

高等学校教学用书

煤矿供电

(修订本)

崔景岳 刘思沛 聂文龙 编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书为煤炭高等院校工业电气自动化专业《煤矿供电》课程的教材,是根据1982年新修订的教学大纲编写的。本教材以35kV以下矿山变电所的设计、运行问题为重点,并对井下供电及安全技术给予了足够的重视。全书共分八章,包括:矿山供电系统的接线及负荷计算,短路电流计算,变电所高、低压电器及其选择,继电保护与自动装置,矿山供电安全技术,架空线及电缆线路的选择,过电压及其保护采区供电设计及可靠性。

本书除供高等院校有关专业作教材外,还可供从事矿山供电设计及有关工程技术人员参考。

责任编辑:胡玉雁

高等学校教学用书

煤 矿 供 电

(修 订 本)

崔景岳 刘思沛 聂文龙 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京密云华都印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm¹/₁₆

印张28¹/₂

字数681千字 印数18,806—23,825

1988年4月第1版 1992年5月第3次印刷

ISBN 7-5020-0064-X/TD·62

书号 2976

定价 7.30元

前 言

《煤矿供电》自1980年出版以来，经过各院校使用，不少读者对书中存在的问题和错误提出许多宝贵意见。煤炭部电类教材编审委员会和教材编辑室于1982年7月在徐州召开了《煤矿供电》教材讨论会，对本教材修编提出了具体建议。原编者根据会议纪要的精神，对各章节进行了全面修改。

修编过程中，在保持原书理论系统性的同时，加强了基本理论和基本概念的阐述，并加强了井下供电的内容，如防爆原理、本质安全电路、漏电保护、采区供电计算等内容都得到充实，还增加了供电可靠性一节；调整了章节次序，将供电安全技术和采区供电两章放在全书最后，以便于安排教学；删减了与110kV供电有关的某些内容，如电网的距离保护，高频保护等节。还删去了电网的弧垂和应力计算一节，以及电子计算机在煤矿供电中的应用一章。

修编时力求内容精炼，重点突出，每章附有习题和思考题。

本书除作为矿山电气化自动化专业教材外，还可供矿山工程技术人员参考。

全书共分八章，山西矿业学院聂文龙副教授编写第一、八章；焦作矿业学院刘思沛教授编写第三、五、六章；崔景岳教授编写第二、四、七章，并担任主编。本书经中国矿业学院俞纯新教授审阅。在编写过程中各校有关教师及电类教材编审委员会都提出了很多宝贵意见；焦作矿业学院岳庆来、邹有明等同志帮助校阅了书稿和提供习题和思考题，在此一并致以衷心地感谢。

由于编者水平有限，书中错误与不当之处恳请读者批评指正。

编 者

一九八五年于焦作矿院

目 录

第一章 矿山供电系统及负荷计算	1
第一节 概述	1
第二节 矿山供电系统	6
第三节 变电所负荷计算	15
第四节 功率因数的改善	31
习题与思考题	34
第二章 短路电流	37
第一节 概述	37
第二节 短路电流暂态过程	39
第三节 无限容量供电系统三相短路电流计算	45
第四节 有限容量供电系统短路电流计算	60
第五节 负载的影响	72
第六节 不对称短路计算	75
第七节 短路电流的电动力效应及热效应	88
习题与思考题	93
第三章 变电所高压电器及其选择	97
第一节 概述	97
第二节 开关电弧	98
第三节 高压断路器及其操动机构	107
第四节 变电所主要电器的选择	120
第五节 高压断路器的选择	121
第六节 负荷开关和隔离开关的选择	124
第七节 高压熔断器的选择	126
第八节 变电所母线及绝缘子的选择	127
第九节 短路电流的限制及限流电抗器的选择	132
第十节 仪用互感器	135
第十一节 成套高压配电柜的选择	141
习题与思考题	141
第四章 继电保护与自动装置	143
第一节 概述	143
第二节 电网相间短路的电流电压保护	145
第三节 电网相间短路的方向电流保护	170
第四节 电网的差动保护	179
第五节 电力变压器的保护	183
第六节 高压电动机的保护	200
第七节 电力电容器的保护	204
第八节 电气设备的继电保护	206

第九节 自动重合闸和备用电源自动投入装置	210
习题与思考题	215
第五章 电力线路	218
第一节 概述	218
第二节 电力线路的结构	218
第三节 架空导线截面的选择	230
第四节 高压电缆截面的选择	240
习题与思考题	245
第六章 过电压及其保护	247
第一节 概述	247
第二节 大气过电压	247
第三节 防雷保护装置	265
第四节 变电所与线路的防雷措施	272
第五节 内部过电压	278
习题与思考题	287
第七章 矿山供电安全	289
第一节 概述	289
第二节 防爆原理	294
第三节 中性点接地方式	313
第四节 漏电保护	317
第五节 接地与接零	332
习题与思考题	343
第八章 采区供电	344
第一节 概述	344
第二节 采区供电设备	348
第三节 采区供电计算	385
第四节 采区供电系统的可靠性	423
习题与思考题	437
附录	439
附录1 35kV铝线电力变压器技术数据	439
附录2 6~10kV铝线电力变压器技术数据	439
附录3 矿用高压防爆配电装置技术数据	440
附录4 新系列矿用高压防爆配电装置技术数据	440
附录5 FB-6型负荷开关技术数据	440
附录6 KSGB型防爆变压器技术数据	441
附录7 DZKD型防爆馈电开关主要技术数据	441
附录8 防爆馈电开关主要技术数据	442
附录9 防爆磁力起动器主要技术数据	442
附录10 热继电器主要技术数据	443
附录11 DQBH和DQZBH系列起动器技术数据	443
附录12 QCKB30系列起动器技术数据	444
附录13 BZ80-2.5型电钻变压器综合装置技术数据	444

附录14	KSJ型矿用变压器技术数据	444
附录15	矿用橡胶电缆和铜芯聚氯乙烯电缆主要技术数据	445
附录16	常用采掘运机械电动机特性参数	446
附录17	防爆手动起动器主要技术数据	447
附录18	熔断器主要技术数据	447
参考文献		448

第一章 矿山供电系统及负荷计算

第一节 概 述

电力是现代化矿山企业的动力, 首先应该保证供电的可靠与安全, 并做到在技术和经济方面合理地满足矿井生产的需要。

一、矿山企业对供电的要求

矿山企业由于生产条件的特殊性, 对供电有如下要求:

1. 可靠性

矿山如果供电中断, 不仅会影响产量, 而且有可能发生人身事故或设备损坏, 严重时会造成矿井的破坏。为了保证对矿山供电的可靠性, 供电电源应采用两回独立电源线路, 它可以来自不同的变电所(或发电厂)或同一变电所的不同母线, 且电源线路上不得分接任何负荷。这样在一回电源发生故障的情况下, 仍应保证对生产用户的供电。

2. 安全性

由于矿山生产环境复杂, 自然条件恶劣, 供电设备易受损坏, 可能造成触电及电火花引起火灾和瓦斯煤尘爆炸等事故, 所以必须采取如防爆、防触电、过负荷及过电流保护等一系列的技术措施和制定相应的管理规程, 以确保供电的安全。

3. 技术合理性

在满足供电可靠与安全的前提下, 还应保证供电质量, 即供电技术合理。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 $\pm (0.2 \sim 0.5)\text{Hz}$ 。此外, 由于大功率整流和可控硅的应用使配电网中的谐波分量增加, 可能造成电力电容器过负荷, 严重时甚至造成事故。所以必要时应采取相应的技术措施以保证供电质量。

4. 经济性

在满足以上要求条件下, 应力求供电系统简单, 安装、运行操作方便, 使建设投资少和运行费用低。在进行方案比较时, 常出现投资少、年运行费用高或投资多、年运行费用少的情况。此时, 可用“折回年限”来衡量。折回年限为

$$N = \frac{Z_1 - Z_2}{F_2 - F_1} \quad (1-1)$$

式中 Z_1 、 Z_2 ——第一方案和第二方案的基建投资;

F_1 、 F_2 ——第一方案和第二方案的年运行费用, 其中包括折旧费、维护费、工资、基本电价费及电能损耗费等。

当计算折回年限小于折回年限基准值 N_j 时(N_j 未取得确切资料时一般可取5年), 应采用投资多的方案; 当计算折回年限大于基准值时, 应采用投资少的方案。

二、电力用户的分级

按照对供电可靠性的要求不同, 一般将电力用户分为三级, 以便在不同情况下区别对待。

1. 一级用户

凡突然停电会造成人身伤亡或设备损坏, 长期才能恢复生产或对国民经济带来很大损失者为一级用户。如矿山主扇风机, 分区扇风机与井下主排水泵及立井经常提人的提升机等。这类用户必须由两个独立电源供电, 无论是电力网在正常或事故时均应保证对它的供电。

2. 二级用户

凡突然停电会造成大量废品, 产量显著下降或企业内运输停顿, 在经济上造成较大损失者为二级用户。如煤矿集中提、运设备, 大型矿井地面空气压缩机, 井筒防冻设备, 抽放瓦斯设备以及向综采工作面供电的采区变电所等。对这类用户一般采用双回路供电或经方案对比确定。

3. 三级用户

凡不属于一、二级用户者, 均为三级用户。这类用户停电不直接影响生产, 对这类用户只设单一回路供电。因某种原因需要停电时, 三级用户是首先限电的对象。

三、电力系统的基本概念

为了充分利用国家资源, 在全国动力资源(水力资源或燃料等)比较丰富的地方, 建立发电站。为使供电可靠、经济、合理, 一般大型发电站将低压电能升压后, 直接或间接地经枢纽变电站向较远的城市或工矿区输送电力。在城郊或工矿区再设降压变电站(又叫区域或一次变电所), 将降压后的35~110kV电能配给附近的工矿企业内部的企业降压站, 如煤矿地面(总)降压站或市内的降压站(又称二次变电所)。区域变电所原则上应建立在企业的负荷中心或城市的负荷中心。我国已开始采用110kV电压直接深入企业的负荷中心, 向企业供电。

采用超高压、高压深入负荷中心的供电方式, 对于减少网络的电能损耗和电压损失, 保证供应充足的高质量电力具有十分重要的意义。

一般把发电机, 升压和降压变压器, 各种不同电压等级的输、配电线路及用户等组成的整体, 叫电力系统。变电站(所)与各种不同电压的线路组成的部分, 叫电力网。图1-1为一典型的电力系统单线原理接线图, 它包括电能的生产、输送和分配等几个主要环节。

电力系统为了提高供电的可靠性, 重要的变电所常采用两台或两台以上的主变压器, 如图1-1中的矿井地面变电所。为使系统清楚, 图中其它变电所没有画出全部变压器, 电网则常采用环形供电或双回路供电。

变电站(所)有升压、降压之分, 根据它在电力系统内所处的地位不同, 又分为区域、企业变电所及车间、采区变电所等。它主要由电力变压器和开关控制设备等组成。只有受电和配电开关等控制设备, 无主变压器者称为配电站。用来把交流电转换为直流电的称为变流所。

如图1-2所示, 变电所中主要设备有变压器B、母线M(汇流排)、断路器DL、隔离开关G等, 其它还设有保护和测量装置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。断路器是用来切、合正常及事故电流的设备。隔离开关因其没有灭弧装置, 不能切断负荷电流, 主要起隔离作用, 在检修等情况下隔离电源, 且有明显的断点, 以保证工作安全。

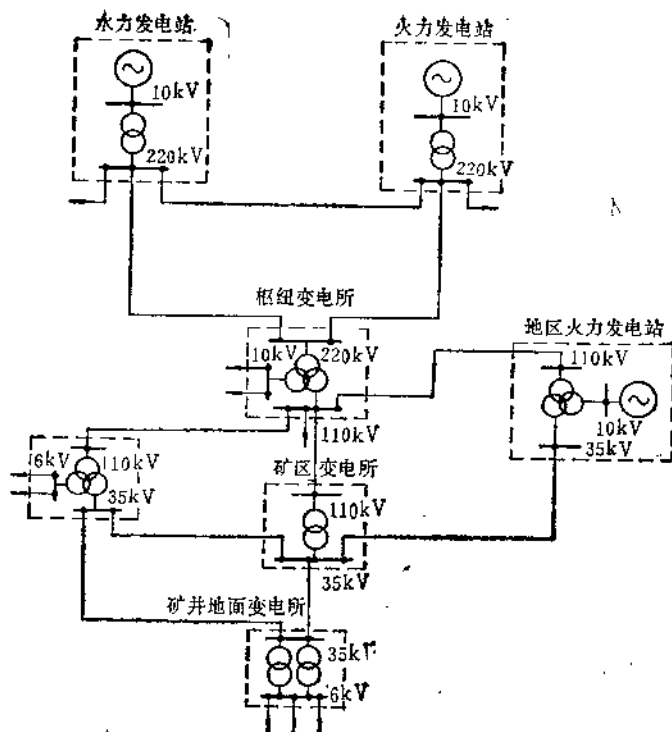


图 1-1 典型电力系统

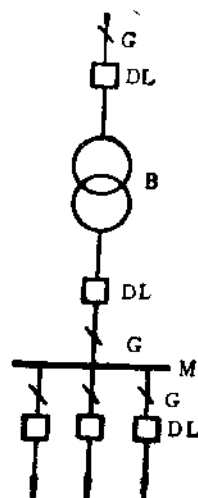


图 1-2 变电所主要设备符号

四、电力系统的电压等级

电气设备的额定电压（又称标称电压）是能使发电机、变压器和用电设备在正常运行时获得最佳技术经济效益的电压。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，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额定电压等级如表1-1所示。

3kV及以上高压主要用于发电、配电及高压用电设备；110kV及以上超高压主要用于较远距离的电力输送。目前，我国已建成500kV的超高压输电线路。

国家标准《GB156-80》规定的3kV及以上的设备与系统额定电压和与其对应的设备最高电压如表1-2所示。

表中供电设备额定电压为发电机和变压器二次的额定电压，受电设备的额定电压为变压器一次和受电设备的额定电压。供、受电设备额定电压是不完全一致的。国家标准规定供电设备额定电压高出系统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的电压。变压器常接在电力系统的末端，相当于系统的负载，故规定变压器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），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

表 1-1 额 定 电 压 (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 [*]	133 [*]
220	230	220	230	220/380	230/400
400▽, 440	400▽, 460			380/660	400/690
800▽	800▽			1140 ^{**}	1200 ^{**}
1000▽	1000▽				

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“**”号者只用于矿井下、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。

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; 否则应选用变压器二次绕组的额定电压高出电力网和用电设备额定电压10%的变压器, 因为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网路阻抗造成的电压损失。

由于煤矿生产条件特殊, 需要采用某些新的电压等级。目前矿山常用额定电压等级及用途如表1-3所示。

电压等级的确定是否合理, 将直接影响到供电系统设计的技术经济的合理性。因为电压的高低影响着电网有色金属消耗量、电能损耗、电压损失、建设投资费用以及企业今后的发展等。所以电网电压等级的选择一般应考虑多种方案, 进行技术经济比较后方能最后确定。方案比较时, 需要考虑的主要技术经济指标如下:

(1) 经济指标 主要包括基建投资(线路、变压器和开关设备等); 有色金属消耗量; 年电能损失费(包括线路及变压器的年电能损耗费)及年维修费等。

(2) 技术指标 主要包括电能质量、供电的可靠性, 配电的合理性及适应将来发展

表 1-2 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
63		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。

表 1-3 煤矿常用电压等级及用途

电 压 kV	用 途	备 注
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钻	
0.22	矿井地面照明	
0.25	电 机 车	直 流
0.38	地面低压动力及井下低压动力	现有小型煤矿井下使用
0.5	电 机 车	直 流
0.66	井下低压动力	
0.75	露天煤矿工业电机车	直 流
1.14	井下综合机械化采区动力	
1.5	露天煤矿工业电机车	直 流
3及6	井上、下高压电机及配电电压	
10	目前煤矿采用此种电压较少	
35及60	一般用于矿区配电电压或受电电压	
110	主要为矿区受电电压, 大型矿区也作配电电压	

的情况等。

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。

对35kV及以上单回路架空线路电压等级的确定也可参考A·STILL氏的经验公式计算。

$$U = 5.5 \sqrt{0.6l + \frac{P}{100}} \quad \text{kV} \quad (1-2)$$

式中 l ——线路长度, km,

P ——线路输送功率, kW。

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		

在有总降压变电站(35~110kV受电)的工矿企业里,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,企业内部配电电压采用6kV为适宜。

第二节 矿山供电系统

矿山的受电电源,一般来源于电力系统的区域变电站或发电站。送到矿山后再变、配给矿山的用户,组成矿山的供电系统。

矿山受电电压为6~110kV,视矿山井型及所在地区的电力系统的电压而定,一般为35~110kV的双电源受电。经总降压站以高压向车间、井下变电所及高压用电设备等配电,组成煤矿的高压供电系统。各变电所经变压器向低压用电设备配电,组成低压供电系统。

一、对供电系统结线方式的基本要求

矿山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. 供电可靠性

供电可靠性是指供电系统不间断供电的可靠程度。应根据负荷等级来保证其不同的可靠性。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,运行安全灵活

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,以及运行维护安全可靠。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行费用,以及提高供电安全性。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. 具有发展的可能性

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

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1-3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。

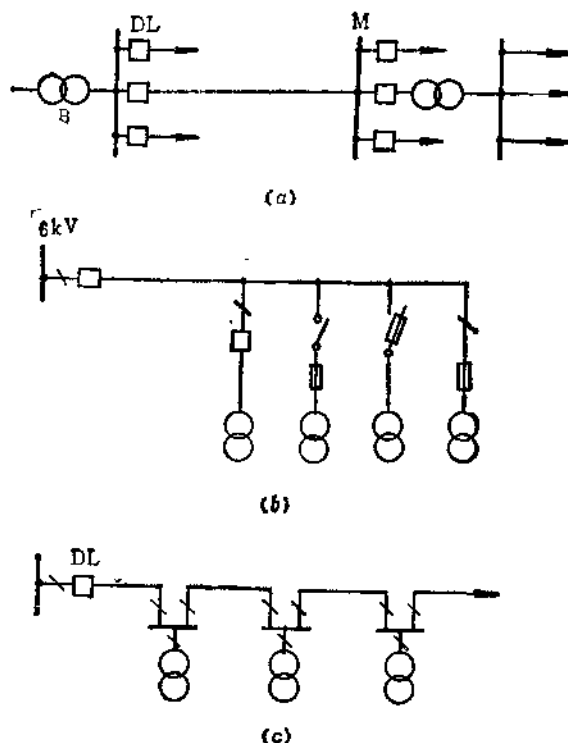


图 1-3 无备用系统结线

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，线路故障不互相影响，易于实现自动化，停电机少，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1-4~图1-6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。

(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孤立的重要用户。

对于容量大, 而且特别重要的用户, 可采用图1-4b所示的母线用断路器分段结线, 从而可以实现自动切换, 以提高供电的可靠性。

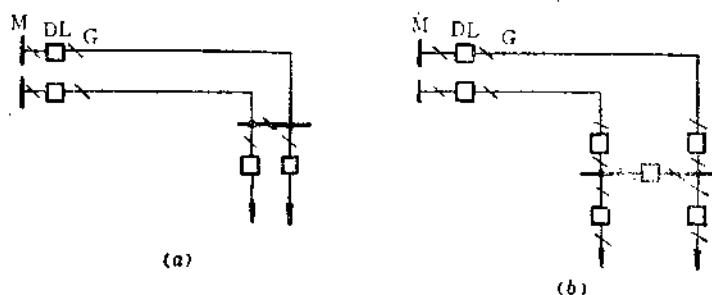


图 1-4 双回路放射式结线

(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1-5), 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情况。

环式结线平常可以开环运行 (或称联络式), 也可以闭环运行。但闭环运行继电保护较复杂, 因此一般采用开环运行方式。开环点选择在什么地方最合理, 判断的原则是使正常运行时, 两路干线所负担的容量尽可能相近, 所用导线截面相同; 或者将开环点设在较为重要的负荷处, 并在开环断路器上配装自动投入装置。

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1-6a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1-6b为公共备用干线式结线，即为双回干线式的演变。

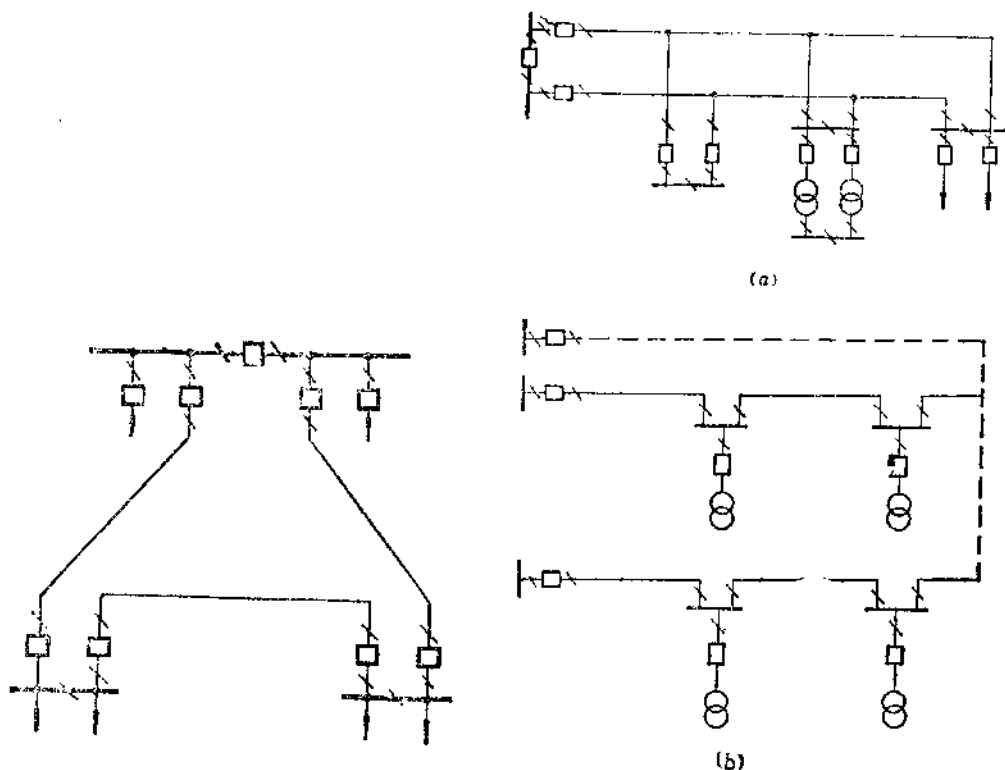


图 1-5 环式结线

图 1-6 双回干线式结线

低压供电系统结线方式的基本原理与高压网络相似，不再赘述。

在矿山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）及其连接线所组成的，用以接受和分配电能，是供电系统的组成部分。它与电源电路、电压和负荷的大小、级别以及变压器的台数、容量等因素有关，所以变电所的主结线有多种型式。确定变电所的主结线对变电所电气设备的选择、配电装置的布置及运行的可靠性与经济性等都有密切的关系，是变电所设计的重要任务之一。

1. 线路-变压器组结线

当供电电源只有一回线路，变电所装设单台变压器时，宜采用线路-变压器组结线，如图1-7所示。

变电所变压器的高压侧可以装设隔离开关G、高压熔断器RD或高压断路器DL受电，装设哪种设备合适视具体情况而定。

线路-变压器组结线方式的优点是结线简单，使用的设备少，基建投资省。缺点是供电的可靠性低，当供电线路、变压器及低压母线发生故障或高压设备检修时，全部负荷都

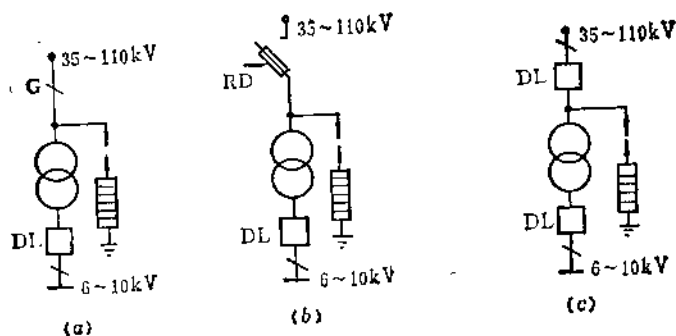


图 1-7 线路-变压器组接线

a—进线为隔离开关；b—进线为跌落式保险；c—进线为断路器

将停止供电。所以这种接线方式多用于二、三级负荷的变电所，如大型矿井的车间、变电所等。

2. 桥式接线

为了保证对一、二级负荷进行可靠供电，在企业变电所中广泛采用由两回电源线路受电和装设两台变压器的桥式主接线。桥式接线分为内桥、外桥和全桥三种，其接线如图 1-8 所示。

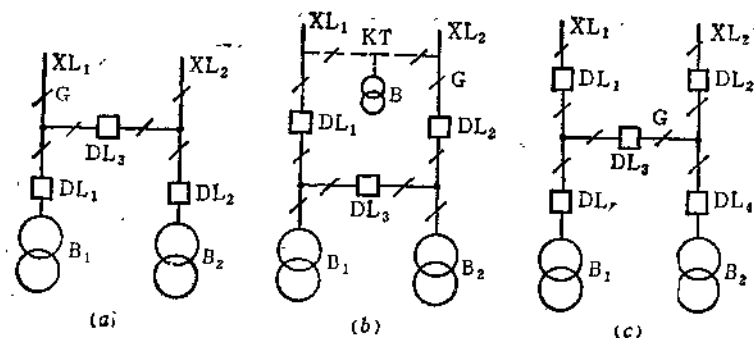


图 1-8 桥式接线

a—外桥接线；b—内桥接线；c—全桥接线

图中 XL_1 和 XL_2 为两回电源线路，经过断路器 DL_1 和 DL_2 分别接至变压器 B_1 和 B_2 的高压侧，向变电所供电。断路器 DL_3 犹如桥一样将两回线路连在一起，由于断路器 DL_3 可能位于线路断路器的内侧或外侧，故又分为内桥和外桥接线。

全桥接线适应性强，对线路、变压器的操作均方便，运行灵活，且易于扩展成单母线分段式的中间变电所（高压有穿越负荷时）。缺点是设备多、投资大，且变电所占地面积广。

外桥结线对变压器的切换方便，比内桥少两组隔离开关，继电保护简单，易于过渡到全桥或单母线分段的结线，且投资少，占地面积小。缺点是倒换线路时操作不方便，变电所一侧无线路保护。所以这种结线适用于进线短而倒闸次数少的变电所，或变压器采取经济运行需要经常切换的终端变电所。“双T”系统中分歧受电的变电所以及可能发展为有穿越负荷的变电所。

内桥结线一次侧可设线路保护，倒换线路时操作方便，设备投资与占地面积均较全桥少。缺点是操作变压器和扩建成全桥或单母线分段不如外桥方便。所以适用于进线距离长，变压器切换少的终端变电所。

对于内桥结线，为了在检修线路断路器 DL_1 或 DL_2 时不使供电中断，可在线路断路器的外侧增设由两组隔离开关构成的跨条(KT)，并且在跨条上联接所用电变压器，如图1-8b虚线所示。

主变压器一次绕组由隔离开关与母线联接，对环形供电的变电所，在操作时常被迫用隔离开关切、合空载变压器。当主变压器为：电压35kV，容量在7500kVA及以上；电压60kV，容量在10000kVA及以上；电压110kV，容量在31500kVA以上时，其空载电流超过了隔离开关的切、合能力。此时必须改用由五个断路器组成的全桥结线，如图1-8c。

3. 单母线分段式结线

有穿越负荷的两回电源进线的中间变电所，其受配电母线以及桥式结线变电所主变压器二次的配电母线，多采用单母线分段的结线方式，如图1-9所示。

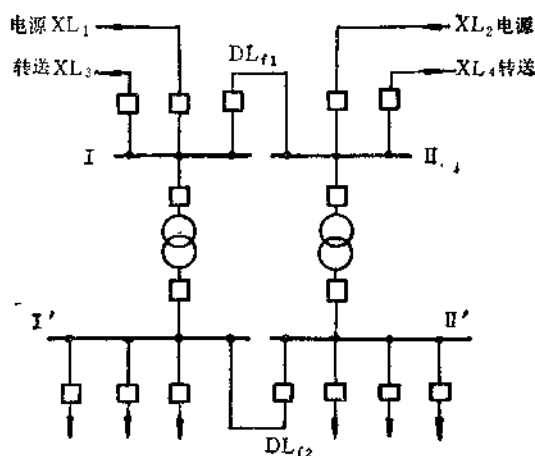


图 1-9 单母线分段主结线

当某回受电线路或变压器因故障及检修停止运行时，可通过母线分段断路器的联络，保证继续对两段母线上的重要负荷供电。所以多用于具有一、二级负荷，且进、出线较多的变电所。

母线分段使用断路器比用隔离开关操作方便、运行灵活，可实现自动切换提高供电的可靠性和连续性。只在出线较少，供电连续性要求不高时，为了经济才采用隔离开关作母