

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

矿山电工

刘卫国 主编



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)“十一五”规划教材

矿 山 电 工

主 编 刘卫国

副主编 张继良

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)“十一五”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相结合,并注重结合现行供电设计与运行规范相关规定。

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/刘卫国主编. —徐州:中国矿业大学出版社,
2007.11

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 81107 - 787 - 2

I. 矿… II. 刘… III. 矿山电工—高等学校:技术学校—
教材 IV. TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 174263 号

书 名 矿山电工

主 编 刘卫国

责任编辑 耿东锋 孙建波

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

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

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 14.25 字数 356 千字

版次印次 2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 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)

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主 任:李增全

副 主 任:刘咸卫 胡卫民 刘发威 仵自连

委 员:(按姓氏笔画为序)

牛耀宏	王廷弼	王自学	王宪军
王春阁	石 兴	刘卫国	刘景山
张 军	张 浩	张贵金	李玉文
李兴业	李式范	李学忠	李维安
杜俊林	陈润叶	周智仁	荆双喜
贺丰年	郝巨才	唐又驰	高丽玲
彭志刚			

秘 书 长:王廷弼 李式范

副秘书长:耿东锋 孙建波

煤炭高职高专(成人)“十一五”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:(按姓氏笔画为序)

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

本书是全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材之一,可作为普通高校及成人高校机电、采矿专业的专业基础课教材。

成人高等教育作为我国高等教育的重要组成部分,已确立了它的不可替代性,除了教学模式、课程设置等区别于普通高等教育外,自成体系、独具特色的成人教育教材是体现成人教育特点的基本标志和举措。而长期以来,成人高等教育与普通高等教育的“三同”现象,即同一教育、同一教师、同样的课程设置和专业,难以体现成人高等教育的特点,违背了“因材施教”的基本教育思想,也不适应成人高等教育改革与发展的大趋势。应该说,在对目前的成人教育方法、管理体制提出的系列改革与创新的要求中,其核心的、最为急迫的问题就是教材改革。尤其是当前成人高等教育已进入以提高质量、调整结构为主的新时期,成人高等教育的教材建设与改革显得日益迫切。

在这一现实背景下,为适应普通高等学校及成人高校“机电工程”、“采矿工程”专业的课程和满足企业供配电系统的设计和运行的需要而编写了本书,重点阐述了矿井供配电系统的基本理论和基本概念以及工程设计计算方法,并介绍了采区供电的设备造型及其计算方法。

在编写过程中,考虑到成人高等教育的特点,在内容编排上加强了理论教学与工程实际相结合,并注重结合我国现行供电设计与运行规范的相关规定。在保持理论系统性的同时,力求做到少而精,重点突出和实用,以便于自学。编者希望通过对本课程的学习,学生能系统地掌握基本的供电知识,并具有供配电系统初步设计和运行的基本技能,以及独立分析和解决问题的能力。

本书共分八章,由刘卫国、张继良编写,刘相元教授审阅,同时在编写过程中得到有关教师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中的错误与不当之处在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

2007年8月1日

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	25
第五节 地面变电所所址选择及其布置	29
思考题与习题	37
第二章 短路电流	39
第一节 概述	39
第二节 三相短路电流的暂态过程	40
第三节 无限大电源容量电力系统三相短路电流的计算	46
第四节 大型电动机对短路电流的影响	60
第五节 短路电流的效应	62
第六节 1 kV 以下低压配电网的短路电流计算	65
思考题与习题	68
第三章 电气设备及选择	70
第一节 高压供电设备	70
第二节 低压电气设备的选择	91
思考题与习题	94
第四章 电力线路	96
第一节 概述	96
第二节 架空线路导线截面的选择	100
第三节 电缆截面的选择	105
思考题与习题	107
第五章 继电保护装置	108
第一节 概述	108
第二节 常用继电器的结构与工作原理	110
第三节 电网的继电保护	118
第四节 电力变压器的继电保护	128
第五节 电动机的保护	138

第六节 6~10 kV 电力电容器的保护	141
第七节 3~10 kV 的母线保护	143
思考题与习题	144
第六章 安全用电	145
第一节 触电、漏电的危险及预防措施	145
第二节 电网中性点接地方式	148
第三节 漏电保护	153
第四节 矿用电气设备及防爆原理	163
第五节 接地与接零	169
第六节 低压供电系统的保护	177
思考题与习题	182
第七章 采区供电设备选择及其计算	184
第一节 采区供电设计的准备	184
第二节 采区主变压器的选择	185
第三节 采区供电系统的拟定	188
第四节 采区低压电缆的选择	189
第五节 采区低压电网短路电流的计算	198
第六节 采区低压电器的选择	200
第七节 采区低压保护装置的整定计算	203
思考题与习题	207
第八章 工矿企业变电所的二次接线	208
第一节 二次接线的基本概念	208
第二节 变电所的自用电和操作电源	211
第三节 闪光装置	213
第四节 高压断路器的控制	214
第五节 中央信号回路	216
第六节 直流系统绝缘监察装置	218
思考题与习题	218
参考文献	219

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。随着国民经济的发展和科学技术的进步,充分利用我国极其丰富的能源资源,能够有力地促进电力工业迅速发展。

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。其系统的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。

火力发电厂是以煤、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,或相反的变电场所,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,起到输送、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 及以上的主网络。

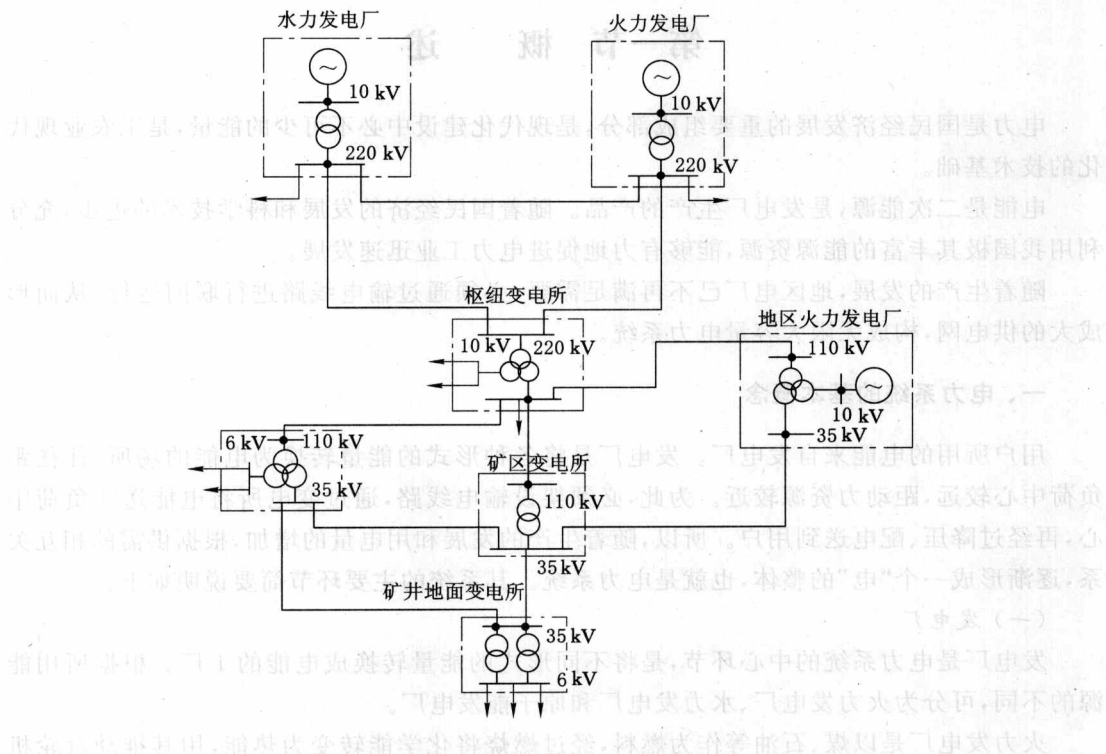


图 1-1 典型电力系统

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、升压降压变电所、各种不同电压等级的输电线路和用户户,在电气上连接起来构成的整体,称为电力系统。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。

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果的电压。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。

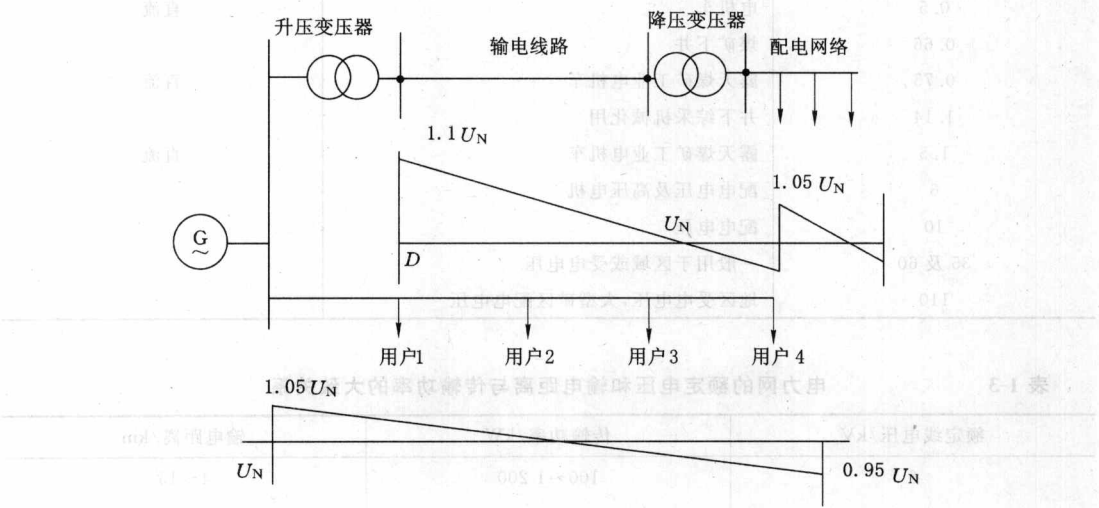


图 1-2 电力网各部分电压分布示意图

电力网中的变压器、发电机,通过输电线路向用户供电。它们都是电力系统的组成部分,因此有如下规定:

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 $\pm 5\%$ 。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,对变压器一次绕组是接入电网,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	一般用于区域或受电电压	
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

在保证以上的条件下,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。

从上面分析可看出,有矛盾的方面,又有共同的方面,两者不可忽视。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,即为一级用电负荷。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:

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 35~110 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 6~10 kV 的进线电源。

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 kV/0.4 kV)向低压设备供电的低压配电系统,形成工矿企业内部的供配电系统。

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。单侧电源放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,既可分裂运行,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。

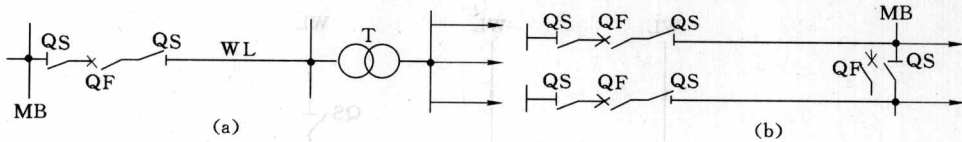


图 1-3 放射式接线

(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。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 kVA。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,有色金属消耗量增加。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。

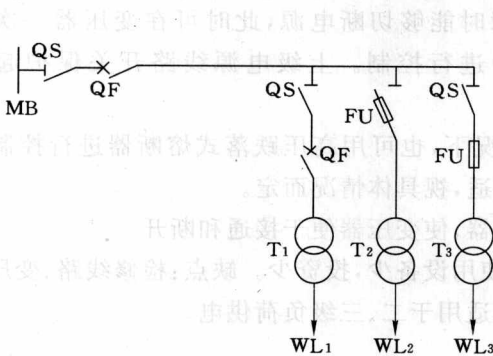


图 1-4 干线式直接连接

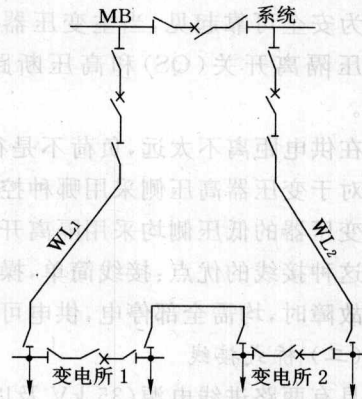


图 1-5 环式接线

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。

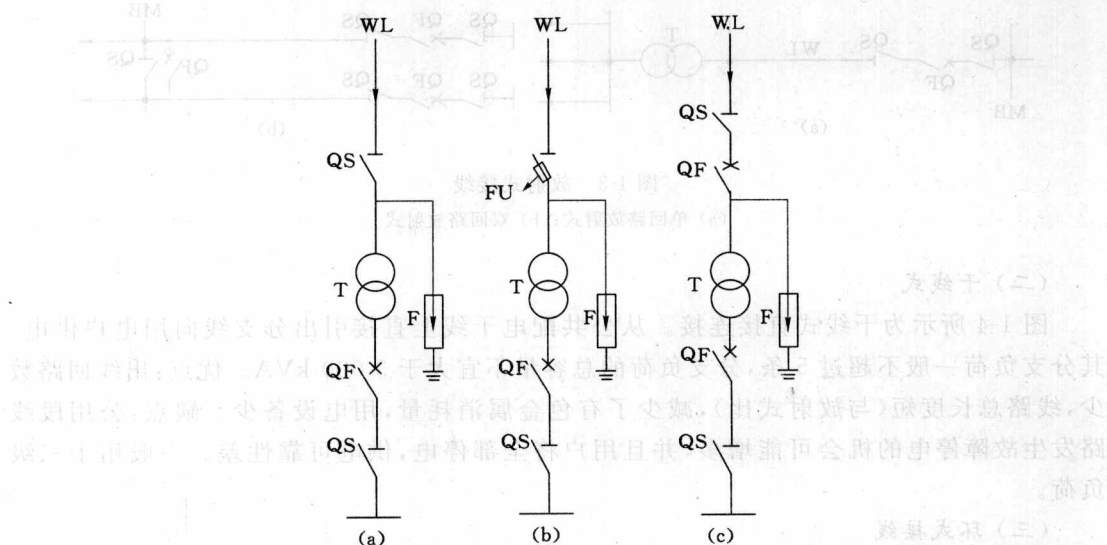


图 1-6 线路—变压器组接线

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,均可采用桥形接线,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,称为桥形接线。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,桥形接线分为内桥、外桥和全桥。

1. 外桥接线

所谓外桥接线是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;

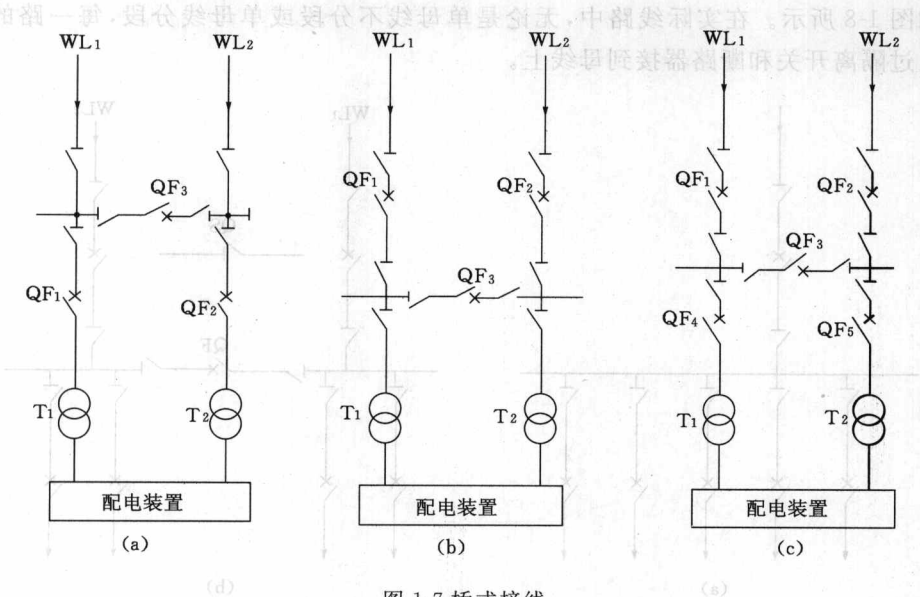


图 1-7 桥式接线
(a) 外桥接线;(b) 内桥接线;(c) 全桥接线

(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。

优点:切换变压器操作方便;

缺点:对电源进线回路的切换操作不方便。

2. 内桥接线

所谓内桥接线是母联开关横向跨接在变压一次侧的断路器的内侧(靠近变压器侧),如图 1-7(b)所示。

适用条件:

(1) 电源供电距离较长,而且线路故障机会较多;

(2) 变压器负荷较稳定,不需要经常进行切换;

(3) 没有穿越功率的变电所;

(4) 一、二级负荷的企业变电所。

优点:线路倒换操作方便;

缺点:变压器的切换操作不方便,扩建成单母线分段或扩展为全桥不如外桥接线方便。

3. 全桥接线

如图 1-7(c)所示,该接线由 5 个断路器和 8 组隔离开关组成。它具有内、外桥的优点,操作方便,运行灵活,适应性强。缺点是用设备多,投资大,占地面积多。

(三) 单母线接线

单母接结线可分为:单母线不分段和单母线分段。

母线是汇集进线电源、配出负荷电路的金属导体,起接受和分配电能的作用,又称为汇

流排,如图 1-8 所示。在实际线路中,无论是单母线不分段或单母线分段,每一路的进、出线,均通过隔离开关和断路器接到母线上。

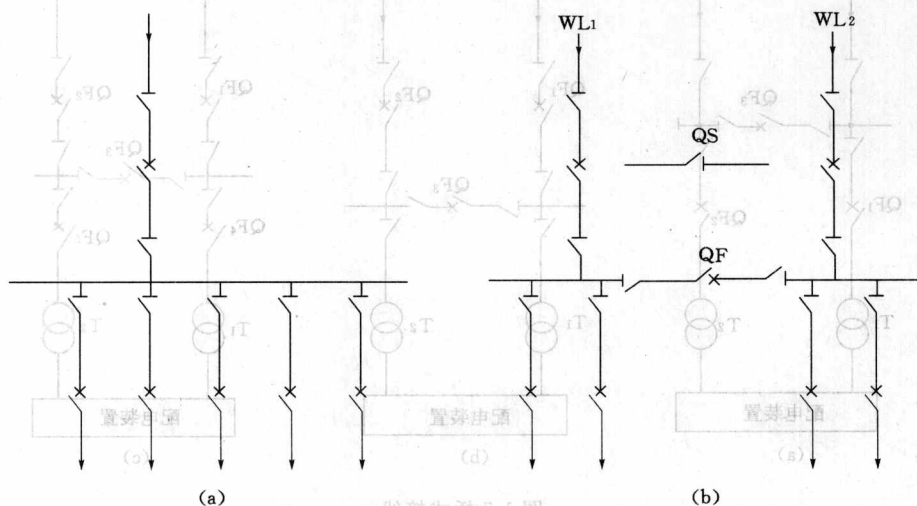


图 1-8 单母线接线

(a) 单母线不分段;(b) 单母线分段

图 1-8(a)为单母线不分段。这种接线方式虽然结构简单,但供电可靠性差。当母线发生故障时,将会造成全部停电。一般用于无重要负荷且出线回路数少的变电所。

图 1-8(b)为单母线分段。这种接线方式工作可靠,运行灵活,操作方便。母线的分段数目取决于进线电源的回路数和负荷出线回路数的多少。

母线联络采用什么型式的开关,视具体情况而定。

当母线总出线数较少,供电连续性要求不高时,为了经济起见,两段母线一般采用隔离开关进行联络。母线可分列运行,也可并列运行。若进线电源只有一路工作时,隔离开关合闸,两段母线同时运行。

当一级负荷较多,母线总馈出线数多,而且负荷较大,采用断路器(由两个 QS 和一个 QF 组合)将两段母线进行联络。除了能正常通、断两段母线外,还可分段检修母线。若母线发生故障时,母联开关和进线开关在保护装置的作用下同时切除故障段。任一段母线检修或故障时,该段母线均全部停电。

单母线分段接线一般用于具有双回路电源、出线较多的一、二级负荷的变电所。

工矿企业供电电源一般来自电网,如图 1-9 所示。通过两条架空线路送到地面变电所,再通过隔离开关、断路器到主变压器。变电所为内桥接线。35 kV 母线上除有母联开关外,每段母线上均接有阀型避雷器和电压互感器。

变压器二次侧通过成套配电开关与 6 kV(或 10 kV)母线相连接。一级用户分别对称的接于两段母线上,并且使负荷分配基本平衡。地面低压负荷由低动力变压器供电。井下用电时,通过电缆经过井筒,送到井下主变电所,再由井下主变电所向各个负荷供电。