

煤炭技工学校“十一五”规划教材



中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤矿供电技术

MEIKUANG GONGDIAN JISHU

煤炭工业出版社

煤炭技工学校“十一五”规划教材

煤矿供电技术

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤炭工业出版社

·北京·

煤炭技工学校“十一五”规划教材
煤矿供电技术
中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

*

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 21 插页 2
字数 494 千字 印数 1—5,000
2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 5020 - 3134 - 3/TD214

社内编号 5935 定价 42.00 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

内 容 提 要

本书主要介绍了供电系统中的各种接线形式及煤矿地面的供电方式、供电线路、供电设备及继电保护，本书还介绍了煤矿井下的安全供电方法和防爆电气设备。

本书为全国煤炭技工学校教材，也可供煤矿机电工人自学和培训使用。

中国煤炭教育协会职业教育教材 编审委员会

名誉主任	朱德仁					
主任	邱 江					
常务副主任	刘 富					
副主任	刘爱菊	吕一中	肖仁政	张西月	郝临山	魏焕成
	曹允伟	仵自连	桂和荣	雷家鹏	张贵金	韩文东
	李传涛	孙怀湘	程建业			
秘 书 长 委 员	刘 富 (兼)					
	(按姓氏笔画为序)					
	牛宪民	王 枕	王明生	王树明	王朗辉	甘志国
	白文富	仵自连	任秀志	刘爱菊	刘 富	吕一中
	孙怀湘	孙茂林	齐福全	何富贤	余传栋	吴丁良
	张久援	张先民	张延刚	张西月	张贵金	张瑞清
	李传涛	肖仁政	辛洪波	邱 江	邹京生	陈季言
	屈新安	林木生	范洪春	侯印浩	赵 杰	赵俊谦
	郝临山	夏金平	桂和荣	涂国志	曹中林	梁茂庆
	曾现周	温永康	程光岭	程建业	董 礼	谢宗东
	谢明荣	韩文东	雷家鹏	题正义	魏焕成	
主 编	宋密科					

前 言

为适应煤炭工业新形势对煤炭职业教育和职工培训工作的要求，加快煤炭职业教育教材建设步伐，坚持“改革创新、突出特色、提高质量、适应发展”的指导思想，完成“创新结构、配套专业、完善内容、提高质量”的工作任务，中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会于2004年5月份召开了第一次全体会议，对煤炭行业职业教育教材建设工作提出了具体意见和要求。经过几年的工作，煤炭行业职业教育教材建设工作进展顺利，煤炭行业职业教育教材建设“十一五”规划已经完成，新的教学方法研究和新的教材开发都取得了可喜成绩。一套“结构科学、特色突出、专业配套、质量优良”的煤炭技工学校通用教材正在陆续出版发行，将为煤炭职业教育的不断发展提供有力的技术支持。

这套教材主要适用于煤炭技工学校教学及工人在职培训、就业前培训，也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《煤矿供电技术》是这套教材中的一种，是根据经劳动和社会保障部批准的全国煤矿技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的，经中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会审定，并认定为合格教材，是全国煤炭技工学校教学，工人在职培训、就业前培训的必备的统一教材。

本教材由阳泉煤业集团技工学校宋密科同志主编，另外，在本教材的编写过程中，得到了有关煤炭技工学校的广大教师和煤矿企业有关工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会

目 录

第一章 煤矿供电系统	1
第一节 概述	1
第二节 供电系统的接线方式	4
第三节 煤矿供电系统	11
第四节 电力负荷计算	25
第二章 供电线路	37
第一节 架空线路	37
第二节 电缆线路	49
第三章 地面供电设备	66
第一节 开关电弧	66
第二节 高压设备	70
第三节 熔断器	89
第四节 互感器	99
第五节 绝缘子与母线	110
第六节 低压电器	116
第七节 成套配电装置	125
第四章 继电保护	134
第一节 继电保护的基本知识	134
第二节 供电线路的保护	146
第三节 高压设备的保护	153
第四节 自动合闸装置	166
第五节 过电压及其保护	171
第五章 井下安全供电	184
第一节 过电流保护装置	184
第二节 漏电及其保护装置	197
第三节 井下保护接地装置	221
第四节 煤电钻综合保护装置	225
第六章 矿井供电设备	236
第一节 电气设备的类型及防爆原理	236
第二节 矿井高压变配电设备	241
第三节 矿用馈电开关和手动开关	263
第四节 矿用磁力起动器	273
附表与附图	301

第一章 煤矿供电系统

供电系统是煤矿生产的主要环节。它由各种电气设备及配电线路按一定接线方式组成。其主要作用是从电力系统获取高压电能，通过变换、分配、输送将电能安全、可靠地送到各种不同的动力设备上，以满足煤矿生产的要求。

第一节 概 述

煤矿生产的动力主要是电力。随着采煤机械化程度的不断提高，矿用设备的功率越来越大，供电电压越来越高，所以供电系统必须具备安全、可靠的特点，才能适应煤矿现代化生产的需要。

一、供电要求

电力是现代工矿企业生产的主要能源。为确保安全和正常生产的需要，工矿企业对供电有如下基本要求：

1. 可靠性

供电的可靠性是指供电系统不间断供电的可靠程度。对于煤矿，供电一旦中断，不仅影响生产，而且可能使设备损坏，甚至发生人员伤亡事故，严重时会造成整个矿井的毁坏。为了保证煤矿供电的安全可靠，每一矿井应采用两回电源线路，当任一回路发生故障而停止供电时，另一回路应能担负矿井全部负荷。正常情况下，采用一回路运行，另一回路必须带电备用，以保证井下生产过程中供电的连续性。两回电源线路最好引自不同的发电站或变电所，至少应引自同一变电所的不同母线段。

2. 安全性

安全性是指在生产过程中，不发生人身触电事故和因电气故障而引起的爆炸、火灾等重大事故。尤其在粉尘、高湿度以及有爆炸危险的特殊环境中，为了确保供电安全，必须采取防爆、防潮、防触电等一系列技术措施。特别在煤矿井下，其生产环境复杂，自然条件恶劣，供电线路和电气设备易受损坏，如果用电不合理，会造成漏电及人身触电事故，甚至会导致瓦斯、煤尘爆炸等严重后果。因此，必须严格遵守《煤矿安全规程》中的有关规定，以确保煤矿供电安全。

3. 技术合理性

供电的技术合理性是指电能的电压、频率、波形等质量指标要达到一定的技术标准。频率波形的偏差会影响到某些电气设备的正常工作。良好的电能质量是指电压偏移不超过额定电压值的 $\pm 5\%$ ；频率偏移：3000kW及以上系统不超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，3000kW以下系统不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

4. 经济性

经济性是指在保证安全可靠供电的前提下，应力求供电网络接线简单，操作方便，建

设投资和维护费用较低。

二、电力负荷分级

电力负荷按用户的重要性和中断供电对人身安全或在经济等方面所造成的损失和影响程度分为三级。

1. 一级负荷

凡中断供电会造成人员伤亡或在经济等方面造成重大损失者，均为一级负荷。这类负荷主要有：矿井通风设备，井下主排水设备，经常升降人员的立井提升设备，瓦斯抽放设备等。一级负荷至少应由 2 个电源供电，并对供电电源有以下要求：

(1) 在发生任何一种故障时，2 个电源的任何部分应不致同时受到损坏。

(2) 在发生任何一种故障且保护装置动作正常时，应有 1 个电源不中断供电。

(3) 在发生任何一种故障且主保护装置失灵，以致所有电源均中断供电后，应能在有人值班的处所经过必要的操作，迅速恢复 1 个电源的供电。

2. 二级负荷

凡中断供电将在经济等方面造成较大损失或影响重要用户正常工作者，均为二级负荷。这类负荷主要有：经常升降人员的斜井提升设备，地面压缩空气设备，井筒保温设备，矿灯充电设备，井底水窝和采区下山排水设备等。二级负荷一般由两回电源线路供电。

3. 三级负荷

凡中断供电不会在经济上或其他方面造成较大影响者，为三级负荷。这类负荷有：机械修理厂，坑木加工厂等。三级负荷只需要一回电源线路。

三、电力系统的基本概念

为了合理地利用国家资源，发电厂通常建立在动力资源较丰富之处。为了节省有色金属材料，降低线路电能消耗，并保证受电端的电压水平，发电厂须将低压电能（3.15 ~ 18kV）升压后，经高压输电线路送至距离发电厂较远的用电中心。由于用电设备的电压较低，远程送来的高电压还需降压至用户需要的低电压，因此在受电端需装设降压变电所。对煤矿企业来说，在受电端可装设 1 个供数个煤矿用电的区域变电所，或仅供 1 个煤矿用电的煤矿变电所。区域变电所原则上应建在煤矿企业的负荷中心。

由各种不同电压等级的电力线路将发电厂、变电所和电力用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用电的整体，叫做电力系统，如图 1-1 所示。在电力系统中，变电所与各种不同电压的电力线路组成的网，叫做电力网。图中虚线部分为煤矿区域供电系统。

为了更有效地利用动力资源，充分发挥各类发电厂的作用，以提高供电系统的可靠性和经济性，要将各类发电厂用电力网联系起来并列运行，以构成联合电力系统。

四、供电电压等级

为使电气设备生产标准化，便于批量化生产，同时在使用中又易于互换，对发电、输电及用电等所有设备的额定电压就必须有统一的规定，以使电力网的额定电压与电气设备的额定电压相对应。因此，可根据电力网和电气设备的不同使用场合，将电压分为若干

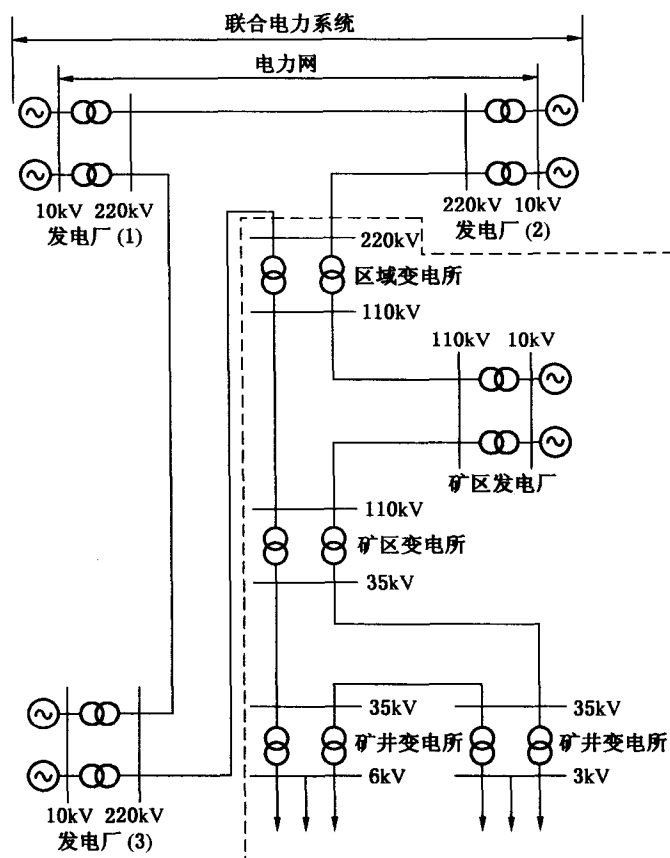


图 1-1 电力系统图

等级。

标准电压等级是根据国民经济发展的需要，考虑了技术经济上的合理性以及所有电气设备的制造水平和发展趋势等一系列因素，经全面分析、研究制定的。

由于煤矿生产条件的特殊性，所以采用了一些特定的电压等级。表 1-1 列出了煤矿常用的电压等级及其应用范围。

表 1-1 煤矿常用电压等级

电 压/kV		用 途
种 类	等 级	
交 流 电	0.036 及以下	井下电气设备的控制及局部照明
	0.127	井下照明及手持式电气设备、矿井提升信号
	0.22	矿井地面照明和井下大巷照明
	0.38	地面低压动力
	0.66	井下采区低压动力、地面选煤厂动力
	1.14, 3	井下综采工作面动力
	3, 6, 10	井上、下大型固定设备及供、配电
	35, 60	高压输电线路
	110, 220, 330	超高压输电线路

续表

电 压/kV		用 途
种 类	等 级	
直 流 电	0.25, 0.55	架线式电机车
	0.75, 1.5	露天煤矿工业电机车
	0.22, 0.11	地面变电所二次回路
	0.004	酸性矿灯
	0.0025	碱性矿灯

第二节 供电系统的接线方式

煤矿是具有—、二级负荷的大型企业，一般采用35kV双电源供电。其供电系统由降压变电所与高、低压配电线路组成。根据负荷的种类和性质不同，供电系统采用不同的接线方式。

对接线方式的基本要求是：

(1) 供电可靠。根据负荷等级的不同，应采用相应的接线方式来保证不同可靠性的要求。

(2) 操作方便。各种接线方式应具有线路简单、运行灵活、倒闸方便的特点，并能充分保证工作人员在进行各种操作和切换时的人身安全和设备安全。

(3) 经济合理。接线方式在满足以上要求的情况下应力求结构简单，以减少设备投资和运行费用。在符合《煤矿安全规程》的前提下尽量采用高压深入负荷中心的接线方式。

一、配电网络的接线方式

配电网络按电压的高、低分为高压配电网络和低压配电网络。配电网络的作用是将上一级的降压站（变电所）向下一级的降压站（变电所）或用电设备配送电能。配电网络的接线方式通常有放射式、树干式、环形式等几种。

(一) 放射式接线

根据负荷对供电可靠性的要求，放射式接线又分为单回路和双回路2种。

1. 单回路放射式接线

这种方式是在上一级降压站（变电所）的馈出母线上引出多条回路，直接向下级降压站（变电所）或用电设备供电。各条引出线之间无联系，其沿线不分支接其他负荷。单回路放射式接线如图1-2所示。

图1-2采用单线画法（代表三相交流电），图中字母QF表示开关设备（断路器），WB表示变电所母线。这种接线具有线路敷设简单、操作维护方便、保护设置容易等优点，但存在变电所配出线多、使用开关设备多，特别是当某条线路上的开关设备发生故障时，该线路上的全部负荷都将停电。所以单回路放射式接线供电可靠性较低，仅适用于向三级负荷供电。

2. 双回路放射式接线

为了提高供电可靠性，在单回路供电的基础上引入备用电源，形成双回路放射式接

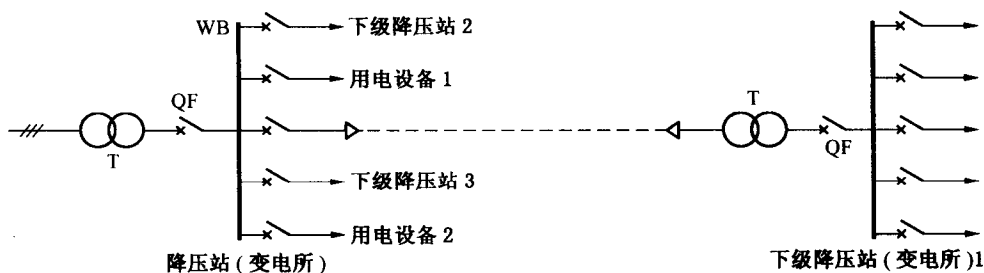


图 1-2 单回路放射式接线

线。根据引入备用电源的数目，双回路放射式接线又有单电源双回路和双电源双回路之分。

1) 单电源双回路放射式接线

单电源双回路放射式接线如图 1-3 所示。这种接线是在单回路放射式接线的基础上用 2 条线路向同一下级变电所供电。当某条线路发生故障或需要检修时，可通过切换开关设备使另一条线路继续运行，从而提高了供电的可靠性。所以这种接线可用于二级负荷。

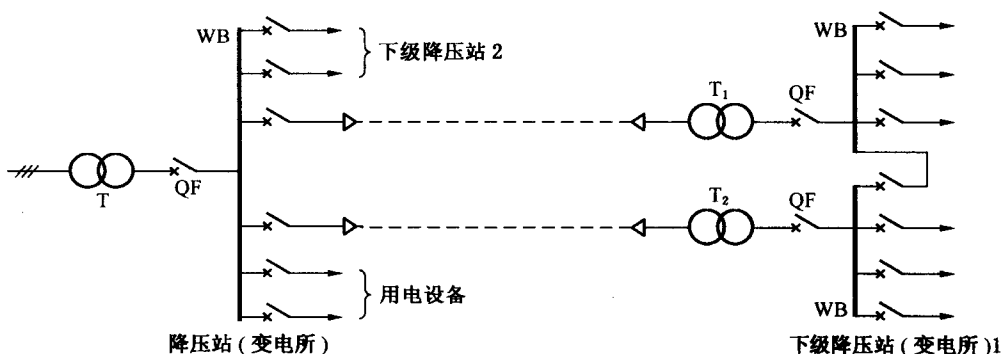


图 1-3 单电源双回路放射式接线

2) 双电源双回路放射式接线

双电源双回路放射式接线如图 1-4 所示。这种接线是在上级变电所设置 2 套电源，分别接在不同的母线上，向下级变电站或用电设备供电。当任一路电源或线路发生故障时，可通过另一路电源或线路向负载供电。由于这种接线从电源到负载都是双套设备投入工作，并且互为备用，所以供电可靠性高，适用于容量较大的一、二级负荷。但这种接线所用设备多、用线长、投资大，若负荷不大时将造成有色金属材料的浪费。

(二) 树干式接线

树干式接线也称干线式接线。这种接线分直接树干式和串联树干式 2 种。

1. 直接树干式接线

直接树干式接线如图 1-5 所示。这种接线是在上一级变电所引出的每路配电干线沿各用户架空敷设。各用户可从干线上直接接出分支线，引入各自的变电所或用电设备上。

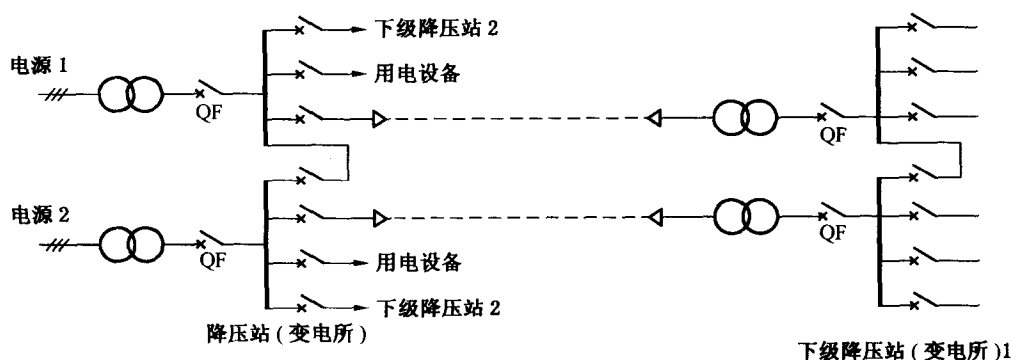


图 1-4 双电源双回路放射式接线

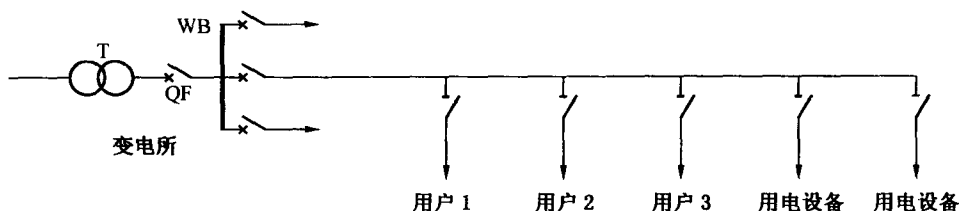


图 1-5 直接树干式接线方式

由图中可见，这种接线所用设备少，上一级变电所配出线简单，故具有投资低、敷设方便等优点。但其供电可靠性差，当干线上任何一处发生故障时，该线上所有用户都将全部停电。所以这种接线在每条干线上直接引接的支线不宜太多。

2. 串联型树干式接线

为提高树干式接线的可靠性，各用户采用进、出线均装隔离开关的方式引接分支线，形成串联型树干式接线，也称为链串型树干式接线。这种接线又分为单回路树干式和双回路树干式 2 种。

1) 单回路树干式接线

单回路树干式接线如图 1-6 所示。这种接线在每个用户的进、出线上均装有隔离开关 QS。当干线上 N 点发生故障时，干线总开关 QF 将跳闸。这时只要断开隔离开关 QS₄，再闭合总开关 QF，即可恢复对 1 号用户和 2 号用户的供电，从而缩短了停电范围，在一定程度上提高了供电的可靠性。

为了提高单回路树干式接线方式的可靠性，可采用备用干线的方式供电，如图 1-7 所示。当干线上任一处或任一干线发生故障或需要检修时，可通过开关切换由备用干线从另一侧供电，从而进一步缩小停电范围。

2) 双回路树干式接线

双回路树干式接线方式如图 1-8 所示。这种接线的特点是每个用户或用电设备分别从 2 条干线上引入电源，当任一条干线出现故障或需要检修时，可用另一干线恢复供电。

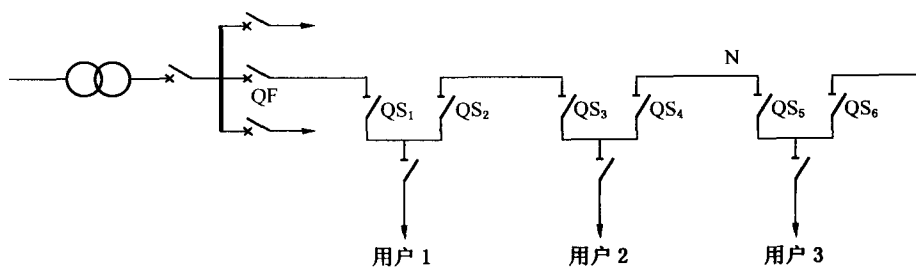


图 1-6 单回路树干式接线

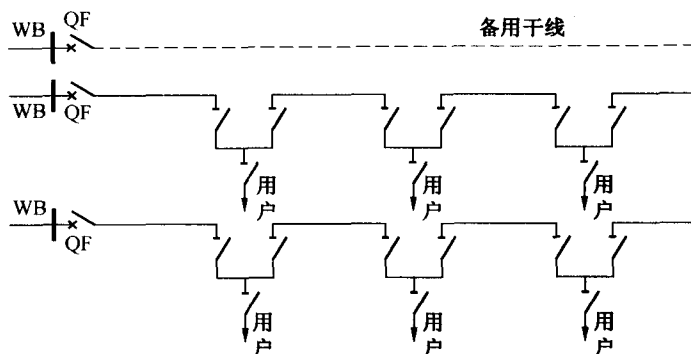


图 1-7 备用干线的树干式接线

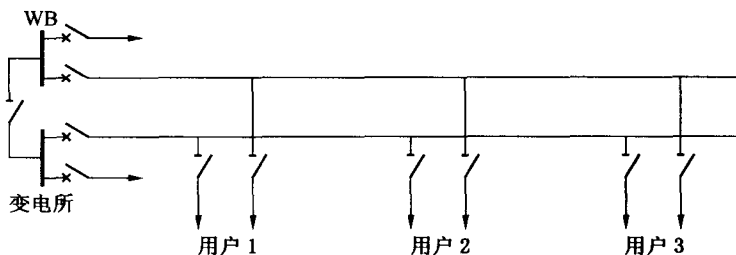


图 1-8 双回路树干式接线

所以这种接线供电可靠性较高，可向二、三级负荷供电。

（三）环形接线

环形接线方式如图 1-9 所示。这种接线一般是在同电压之间的变电所构成环形，每个变电所都有两路进线，当其中一路发生故障时，可由另一路线路供电，因而具有可靠性高、运行灵活的特点，适用于一、二级负荷的供电系统。但环形供电线路的导线截面是按故障情况下能承担环网全部负荷考虑，故有色金属材料用量较多。所以这种接线适用于变电所容量较大且相差不多的用户。

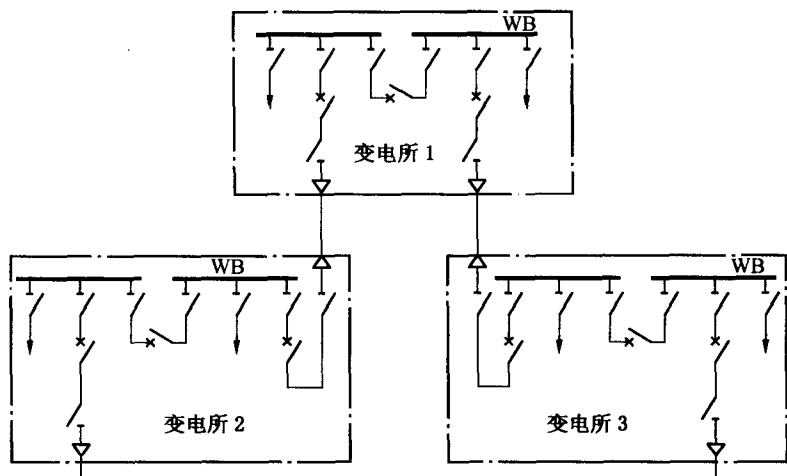


图 1-9 环形接线

二、变电所的主接线

变电所的主接线是将变电所内的各种开关设备、电力变压器、母线及各类互感器等主要电气设备按一定顺序用导线连接而成，用于接收和分配电能。主接线的形式与电源的回路数、电压的高低、负荷的大小和负荷的级别等因数有关，主要有线路—变压器组接线、桥式接线、单母线分段接线和双母线接线等几种。

（一）线路—变压器组接线

当变电所只有一路电源进线，且只装 1 台变压器时采用线路—变压器组主接线方式。其电路如图 1-10 所示。由于这种变电所没有高压负荷也不作高压转送，故变电所一次侧不需要设置高压母线，可直接通过开关设备接电源进线。

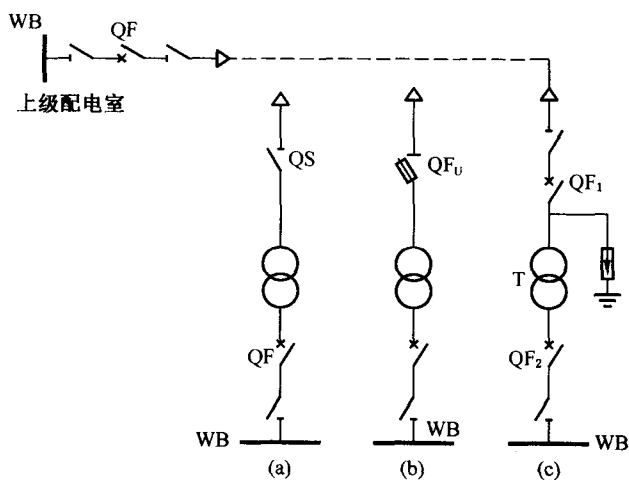


图 1-10 线路—变压器组接线

a—隔离开关控制；b—跌落式熔断器控制；c—断路器控制

当供电线路较短（2~3km），变压器容量较小，若上级变电所的保护装置 QF 能对变压器 T 内部及低压侧进行短路保护时，可仅设置隔离开关 QS，如图 1-10a 所示。这种接线方式在切除变压器时，首先要断开变压器低压侧的断路器 QF，再断开隔离开关 QS；当投入变压器时，应先闭合隔离开关 QS，再闭合断路器 QF。

当系统短路容量较小，断路器 QF 难以保护变压器的短路故障时，若熔断器能满足要求，可在变压器一次侧装设跌落式熔断器 QF_U，如图 1-10b 所示。当供电线路较长，变压器容量较大，以上 2 种接线不能满足要求时，可采用高压断路器进行控制，如图 1-10c 所示。

线路—变压器组接线方式具有线路简单、所用设备少等优点，但供电可靠性低，当主接线上任一设备（包括供电线路）发生故障或需要检修时，全部负荷都将停电，故这种接线方式只能用于二、三级负荷的变电所。

（二）桥式接线

对具有一、二级负荷的变电所，可采用有双回电源和 2 台变压器构成的桥式接线方式。桥式接线分内桥、外桥和全桥 3 种方式。其电路如图 1-11 所示。

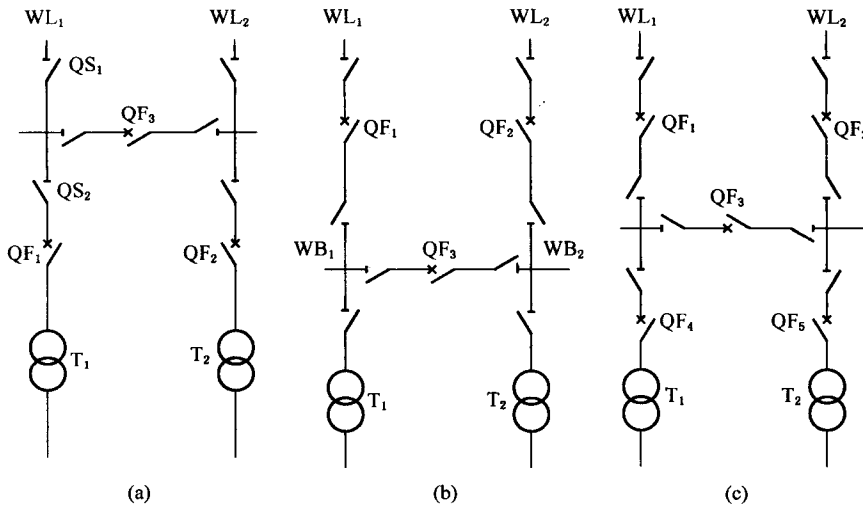


图 1-11 桥式接线方式

a—外桥接线；b—内桥接线；c—全桥接线

图中，WL₁ 和 WL₂ 为两回电源进线，分别经隔离开关和断路器 QF₁、QF₂ 接到变压器 T₁、T₂ 的高压侧，形成两路电源向变电所供电。断路器 QF₃ 开关支路像桥一样跨接在两路电源进线之间，形成开关桥路。当开关桥路设在电源进线断路器 QF₁、QF₂ 的外侧时，称为外桥接线，如图 1-11a 所示；当 QF₃ 开关桥设在电源进线断路器 QF₁、QF₂ 的内侧时，称为内桥接线，如图 1-11b 所示；若 QF₃ 开关桥的内、外侧均设有电源进线断路器（如图中的 QF₁、QF₂ 和 QF₄、QF₅）时，称为全桥接线，如图 1-11c 所示。正常情况下，QF₃ 开关桥支路为断开状态。

1. 外桥接线

由于这种接线中的变压器一次侧直接接有断路器，故切换变压器较方便，如切除变压器 T_1 时，可直接断开 QF_1 ，再将 T_1 两端的隔离开关 QS_2 、 QS_3 断开即可。若再闭合低压侧的断路器，便可通过 T_2 对变压器 T_1 的负荷进行供电。但这时因根据 T_2 的容量和负荷的大小，适当断开低压侧不重要的二、三级负荷，以保证一级负荷和重要的二级负荷不断电。

当这种接线切换电源时，由于进线处无断路器，故断电不方便。如电源线路 WL_1 需要停电检修时，变压器 T_1 改由 WL_2 供电。此时应先断开 QF_1 ，再断开 QS_1 ；甩开 WL_1 后再闭合 QF_3 和 QF_1 ，由母线 WL_2 向 T_1 供电。可见外桥接线适用于负荷变化大、电源进线短、线路倒闸次数少且具有一、二级负荷的变电所。

2. 内桥接线

由于这种接线方式在电源进线侧装有断路器，所以切换线路较方便。如电源进线 WL_1 需要停电检修时，可直接断开 QF_1 ，闭合 QF_3 ，即可实现 WL_2 对 T_1 的供电。但这种接线在切换变压器时较麻烦。如切除变压器 T_1 时，需断开断路器 QF_1 ，但由于 QF_1 同时作为高压母线 WB_1 的断路器，所以断开 QF_1 时，该母线上的用户或设备都要停电。故这种接线适用于供电线路长和变压器不需要经常切换的变电所。

3. 全桥接线

由于外桥接线电源进线不易切换，内桥接线主变压器不易切换，特别是对环形供电的变电所，在操作变压器时经常用隔离开关分断和闭合变压器，当变压器容量较大时，其空载电流将超过隔离开关的分断能力而造成隔离开关的损坏，故在操作性能要求较高的变电所可采用全桥接线方式。

全桥接线具有适应性强，对线路、变压器操作方便、运行灵活、可靠性高等优点，但全桥接线使用设备多、占地面积大、投资高，故用于供电可靠性要求较高的变电所。

(三) 单母线分段式接线

单母线分段式接线是将两路电源进线分别接在两端母线上，并用断路器或隔离开关将两端母线联络在一起，如图 1-12 所示。

图中，两段高压母线 WB_{g1} 、 WB_{g2} 和低压母线 WB_{d1} 、 WB_{d2} 分别由断路器 QF_g 和 QF_d 开关支路联系起来，构成高压部分的单母线分段和低压部分的单母线分段接线。

在这种接线方式中，当某段上的电源线路和变压器因故障或需要检修停止运行时，通过操作母线分段联络开关 QF_g 或 QF_d 支路，即可保证对两端母线上的重要负荷供电。

高压部分采用单母线分段不仅可保证 2 台主变压器可靠供电，还可以在两端母线上接重要的一级负荷，以及向重要的变电所转送电能。所以，这种接线用于由两回电源进线并有穿越负荷的中间变电所。

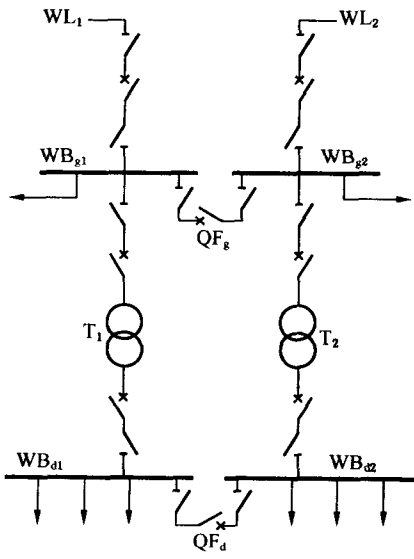


图 1-12 单母线分段式接线