

高等学校规划教材

供电技术

主 编 王崇林 邹有明
副主编 唐 轶 张 敏
参 编 牟龙华 王玉洁 郭风仪 孟祥忠

煤炭工业出版社

前 言

《供电技术》是煤炭系统“八五”规划教材,是煤炭高等学校自动化、电气技术、机电一体化等专业的通用教材,是根据 1996 年 6 月在徐州召开的供电技术教材讨论会制订的编写大纲编写的。

本书紧密联系工矿企业供电的实际情况,强调了供电理论的系统性,加强了基本理论和基本概念。编写过程中着重考虑到教材的通用性,以工矿企业 35kV 及以下供电系统的设计、运行、安全技术为重点,并充实了当前供电的新技术,如动态无功补偿、谐波抑制等。在后三章中系统阐述了煤矿井下安全供电的特殊问题,本教材注意理论性与实用性的统一,在短路电流一章中既介绍了标么制法和有名制法,又介绍了在工程实际中广泛使用的图表法和兆伏安法。本教材不仅可作为煤炭高等学校有关专业的供电教材,而且也可作为一般高等学校有关专业的供电教材。

编写时力求内容精炼,重点突出。每章均有习题与思考题并附有参考答案。

全书共十一章。焦作工学院邹有明编写第一、九章,中国矿业大学唐轶编写第二、八章,中国矿业大学王崇林编写第三章,辽宁工程技术大学郭凤仪编写第四章,华北矿业高等专科学校王玉洁编写第五、七章,中国矿业大学牟龙华编写第六章,山西矿业学院张敏编写第十章,山东矿业学院孟祥忠编写第十一章,全书由王崇林、邹有明任主编,唐轶、张敏任副主编。

山东矿业学院赖昌干、辽宁工程技术大学朱春林、淮南矿业学院孙明、西安矿业学院付周兴参加了编写大纲的讨论,并提出了许多宝贵意见,在此一并致以衷心的感谢。

编 者
1996.10

目 录

第一章 供电系统	1
第一节 电力系统	1
第二节 供电系统及结线方式	11
第三节 电网中性点运行方式	19
习题与思考题	25
第二章 负荷计算	27
第一节 负荷曲线	27
第二节 负荷计算的方法	32
第三节 企业负荷的确定与变压器选择	40
习题与思考题	49
第三章 短路电流	50
第一节 短路电流的基本概念	50
第二节 短路电流暂态过程	51
第三节 无限大容量电源供电系统三相短路电流计算	58
第四节 有限容量电源供电系统短路电流计算	75
第五节 大功率电动机对短路电流的影响	87
第六节 不对称短路计算	91
第七节 短路电流的电动力效应及热效应	103
习题与思考题	107
第四章 高压电器设备选择	111
第一节 开关电弧	111
第二节 电器设备选择的一般原则	115
第三节 高压开关设备的选择	116
第四节 母线及绝缘子选择	129
第五节 限流电抗器及选择	133
第六节 仪用互感器	135
习题与思考题	144
第五章 电力线路	146
第一节 电力线路概述	146
第二节 架空线路导线截面选择	149
第三节 电力电缆芯线截面选择计算	160
第四节 电力电缆安装运行与维护	164
习题与思考题	165
第六章 继电保护与自动装置	166
第一节 继电保护基础	166
第二节 电网相间短路的电流电压保护	178
第三节 电网相间短路的方向电流保护	188

第四节	电网的差动保护	195
第五节	小接地电流系统的单相接地保护	199
第六节	变压器保护	203
第七节	高压电动机的保护	215
第八节	电力电容器的保护	218
第九节	自动重合闸和备用电源自动投入装置	220
	习题与思考题	225
第七章	过电压及其保护	228
第一节	大气过电压	228
第二节	雷电冲击波沿导线的传播	231
第三节	防雷保护装置	237
第四节	变电所与线路的防雷	243
第五节	内部过电压	246
第六节	变电所的保护接地	249
	习题与思考题	250
第八章	企业用电的无功动态补偿及谐波抑制	251
第一节	谐波的危害及治理	251
第二节	电压波动的产生及动态无功补偿	259
	思考题	268
第九章	特殊条件下的安全供电	269
第一节	矿井井下对供电的要求	269
第二节	井下供电系统	278
第三节	静电的危害及防治	285
第四节	杂散电流的危害及防治	289
第五节	电火灾及其预防	293
	思考题	296
第十章	防爆原理与设备	297
第一节	防爆电气设备的类型及选择	297
第二节	防爆原理	303
第三节	矿井供电设备	328
第四节	矿用隔爆型磁力起动器及控制	353
	思考题	371
第十一章	井下三大保护	372
第一节	漏电保护	372
第二节	保护接地与接零	388
第三节	井下过流保护及整定计算	395
	习题与思考题	405
	参考文献	407

第一章 供电系统

供电系统是电力系统的一个重要环节,由电气设备及配电线路按一定的结线方式所组成;它从电力系统取得电能,通过其变换、分配、输送与保护等功能,将电能安全、可靠、经济地送到每一个用电设备的装设场所,并利用电气控制设备来决定用电设备的运行状态,最终使电能为国民经济和人民生活发挥巨大的作用。

第一节 电力系统

由发电厂、电力网与电能用户(电力负荷)所组成的整体,叫电力系统,它的任务是生产、变换、输送、分配与消费电能。在现代,电能的利用已远远超出作为机器动力的范围,电力工业已成为国民经济现代化的基础,世界上按人口平均的用电量,是反映一个国家现代化的主要指标之一。

一、电力系统

为了充分利用资源,国家在动力资源比较丰富的地方,建立发电厂,它是电力系统的核心。通过发电机把各种形式的能转变为电能,经升压变换后送入电力网,目前以火力发电厂和水力发电厂为主。

为了使供电可靠、经济、合理,几个大的发电厂或变电所之间,用超高压输电线路联接起来,再向城乡及工矿区供电,形成电力网。电力网起到输送、变换和分配电能的作用,由变电所和各种不同电压等级的电力线路组成,是联系发电厂和电能用户的中间环节。根据电压等级的高低,将电力网分成低压、高压、超高压和特高压等四种。电压在1kV以下的电网为低压电网;3~330kV的为高压电网;330~1000kV的为超高压电网;1000kV以上的为特高压电网。

典型的电力系统如图1-1所示,其中主要电气设备的图形符号见表1-1。

从发电厂发出的电能,除了供给附近用户直接配用电外,一般都经升压变电所将其变换为110kV及以上的高压或超高压电能,采用高电压进行电力传输。利用电力网中的大型枢纽变电所可向较远的城市和工矿区输送电力,在城郊或工业区再设降压变电所。将降压后的35~110kV电能配给附近的市内降压变电所或企业总降压变电所;对中小型电力用户,一般采用10kV供电,用户内设10kV变、配电所。

对于用电量较大的企业,例如大型化工企业、冶金联合企业、特大型矿井及铝厂等,我国已采用高压深入负荷中心的供电方式,用110kV直接供电,这对于减少电力网的电能损耗和电压损失,保证高质量的电力供应有重要意义。

变电所有升压和降压之分,根据它在电力网中所处的地位不同,又分为枢纽、地区、企业变电所及车间变电所等,主要由电力变压器和开关控制设备等组成。重要的变电所常设置两台及以上电力变压器,枢纽及地区变电所常设置两台及以上三绕组变压器,以提高供电的可靠性和适应不同用户的需要。

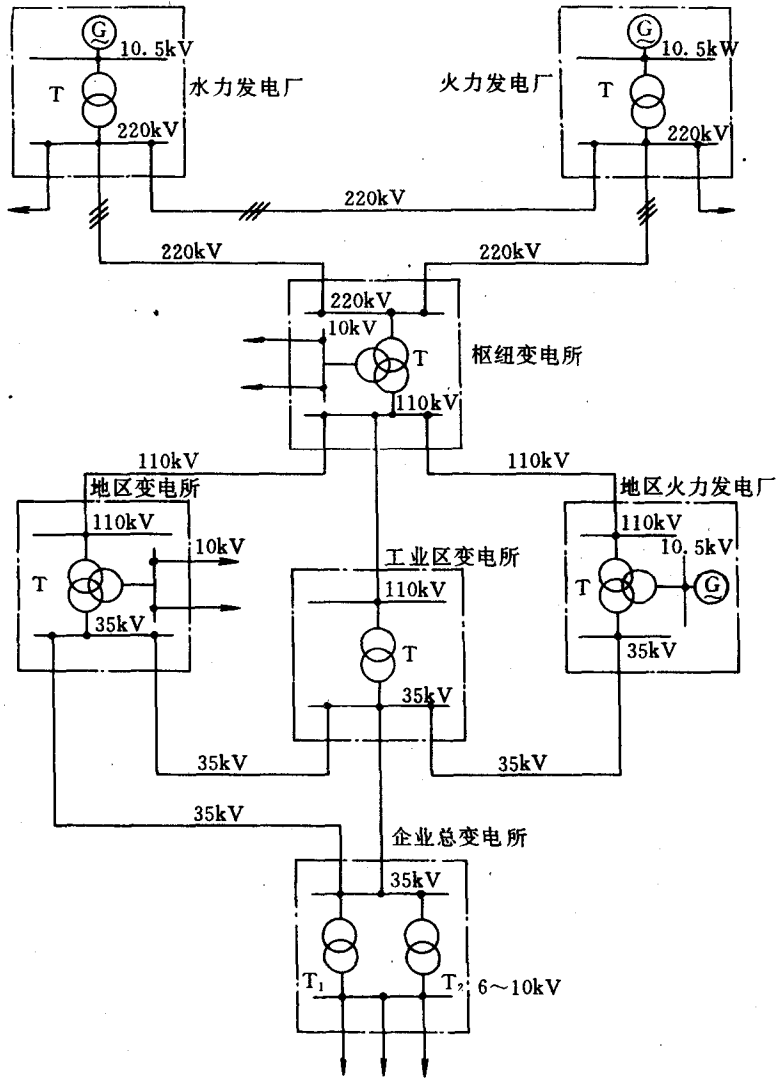

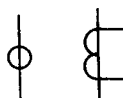

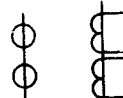



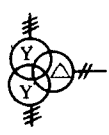








图 1-1 典型的电力系统

表 1-1 主要电气设备符号表

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
电力变压器 T(TM)		母线及母线引出线 W(WB)	

续表

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
断路器 Q(QF)		电流互感器(单次级) T(TA)	
负荷开关 Q(QL)		电流互感器(双次级) T(TA)	
隔离开关 Q(QS)		电压互感器(单相式) T(TV)	
熔断器 F(FU)		电压互感器 (三相三线圆式) 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	

续表

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
熔断器式开关 Q		电缆终端头 X	
交流发电机 G		架空线路 W(WL)	

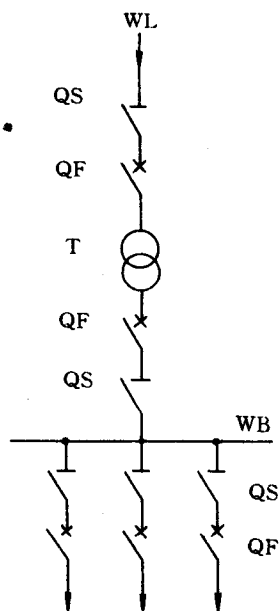


图 1-2 变电所的主要设备及符号

变电所中主要设备有变压器 T、母线 WB、断路器 QF、隔离开关 QS 等,如图 1-2 所示,其它还有保护和测量装置以及所用电操作电源等设备。母线是汇集受电电源和配出负荷线路的设备,常用的母线材料是钢芯铝绞线和矩形铝板。断路器用作线路主开关,有性能较好的灭弧装置,用来切、合负荷及事故电流,决定线路的运行状态。隔离开关因没有灭弧装置,不能切断负荷电流和事故(短路等)电流,故主要在检修等情况下用来隔离电源,通过其明显的断口结构,保证操作人员的安全。

二、电力负荷分级及对供电的要求

1. 电力负荷

电力负荷是电力系统中所有用电设备消耗功率的总和。对于某一用电单位,它所设置的用电设备包括电源线路都是电力负荷。用电设备可分为电动机、电热电炉、整流设备、照明及家用电器等若干类。在不同的行业中,各类用电设备所占总负荷的比例也不同。例如异步电动机在纺织工业中约占总负荷的 95%以上,在大型机械厂和综合性中小企业中则占 80%左右,对于矿山企业,异步电动机亦占 90%左右,电热电炉在钢铁工业中约占 70%;整流设备则在电解铝、电解铜等电化行业中约占 85%;同步电动机在化肥厂、焦化厂等企业约占 44%。

将各工业部门消耗的电功率与农业、交通运输业、通讯业和市政生活等所消耗的电功率相加即为电力系统的综合用电负荷,该负荷再加上电力网中损耗的功率就是系统中各发电

厂应提供的功率,称为电力系统的供电负荷。供电负荷再加上各发电厂本身消耗的功率——厂用电,就是系统中各发电机应发出的功率,称为电力系统的发电负荷。

2. 电力负荷分级及其对供电的要求

在用电单位中,各类负荷的运行特点和重要性不一样,它们对供电的可靠性和电能质量的要求程度也不相同。为了合理地选择供电电源及拟定供电系统,我国将电力负荷按其供电可靠性的要求不同划分为三个等级。

1) 一级负荷

这类负荷若供电突然中断将造成生命危险,或造成重大设备损坏且难以修复,或打乱复杂的生产过程并使大量产品报废,给国民经济带来极大损失。例如冶金企业的炉体冷却水泵、浇铸车间、连续轧钢生产线,矿山企业的主排水泵、主扇风机,化工企业的反应炉,建材行业的水泥回转窑,医院以及国家重要的铁路枢纽、通信枢纽、国防设施等均属于一级负荷。

特殊重要的一级负荷通常称为保安负荷。对保安负荷必须备有应急使用的可靠电源,以便当工作电源突然中断时,保证企业安全停产。

一级负荷要求由两个独立电源供电,对特殊重要的一级负荷,必须由两个独立电源供电。独立电源是指不受其它电源的影响与干扰的电源。具备下列两个条件的发电厂或变电所的不同母线段均属独立电源:

(1) 每段母线的电源来自不同的发电机,且以后的输、变、配电各环节又均为分列运行;

(2) 母线段之间无联系,或虽有联系但当其中一段母线发生故障时,能自动断开联系,不影响其余母线段继续供电。

如果企业只具有一个总降压变电所,则对企业内的一级负荷只能算是具有一个独立电源,只有具备两个及以上总降压变电所,或一个总降压变电所加一个自备发电厂时,对企业内的一级负荷才能保证有两个独立电源供电。

2) 二级负荷

这类负荷若突然断电,将造成生产设备局部损坏,或生产流程紊乱且恢复较困难,企业内部运输停顿,或出现大量废品或大量减产,因而在经济上造成一定的损失。这类负荷一般允许短时停电几分钟,它在工业企业中占的比例最大。

二级负荷应由两回线路供电,两回线路应尽可能引自不同的变压器或母线段。当取得两回线路确有困难时,允许由一回专用架空线路供电。

3) 三级负荷

凡不属于一、二级负荷的用电设备,均列为三级负荷。三级负荷对供电无特殊要求,允许较长时间停电,可用单回线路供电。

在大型工业企业中,一、二级负荷约占总负荷的60%以上,因此即使是短时停电所造成的损失也是很大的。此外,各级负荷不能孤立地看待,一个企业中只要有一个一级负荷,则该企业的总降压变电所对于上级供电部门来说就是一级负荷。在掌握了负荷分级及其对供电的要求后,在设计新建企业的供电系统时可以根据实际情况来进行方案的拟定和分析比较,使确定的供电方案在技术经济上最合理。

3. 用户对供电的基本要求

1) 保证供电安全可靠

安全是指不发生人身触电事故和因电气故障而引起的爆炸、火灾等重大灾害事故。尤其是在一些高粉尘、高湿、有易爆、有害气体的特殊环境中,为确保供电安全,必须采取防触电、防爆、防潮、抗腐蚀等一系列技术措施,正确选用电气设备、拟定供电方案,并设置可靠的继电保护,使之不易发生电气事故,一旦发生,也能迅速切断电源,防止事故的扩大并避免人员伤亡。

供电的可靠性是指供电系统不间断供电的可能程度。

为了保证供电系统的可靠性,必须保证系统中各电气设备、线路的可靠运行,为此应经常对设备、线路进行监视、维护,定期进行试验和检修,使之处于完好的运行状态。此外,对一、二级负荷采用两独立电源或双回路供电,则是最重要的设计措施之一。

2) 保证供电电能质量

对于用户,良好的电能质量是指电压偏移不超过额定值的 $\pm 5\%$,频率偏移不超过 $\pm 0.2 \sim 0.5\text{Hz}$,正弦交流的波形畸变极限值在 $3\% \sim 5\%$ 的允许范围之内。在电能的质量指标中,除频率一项用户本身不能控制外,其余两项指标都可以在供电部门和用户的共同努力下,采用各种技术措施加以改善并达到允许范围之内。

3) 保证供电系统的经济性

该项要求供电系统的一次投资要少,运行费用要低。在满足前两项要求的前提下,尽可能节约电能和减少有色金属的消耗量。

总之,要在保证安全可靠的前提下,使用户得到具有良好质量的电能,并且在保证技术经济合理的同时,使供电系统结构简单、操作灵活、便于安装和维护。

三、电力系统的电压

1. 额定电压

能使受电器(电动机、白炽灯等)、发电机、变压器等正常工作的电压,称为电气设备的额定电压。当电气设备按额定电压运行时,一般可使其技术性能和经济效果为最好。

2. 额定电压等级

电气设备的额定电压在我国已经统一标准化,发电机和用电设备的额定电压分成若干标准等级,电力系统的额定电压也与电气设备的额定电压相对应,它们统一组成了电力系统的标准电压等级。

标准电压等级是根据国民经济发展的需要,考虑技术经济上的合理性,以及电机、电器的制造技术水平和发展趋势等一系列因素而制定的。国家标准《GB156—80》规定的 3kV 以下的电气设备与系统(电力网)额定电压等级如表 1-2 所示; 3kV 及以上的设备与电力网额定电压和与其对应的设备最高电压如表 1-3 所示。 3kV 及以上的高压主要用于发电、配电及高压用电设备; 110kV 及以上高压与超高压主要用于远距离的电力输送。

在表 1-3 中,供电设备栏的额定电压为发电机和变压器二次绕组的额定电压;受电设备栏的额定电压为变压器一次绕组和用电设备的额定电压。国家标准规定,供电设备额定电压高出电网和受电设备额定电压 5% ,用以补偿正常负荷时的线路电压损失,从而使受电设备获得近于额定值的电压。

表 1-3 中的“设备最高电压”是根据设备的绝缘性能和一些其它有关性能(如变压器的磁化电流、电容器的损耗等)而确定的最高运行电压,通常不超过该级系统额定电压的 1.15 倍。

表 1-2 3kV 以下电气设备与系统的额定电压等级(V)

直 流		单相交流		三相交流	
受电设备	供电设备	受电设备	供电设备	受电设备	供电设备
1.5	1.5				
2	2				
3	3				
6	6	6	6		
12	12	12	12		
24	24	24	24		
36	36	36	36	36	36
		42	42	42	42
48	48				
60	60				
72	72				
110	115	100+	100+	100+	100+
		127*	133*	127*	127*
220	230	220	230	220/380	230/400
400▽,440	400▽,460			380/660	400/690
800▽	800▽				
1000▽	1000▽			1140**	1200**

注:1. 电气设备和电子设备分为供电设备和受电设备两大类,受电设备的额定电压也是系统的额定电压。

2. 直流电压为平均值,交流电压为有效值。

3. 在三相交流栏下,斜线“/”之上为相电压,斜线之下为线电压,无斜线者都是线电压。

4. 带“+”号者为只用于电压互感器、继电器等控制系统的电压,带“▽”号者为使用于单台供电的电压。

带“*”号者为只用于煤矿井下、热工仪表和机床控制系统的电压,带“**”号者只限于煤矿井下及特殊场合使用的电压。

表 1-3 三相交流 3kV 及以上的设备与系统的额定电压和与其对应的设备最高电压(kV)

受电设备与系统额定电压	供电设备额定电压	设备最高电压
3	3.15	3.5
6	6.3	6.9
10	10.5	11.5
	13.8*	
	15.75*	
	18*	
	20*	
35		40.5
60		69
110		126
220		252
330		363
500		550
750		

注:1. 对应于 750kV 的设备最高电压待定。

2. 带“*”号者只用作发电机电压。

电力变压器常接在电力系统的末端,相当于电网的负载,故规定其一次绕组额定电压与用电设备相同。当变压器离发电机很近时(如发电厂的升压变压器等),则规定其一次绕组的额定电压与发电机相同。同理,当变压器靠近用户,配电距离较近时,可选用二次绕组额定电压比用电设备额定电压高出 5% 的变压器;否则应选用二次绕组额定电压高出 10% 的变压器。电力变压器二次绕组额定电压均指空载电压,高出的 10% 电压用来补偿正常负载时变压器内部阻抗和线路阻抗所造成的电压损失。

电压等级的确定是否合理,直接影响供电系统设计的技术经济指标,因为电压等级的高低影响着有色金属消耗量、电能损耗、电压损失,建设投资费用以及企业今后的发展等。所以,电网及企业供电系统的电压等级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。

对于 110kV 及以下的配电线路,其送电容量与距离的关系可参考表 1-4。

表 1-4 各种电压线路送电容量与距离的参考值

电网电压 kV	架空线路		电缆线路	
	输送容量 MW	输送距离 km	输送容量 MW	输送距离 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		

在有总降压变电所(35~110kV 受电)的工矿企业中,经验证明当 6kV 用电设备的负荷占企业总负荷的 30%~40% 以上时,企业内部的高压配电电压采用 6kV 为宜。矿山企业的井下高压配电正在少量推广使用 10kV 级。

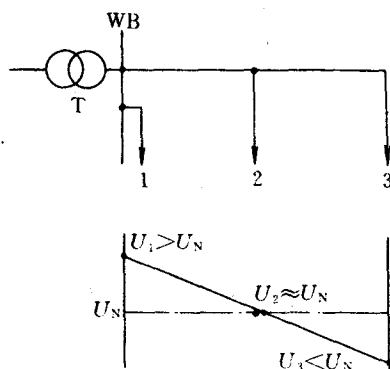


图 1-3 供电线路上电压的变化

3. 平均额定电压

在工程实际中,电网由始端到末端的各处电压是不一样的,离电源越远处的电压越低,并且随用户负荷的变化而变化。图 1-3 表示由一台变压器通过配电线路对三个用户供电,电网的额定电压为 U_N ,由于线路上有电压损失,必然出现 $U_1 > U_N$ 、 $U_3 < U_N$ 及 $U_2 \approx U_N$ 的情况,即该线路各处电压都不相等。在供电设计尤其是在短路电流计算时为了简化计算且使问题的处理在技术上合理,习惯上用线路的平均额定电压(U_{av})来表示电力网的电压。 U_{av} 是指电网始

端的最大电压(变压器最大空载电压)和末端受电设备额定电压的平均值,例如额定电压为10kV的电网,其平均额定电压为

$$U_{av} = \frac{11+10}{2} = 10.5\text{kV}$$

在电力系统中,各种标准电压等级的平均额定电压分别为:0.23,0.4,6.3,10.5,37,115,230kV等。

四、电压偏移及调整

1. 电压降与电压损失

当电流(或功率)在三相交流线路中流过时,线路上会产生电压降落。终端有一集中负荷的三相线路如图1-4所示,设各相负荷平衡,则可以终端相电压 U_2 为基准,作出一相的电压相量图。

图中始端电压 U_1 与终端电压 U_2 的相量差称为电压降,用 ΔU 表示。取 ΔU 在 U_2 水平方向的投影 ΔU 为电压降的水平分量, ΔU 在 U_2 垂直方向上的投影 θU 为电压降的垂直分量,则有

$$\Delta U = ab + bc = IR\cos\varphi + IX\sin\varphi$$

$$\theta U = ef - ce = IX\cos\varphi - IR\sin\varphi$$

因此该系统的电压关系式为

$$U_1 = U_2 + \Delta U = (U_2 + \Delta U) + j\theta U \quad (1-1)$$

或

$$U_1^2 = (U_2 + \Delta U)^2 + \theta U^2$$

$$= (U_2 + IR\cos\varphi + IX\sin\varphi)^2 + (IX\cos\varphi - IR\sin\varphi)^2 \quad (1-2)$$

若以功率的形式表示则为

$$U_1^2 = \left(U_2 + \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} \right)^2 + \left(\frac{PX}{U} - \frac{QR}{U} \right)^2 \quad (1-3)$$

式中 $P=UI\cos\varphi$; $Q=UI\sin\varphi$; U 为相电压。

公式(1-3)同样适用于三相对称系统,此时凡电压均为线电压,凡功率均为三相功率。

电压降两个分量的表达式分别为

$$\Delta U = \frac{PR+QX}{U} \quad (1-4)$$

$$\theta U = \frac{PX-QR}{U} \quad (1-5)$$

在工程实际中,特别是在工矿企业的供电系统中,一般只注重电压幅值的大小,而电压相角 θ 只在讨论系统稳定性时才予以重视。从图1-4b中可以看出,由于 θ 角很小, $ac \approx ag$,以 ac 代替 ag 所引起的误差一般达不到 ag 的5%,在实际应用中也是如此,这样,式(1-1)就简化为

$$U_1 = U_2 + \frac{PR+QX}{U} \quad (1-6)$$

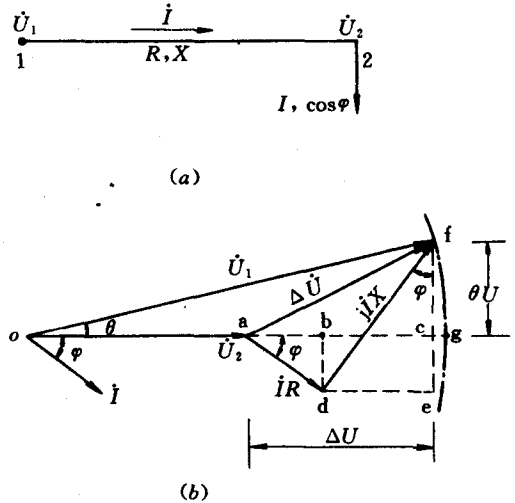


图1-4 计算线路上的电压降和电压损失
a-电路图;b-相量图

在高压供电系统中,线路电阻相对较小。如果忽略电阻的影响,即令 $R \approx 0$, 则式(1-6)可进一步简化为

$$U_1 = U_2 + \frac{QX}{U} \quad (1-7)$$

由式(1-4)、(1-5)可以得出,当 $R \approx 0$ 时,电压降的水平分量 ΔU 只与线路无功功率有关,电压降的垂直分量只与有功功率有关,这是高压电网的重要特点。所以,改善系统的无功功率分布,减少企业配电线路中的无功功率输送,可以减少系统电压降,提高企业供电系统的电压质量。

将上述电压降的概念推广,电压降即线路两端电压的相量差 $\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$, 而线路两端电压的幅值差 $\Delta U = U_1 - U_2$ 称为电压损失,它近似等于电压降的水平分量。电压损失常用它对额定电压 U_N 的百分比来表示,称为电压损失百分值。其表达式为

$$\Delta U \% = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100 \% \quad (1-8)$$

2. 电压偏移及危害

电力负荷的大小是变动的,当最大负荷时,电网内电压损失增大,使用电设备的端电压降低;反之则升高。因此,用电设备的端电压是随电力负荷的变化而变化的,这种缓慢变化的、实际电压 U 与额定电压之差称为电压偏移 δU , 即

$$\delta U = U - U_N \quad (1-9)$$

$\delta U > 0$ 为正偏移, $\delta U < 0$ 为负偏移。与电压损失一样,电压偏移一般也用它对额定电压的百分比来表示,称为电压偏移百分值。其表达式为

$$\delta U \% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100 \% \quad (1-10)$$

用电设备所受的实际电压若偏离其额定电压,运行特性即恶化。对于白炽灯,若在 $90\% U_N$ 下运行,其使用期限有所增加,但光通量降为额定电压时的 68% 左右;反之,在 $110\% U_N$ 下运行时,其光通量增加 40% ,但使用期限大大缩短。对于感应电动机,其转矩与电压的平方成正比,当电压降低 10% ,转矩则降低到 81% ,使电动机难以带负荷起动。电焊机的电压偏移也仅允许在有限的 $5\% \sim 10\%$ 范围内,否则将影响焊接质量。

按照《工业与民用供配电系统设计规范》(GBJ52 修订本)规定:正常运行情况下,用电设备端子处电压偏移的允许值为

电动机: $\pm 5\%$;

照明灯:一般工作场所 $\pm 5\%$;在视觉要求较高的室内场所 $+5\%、-2.5\%$;在远离变电所的小面积一般工作场所,难以满足上述要求时为 $+5\%、-10\%$;

其它无特殊规定的用电设备: $\pm 5\%$ 。

3. 电压调整措施

1) 正确选择供电变压器的变比和电压分接头

变压器一次线圈额定电压应合理选择,离电源很近的用户变压器可选用 10.5kV 或 6.3kV 的,离电源远的用户变压器则可选用 10kV 或 6kV , 以使其二次电压接近额定值。一般变压器高压侧电压分接头可调整的总范围是 10% , 可按 $\pm 5\%、\pm 2 \times 2.5\%$ 或 $+0\%、-2 \times 5\%$ 等制造,利用电压分接头改变变压器的变比,调整其二次线圈电压,保证用电设备的端电

压不超过允许值。

2) 合理减少供电系统的阻抗

系统阻抗是造成电压偏移的主要因素之一,合理选择导线及截面以减少系统阻抗,可在负荷变动的情况下使电压水平保持相对稳定。由于高压电缆的电抗远小于架空线,故在条件允许时,应采用电缆线路供电。

3) 均衡安排三相负荷

在设计和用电管理中应尽量使三相负荷平衡,三相负荷分布不均匀将产生不平衡电压,从而加大了电压偏移。

4) 采用有载调压变压器

利用有载调压变压器可以根据负荷的变动及供电电压的实际水平而实现有效的带负荷调压,在技术上有较大的优越性,但一般只应用于大型枢纽变电所,它可使一个地区内大部分用户的电压偏移符合规定。对于个别电压质量要求高的重要负荷,可考虑设置小型有载调压变压器作局部调压。

五、电力系统的运行特点

电能的生产、输送与消费是一个动态的工业生产过程,它与其它工业系统相比较有其明显的特点。例如供电中断会造成严重后果,其它行业则可以按计划轮休甚至停工;再如电力系统中的过渡过程非常迅速,容易产生过电压,损坏设备的绝缘,而其它行业则具有较大的机械惯性;还有电能目前尚不能大量储存,只能随产随用,只能输送和变换,不能直接库存。实际上是用户用多少电,发电机就发多少电,用户不断变化的用电量决定着发电机的欠负荷、满负荷和过负荷三种运行状态。因此,优化负荷分配、保持负荷平衡,对保证发电机的安全运行及提高整个电力系统的经济效益,有重要作用。

第二节 供电系统及结线方式

企业的受电电源,一般为电力系统中的地区或工业区变电所,受电电压为 6、10、35kV 不等,视企业的负荷大小、性质及上级变电所的供电电压而定。

大型且具有一、二级负荷的工矿企业常采用 35kV 双电源受电,总降压变电所与高压配电路按一定的结线方式联接,组成企业的 35/6~10kV 高压供电系统,为各车间及高压用电设备供电。各车间变电所与低压配电路按一定的结线方式,组成企业的(6~10)/0.4kV 低压供电系统。城市各单位及中小型一般企业,常采用 10kV 单电源受电。

一、对供电系统结线方式的要求

供电系统的结线应保证供电可靠,结线力求简单,操作方便,运行安全灵活,经济合理。

1. 供电可靠

应根据负荷等级的不同采取相应的结线方式来保证其不同的可靠性要求。不可片面强调供电可靠性而造成不应有的浪费。在设计时,不考虑双重事故。

2. 操作方便,运行灵活

供电系统的结线应保证工作人员在正常运行和发生事故时,便于操作和检修,以及运行灵活,倒闸方便。为此,应简化结线,减少供电层次和操作程序。

3. 经济合理

结线方式在满足生产要求和保证供电质量的前提下应力求简单,以减少设备投资和运用费用。提高经济性的有效措施之一就是高压线路尽量深入负荷中心。

4. 便于发展

结线方式应保证便于将来发展,同时能适应分期建设的需要。

二、供电系统的结线方式

供电系统的结线方式按网络结线布置方式可分为放射式、干线式、环式及两端供电式等结线系统;按其网络结线运行方式可分为开式和闭式网络结线系统;按对负荷供电可靠性的要求可分为无备用和有备用结线系统。在有备用结线系统中,其中一回路发生故障时,其余回路能保证全部供电的称为完全备用系统;如果只能保证对重要用户供电的,则称为不完全备用系统。备用系统的投入方式可分为手动投入,自动投入和经常投入等几种。

1. 无备用系统结线

无备用系统结线如图 1-5 所示,其中 a 为单回路放射式, b 为直接联接的干线式, c 为串联型干线式。

无备用系统结线简单、运行方便、易于发现故障;缺点是供电可靠性差。所以这种结线主要用于对三级负荷和一部分次要的二级负荷供电。

放射式的主要优点是供电线路独立,线路故障互不影响,易于实现自动化,停电机会少;继电保护简单,且易于整定,保护动作时间短。缺点是电源出线回路较多,设备和投资也多。

干线式的主要优点是线路总长度较短,造价较低,可节约有色金属;由于最大负荷一般不同时出现,系统中的电压波动和电能损失较小;电源出线回路数少,可节省设备。缺点是前段线路公用,增多了故障停电的可能性。串联型干线式因干线的进出侧均安装隔离开关,当发生事故时,可在找到故障点后,拉开相应的隔离开关继续供电,从而缩小停电范围。干线式结线为了有选择性地切除线路故障,各段需设置断路器和继电保护装置,使投资增加,而且保护整定时间增长,延长了故障的

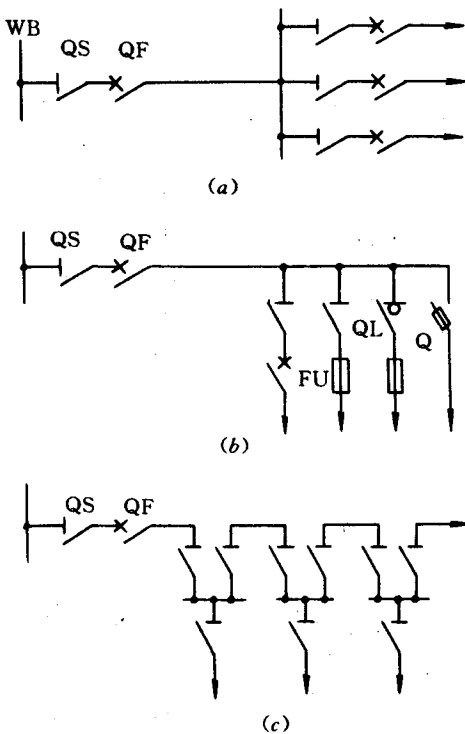


图 1-5 无备用系统结线

存在时间,增加了电气设备故障时的负担。

以上结线方式的优缺点,根据系统具体条件而有所不同。在确定供电系统结线方案时,主要取决于起主导作用的优缺点。

2. 有备用系统的结线

有备用系统的结线方式有双回路放射式,双回路干线式,环式和两端供电式等,如图 1-6~图 1-8 所示。

它们的主要优点是供电可靠性高,正常时供电电压质量好。但是设备多,投资大。

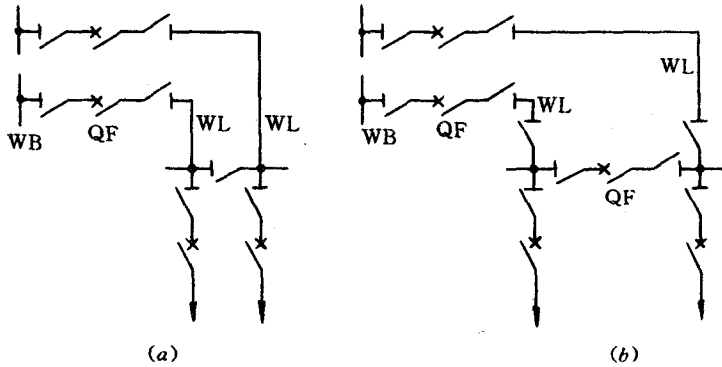


图 1-6 双回路放射式结线

1) 双回路放射式

由于每个用户用双回路供电,故线路总长度长,电源出线回路数和所用开关设备多,投资大;如果负荷不大,常会造成有色金属的浪费。优点是当双回路同时工作时,可减少线路上的功率损失和电压损失。这种结线适用于负荷大或独立的重要用户。

对于容量大,而且特别重要的用户,可采用图 1-6b 所示的母线用断路器分段的结线,从而可以实现自动切换,提高供电系统的可靠性。

2) 环式

环式结线系统所用设备少;各线路途径不同,不易同时发生故障,故可靠性较高且运行灵活;因负荷由两条线路负担,故负荷波动时电压比较稳定。缺点是故障时线路较长,电压损失大(特别是靠近电源附近段故障)。因环式线路的导线截面应按故障情况下能担负环网全部负荷考虑,所以有色金属消耗量增加(图 1-7),两个负荷大小相差越悬殊,其消耗就越大。故这种系统适于负荷容量相差不大,所处地位离电源都较远,而彼此较近及设备较贵的用户。

两端供电式网络和环式具有大致相同的特点,比较经济。但必须具有两个以上独立电源且与各负荷点的相对位置合适。

3) 双回路干线式

双回路干线式结线如图 1-8a 所示。它较双回路放射式线路短,比环式长,所需设备较放射式少,但继电保护较放射式复杂。

应该指出,供电系统的结线方式并不是一成不变的,可根据具体情况在基本类型结线的基础上进行改革演变,以期达到技术经济指标最为合理。如图 1-8b 为公共备用干线式结线,即为双回干线式的演变。

低压供电系统结线方式的基本类型与高压系统相似。

在大中型工矿企业供电系统中的有备用系统结线,一般多采用双回放射式或环式结线。

三、变电所的主结线

变电所的主结线是由各种电气设备(变压器、断路器、隔离开关等)及其连接线组成,用以接受和分配电能,是供电系统的组成部分。它与电源回路数、电压和负荷的大小、级别以及