



煤炭职业教育课程改革规划教材

| ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

煤矿电工学

(第2版)

● 主 编 沈占彬



煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

煤矿电工学

(第2版)

主 编 沈占彬

副主编 张会娜 朱艳艳

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿电工学/沈占彬主编. --2 版. --北京:煤炭工业出版社, 2017

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-5693-3

I. ①煤… II. ①沈… III. ①煤矿—矿山电工—高等职业教育—教材 IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 020808 号

煤矿电工学 第 2 版 (煤炭职业教育课程改革规划教材)

主 编 沈占彬
责任编辑 张 成
责任校对 孔青青
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京玥实印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 11 字数 261 千字
版 次 2017 年 6 月第 2 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 8556 定价 23.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书主要介绍了矿山供电系统及设备、井下安全用电技术、采掘机械设备的电气控制、采区供电设备选择及其计算和实验等内容。实验内容包括矿用高低压配电开关、矿用隔爆型磁力起动器、检漏继电器的性能测试及煤电钻变压器综合装置的性能试验等。

本书可作为职业院校煤矿开采、矿井通风与安全、矿井建设、矿山机电和矿山机械等专业的教材，也可作为高等专科院校和成人高等教育相关专业的教学用书。

(附光盘)

编 者 顾 主
参 考 书 籍 主 编

井 下 电 气 工 程

第 一 版

修 订 说 明

《煤矿电工学（第2版）》突出高等职业教育的特色，充分体现职业性、行业性的特点。本书在内容的安排上，着重追求理论与实践并重、重在实用、少而精，体现以学生为主体和以职业能力培养为主的现代高等职业教育理念，以利于对学生实践能力的培养，符合高等技术应用型人才的培养要求。

本教材第1版于2010年出版，在高职院校和行业得到广泛应用。在使用过程中，各个院校的师生提出了不少意见和建议，编者结合反馈信息和发现的问题，增加了电力负荷计算、电弧开关等知识点；同时对书中存在的错误和不足之处作了修改和完善。

本教材由沈占彬担任主编，张会娜、朱艳艳担任副主编。具体编写分工如下：沈占彬编写第一章第一节至第三节、附录，张会娜编写第三章，朱艳艳编写第一章第四节、第二章，梁晓红编写第五章，任伟编写第四章。

由于编写时间仓促，加之作者水平有限，书中可能有错误及不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年2月

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的需要,加快煤炭职业教育教材建设步伐,依据培养技术应用型专门人才的要求和煤炭行业的自身特点,我们组织有关教师编写了本教材。本教材在编写过程中注重职业教育的特点,简化了理论体系,以实用、必需、够用为原则,力求使所讲内容尽可能与现场实际相结合。

本书由平顶山工业职业技术学院组织编写,由沈占彬、张会娜任主编。具体编写分工如下:沈占彬编写第一章和第五章,张会娜编写第二章第二节至第六节,梁晓红编写第三章和附录,任伟编写第三章第一节和第四章。全书由沈占彬负责统稿工作。

在本书的编写过程中,吸收和借鉴了同类教材和书籍的精华,在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在错误和不妥之处,恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见,以便再版时修改。

编 者

2010年9月

目次

第一章 矿山供电系统	1
第一节 煤矿供电概述	1
第二节 矿井供电系统	6
第三节 井下变电所	14
第四节 电力负荷计算	19
第二章 煤矿供电设备	28
第一节 电气设备防爆原理	28
第二节 开关电弧	32
第三节 高压开关电器	36
第四节 低压配电开关	42
第五节 电力变压器和移动变电站	48
第六节 矿用电缆	56
第三章 井下安全用电技术	68
第一节 矿井安全用电常识	68
第二节 触电的危险及急救	72
第三节 保护接地系统	76
第四节 井下低压电网的漏电保护	80
第五节 井下过流保护	84
第六节 煤电钻和照明综合保护装置	91
第四章 采掘机械设备的电气控制	97
第一节 控制电器	97
第二节 控制线路图的绘制与阅读	102
第三节 矿用隔爆型电磁起动器	105
第四节 采煤机组的电气控制	109
第五节 掘进机械的控制	114
第六节 重型输送机电气控制	118
第七节 高产高效工作面的电气控制	124

第五章 采区供电设备选择及其计算	128
第一节 概述	128
第二节 采区变压器的选择	129
第三节 采区供电系统的拟定	132
第四节 低压电缆的选择	133
第五节 井下低压电网短路电流的计算	141
第六节 采区低压电气设备的选择	144
第七节 采区低压保护装置的整定计算	146
附录	152
附录一 矿用高、低压配电开关的认识与操作	152
附录二 矿用隔爆型磁力起动器的研究	155
附录三 检漏继电器的性能测试	160
附录四 煤电钻变压器综合装置的性能试验	163
参考文献	166

第一章 矿山供电系统

第一节 煤矿供电概述

一、电力系统

电能以功率形式表达时, 俗称电力。电力由各种形式的发电厂产生, 经过输送、变换和分配, 到达分散的电能用户, 这些生产—传输—分配—消费的环节, 组成了一个有机的整体, 叫作电力系统。典型的电力系统如图 1-1 所示, 图中各电气设备的图形符号及含义见表 1-1。

下面扼要介绍电力系统的各主要环节。

1. 发电厂

发电厂是把其他形式的能量(燃料的热能、水流的位能或动能、核燃料的核能等)转换成电能的场所。

发电厂常根据所用能源的不同加以分类。例如, 将使用热力作动力的称为火力发电厂, 将使用水力作动力的称为水电厂等。近年来, 我国为合理开发和利用能源, 在煤炭资源集中的地区兴建了大型坑口电站, 实行煤电综合开发, 以减轻煤的运输量。

在发电厂中, 由发电机产生的电能电压较低(10 kV 及以下), 它除供附近用户直接使用外, 一般要先经厂内的升压变电站转换成高压, 再送至外界的高压电力网。

2. 变电所

变电所是汇集电能、变换电压的中间环节, 它由各种电力变压器和配电设备组成。不含电力变压器的变电所称为配电所。

变电所按用途分为升(或降)压变电所、联络变电所、工矿企业变电所、农村变电所、整流变电所和电车变电所; 按其在电力系统中的地位分为枢纽变电所、穿越变电所和终端变电所; 按供电范围分为区域变电所(一次变电所)及地区变电所(二次变电所)等。

矿山供电系统中的矿区变电所属于地区变电所, 它接受枢纽(或地域)变电所降压后的 110 kV 电能, 经降压后的 35 kV 电能送至矿山地面变电所。矿山地面变电所多属终端或穿越变电所, 它将电压降为 6~10 kV 后, 向额定电压为 10 kV 及以下的用电设备供电。

3. 电力网

电力网主要由各种变电所及各种等级的电力线路组成, 是电力系统的重要组成部分, 担负着输送、变换和分配电能的任务。

电力网一般根据电压等级的高低分成低压、高压、超高压和特高压几种。电压在 1 kV 以下的电力网为低压电网, 35~330 kV 的为高压电网, 330~1000 kV 的为超高压电网,

1000 kV 以上的为特高压电网。

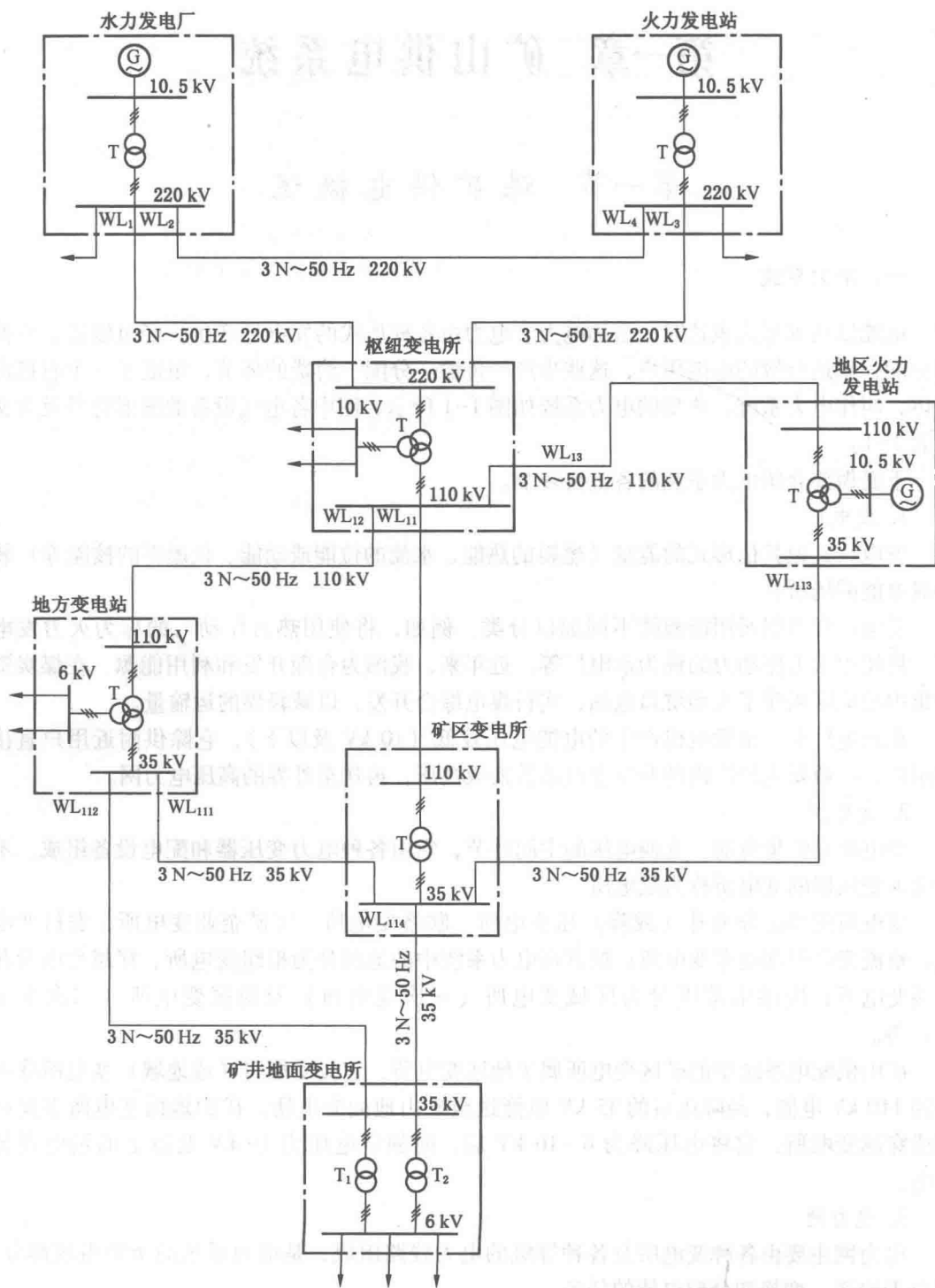
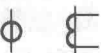
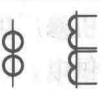


图 1-1 典型的电力系统图

表1-1 主要电气设备符号

电气设备名称及文字 符号单字母（双字母）	图形符号	电气设备名称及文字 符号单字母（双字母）	图形符号
电力变压器 T（TM）		母线及母线引出线 W	
断路器 Q（QF）		电流互感器（单次级）T（TA）	
负荷开关 Q		电流互感器（双次线）T（TA）	
隔离开关 Q（QS）		电压互感器（单相式压变）T（TV）	
熔断器 F（FU）		电压互感器（三线圈压变）T（TV）	
跌落式熔断器 F（FU）		阀型避雷器 F	
自动空气断路器 Q（QA）		电抗器 L	
刀开关 Q（QK）		移相电容器 C	
熔断器式开关 Q		电缆终端头 X	
交流发电机 G		电容器 W	

二、煤矿对供电的基本要求

电力是煤矿的主要能源，为确保安全供电和生产，煤矿对供电有 4 个基本要求。

1. 供电安全

供电安全包括人身安全、矿井安全、设备安全 3 个方面。由于井下的特殊工作环境，为防止触电、电火灾和瓦斯、煤尘爆炸事故，必须严格按照国家最新颁布《煤矿安全规程》中有关规定进行供电设计、安装与运行，同时严禁井下违章作业。

2. 供电可靠

供电可靠是指不间断供电。根据负荷的重要程度，煤矿电力负荷分为 3 类，各类负荷对供电可靠性的要求不同，采取的供电方式也不同。

1) 一类负荷

凡因突然停电可能造成人身伤亡或重要设备损坏或给生产造成重大损失的负荷为一类负荷，如主通风机、提升人员的立井提升机、井下主排水泵、高瓦斯矿井的区域通风机以

及上述设备的辅助设备。对一类负荷供电必须有可靠的备用电源，一般是由变电所引出的独立双回路供电。

2) 二类负荷

因突然停电可能造成较大经济损失的负荷为二类负荷。生产设备大多数是二类负荷，如非提升人员的主提升机、压风机以及没有一类负荷的井下变电所等。对大型矿井的二类负荷，一般采用具有备用电源的供电方式。对中小型矿井，一般采用专线供电即可。

3) 三类负荷

不属于一、二类负荷的所有负荷都属于三类负荷，如生产辅助设备、家属区、办公楼、机修厂供电负荷等。对三类负荷供电的可靠性没有特殊要求，可采用一条线路向多个负荷供电，以减少设备投资。

为确保安全生产，当供电系统发生故障或检修需要限电时，对三类负荷可全部停止供电，对二类负荷可部分或全部停电，以确保对一类负荷的不间断供电。

3. 供电质量

供电质量是指供电电压、频率基本稳定为额定值。我国煤矿一般要求电压允许偏差不超过额定电压的 $\pm 5\%$ ，频率允许偏差不超过 $\pm (0.2 \sim 0.5)$ Hz。频率的质量是由发电厂保证的；电压的质量是靠调整变压器分接头、降低电源内阻抗和输电线路上的电压损失保证的。

4. 供电经济

供电经济是指矿井供电系统的投资、电能损耗及维修费用尽量少。这就要求合理地确定供电系统，优选质量高、损耗小、价格低的系统设备，但是必须在满足上述3个要求的前提下，尽量保证供电的经济性。此外，考虑到以后的发展，在煤矿供电设计时还应留有扩建的余地。

三、供电电压等级

1. 供电线路电压等级的确定

供电线路电压等级取决于供电的功率及供电距离。供电功率越大，输送距离越远，需要的电压等级越高。这是因为供电功率越大，线路中的电压电流越大；距离越远，线路的阻抗越大，从而使得线路的功率损失和电压损失越大。在功率一定的条件下，提高供电电压，可减小电压及功率损失，提高供电质量和经济性。

2. 电压等级

1) 国家规定的电压等级

交流电压分为低压（24、36、127、220、380 V）、高压（3、6、10、35、63、110、154、220 kV）、超高压（330、500、750 kV）三类，直流电压主要有110 V、220 V、250 V、500 V。目前，我国正进行西北电网750 kV输变电示范工程建设，这是目前亚洲最高电压等级的输变电工程。国内的厂家已经能够生产交流750 kV的输变电设备，这标志着我国在这一领域已经达到世界先进水平。另外，我国也有几条大功率、超高压的直流输电线路已投入运行，其中包括三峡—常州500 kV直流输电工程。

2) 煤矿常用电压等级

煤矿常用的交流电压等级有35 kV（地面变电所电源进线电压）、10 kV（地面变电

所电源电压或下井电压以及大型设备的动力用电电压)、6 kV (目前煤矿大型设备的主要动力用电电压及下井电压)、3.3 kV (大型综采工作面及高产高效工作面的动力用电电压)、1140 V (一般综采工作面的常用动力电压)、660 V (井下采掘运等设备的动力用电电压)、380 V (地面低压动力或小型矿井井下的动力用电电压)、220 V (地面照明或单相电器的用电电压)、127 V (井下电钻、照明及信号装置的用电电压)、36 V (矿用电器控制回路常用电压)。常用的直流电压有 250 V 或 550 V (井下架线式电机车的用电电压)、110 V 或 220 V (地面变电所直流操作、继电器保护的直流电源和大型提升机控制系统的电源)。

3. 10 kV 电压下井的特点

20 世纪 80 年代初,随着煤矿采掘机械化的发展和生产率的大幅提高,我国和世界其他先进产煤国均出现了很多大型甚至是特大型矿井,井下用电负荷增幅很大,原来 6 kV 的供电电压已不能满足要求,因此开始采用 10 kV 电压下井。

10 kV 电压下井提高了供电的经济性并增加了供电范围。针对不同的井型,其优点有以下几个方面:

1) 大型矿井

(1) 降低高压电网的电能损耗。由于 10 kV 输电比 6 kV 输电的电能损耗小,同时也没有 10 kV/6 kV 变压器的损耗,所以,降低了高压电网的电能损耗。

(2) 减少下井电缆截面。由于电压越高,电流就越小,输电所需导线的截面也越小,10 kV 输电下井电缆截面比 6 kV 下井电缆截面减小约一半。

(3) 减少设置在风井的 35 kV/6 kV 的变电站。多数大型矿井需要从风井引入下井电缆供给井下采区的负荷,由于供电距离远、负荷大,要在风井设置 35 kV/6 kV 变电站。采用 10 kV 变电站,则可省去设置 35 kV/6 kV 变电站,从而节约了投资,提高了供电可靠性。

2) 中小型矿井

目前的中小型矿井,部分采用电力系统的 10 kV 电源供电。若利用 10 kV 直接下井,有以下优点:

(1) 减少因设置变电所而造成的主变压器多余容量的初装增容费。

(2) 减少年运行费。其中主要包括主变压器的损耗、多余容量的基本电费、固定资产折旧及设备大修费用等。

(3) 简化供电系统,减少电网事故,提高电压运行可靠性。

经过运行考核,10 kV 电压下井的安全可靠性及可行性得到了充分肯定。《煤矿安全规程》中明确规定:“高压不超过 10000 V”。

四、煤矿供电电源

煤矿供电电源一般来自电力系统,只有尚未建成电力系统的地区才由地方发电厂或自备电厂供电。

电力系统一般包括两个或更多的发电厂,各发电厂之间变电所以输电线路相连,称为并网,以便互为备用,保障供电可靠,并可合理地调配各电厂的负荷。

发电厂发电机的输出电压目前尚不超过 26 kV,一般用电负荷距离发电厂较远,故需

要在发电厂中设置升压变压器,将电压升高后再进行远距离输电,以保障供电质量和降低供电损耗。

变电所根据输电距离和容量不同可分为区域(枢纽)变电所、地方变电所、矿井地面变电所。电力系统内有多电压等级,以保证经济合理地供电。

对煤矿系统的供电,应根据其附近的电源和煤矿的具体情况而定。为保证供电可靠,《煤矿安全规程》规定:矿井应有两回路电源线路。当任一回路发生故障停止供电时,另一回路应能担负矿井全部用电负荷。矿井的两回路电源线路上都不得分接任何负荷。正常情况下,矿井电源应采用分列运行方式(即两回路电源独立供电,互不连接),一回路运行时另一回路必须带电备用,以保证供电的不间断性。

第二节 矿井供电系统

一、供电系统接线方式

供电系统接线是指由各种电气设备及其连接线构成的电路,其功能是汇集和分配电能。接线中的母线又称汇流排,它实质上是电源线路或变压器与多个用户馈出线的连接处,表现为电路中的一个节点,起集中和分配电能作用。

1. 系统或网络结构的基本方式

1) 放射式

(1) 单回路放射式。如图 1-2a 所示,适于向三级或二级小负荷或某些专用设备供电。

(2) 双回路放射式。根据所含电源数目,双回路放射式又分为单电源双回路(图 1-2b)和双电源双回路(图 1-2c)两种。

单电源双回路放射式接线方式是从一段母线上并列引出两回线路,且每回路均由单独的开关控制,适用于二级负荷。双电源双回路放射式接线方式是从两段母线上各引出一回路对用户供电。这种接线方式适用于具有较大容量或一级负荷的供电点。

2) 干线式

干线式接线分直接连接(图 1-3a)和贯穿连接(图 1-3b)两种。

直接连接的接线方式是从一路高压配电干线上直接引出分支线向用户供电,其分支线数一般不超过 5,且配电变压器容量不宜超过 $3000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。它一般适用于架空线上对三级负荷分散用户配电,也适用于井下电缆线路对多台平巷输送机的供电。

贯穿连接的接线方式是各用户变电所呈串接形式。由于在连接各用户干线的进出两端均采用了隔离开关,故有可能减少因一段干线故障而引起的停电范围。

3) 环状式

环状式接线方式如图 1-4 所示,线路将电能从两段母线或同一电源引出,经过不同路径,由不同方向和地点引入矿山地面变电所或某负荷点。此种接线方式适用于电源对矿区用户的相对位置居中或较远,而用户间距较近,且负荷相差不很悬殊的供电情况,特别适用于当初期建设的送电线路和变电所容量不足时,需在其他位置新建变电所的情况。

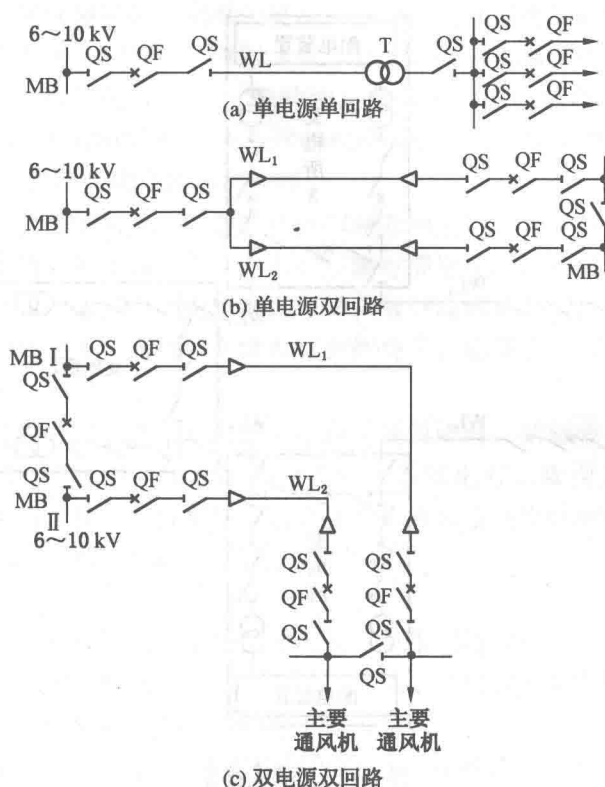


图 1-2 放射式接线

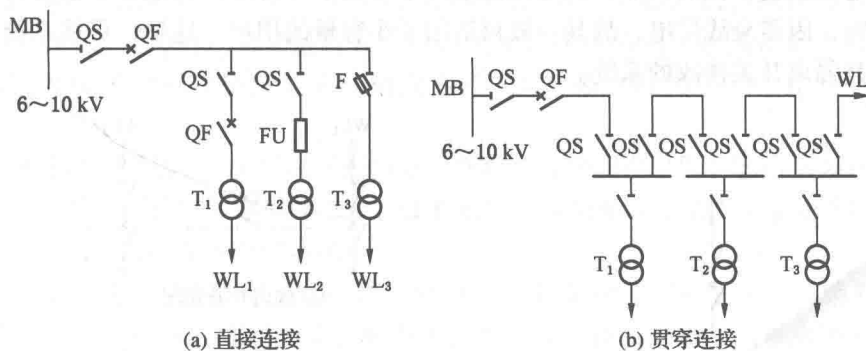


图 1-3 干线式接线

2. 矿山各级变电所常用接线方式

1) 单母线

在母线接线方式中，进、出线均设有旨在切断负荷与故障电流的断路器，并设有与母线连接的“母线隔离开关”和与线路连接的“线路隔离开关”，其中前一种隔离开关用来在检修断路器时隔离母线；而后一种则用来防止在检修断路器时从用户侧反向送电或防止雷电过电压侵入，从而保证维修人员和设备的安全。

单母线接线又分为分段和不分段两种形式。

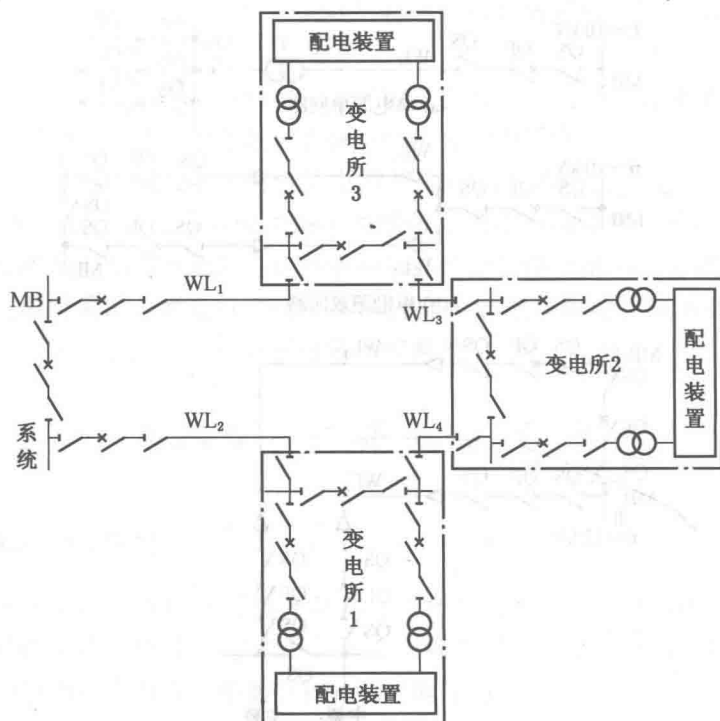


图 1-4 环状式接线

(1) 单母线不分段。单母线不分段接线方式原理如图 1-5a 所示。这种结构虽有线路简单、配电装置造价低的优点，但在性能上却不够灵活与可靠，特别是在处理母线系统故障或检修时，因需全线停电，故其一般只适用于小容量的用户。这里，母线系统是指由母线本身与其隔离开关构成的系统。

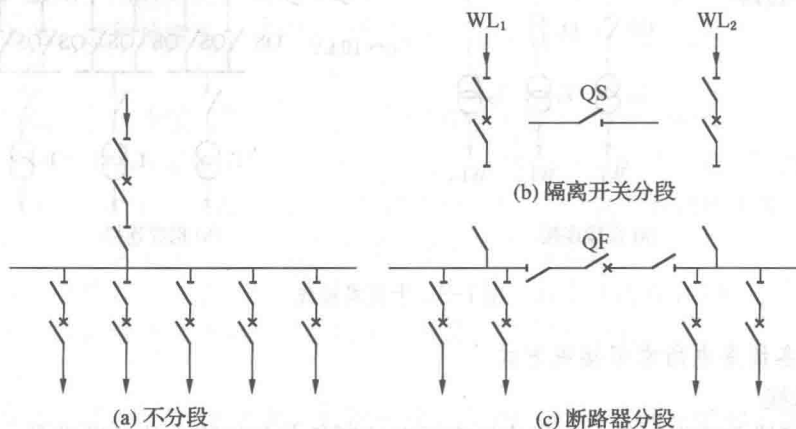


图 1-5 单母线接线

(2) 单母线分段。为克服母线不分段接线工作可靠性和灵活性差的缺点，可根据电源的数目和功率、电网的接线情况，将母线分成若干段，这就形成了单母线分段的接线方

式。在这种方式中,通常每段接一或两个电源,其引出线分别接到各段上,并使各段引出线电能分配尽量与电源功率相平衡,且尽量减少各段之间的功率交换。

单母线分段接线又分用隔离开关分段的和用断路器分段的两类,前一类的接线如图 1-5b 所示,适用于由双回路供电的、允许短时间停电的二级负荷用户;后一类的接线如图 1-5c 所示,适用于一级负荷用户较多的情况。

在采用隔离开关分段的情况下,各段可分列或并列运行。当分列运行时,要出现短时全部停电。一般多采用分列运行方式,只有在一路电源送电时,隔离开关方投入运行。

在采用断路器分段的情况下,由于断路器除具有分段隔离开关的作用,能实现切断负荷电流或故障电流的功能外,还可以在继电保护配合下,实现自动分、合闸。故在母线系统检修或故障时,可以避免全部停电。

不管采用何种开关分段,在检修母线或电源系统故障时,单母线分段接线方式都不能避免使故障段母线的用户停电。用断路器分段的单母线接有二级用户较多又无备用电源时,为避免长时停电造成较大经济损失,通常在变电所装备用母线来处理(即旁路母线或双母线),这比装负荷备用线路能节约有色金属与投资。

2) 桥式接线

对具有两回电源进线、两台变压器的变电所,可采用桥式接线。它实质上是用一条由断路器和隔离开关组成的、横联跨接的“桥”,将两个“线路-变压器组”高压侧连接起来的接线方式。“桥”上的断路器称为“桥开关”。

根据跨接桥横联位置的不同,桥式接线可分为“外桥式”“内桥式”和“全桥式”三类。

(1) 外桥接线。外桥接线方式如图 1-6a 所示,跨接桥连接在变压器断路器 QF_1 和 QF_2 的外线路侧,进线回路只装隔离开关。这种接线对变压器的切换操作是方便的,只需用断路器(QF_1 和 QF_2) 自动进行即可,但电源进线回路的切换操作却不方便。例如当电源线路 WL_1 故障或检修操作 WL_1 的隔离开关时,需在断路器 QF_1 和 QF_2 断开后方可进行。

外桥接线的适用范围:①供电线路较短、线路切换少的变电所;②由于某种原因(如负荷变化)要经常切换变压器的变电所;③有稳定穿越功率的变电所;④处于环网中的变电所;⑤向一、二级负荷供电的情况。

(2) 内桥接线。内桥接线方式如图 1-6b 所示,跨接桥连接在变压器断路器(QF_1 和 QF_2) 的靠变压器侧,变压器电源端仅装隔离开关。这种接线方式无疑可以提高电源线路运行的可靠性和倒闸操作的灵活方便性。

内桥接线适用的范围:①电源线路较长(线路故障概率较大)的变电所;②不需要经常切换变压器且负荷稳定的变电所;③没有穿越功率的变电所;④处于电网终端的变电所;⑤向一、二级负荷供电的情况。

(3) 全桥接线。由前述可知,在内桥接线中,当变压器故障时,线路将短时停止工作;而在外桥接线中,当线路故障时,变压器将短时停止工作;且两种情况下,均不能避免用操作容量较小的隔离开关切断空载电路。为了克服上述缺点,在内桥接线的基础上,再增加两个变压器断路器,组成具有 5 个断路器的全桥接线,如图 1-6c 所示。一般对于电压在 35 kV、容量在 7500 kV·A 以上或电压为 110 kV、容量在 31500 kV·A