坏,而且严重时会导致生产瘫痪。为了保证供电的可靠性和不间断性,供电电源应采用独立双回路电源,并且在进线电源线路上不准搭接任何负荷,在供给电能的数量上要充分满足生产和生活上的需要,使在一个回路电源发生故障的情况下,仍能保证供电的连续性。

(二) 供电安全性

根据生产条件和自然环境,按照相关规程规定,合理地选择,正确地安装,保证系统中各设备元件的可靠运行,并经常对它们进行监视、维护,定期进行试验和检修,使之始终处于完好的运行状态。严格遵守操作规程,加强安全保护措施,确保供电安全。

(三) 供电质量

供电质量好坏对各类用电设备的安全经济运行都有直接影响。对照明负荷来讲,当电压降低时,白炽灯的光效和光通显著下降;当电压升高时,其寿命将明显减少。

对电力负荷,如异步电动机,当电源电压下降时,电动机转矩减小,定子、转子电流增大,使电动机温度上升,严重时可能烧坏电动机。当电压过高时,对电动机和变压器来讲,使铁芯饱和,从而励磁电流和铁耗大大增加,使电动机过热,波形变坏,甚至可能产生高频谐振,其原因是电动机的励磁转矩与电源电压的平方成正比。因此,电压要稳定,而电压偏移不能超过额定电压的 $\pm 5\%$,如表 1-4 所列。

表 1-4 供电电压允许变化范围

网络额定电压	允许变化范围
35 kV 及以上	$\pm 5\%U_N$
10 kV 及以上	$\pm 7\%U_N$
低压照明	$[(1-10\%)\sim(1+5\%)]U_N$

频率的偏差同样将严重影响用电户的正常工作。当频率降低时,电动机的转速下降,不仅生产率低,还影响到电动机的寿命;当电源频率升高时,电动机的转速升高,功率消耗增大,经济效果低。频率偏差对发电厂同样会造成很大影响。当频率降低时出力大大下降,如果系统频率严重下降而不能及时制止,将会出现恶性循环,以致于整个系统发生崩溃。

另一方面,如有大型晶闸管整流装置投入运行时,将引起供电网出现高次谐波,产生谐波压降,使电压波形畸变,损耗增加,使电气设备绝缘加速老化,同时还会产生集肤效应。我国的技术标准规定频率变化允许偏差为 $\pm 0.5\text{ Hz}$ 。

(四) 经济合理性

在保证以上条件情况下,尽量做到减少损耗、提高效率、降低成本、投资少、年运行费用最低。应在保证系统运行可靠性和稳定性的前提下,尽量满足经济技术的要求。

四、工矿企业中用电户的分类

接在电网上的一切用电设备所需用的功率称为用户的电力负荷。它分为有功功率和无功功率。

发电和用电实际上是同时进行的,而且是保持平衡的。一旦系统供给的电能小于用电负荷所需要的电能,就会影响到系统的电压和频率,而且电力负荷也是系统设计和运行的主要依据。根据电力负荷(或用电设备)对供电的要求和中断供电对人身和设备安全影响程度不同,用电负荷分为三级:

(1) 一级负荷。凡突然停电造成人身伤亡或设备的严重损坏难以修复,给国民经济带来重大损失者,即为一级负荷。如钢铁厂的炼钢炉正在炼钢,突然长时间停电;又如涌水量较大的矿井,突然长时间停电,都将会造成重大损失。

(2) 二级负荷。凡突然停电,造成产量下降、产品报废或设备局部损坏者,称为二级负荷。如纺织厂、煤矿采区等。

(3) 三级负荷。凡突然停电损失不大者,均属于三级负荷。

第二节 工矿企业供电系统

工矿企业的供电电源,一般来自电力网,经企业总变电所接受、变换和分配,然后再送到用电户,该系统称为企业的供电系统。

工矿企业的类型很多,其供配电系统也各不相同,从总体接线方式来看,企业的供配电系统可分为两大部分:

(1) 电源系统,也称外部供电系统。是从外电源至企业总变电所的供电部分(包括高压架空线路或者电缆线路)。对于大、中型企业,电源电压一般为 $35\sim 110\text{ kV}$ 电压等级,是独立的双回路进线电源。对于小型企业常采用 $6\sim 10\text{ kV}$ 的进线电源。

(2) 变(配)电系统,也称企业内部配电系统。是由总变电所输出的 6 kV 向高压负荷供电的配电系统,再由低压动力变压器变压($6\text{ kV}/0.4\text{ kV}$)向低压设备供电的低压配电系统。

一、工矿企业供电系统的接线方式

企业供电系统的接线应保证供电安全可靠、接线简单、运行灵活、操作方便和运行费用低。根据接线方式,企业供电系统可分为以下几种(单侧电源供电):

(一) 放射式

(1) 单回路放射式。单回路放射式接线方式如图 1-3(a)所示。其优点是接线简单、清晰,运行操作方便,发生事故互不影响,继电保护简单;缺点是可靠性差。一般适用于二、三级负荷配电或专用设备供电。

(2) 双回路放射式。单侧电源辐射式网络的双回路放射式如图 1-3(b)所示。每一用户有两条供电线路,两者之间互为备用。可靠性高,灵活性好,既可分列运行,又可并联运行。适用于具有较大容量的、单独的重要用户或一级负荷的供电。

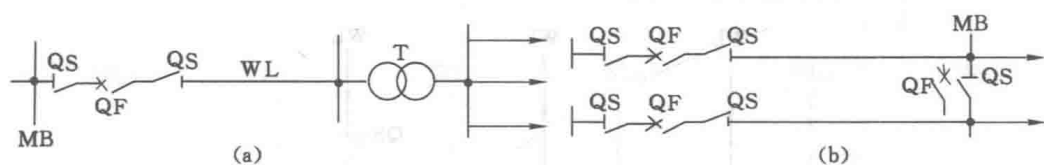


图 1-3 放射式接线

(a) 单回路放射式; (b) 双回路放射式

(二) 干线式

图 1-4 所示为干线式直接连接,为从公共配电干线上直接引出分支线向用电户供电。其分支负荷一般不超过 5 条,分支负荷的总容量不宜大于 $3\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 。优点:出线回路数少,线路总长度短(与放射式比),减少了有色金属消耗量,用电设备少。缺点:公用段线路发生故障停电的机会可能增多,并且用户将全部停电,供电可靠性差。一般用于三级负荷。

(三) 环式接线

环式接线如图 1-5 所示。这种接线的优点:两条干线(WL_1 和 WL_2)经过的路径不同,同时发生故障的机会少,运行灵活,电压稳定。缺点:当一条干线发生故障时,另一条线路虽然仍能保证供电,但线路较长,电压损失大,有色金属消耗量大。一般适用于用户距电源较远、用电户之间相距较近,并且负荷容量相差不大的情况。

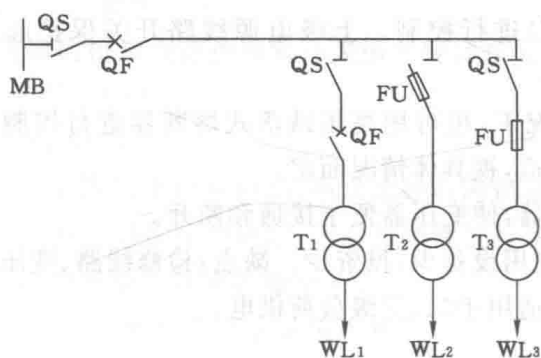


图 1-4 干线式直接连接

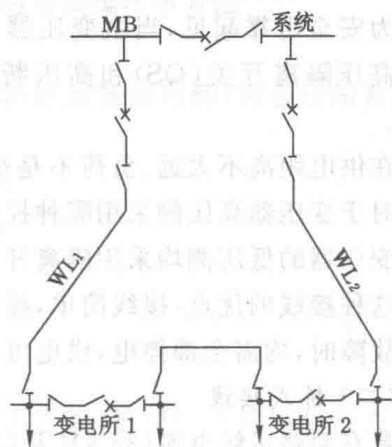


图 1-5 环式接线

二、工矿企业变(配)电所常用的主接线

变(配)电所的主接线是由变压器、高低压配电装置及相互之间的连接导线组成的整体。配电装置是指由母线、开关设备、保护和测量电器等组成的受电和配电整体。确定变电所的主接线与多种因素有关。不同方式的主接线与供电系统的经济运行及可靠性密切相关,是变电所设计的一项主要任务。

(一) 线路—变压器组接线

如图 1-6 所示,当只有一路进线电源,变电所只装一台变压器时,可采用线路—变压器组的接线方式,变压器和线路之间共用一台控制设备。

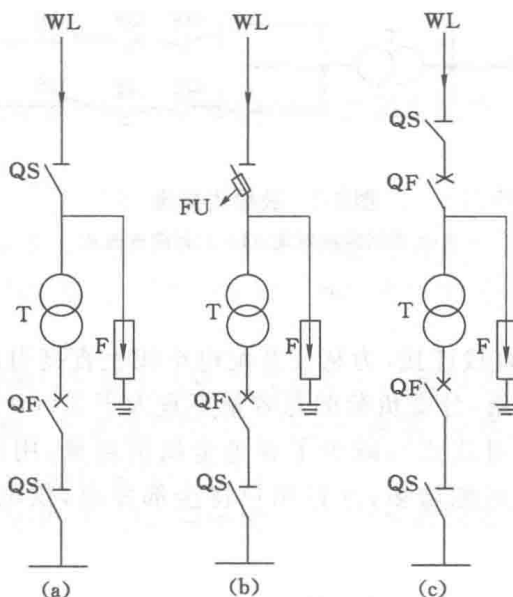


图 1-6 线路—变压器组接线

当进线电源线路末端发生短路或主变压器发生故障时,上级变电所的该线路馈电开关中保护装置动作,开关跳闸。这种情况可采用隔离开关(QS)进行控制。

为安全可靠起见,当主变压器发生故障时应能够切断电源,此时可在变压器一次侧装设高压隔离开关(QS)和高压断路器(QF)进行控制。上级电源线路开关保护起后备作用。

在供电距离不太远、负荷不是很大的情况下,也可用高压跌落式熔断器进行控制和保护。对于变压器高压侧采用哪种控制方式合适,视具体情况而定。

变压器的低压侧均采用隔离开关和断路器,使变压器便于接通和断开。

这种接线的优点:接线简单,操作方便,使用设备少,投资少。缺点:检修线路、变压器或发生故障时,均需全部停电,供电可靠性差。适用于二、三级负荷供电。

(二) 桥式接线

具有两路进线电源(35 kV 及以上)和两台主变压器的企业变电所,均可采用桥式接线,如图 1-7 所示。它实质上是将两条线路—变压器组的接线,在主变压器一次侧用一组开关(QS 和 QF)横向跨接。其开关称为桥开关,也叫母联开关。根据母联开关所在位置的不同,桥式接线分为内桥、外桥和全桥。

1. 外桥接线

所谓外桥接线是指母联开关横向跨接在变压器一次侧的断路器的外侧(靠近线路侧),如图 1-7(a)所示。

使用条件:

- (1) 电源供电距离较近,线路故障机会较少。
- (2) 负荷变化大,变压器需要经常进行切换。
- (3) 有稳定的穿越功率的变电所。
- (4) 用电户为一、二级负荷。