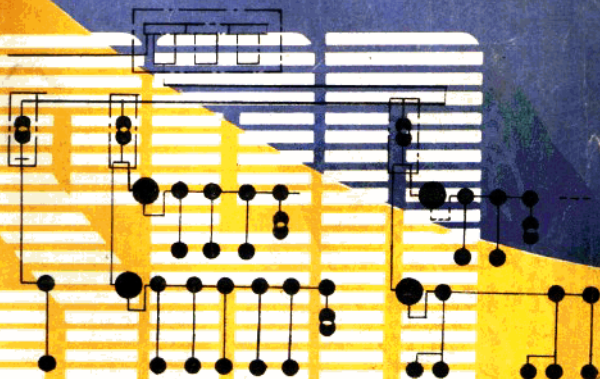


中等专业学校规划教材

矿山供电

Kuangshan Gongdian

佟浚澄 张学成 管贵昌 伍斌 编



中国矿业大学出版社

前 言

本书是根据煤炭高等院校“八五”教材建设规划要求编写的。其编写细纲在全国煤炭中专《矿山电工教学研究协会》第四次年会上,在煤炭部教材编审室指导下,经全国十二所煤校的老师集体讨论后确定的。

在进行现场调查和总结多年教学经验的基础上,本书在编写中注意加强了煤矿供电基本内容和基本概念的阐述;为更新教学内容并兼顾南北方煤矿目前所用设备的差异,增添了矿用高压隔爆真空配电箱、低压隔爆自动真空馈电开关、隔爆真空磁力起动器及综采供电设备,但仍保留了原有常用设备的内容。为突出井下供电的重要性,特增设采区供电一章。

根据规定,全书文字符号采用 GB7159-87 标准,图形符号采用 GB4728 标准。矿用设备的标志也采用了新的标准。书中一律使用法定计量单位。

本书是煤炭中专矿山机电专业和矿山电气化专业的矿山供电课程教材,也可供煤矿技工学校 and 成人中专的有关专业及工程技术人员使用。

抚顺煤炭工业学校佟浚澄同志编写了本书第三、十一、十三章,阜新煤炭工业学校管贵昌同志编写了第八、十、十二章;大同煤炭工业学校张学成同志编写了第二、六、七、九章;徐州煤炭工业学校伍斌同志编写了第一、四、五章。佟浚澄任主编,张学成任副主编。

大同煤炭工业学校、大同矿务局和徐州矿务局为编写工作提供了大量资料,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

1993年10月

ABE 27/27 DB

目 录

第一章 矿山供电概述	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 电力系统的基本概念.....	(3)
第三节 矿山电网.....	(6)
第四节 矿山供电的电压等级.....	(14)
复习思考题.....	(16)
第二章 高低压电器	(17)
第一节 电弧.....	(17)
第二节 高压开关.....	(20)
第三节 熔断器.....	(27)
第四节 成套配电装置.....	(32)
复习思考题.....	(38)
第三章 矿用电气设备	(39)
第一节 概述.....	(39)
第二节 矿用隔爆型高压配电箱.....	(42)
第三节 矿用隔爆型低压自动馈电开关.....	(55)
第四节 矿用隔爆型磁力起动器.....	(61)
第五节 矿用变压器.....	(77)
第六节 KSGZY 型矿用隔爆组合式移动变电站.....	(81)
第七节 矿用电缆.....	(84)
复习思考题.....	(90)
第四章 矿山变电所	(91)
第一节 矿山供电系统.....	(91)
第二节 矿山地面变电所.....	(94)
第三节 井下中央变电所.....	(98)
第四节 采区变电所.....	(100)
第五节 综采工作面供电与工作面配电点.....	(103)
复习思考题.....	(107)

第五章 短路电流	(108)
第一节 概述.....	(108)
第二节 短路电流的暂态过程.....	(111)
第三节 短路电流的计算.....	(115)
第四节 短路电流的效应.....	(141)
第五节 短路电流的限制.....	(146)
复习思考题.....	(148)
第六章 电气设备的选择	(151)
第一节 选择电气设备的一般条件.....	(151)
第二节 高压电器的选择.....	(152)
第三节 成套配电装置的选择.....	(154)
第四节 变压器的选择.....	(156)
复习思考题.....	(164)
第七章 矿山电网的计算	(165)
第一节 概述.....	(165)
第二节 电压损失的计算.....	(166)
第三节 低压电缆的选择.....	(171)
第四节 高压电缆的选择.....	(180)
复习思考题.....	(185)
第八章 继电保护	(187)
第一节 概述.....	(187)
第二节 开式电网的定时限过电流保护.....	(191)
第三节 开式电网的反时限过电流保护.....	(196)
第四节 电网的接地保护.....	(202)
第五节 电力变压器保护.....	(206)
复习思考题.....	(213)
第九章 采区供电	(214)
第一节 概述.....	(214)
第二节 采区供电系统的拟定与变压器的选择.....	(215)
第三节 采区电气设备的选择.....	(217)
第四节 采区保护装置的整定计算.....	(218)
第五节 采区供电计算举例.....	(224)
复习思考题.....	(239)

第十章 矿山供电安全技术	(240)
第一节 触电的危险及预防.....	(240)
第二节 漏电保护装置.....	(243)
第三节 保护接地与接零.....	(250)
第四节 煤电钻的综合保护装置.....	(254)
复习思考题.....	(258)
第十一章 过电压保护	(260)
第一节 过电压的原因及危害.....	(260)
第二节 避雷针和避雷线.....	(261)
第三节 避雷器.....	(263)
第四节 变电所的过电压保护.....	(265)
复习思考题.....	(267)
第十二章 节约用电	(268)
第一节 节约用电的措施.....	(268)
第二节 变压器的经济运行.....	(269)
第三节 功率因数的提高.....	(271)
复习思考题.....	(272)
第十三章 牵引变电所及牵引电网	(273)
第一节 牵引变电所.....	(273)
第二节 变流设备的选择.....	(274)
第三节 牵引电网.....	(279)
第四节 牵引电网的计算.....	(282)
第五节 蓄电池及其充电设备.....	(284)
复习思考题.....	(288)
主要参考书	(289)

第一章 矿山供电概述

第一节 概 述

一、矿山供电的重要性和基本要求

电力是现代煤炭工业的主要动力,在煤炭生产中占有十分重要的地位。电力可以方便、经济地远距离输送和分配,也可以方便地和其它各种能量形式相互转换,并且在使用中还具有便于调度、测量和实现自动控制的优点;在煤炭企业中,矿山的电气化还是煤炭生产自动化及最新科学技术成就在煤矿推广应用的技术基础;从安全的角度上讲,由于煤炭生产中存在着各种自然灾害,而这些灾害的预防、预报和排除,也直接或间接地取决于矿山供电的正常与否。由此可见,矿山供电工作不仅直接影响矿山企业的高效生产,而且关系着矿井和工作人员的人身安全。因此,煤炭企业对供电工作提出了严格的要求。

1. 供电可靠

供电可靠就是要求不间断供电。供电中断时不仅会影响矿井的原煤产量,而且可能损坏设备,甚至发生人身事故和造成矿井的破坏。例如矿井主要运输设备停电,会造成大量的减产;矿井提升设备突然停电,会使提升机紧急制动,产生很大的冲击拉力,使钢丝绳损坏;另外,煤矿井下的空气中含有瓦斯和一氧化碳等有害气体,并且有水不断涌出,突然停电,将会使排水和通风设备停止运转,可能造成水淹矿井,工作人员窒息死亡和引起瓦斯、煤尘爆炸,危及矿井和人身安全。因此,对煤矿中的重要用电设备,要求采用两个独立电源的双回路或环式供电方式,两路电源线路互为备用,当一路电源线路故障或停电检修时,则由另一路电源线路继续供电,以保证供电的可靠性。

2. 供电安全

供电安全具有两个方面的意义,即防止人身触电和防止由于电气设备的损坏和故障引起的电气火灾及瓦斯、煤尘爆炸事故。

煤矿井下空间狭小、潮湿阴暗,井下电气设备的受潮和机械损伤容易发生人身触电事故,供电线路和用电设备的损伤和故障产生的电气火花,会造成火灾或瓦斯、煤尘爆炸事故。因此,为了避免事故的发生,在煤矿供电工作中,应按照《煤矿安全规程》的有关规定,采取防爆、防触电、过负荷及过流保护等一系列技术措施和管理制度,消除各种不安全因素,确保供电的安全。

3. 保证供电质量

衡量供电质量高低的技术指标是频率的稳定性和电压的偏移。交流电的频率对交流电动机的性能有着直接的影响,频率的变动会影响交流电动机的转速。按照我国《电力工业技术管理法规》的规定,对于额定频率为 50Hz 的工业用交流电,其频率相对于额定值的偏差

不允许超过 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$,即为额定频率的 $\pm 0.4 \sim \pm 1\%$ 。一般来说,频率的保证是电力部门的任务,但随着煤炭企业大功率晶闸管整流装置的应用,使配电网中的谐波分量增加,引起一些设备(如变压器、电缆和电力电容器等)的损耗增大,造成绝缘老化、损坏而出现事故。所以,必要时应采取相应的技术措施,保证供电频率的稳定。

电压偏移是衡量供电质量的又一重要指标。所谓电压偏移,是指用电设备在运行中,实际的端电压与其额定电压的偏差。用电设备对一定范围内的电压偏移具有适应能力,但随着电压偏移的增大,用电设备的性能将会恶化,严重时会造成设备的损坏。例如,白炽灯在超过额定电压5%的电压下工作时,其工作寿命将缩短一半;交流异步电动机在一定的转速下,转矩和电压的平方成正比,当电压降为额定电压的90%时,电动机的转矩仅为额定转矩的81%左右,从而造成电动机转差率增加和电流上升,使电动机绝缘老化,甚至烧毁电动机。因此,我国对用电设备电压偏移的允许值做了具体的规定,例如电动机的电压偏移不允许超过其额定电压的 $\pm 5\%$,白炽灯的电压偏移不允许超过其额定值的 $+3\%$ 和 -2.5% 。

4. 技术经济合理

技术经济合理是指在满足上述三项要求的前提下,使供电系统的投资和运行达到最佳的经济效益。为此,在供电设计中应考虑以下几个方面的因素。

- (1)尽量减少矿山变电所的基本建设投资;
- (2)尽量降低设备材料及有色金属的消耗量;
- (3)注意降低供电系统中的电能损耗和维护费用。

此外,供电系统应力求简单适用,操作方便,并留有发展、扩建余地。

上述各项基本要求,是矿山供电工作的原则,在工作中它们即是相互关联又是相互制约的。在解决具体问题时,应进行综合分析,以求得到最佳的技术和经济效益。

二、矿山电力负荷的分类

矿山供电系统中的各类用电设备称为矿山电力负荷。在矿山企业中,由于各类用电设备的重要性和运行特点不完全一样,它们对供电可靠性的要求也各不相同。根据矿山企业中电力负荷的重要性及对供电可靠性的不同要求,把矿山电力负荷分为以下三类:

1. 一类负荷(又称一级负荷)

突然中断供电会造成人身伤亡事故或损坏重要设备,给企业带来重大经济损失的用电负荷,均属于一类负荷。在电力系统中,矿山企业属于一类负荷;在矿山供电系统中,矿井主要通风机和分区风机,井下排水泵及立井经常提人的提升机等都属于一类负荷。对一类负荷应采用来自两个独立电源的双回路或环式供电。

所谓“独立电源”是指在数个电源中,其中任一电源发生故障或检修停电时,都不影响其它电源的继续供电。符合下列条件之一的电源可认为是两个独立电源:

- (1)两个电源之间无联系;
- (2)两个电源之间有联系,但符合下列要求:

- ①发生任何一种故障时,两个电源的任何部分均不致同时受到破坏;
- ②发生任何一种故障,且保护装置动作正常时,应有一路电源不中断供电。并且在发生任何一种故障且主保护失灵,以致两个电源均中断供电后;应能在有人值班的处所完成必要的操作,迅速恢复一个电源的供电。

在矿山供电系统中,矿山地面变电所一般设有两台主变压器,分别与两个独立电源相联

接。两路电源之间设有联络开关,可以方便地进行电源线路的转换,保证连续供电。两台主变压器的二次侧分别与一段 6kV 母线相联接,当一台变压器或 6kV 母线故障或检修时,另一台变压器或母线仍可以保证继续供电。矿山地面变电所的这两段 6kV 母线,可以看作是二个独立电源。因此,矿山的一类负荷,其两条电源线路应分别由地面变电所的两段 6kV 母线上引出。

2. 二类负荷(又称二级负荷)

突然停电会造成大量减产,或使生产停顿较长时间后才能恢复,给企业带来较大经济损失的用电负荷属于二类负荷。在矿山供电系统中,矿山集中运煤、提煤设备,空气压缩机、井底车场的整流设备及给综合机械化采煤工作面供电的采区变电所等都属于二类负荷。

对于大型煤矿的二类负荷,一般采用来自地面变电所不同母线的双回路或环式供电线路对其供电;对中、小型煤矿的二类负荷,一般采用单回路的专用线供电,并应库存有一定数量的变压器、电缆等供电设备,以便及时更换。必要时也可通过技术经济方案的比较来确定是否需要备用电源。

3. 三类负荷(又称三级负荷)

所有不属于一类和二类负荷的用户均列为三类负荷。如矿山的辅助性生产单位,机修厂、仓库、料场、办公楼及非生产照明和生活福利设施等都属于三类负荷。对三类负荷可采用单回路供电,并可以多用户合用一路电源,而不需要设置专用线和备用电源。

将矿山电力负荷进行分类,有利于实现经济、合理的供电。对于生产中的重要负荷,应首先保证其供电的可靠性和安全性;对于相对次要的负荷,就应注意考虑其供电的经济性。在供电系统出现故障或检修而需要限制用电量时,可根据负荷的等级,先停三类负荷的用电,必要时再停二类负荷的用电,确保一类负荷用电。

第二节 电力系统的基本概念

一、电力系统

电能有一个产生、传输、分配和使用的过程,该过程由发电、变电、输电、配电及用电设备和设施在瞬间完成。一般,电能由发电厂产生后,先经过升压,然后利用输电线路进行传输,再经过降压、分配后供给各用户使用。利用各种不同电压等级的电力线路,将一些发电厂、变电所和用户联系起来,所构成的发电、变电、输电、配电和用电的系统,称为电力系统。图 1-1 为一个典型的电力系统示意图。

1. 发电厂

电能是一种二次能源,它由其它形式的能源转换而来,发电厂(发电站)就是将自然界蕴藏的各种能源转换为电能的工厂。

发电厂按其所利用的能源不同可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂以及风力发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂和太阳能发电厂等。根据我国的能源情况,水利资源特别丰富,居世界第一位,煤炭、石油等燃料的蕴藏量也居世界前列。因此,在我国电力系统中的发电厂主要是火力发电厂和水力发电厂。利用原子能发电,是一种有着广泛发展前景的发电方式,目前我国已拥有了投入运行的原子能发电厂。由于原子能是取之不尽、用之不竭的巨大能源(1kg 铀全部裂变产生的热量相当于 2500t 优质煤燃烧产生的热量),并且原子能燃料

裂变时不需要空气助燃。因此,可以将原子能发电厂建造在地下、水下、山岭和高原地区,它为人类展现了电力工业发展的美好前景。

由于受到技术、材料和经济等因素的限制,发电机的输出电压一般不易太高。在电力系统中运行的发电机的额定电压一般为:15.75kV、10.5kV 和 6.3kV 在需要进行远距离的电能输送时,可以先利用变压器进行升压,然后再向远距离的用户输送。图 1-1 所示的三个发电厂中发电机的额定电压均为 10.5kV。

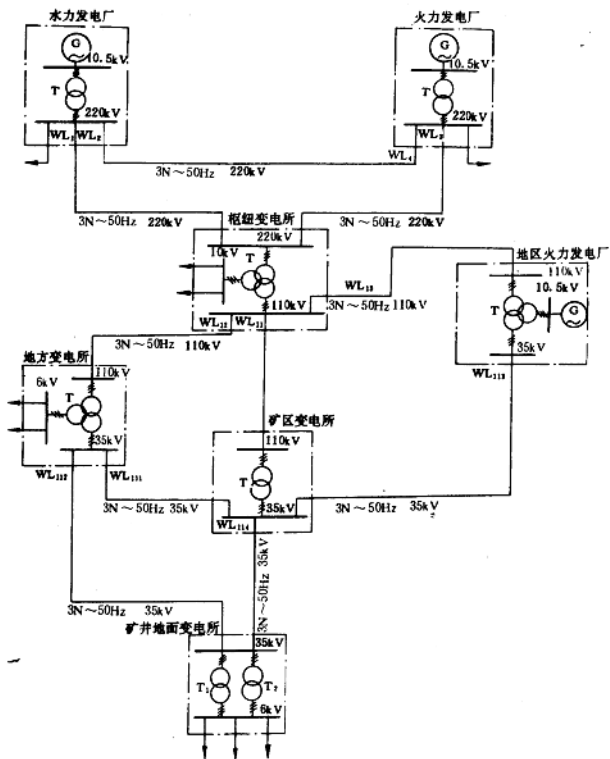


图 1-1 典型的电力系统

2. 变电所

变电所是接受、分配电能并改变电能电压等级的枢纽。变电所主要由电力变压器和一些配电设备构成。如果变电所中只设有配电设备而没有电力变压器,仅用于接受与分配电能时,则称其为配电所。

变电所有升压变电所与降压变电所之分。升压变电所将发电机的输出电压升高到 110~330kV 以上,与高压输电网络联接在一起,将电能向远方输送。图 1-1 中与三个发电厂分别相联接的变压器及其相应的设备和设施便构成了升压变电所。降压变电所多设在受电侧,它将高压输电网络送来的电能适当地降压后,对某地区或某用户供电。降压变电所就其供电范围的不同,又可分为区域变电所和地方变电所。

1) 区域变电所 区域变电所又称为一次变电所,它是从 110kV~220kV 及以上的输电网络受电,将电压降成 35~110kV 后给某个区域供电。如向多个大型企业构成的工业区、城市及农村等用户供电。区域变电所中一般设有三绕组降压变压器,将一次电压降为 35kV 和 6kV(或者降为 110kV 和 35kV)两种电压,给不同距离和不同用电负荷的用户供电。

2) 地方变电所 地方变电所又称为二次变电所,这种变电所多由 35~110kV 电网从区域变电所受电,有时也由地方发电厂直接受电。地方变电所是将接受的 35~110kV 的电能降为 6~35kV 后向矿山等大型企业及其附近的中、小型乡镇企业供电。矿区变电所即属于这一类变电所。

3. 输电线路

为了充分利用动力资源,减少燃料运输,降低发电成本,发电厂通常建造在动力资源丰富的地方。但是,这些发电厂往往离用电中心很远,需要利用输电线路将电能进行远距离的输送。由理论分析可知,在输电线路传输的电功率一定的条件下,输电电压愈高,线路中的电流就愈小,线路中产生的电压损失和电能损耗也愈小。但是,电压愈高,要求的绝缘水平也愈高,投资和造价也就愈大。因此,在电能输送的过程中,往往是输送距离较远,输送功率较大的线路选用比较高的电压;反之,则可选用较低的电压,以求达到技术经济的合理性。图 1-1 所示的电力系统中,各发电厂和区域变电所之间的输电线路选用了 110~220kV 的电压等级;由区域变电所到矿区变电所或地方变电所之间的输电线路,选用了 110kV 电压等级,矿区变电所到矿山变电所之间的输电线路,则根据距离的远近和负荷的大小选用 35kV 或 6kV 的输配电线路。对于距离发电厂较近的矿山变电所,也可直接用 6kV 的输电线路由发电厂直接获得电能。

二、电力网

电力系统中各种不同电压等级的输配电线路和变电所组成的输配电网络,称之为电力网。电力网的任务是将发电厂生产的电能输送并分配到用户。电力网按其特征、用途、电压的高低和供电范围的大小可分为:直流和交流电力网;城市和农村电力网;区域和地方电力网等。

1. 区域电力网

电压在 110kV 以上,供电距离在几十公里至几百公里的电力网,称之为区域电力网。通常可以认为发电机出口到区域变电所的电力网为区域电力网。

2. 地方电力网

电压不超过 110kV,供电距离不超过 50km 的电力网称之为地方电力网。区域变电所二

次出线以后的网络可以认为是地方电力网。

由图 1-1 可见,各发电厂的发电机均与电力系统联接在一起,这种运行方式称为发电厂并网运行。如果发电厂孤立地向用户供电,则可靠性不高,当发电厂发生故障或停机检修时,将使该地区用户被迫停电。在这种情况下若要提高供电可靠性,保证供电连续,则每个发电厂都需要设置一套同样容量的备用机组,这将是很不经济的。在实际运行中,往往是将各种类型的发电厂的发电机并入电力系统,形成一个发电、输电、配电和用电的整体。发电厂并网运行具有如下优点:

1)提高了供电的可靠性 发电厂并网后,不会因为个别发电机故障而导致用户停电。并且可以有计划地对电力进行调配,安排设备轮流检修,以确保安全、可靠运行。

2)实现最经济的运行 发电厂并网后,可根据季节的不同,充分发挥水电、火电的配合作用,合理调配各发电厂的负荷。丰水季节尽量使水电厂多发电,节省火电厂的燃料,从而降低发电成本。在枯水季节,增加火电厂机组的投入量,保证供电需求。同时,并网供电可以减少线路损失,使发电厂的负荷变化减小,效率提高,供电质量也可得以提高。

3)提高设备的利用率 减少整个地区发电机组的总备用容量。

三、矿山电源

煤矿企业一般都设有矿山地面变电所,担负着煤矿生产、生活和附近中小企业及农村用户的供电任务,它属于一个以煤矿为中心的地方变电所。矿山地面变电所的电源一般来自电力系统的区域变电所或地方发电厂及自备电厂。

矿山地面变电所的受电电压一般为 6~35kV,视煤矿的井型、矿井与电源之间距离的远近及所在地区的电力系统的电压而定,一般情况下多为 35kV 受电。

由于煤矿企业的生产性质和特殊的生产环境所决定,煤矿企业属于一类用电负荷。因此,按照《煤矿安全规程》的规定,矿山地面变电所的受电电源,必须保证是两个独立电源的双回路或环式供电网络。

第三节 矿山电网

一、矿山电网的分类

矿山电网是指从矿区变电所到矿山地面变电所直到矿山地面及井下各用电设备之间的配电网络。矿山电网按其特征、用途和电压的不同可分为许多种类。

(1)按照电流种类可分为直流电网和交流电网。在矿山供电系统中,除了架线式电机车由直流电网供电外,其他设备均由交流电网供电。

(2)按照电压的高低可分为高压电网和低压电网。在矿山供电系统中,一般将电压为 3kV 及以上的电网称为高压电网,而将电压为 1200V 及以下的电网称为低压电网。

(3)按照线路的结构可分为架空线路和电缆线路。煤矿地面工业广场外圈的供电多采用架空线路,而煤矿地面工业广场范围内的供电多采用电缆线路。煤矿井下供电,除架线式电机车的直流电网采用架空线路外,交流电网均为电缆线路。

(4)按照电网的布置形式可分开式电网和闭式电网。开式电网是从一个方向向用户供电,又可分为辐射式和干线式等;闭式电网可以从两个或两个以上的方向向用户供电,形成闭合回路,从形状上看可以分为环式和平行双回路等。

(5)按照电网中性点对地的绝缘状态可分为中性点直接接地系统、中性点经阻抗接地系统和中性点不接地系统。

此外,还可以从其它许多方面对矿山电网进行分类,这里不再列举。

二、矿山电网的接线方式

矿山电网中常见的接线方式有如下几种。

1. 放射式接线

由矿山地面变电所 6kV 母线上分别引出专用配电线路,直接配电给用户,线路上不再联接其它用电设备。这种配电接线称为单电源单回路放射式接线,如图 1-2a 所示。这种接线方式的优点是线路敷设简单,操作维护方便,运行中互不影响,任一线路发生故障停电时,都不影响其它线路的正常运行,并且继电保护装置比较简单,便于装设自动装置。缺点是供电可靠性不是很高,配电设备用量大、投资高。这种接线方式一般适用于向三类负荷和部分二类负荷供电。

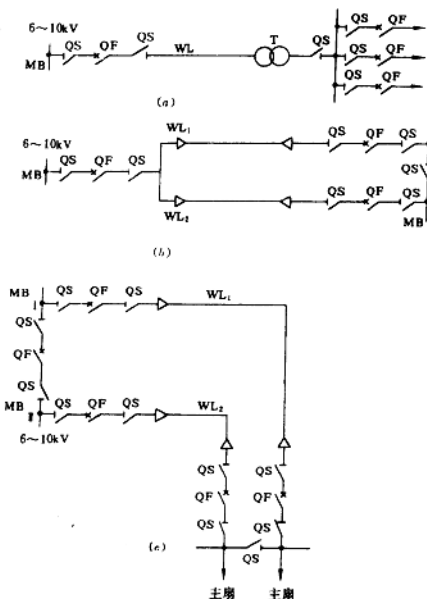


图 1-2 放射式接线

a—单电源单回路; b—单电源双回路; c—双电源双回路

为了提高供电可靠性,可采用双回路放射式配电接线方式。图 1-2b 为单电源双回路放射式接线。这种接线方式是由一段电源母线上引出两回并列线路,每回线路均由独立的开关控制。它与单回放射式接线相比较,提高了供电的可靠性,并且有较好的灵活性。即可双回路同时运行,减少线路的功率和电压损失,又可一回运行一回备用。这种接线可用于二类负荷的供电。例如用于由一路电源供电的采区供电系统。两台采区变压器低压侧采用分段母线,正常时分裂运行,当一台变压器维修或故障时,接通母线联络开关,由另一台变压器保证采区主要负荷和必要生产负荷的供电。

图 1-2c 为双电源双回路放射式接线,这种接线方式是从变电所的两段电源母线上各引出一回线路对用户供电。由于该方式是双电源双回路供电,故其供电可靠性较前述两种接线有较大提高。它可以用于对较大容量用户或一类负荷供电。

2. 干线式接线

由矿山地面变电所 6kV 母线上引出一回配电线路,在电路上分支接有几个用户,这种接线方式称为单回路干线式配电接线,如图 1-3a 所示。这种配电接线一般多用于用户集中在变电所一侧的情况。其分支线数一般不超过 5,配电变压器容量不超过 3000kVA,例如煤矿井下用电线路对多台顺槽输送机的供电。干线式接线的优点是出线回路数少,线路总长度短,可节省大量的有色金属,此外,使用的配电设备较少,投资较省。其缺点是供电可靠性

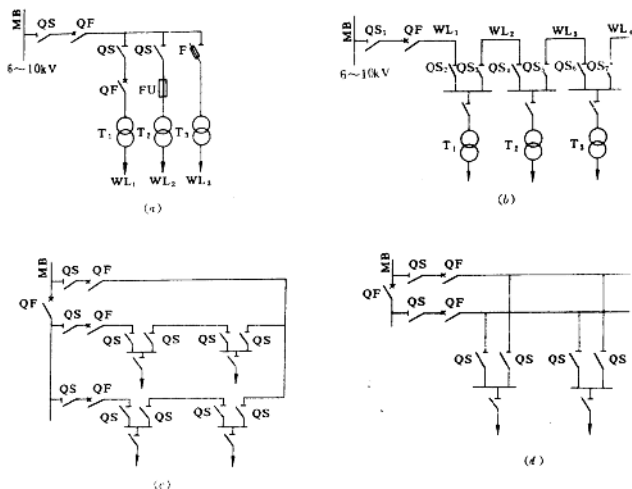


图 1-3 干线式接线

a—单回路干线式接线; b—链串干线式接线; c—具有公共母线干线式接线; d—双回路干线式接线

差,在干线的公用段上出现故障时,将造成干线的停电,停电机会较多,停电范围也大,这种接线对自动装置的适用性较差,在靠近电源的线路出现故障时,继电保护装置的动作时间较长,不能迅速地切除故障。这种接线方式一般只适用于向三类负荷供电。

图 1-3b 所示的配电接线称之为干线式链串配电方式。它是在 $WL_1 \sim WL_4$ 的每一段线路的起点和终点均装设一组开关,与图 1-3a 的接线方式相比,可以减小故障停电的范围。例如当 WL_3 线路故障时,开关 QS_3 断开线路 WL_3 用户 T_1 和 T_2 可以继续供电。

此外,为了提高供电可靠性,下线式供电还可以采用具有公共备用干线的单回路干线式接线和单侧配电的双回路干线式接线,如图 1-3c、d 所示。

3. 环式接线

环式接线是指两个或两个以上的用户,彼此相互联络后共同由两路电源供电的接线方式,如图 1-4 所示。环式接线的优点是使用设备较少,投资较省,各电源线路的途径不同,不易发生故障,供电可靠性高且运行灵活。缺点是当用户由较长的电源线路供电时,电压不易得到保证,在确定线路的导线截面时,应按故障时能担负环网全部负荷考虑,使有色金属消耗量增加,并且当各用户的负荷相差越大时,有色金属消耗量就越大,此外,环式电网的运行调度也比较繁复。这种接线方式适用于各用户的负荷相差不大,离电源都比较远,而彼此之间的距离较近的各类负荷的供电。

环式接线有开环运行和闭环运行两种运行状态。开环运行就是将环路中用户之间的联

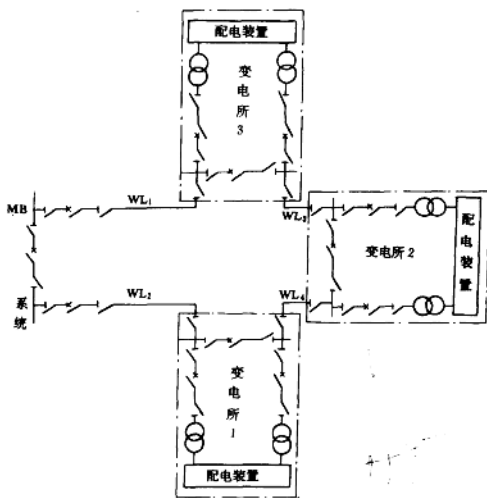


图 1-4 环式接线

络线断开,两路电源各带一部分负荷运行。闭环运行是各用户之间的联络线被联通,各用户的用电由两路电源共同供给。闭环运行时继电保护装置较复杂,一般多采用开环运行方式。

总的来说,矿山电网的接线可分为无备用系统接线和有备用系统接线。无备用系统接线具有接线简单、运行方便,易于发现故障等优点,但其供电可靠性较差,主要用于三类负荷和部分次要的二类负荷的供电。如前面介绍的单回路放射式接线和单回路干线式接线等。有备用系统接线供电可靠性较高,但使用设备较多、投资大,主要用于一类负荷和重要的二类负荷供电。如前面介绍的双回路放射式和环式接线等。

矿山电网的接线方式并不是一成不变的,除了上述接线方式外,还有具有几种接线方式共同特点的混合式接线。因此,在确定矿山电网的接线方式时,应根据电源、用户的分布情况和负荷的大小及其重要性等因素,进行综合分析,确定最佳的接线方案。

前面介绍的矿山电网的几种接线方式,是以矿山地面变电所为电源,矿山各高压负荷为用户,构成的一些常用的供配电接线方式。这些接线方式也同样适用于矿区供电和矿山低压供电系统。在矿区供电中,因为矿山企业属于一类负荷,因此主要采用有备用系统的双回路放射式接线和环式接线等;在矿山低压供电系统中,根据负荷的重要程度,几种接线方式均有采用。

三、三相交流电网中性点的接地方式

三相交流电网的中性点是指电源侧的中性点,即发电机、变压器星形接线时的中性点。三相交流电网中性点的接地方式,关系到电网在运行中的绝缘水平、电压等级、供电可靠性、线路的保护方法、对通讯系统的干扰和人身安全等多方面的问题,特别是在发生单相接地时,其影响将更加明显。因此,对三相交流电网中性点各种接地方式的运行特点有必要予以讨论。

三相交流电网的中性点有三种运行方式:中性点不接地系统;中性点经消弧线圈接地系统;中性点直接接地系统。

1. 中性点不接地的三相交流系统

图1-5a为中性点不接地三相交流系统的示意图。图中 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为三相导线对大地的分布电容(相间电容忽略不计),三相容抗近似相等。三相系统正常运行时电网中性点与大地电位相同,各相对地电压都等于电源的相电压,三相系统对称。在三相对地相电压的作用下,三相电容中有对地电容电流 I_1 、 I_2 和 I_3 流过,三相电容电流保持对称,在相位上超前于各自相电压 U_1 、 U_2 和 U_3 90°,其矢量和为零,大地中没有容性电流流过。图1-5b为此时电

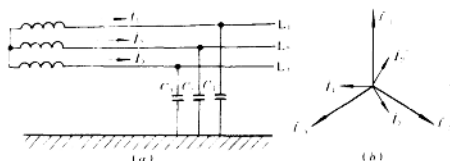


图1-5 中性点不接地三相交流系统

a—电气原理示意图; b—矢量图

压和电流的矢量图。

当系统发生一相导线直接接地时(如 L_1 相接地),则该相导线对地电压为零。其它完好两相的对地电压等于电网的线电压,为正常时的 $\sqrt{3}$ 倍。这时非故障相的对地电容电流也随之增大为正常时的 $\sqrt{3}$ 倍,在相位上则超前于相应的线电压 90° 。接地相的对地电容被短接,其接地电流为其它两相对地电容电流的矢量和,大小为正常时对地电容电流的 3 倍。图 1-6 为 L_1 相导线直接接地时的电流分布情况和矢量图。

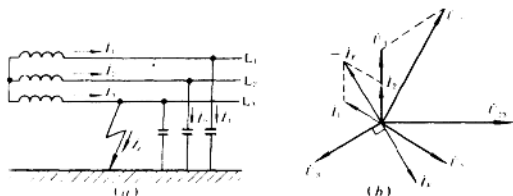


图 1-6 中性点不接地三相交流系统一相导线接地

a 电流分布图; b 矢量图

在中性点不接地的三相系统中出现单相接地时,其接地电容电流与线路的电压,频率及电网对地的电容有关,而电容则与电网的种类(电缆或架空线路等),敷设情况及线路长度有关。在实际计算中,常采用下式计算接地电流:

$$\begin{aligned} \text{架空线路} \quad I_k &= \frac{UL}{350} \\ \text{电缆线路} \quad I_k &= \frac{UL}{10} \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 I_k 接地点的接地电容电流, A;

U 电网的线电压, kV;

L 线路的总长度, km。

在不完全接地(即经过一定的接触电阻接地)时,故障相对地的电压将大于零而小于相电压。其它两个完好相对地的电压则大于相电压而小于线电压,此时的接地电容电流较导线直接接地(完全接地)时为小。

中性点不接地的三相系统发生单相接地时,电网的线电压仍保持对称,对三相用电设备的运行没有直接的影响。虽然这时另外两相的对地电压升高了 $\sqrt{3}$ 倍,但对线路的绝缘没有多大的危害。因为中性点不接地系统中相与地之间的绝缘是按线电压考虑的,所以系统可以继续供电一段时间,这就提高了供电的可靠性,减少了停电次数。但是,在系统出现单相接地故障时,不允许长期运行。因为非故障相对地电压的升高将威胁到系统中的一些绝缘薄弱环节,如果击穿使另一相又发生接地,就会形成两相接地短路,产生很大的短路电流,可能严重损坏线路和设备,在井下也可能造成更大事故。因此,在中性点不接地系统中应装设专门的接地保护装置,在发生一相接地时,给予报警信号,以提醒值班人员注意,及时处理。我国

规定:中性点不接地三相系统发生一相接地故障时,允许暂时继续运行 0.5~2h,运行人员应争取在规定时间内查出接地故障并予以检修。如有备用线路,应将负荷转移到备用线路上去,经两小时后,故障仍未消除时,应切除此故障线路。

从式(1-1)可知,接地电容电流与电网电压、线路长度成正比。对于高电压、远距离输电,接地电容电流会超过一定限度,接地点就会产生持续或断续电弧。持续电弧的燃烧极易引起相间短路。断续电弧则在电网的电感和对地电容形成的振荡回路中引起谐振,产生过电压。这种过电压有时可达正常电压的 3~4 倍,造成设备绝缘的击穿。

在 3~10kV 电网中,断续电弧引起的过电压危害还不太大,但其接地电流大于 30A 时,接地点将产生不易熄灭的持续电弧,造成相间短路。对于 35~60kV 的电网,断续电弧引起的过电压危害较大,此时接地电流应设法限制在 10A 以内,否则将引起断续电弧,产生过电压。因此,中性点不接地的三相系统主要适用于接地电流不超过 30A 的 3~10kV 系统和接地电流不超过 10A 的 35~60kV 系统,而不适用于高电压、远距离输电。

我国 3~60kV 电网一般均采用中性点不接地的三相系统。

2. 中性点经消弧线圈接地的三相交流系统

在 60kV 及以下电压等级的高压电网中,当接地电流超过上述数值时,将会在接地点产生接地电弧。为了减小接地电流,通常在中性点与地之间接入消弧线圈,形成中性点经消弧线圈接地的三相系统。图 1-7 为中性点经消弧线圈接地系统单相接地时电流分布和矢量图。

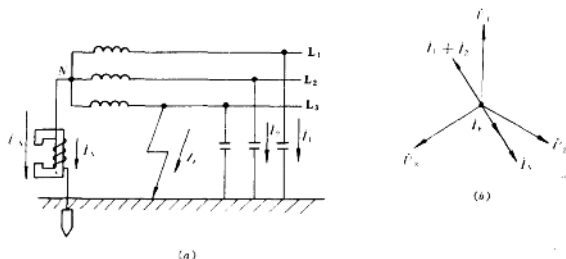


图 1-7 中性点经消弧线圈接地系统

a—单相接地时的电流分布情况; b—矢量图

消弧线圈是一个具有铁芯的电感线圈,铁芯和线圈装在充有变压器油的外壳中,线圈的电阻很小而电感很大,其电抗值可通过改变线圈匝数或铁芯空气间隙的大小来调节。在正常情况下,电网中性点的电位与大地电位相同,消弧线圈中没有电流;当发生单相接地时,例如 L_3 相接地。中性点的对地电压 U_N 升高为相电压,其大小与 L_3 相电压大小相等但方向相反。此时有电流 I_N 流过消弧线圈, I_N 的相位滞后于 $U_N 90^\circ$,并且与非接地的 L_1 相和 L_2 相的电容电流矢量和 $(I_{C1} + I_{C2})$ 反相,从而起到对容性电流的补偿作用。此时 L_3 相的接地电流为 $I_3 = I_{C1} + I_{C2} + I_N$,只要适当调节消弧线圈的电抗值,就可将接地电流减小到不能建立电弧的程度。

根据消弧线圈中感性电流对接地容性电流的补偿程度,可有三种补偿方式:完全补偿