

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

矿山供电技术

李虎伟 主编

Kuangshan Gongdian Jishu



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

矿山供电技术

主 编 李虎伟

副主编 王金国

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍矿山供电的有关基础知识,系统地讲述了供电系统的负荷计算、短路电流、供电线路、电气设备及其选择、供电系统的继电保护、过电压及其防护、井下供电、矿山供电安全、采区供电计算等方面的内容。

本书可作为高职高专及煤炭成人高校供用电技术、用电管理、机电一体化、电气自动化等专业的专业课教材,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山供电技术/李虎伟主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2008.1

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978-7-81107-838-1

I. 矿… II. 李… III. 矿山—供电 IV. TD611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004140 号

书 名 矿山供电技术

主 编 李虎伟

责任编辑 孙建波 何 戈

责任校对 周俊平

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 邮编 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 19.5 字数 486 千字

版次印次 2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷

定 价 29.50 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

根据国家发展和改革委员会关于《煤炭教育“十一五”发展规划》的要求,以及教育部、国家安全生产监督管理总局、国家发展和改革委员会、财政部《关于加强煤矿专业人才培养工作的意见》精神,全国煤炭成人高等院校教材建设委员会于2006年1月在北京召开会议,原则上通过了《全国煤炭成人高等院校教材建设实施意见》,并将该《意见》作为编制《全国煤炭成人高等院校“十一五”教材建设规划》的指导。由中国煤炭教育协会和中国矿业大学出版社共同组织编写了全国煤炭成人高等学校煤炭开采、矿山机电、通风与安全首批规划教材。本书系该规划教材之一。

本书主要面向煤炭成人专科学历教育,包括普通专科和高等职业教育,兼顾职工培训和技师学院教育,突出成人特点,注重联系生产实际,注重学员动手能力的培养。在内容编排上以培养学生煤矿供电设计为基础,并兼顾供电系统运行和管理等知识的学习。

本书尽量反应新技术和新设备,并贯彻新的国家标准和《煤矿安全规程》,书中的文字符号和图形符号全部采用新国标,做到了全书统一。每章都留有一定数量的思考题与习题供读者练习。

本书由李虎伟任主编,王金国任副主编。第一章、第七章由刘涛编写,第二章、第三章、第四章、第十章由陈亚玲编写,第五章由李晓丽编写,第六章由王金国编写,第八章、第九章由李虎伟编写,附录由陈亚玲、李虎伟共同编写。

由于水平有限,书中难免会出现错误,希望使用本书的广大读者批评指正。

编者

2007年7月7

目 录

第一章 矿山供电系统	1
第一节 电力系统的基本概念	1
第二节 电力系统的电压	4
第三节 矿山对供电系统的基本要求	8
第四节 供电系统的接线方式	9
第五节 供电系统中性点的运行方式	17
思考题与习题	20
第二章 供电系统的负荷计算	21
第一节 负荷曲线及计算负荷	21
第二节 负荷计算的方法	22
第三节 全矿井负荷的确定与主变压器的选择	27
思考题与习题	45
第三章 短路电流	47
第一节 概述	47
第二节 无穷大容量电源系统发生三相短路的暂态过程和物理量	50
第三节 无穷大电源系统短路电流的计算	56
第四节 短路电流的电动力效应及热效应	69
思考题与习题	74
第四章 供电线路	76
第一节 供电线路概述	76
第二节 架空线路导体截面的选择	89
第三节 高压电缆导体截面的选择	95
思考题与习题	98
第五章 电气设备及选择	100
第一节 电气设备选择的一般原则	100
第二节 高压开关设备	102
第三节 互感器	121
第四节 低压开关设备	131

思考题与习题·····	140
第六章 供电系统的继电保护·····	141
第一节 概述·····	141
第二节 高压电网相间短路的电流电压保护·····	148
第三节 变压器保护·····	160
第四节 电动机的保护·····	167
思考题与习题·····	169
第七章 过电压及其防护·····	170
第一节 大气过电压·····	170
第二节 防雷保护装置·····	174
第三节 综合防雷措施·····	179
第四节 内部过电压及其防护·····	182
思考题与习题·····	184
第八章 井下供电·····	185
第一节 概述·····	185
第二节 矿用电气设备的类型·····	186
第三节 井下供电系统·····	195
第四节 矿用电气设备·····	199
思考题与习题·····	221
第九章 矿井供电安全·····	223
第一节 触电·····	223
第二节 电火灾及静电·····	225
第三节 杂散电流的危害及防治·····	226
第四节 漏电保护·····	227
第五节 保护接地与接零·····	236
思考题与习题·····	241
第十章 采区供电计算·····	242
第一节 概述·····	242
第二节 变电所及配电点位置的确定·····	242
第三节 负荷统计及采区主变压器的选择·····	246
第四节 供电系统的拟定·····	248
第五节 电缆的选择·····	252
第六节 短路电流的计算·····	261
第七节 开关电气设备的选择·····	265

目 录

第八节 保护装置的整定.....	270
附录.....	283
参考文献.....	301

第一章 矿山供电系统

电力是现代工矿企业生产所需的主要能源,工矿企业中的绝大多数生产机械都直接或间接地以电力为动力源,电力系统可靠、安全、经济、合理地运行对工矿企业至关重要。

本章主要介绍电力系统的一般概念、电力系统中的电压、矿山供电系统的基本要求、供电系统的接线方式、供电系统中性点的运行方式。

第一节 电力系统的基本概念

一、电力系统的组成

电力系统是由发电厂、电力网、电能用户组成的整体,其任务是生产、变换、输送、分配、消费电能。

(一) 发电厂

发电厂是利用发电机将各种形式的自然能转化为电能的工厂,也称发电站,是电力系统的核心,一般建在动力资源比较丰富的地区。

根据所利用自然能的不同,发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂、地热发电厂、太阳能发电厂等多种类型。

火力发电厂通过燃烧煤炭、石油、天然气等化石能源,将化学能转化为电能,除发电之外,还能提供热能的火力发电厂称为热电厂;水力发电厂利用江河中水流的落差,将水的重力势能转化为电能;核能发电厂又称核电站,利用原子核裂变释放的巨大能量生产电能;风力发电厂和潮汐发电厂分别将自然界风的动能和潮汐的动能转化为电能;地热发电厂利用地壳内部的地热资源发电;太阳能发电厂将太阳的光能和热能转化为电能。

针对我国自然资源蕴藏的结构,目前,我国的发电厂以燃煤的火力发电厂为主,其装机容量占总装机容量的70%以上,水力发电厂的装机容量约占总装机容量的20%,其他类型发电厂的装机容量约占总装机容量的10%。鉴于煤炭的不可再生性及燃烧引发的环境污染,我国也在充分利用丰富、清洁的水力资源和核能资源,大力发展水电工程和核电工程,不断加大非煤发电量的比重。

(二) 电力网

电力网是由若干变电所和各种不同电压等级的电力线路组成的输送、变换、分配电能的网络,是联系发电厂与电能用户的中间环节。

发电厂一般建在动力资源丰富的地区,如我国的中西部地区,电能用户则大量集中在城市和工业中心,如我国的东部地区,因此,发电厂的电能必须远距离传输。电路理论表明,传输同样的电功率,电压越高,电流越小。为减小传输电流,降低输电线路中的电能损耗和电压损失,应当采用高电压输送电能。

于是,发电厂生产的电能,除直接供给附近用户使用之外,都要经过升压变电所变换为 110 kV 及以上的高压电能,经高压输电线路传输给远方的电能用户。一般城市和工矿企业用电设备的额定电压并不高,因此,输电线路传输的高压电能还要经过各级降压变电所逐级降低电压,才能供给用电设备使用。图 1-1 所示即是电能由发电厂到电能用户的传输过程。

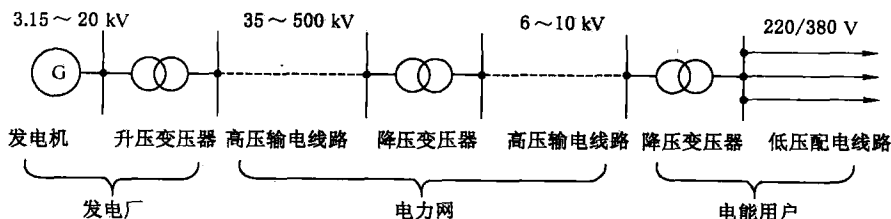


图 1-1 电能传输过程示意图

变电所是电力网的核心,有升压和降压之分,除发电厂之外,多数地方的变电所为降压变电所。根据变电所在电力网中的地位不同,又可分为枢纽变电所、地区变电所、企业总降压变电所、车间变电所等。枢纽变电所通过高压输电线路可以将不同的发电厂相互连接,即并网发电,不仅可以提高供电的可靠性,还可以调节不同发电厂的用电负荷,发挥供电的经济效益。

变电所主要由电力变压器和开关控制设备组成。重要的变电所常设置两台及以上的电力变压器。枢纽变电所和地区变电所常设置两台及以上的三绕组电力变压器,以提高供电的可靠性,适应不同用户的需要。

图 1-2 所示是用变电所主要设备的图形符号绘制的供电系统图,更多电力系统常用电气设备图形符号见表 1-1。如图 1-2 所示,变电所中的主要设备有变压器 T、母线 WB、断路器 QF、隔离开关 QS 等,另外还有保护装置、测量装置、操作电源等。母线又称汇流排,用于汇集变压器的电能并分配给各用电负荷。断路器有良好的灭弧装置,作为线路的主开关,正常运行时可以通、断工作电流,发生短路时可以切断短路电流。隔离开关没有灭弧装置,不能切断工作电流和短路电流,在检修等情况下,利用其明显的断口结构隔离电源,保证工作人员的安全。

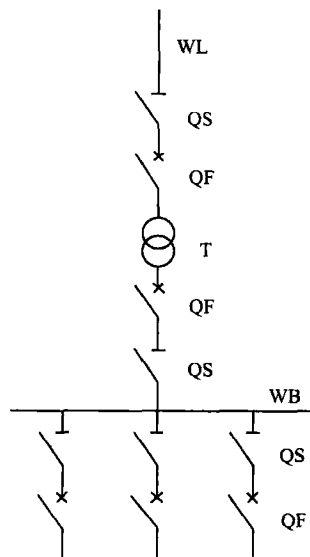


图 1-2 供电系统图中的变电所主要电气设备及图形符号






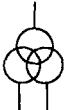




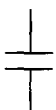







根据电压高低和供电范围大小,电力网分为区域电网和地方电网。区域电网供电范围大,电压一般在 220 kV 及以上;地方电网供电范围小,电压一般不超过 110 kV。另外,还可依据电压等级将电力网分成四种:低压电网,电压在 1 kV 以下;高压电网,电压为 3~330 kV;超高压电网,电压为 330~1 000 kV;特高压电网,电压在 1 000 kV 以上。

(三) 电能用户

电能用户也称电力负荷,泛指各种场所使用的各类用电设备。在电力系统中,通常将一个工矿企业或由同一线路供电的多个企业中的用电设备,整体看做一个电能用户。

• 2 •

表 1-1 电力系统常用电气设备图形符号

设备名称及文字符号 单字母(双字母)	图形符号	设备名称及文字符号 单字母(双字母)	图形符号
交流发电机 G		跌开式熔断器 F(FU)	
双绕组变压器 T(TM)电力变压器 T(TV)电压互感器		电流互感器 T(TA)	形式 1  形式 2 
三绕组变压器 T(TM)电力变压器 T(TV)电压互感器		避雷器 F	
断路器 Q(QF)		电抗器 L	
隔离开关 Q(QS)		电容器 C	
负荷开关 Q(QL)		母线及引出线 W(WB)	形式 1  形式 2 
熔断器 F(FU)		架空线路 W(WL)	
熔断器式负荷开关 Q		电缆终端头 X	

对不同规模的电能用户,电力系统采用的供电电压等级也不相同。对一般的大中型工矿企业,多采用 35 kV 电压供电,企业内部设 35 kV 总降压变电所;对用电量较大的大型工矿企业,我国已经采用 110 kV 高压直接深入负荷中心的供电方式,以减少电能损耗和电压

损失,提高供电质量;对中小型工矿企业,多采用 10 kV 电压供电,企业内部设 10 kV 变电所。

图 1-3 所示是大型电力系统的结构。

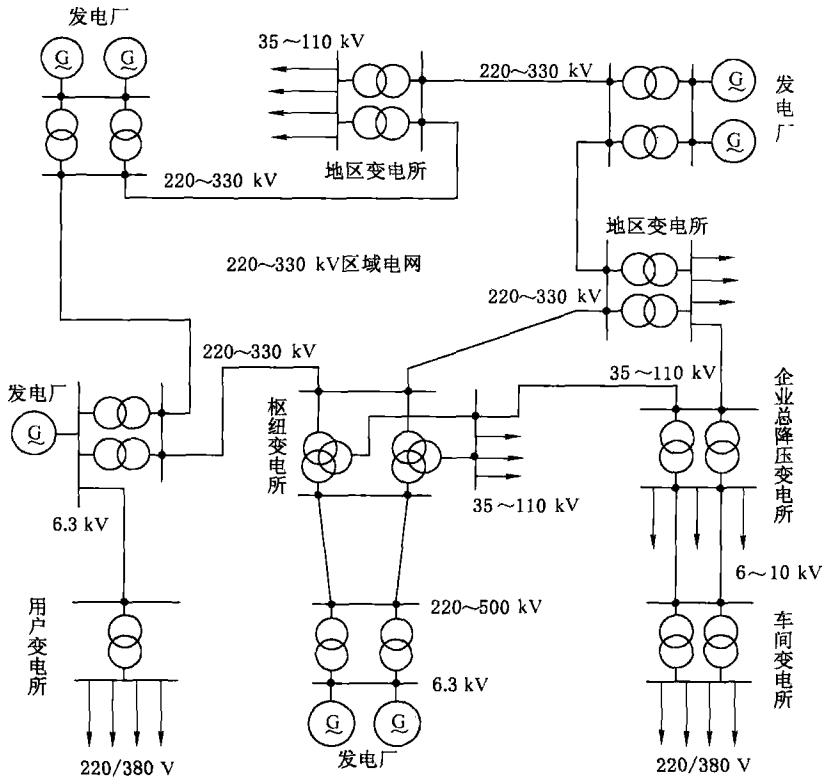


图 1-3 电力系统示意图

二、电力系统的特点

电力系统具有以下显著特点:

- (1) 电能不能大量储存,电能的生产、传输、消费过程几乎是同时进行的。
- (2) 在发电量充足时,发电量由用电量决定,二者之间是严格平衡的。
- (3) 电力系统是一个联系紧密的整体,其中的任一环节出现故障,都会影响整个系统。
- (4) 电力系统从一种运行状态到另一种运行状态的过渡非常迅速,必须配有可靠、灵敏、快速的保护、监视、测量装置,以确保电力系统的正常运行。

第二节 电力系统的电压

一、额定电压

额定电压是保证电气设备安全、可靠、正常运行,充分发挥效能,获得最佳技术经济效益的标准电压。电气设备都有规定的额定电压,为了便于批量生产和统一供电,国家规定了电

力系统的标准额定电压等级,见表 1-2。

表 1-2

国家标准额定电压等级

单位: kV

电力网与电气设备的额定电压	发电机的额定电压	变压器的额定电压	
		原边绕组	副边绕组
0.127	0.133	0.127	0.133
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.38	0.38	0.40
3.0	3.15	3.0 及 3.15	3.15 及 3.3
6.0	6.3	6.0 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	15.75	15.75	
35		35	38.5
60		60	66
110		110	121
154		154	169
220		220	242
330		330	363
500		500	550
0.11	0.115		
0.22	0.23		
0.44			

表 1-2 中的电压等级有如下特点:

(1) 用电设备的额定电压与电力网(电力线路)的额定电压相同。
 (2) 发电机的额定电压高于用电设备额定电压 5%,以补偿电力线路传输电能时产生的电压损失,保证用电设备获得的实际电压等于或接近额定电压。

(3) 变压器的原边绕组输入电能,相当于用电设备。当原边绕组与电力线路相连时,原边绕组的额定电压与电力网额定电压相同;当原边绕组直接与发电机相连时,原边绕组的额定电压应与发电机额定电压相同。

(4) 变压器的副边绕组输出电能,相当于供电电源。副边绕组的额定电压是指变压器空载时的电压。变压器满载时其内部阻抗则会产生约 5% 的电压损失。因此,当变压器副边的供电距离较远时,副边绕组的额定电压应高于用电设备额定电压 10%,以补偿变压器内部阻抗和外部电力线路上产生的电压损失;当变压器副边的供电距离较近时,忽略线路上的电压损失,副边绕组的额定电压高于用电设备额定电压 5% 即可。

由于煤矿生产的特殊性,除了国家规定的标准电压等级之外,还有一些煤矿专用的电压等级,见表 1-3。

3 kV 以下的电压等级主要用于生产和生活用电,3 kV 及以上的电压等级主要用于发电、输电、配电及高压用电设备,110 kV 及以上的电压等级主要用于远距离输电。

表 1-3

煤矿常用额定电压等级

单位:kV

电流类型	电压等级	用途
交流	0.036	电气设备控制与局部照明
	0.127	井下照明、信号、手持式煤电钻
	0.22	地面照明
	0.38	地面或井下低压动力设备
	0.66	井下低压动力设备
	1.14	井下综合机械化采煤设备
	3.0 或 6.0	高压电动机与配电线路
	35 或 60	煤矿供电线路
	110	大型煤矿供电线路
直流	0.08,0.11,0.12,0.40	井下蓄电池式电机车
	0.11,0.22	地面变电所操作电压
	0.25,0.55	井下架线式电机车
	0.75,1.5	露天煤矿工业电机车

线路电压等级的高低,决定着电能输送过程中输电功率的大小与输电距离的远近。表 1-4 列出了 110 kV 及以下的各种电压等级所适应的输电功率与输电距离。

表 1-4

常用各种电压等级电力线路的输电功率与输电距离

电压等级/kV	架空线路		电缆线路	
	输电功率/MW	输电距离/km	输电功率/MW	输电距离/km
0.22	<0.06	<0.15	<0.1	<0.20
0.38	<0.1	<0.25	<0.175	<0.35
3.0	<1.0	1~3	<1.5	<1.8
6.0	<2.0	5~10	<3.0	<8
10.0	<3.0	8~15	<5.0	<10
35	<10	20~70		
60	<30	30~100		
110	<50	50~150		

电压等级的选择是否合理,直接影响电力系统中的有色金属消耗量、电能损耗、电压损失、建设投资以及未来的发展等。因此,电力网及工矿企业供电系统中电压等级的选择一般应考虑多种方案,当经济指标相差不大时,应优先采用电压等级较高的方案。

二、电压降与电压损失

由于电力线路自身存在电阻和电抗,所以,电流在电力线路中传输时,必然会在线路上产生电压降和电压损失,使得线路首、末端电压不一致,首端电压高于末端电压。电压降是指电力线路首、末端电压的相量之差;电压损失则是指电力线路首、末端电压的有效值之差。

对连接在电力线路上的用电设备而言,需要确保的是用电设备实际获得的电压数值,而

非线路首、末端电压的相位关系。因此,在工程实际中,一般较多关注电压损失的大小。

图 1-4 所示是负荷集中在线路终端的三相电力线路的电压损失。图中, \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 分别为线路首、末端的相电压, V; i 为线路中的负荷电流, A; R 、 X 分别为线路自身的电阻、电抗, Ω ; 线段 oc 、 oa 分别表示电压 \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 的有效值, oc 是以 o 为圆心、以 ob 为半径画弧得到的; 线段 bd 为 b 点引到 oc 的垂线。

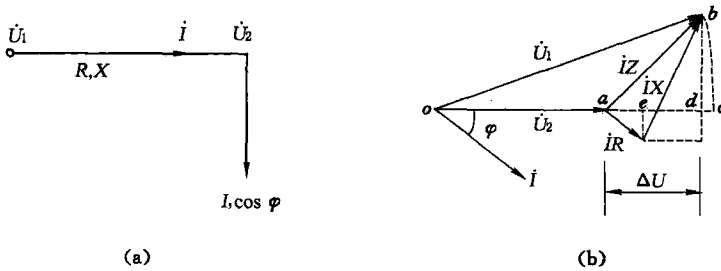


图 1-4 负荷集中在线路终端的电力线路的电压损失
(a) 线路图; (b) 矢量图

根据矢量图,可求得线路上的相电压损失为:

$$\begin{aligned} \Delta U_p &= U_1 - U_2 = oc - oa \approx od - oa = ae + ed \\ \Delta U_p &= IR \cos \varphi + IX \sin \varphi \end{aligned} \quad (1-1)$$

对于三相对称线路,其线电压损失为:

$$\Delta U_L = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (1-2)$$

若用负荷的功率表示,则相电压损失和线电压损失均可写成:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} \approx \frac{PR + QX}{U_N} \quad (1-3)$$

- 式中 P ——负荷的有功功率, W;
 Q ——负荷的无功功率, var;
 U ——负荷的端电压, V;
 U_N ——线路的额定电压, V。

若计算相电压损失,则式中的功率为单相功率,电压为相电压;若计算线电压损失,则式中的功率为三相功率,电压为线电压。式(1-3)适用于单相线路和三相线路电压损失的计算。

三、平均电压

电力线路在输电过程中,由于自身阻抗的存在,不仅首端和末端电压不等,实际上,线路上各处的电压都不一样,距离电源越远,电压越低。在供电设计尤其是在短路电流计算过程中,为了简化计算并使问题的处理在技术上合理,习惯上用线路的平均电压来表示电力网的电压。平均电压是指电力线路首端变压器的最大空载电压 U_1 和末端用电设备的额定电压 U_2 的平均值,用 U_{av} 表示,即

$$U_{av} = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad (1-4)$$

电力系统中各种常用标准电压等级的平均电压值见表 1-5。

表 1-5 常用标准电压等级的平均电压值 单位:kV

标准电压	0.127	0.22	0.38	0.66	3	6	10	35	110	220
平均电压	0.133	0.23	0.4	0.69	3.15	6.3	10.5	37	115	230

四、电压偏移

实际生产过程中,工矿企业用电负荷的大小是不断变化的。随着用电负荷的变化,电力线路中的电压损失也发生变化,使得用电设备实际获得的端电压偏离其额定电压而上下波动。电压偏移就是指用电设备的实际电压 U 与其额定电压 U_N 之差,常用占额定电压的百分比表示,即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-5)$$

电压偏移会影响用电设备的运行性能,必须进行限制。

第三节 矿山对供电系统的基本要求

工矿企业供电系统处于电力系统的末端,属于地方电力网的一部分,是电力系统的重要环节。供电系统由电气设备与电力线路按一定的接线方式组成,从电力系统取得电能,利用其变换、分配、输送、保护等功能,将电能安全、可靠、经济地送到每一个用电设备,并通过电气控制设备决定用电设备的运行状态。

矿山的供电电源一般取自电力系统中的变电所或发电厂,供电电压取决于企业规模的大小、供电距离的远近、电力系统的电压等级等因素,一般为 6~110 kV,大中型矿山多采用 35~110 kV 双电源供电。电源经企业内部 35~110 kV 总降压变电所降压后,以 6~10 kV 的高压向车间变电所、井下变电所、高压用电设备供电,此为高压供电系统;各 6~10 kV 变电所再次降压后,以各种低压向各用电设备供电,此为低压供电系统。

一、对供电系统的基本要求

(一) 供电安全

供电安全是指在电能的分配、输送、使用过程中,不发生人身触电事故和设备运行事故,不引起火灾和爆炸事故。煤矿井下的生产环境复杂,自然条件恶劣,尤其应当确保供电安全。

(二) 供电可靠

供电可靠就是要求供电不间断。对于有瓦斯、煤尘、涌水等恶劣条件的矿井而言,供电应绝对可靠。为保证供电的可靠性,应采用两个独立电源供电,同时,对设备和线路应经常进行监视、维护,定期进行试验、检修,保证其处于完好的运行状态。

(三) 供电质量

对于用户而言,良好的供电质量是指电压偏移不超过额定电压的 $\pm 5\%$,频率偏移不超过 $\pm (0.2 \sim 0.5)$ Hz,正弦交流的波形畸变极限值在 $3\% \sim 5\%$ 的允许范围之内。

(四) 供电经济

供电经济就是在确保供电安全、可靠,保证供电质量的前提下,尽量减少基本建设投资,降低系统运行费用,减少有色金属的消耗量。