

前 言

这本“矿山电工”讲义是专门为我院采煤专业重新整编的。它的主要内容是井下供电系统；采区生产机械的电气控制和电气安全等。根据73年级结业实践的经验，整编中加强了采区供电设计的介绍，通过系统的例题，帮助学员思考有关方面的问题。在控制保护装置方面，也加强了基本理论，使知识学得更巩固。在总的方面，又增加了分析，以便于学员进行自学。

经过伟大的无产阶级文化大革命，我国的煤炭工业在采用新技术方面有了不少的进展。例如：动力载波在采煤机组控制上的应用，采区供电电压的提高等等，因而有关厂矿也生产和推广了很多新产品、新设备。从而大大提高了采煤工作面的机械化水平，改变了采煤工作面的生产面貌。原来的讲义对于这些新技术也有所反映。

当前在以华主席为首的党中央一举粉碎王张江姚“四人帮”伟大胜利的鼓舞下，全国煤炭工业学大庆赶开滦会议又向全国煤炭战线的同志们提出了艰巨而又光荣的新的战斗任务。全院革命师生都应在深揭猛批“四人帮”的战斗中，坚持教育革命，坚持又红又专的方向，把培养更多更好的有社会主义觉悟有文化的劳动者，为煤炭事业做出应有的贡献。

在整编过程中，得到采煤专业领导的关心和过去任课教师的大力

帮助。但是限于编者本身业务水平有限，对采煤生产又是一知半解，再加上时间仓促，想要做的工作也来不及彻底完成，所以一定会存在不少缺点和错误，欢迎广大工农兵学员、各厂矿的工人师傅们和教师同志踊跃提出宝贵意见，为进一步修改积累资料。

1977年3月21日

目 录

第一章 矿井供电.....	1
§ 1—1 矿井供电的特点.....	1
§ 1—2 供电设备.....	9
§ 1—3 采区变电所.....	32
§ 1—4 配电设备.....	34
第二章 矿用防爆磁力起动器.....	39
§ 2—1 QC83—80 型防爆磁力起动器....	41
§ 2—2 QC83—120 型防爆磁力起动器 QC83—220	57
§ 2—3 QC83—80N 型防爆磁力起动器...	60
§ 2—4 起动器的运行维护.....	61
§ 2—5 参考资料: 矿用隔爆兼安全火花型 磁力起动器.....	64
第三章 矿井生产机械的电气控制.....	74
§ 3—1 MLQ—80 型联合采煤机的控制系统.....	74
§ 3—2 QC83 系列防爆磁力起动器联合控制采 采煤机和运输机.....	76
§ 3—3 MBJ—1 型刨煤机组的控制.....	78
§ 3—4 动力载波在采煤机组控制上的应用.....	85
§ 3—5 运输机集中控制系统.....	99

第四章 采区供电设计.....	115
§ 4—1 采区变电所配置.....	115
§ 4—2 采区供电系统的拟定.....	117
§ 4—3 采区动力变压器容量和台数的确定.....	123
§ 4—4 选 电 缆.....	133
§ 4—5 起动验算.....	146
§ 4—6 高、低压开关的选择与整定.....	152
§ 4—7 绘制采区供电系统接线图.....	186
第五章 电气安全.....	191
§ 5—1 触电和预防触电的方法.....	191
§ 5—2 变压器中性点不接地系统.....	192
§ 5—3 保护接地.....	195
§ 5—4 漏电保护.....	199
§ 5—5 JY—82J 型漏电继电器.....	203
§ 5—6 127伏电网的漏电保护.....	210
§ 5—7 ZB81—127/20型电钻综合 保护控制器.....	212
附 表.....	219

第一章 矿井供电

§ 1—1 矿井供电的特点

煤矿生产，主要是井下作业。为保证井下生产的正常进行，必须有通风、排水、提升和照明等的保证。正是这些特点，决定了矿井供电的特殊性。

一、矿山企业对供电的要求

党的安全生产方针必须在我国社会主义生产中认真贯彻执行，这对于煤炭工业来讲更具有重要意义。不难想像，矿井主扇风机、主要排水泵等一旦中断了供电，将会造成何种严重局面。为此，矿山企业对供电的主要要求是供电的可靠性，即在任何情况下保证供电的不间断。此外因井下潮湿，空间狭窄，且有瓦斯和煤尘等，很容易发生触电、电火灾和瓦斯煤尘爆炸等危险，所以供电的安全性也十分重要。

其次对生产来讲要求电能质量好。用什么标准来衡量电能的质量呢？这决定于用电单位的具体情况，对矿山企业来讲，因为广泛使用三相异步电动机，由电工学已知，供电电压和电源频率对异步电动机的转矩和转速有重要影响（即 $M \propto U^2$ ， $n \propto f$ ），因此电能质量好的主要指标是电压和频率的稳定。

伟大的领袖和导师毛主席教导我们：“节约是社会主义经济的基本原则之一。”矿山企业如何在保证供电可靠、安全和电能质量好的基础上力求经济节约以降低煤炭成本呢？

在上述要求中，比如供电可靠和安全、保证电能质量好都需要增加投资，这与经济节约看起来又有矛盾。但是只要我们根据毛主席的教导捉住主要矛盾和“具体问题具体分析”的马克思主义原则办事就能得到合理解决。

如何保证电能质量好呢？

电源频率一般是不受用电户工作状态的影响，因为发电厂通常设有稳定电流频率的装置。关于电压波动，不仅与电厂有关，更主要的是决定于用电户的工作状态。发电厂一般都设有自动电压调整装置，保证其输出电压稳定。实践证明，供电线路导线截面偏小和生产机械的起动或发生短路事故等所造成大电流是产生供电电压波动的主要因素。只要供电系统中的过电流保护装置完备，合理选择电动机的起动方式，正确选择导线截面就能把电压波动限制在允许的范围内。有关这方面的具体问题，我们将在第四章内加以介绍。

如何保证供电的安全性呢？有关这方面的具体措施，我们将在本章第二节内加以介绍。

如何保证供电可靠性呢？

对矿山企业来讲，供电的可靠性与经济节约这对矛盾中，一般来讲前者是矛盾的主要方面，因为没有供电的可靠性就不能保证经济节约。总的原则是既要供电安全可靠又应力求经济合理，因此必须具体分析矿山企业内部各用电户的重要性，有区别地满足它们对供电可靠性的要求。

二、矿山用电户的分级

根据矿山用电户的重要程度，可分为三级。

第一级用电户：凡停电会造成人身伤亡或严重损坏设备长期不易恢复者属之。例如矿山主要扇风机，主排水泵以及提升机等，这些用电户要求任何情况下都能连续供电。为此对这级用户供电应有备用的电源（如变压器）和备用线路。

第二级用户：凡停电仅造成减产者属之，例如向采煤机械供电的采区变电所等。对此级用电户的供电，一般地不要备用电源（变压器）和备用线路。但是为了减少停电对生产的影响，应有库存的变压器和

电缆做后备。

第三级用电户：对生产没有直接影响的辅助车间（机修厂和木工厂）以及一些公用事业单位属之。对这级用电户的供电，更应从经济着眼，一律不设备用设备和线路。

三、矿井供电系统

矿井供电的电源，一般来自地区电力网，电力网一般不属于矿区而归水电部供电局管理。如果矿区附近没有电力网时，就应建立矿区电力网或建立地方发电厂，这种情况在建井时期可能遇到，甚至在边远地区建井初期既无电力网也无发电厂，而必须采用柴油发电机或列车发电站之类小功率电源向矿井供电，随着矿区的建成，交通和电力部门就会在矿区周围建立起铁路和电力网。

这里有必要把“电力网”的含义简要地说明一下。通常把发电厂、升降压变电所和各种不同电压等级的输电线路互相联接起来，向用户供电，这叫做电力系统。电力系统的一部份只包括变电所和各种不同电压等级的线路，称为电力网。电力系统和电力网的构成，是为了提高供电的可靠性，充分发挥地区内发电设备的潜力，比用单独的发电厂供电，有极大的优越性。

矿井引入电能的电压等级、也就是向矿井供电线路的电压是如何确定的？这是与供电线路所需要输送的功率及供电线路的长度（也就是供电距离）有关。线路电压的等级越高，它的供电距离也就比较大，所能输送的最大功率也就比较大。三者间的关系根据经验可以用表1—1说明。

电压等级与供电距离、输送功率的关系 表 1—1

线路电压 (千伏)	供电距离 (公里)	最大输送功率 (瓩)
6	3~10	2000
10	5~10	3000
35	20~50	2000~10000

表 1—1 所表明为什么是这样?可以从电工学中三相交流求功率的公式进行概略的分析。即： $P = \sqrt{3} U_{\text{线}} \cdot I_{\text{线}} \cdot \cos \varphi$ 当供电线路决定后（即导线的截面和长度不变时），允许通过的最大电流 $I_{\text{线}}$ 就受到限制，这时如果假定功率因数 $\cos \varphi$ 不变，要想加大输送的功率 P ，只有提高 $U_{\text{线}}$ 的电压等级。同样也可看出，如果供电线路加长（即线路的电阻和感抗增加），要想输送原来一样的功率 P ，因供电线路的允许电压损失有一定值，所以只有减小导线中通过的电流 $I_{\text{线}}$ ，即采取提高供电线路电压等级的办法。这个概念在矿井采区低压配电中，也要用到，所以应该逐步建立起来。

现在再回过头来研究矿井电源线路（即供电线路）电压等级决定的问题。矿井的用电功率与矿井年产量有关，大矿的用电设备多，所以需要的电功率也大。一般年产量在 90 万吨以上的矿井地面变电所，多由电力网引来 35 千伏进线。只有当矿井年产量较小，用电功率也较少，而矿井距电力网又近时，才采用 6 千伏进线。

图 1—1 是一个比较典型的矿井供电系统图，它能帮助我们了解矿井内部供电的全貌，其中也包括通常所采用各种电压等级。图中用一条线表示三相线路，这是习惯上的一种简化。图中只表示了导线之间的联接，除了少数如母线分段开关之外绝大部分开关都没有表示出来。

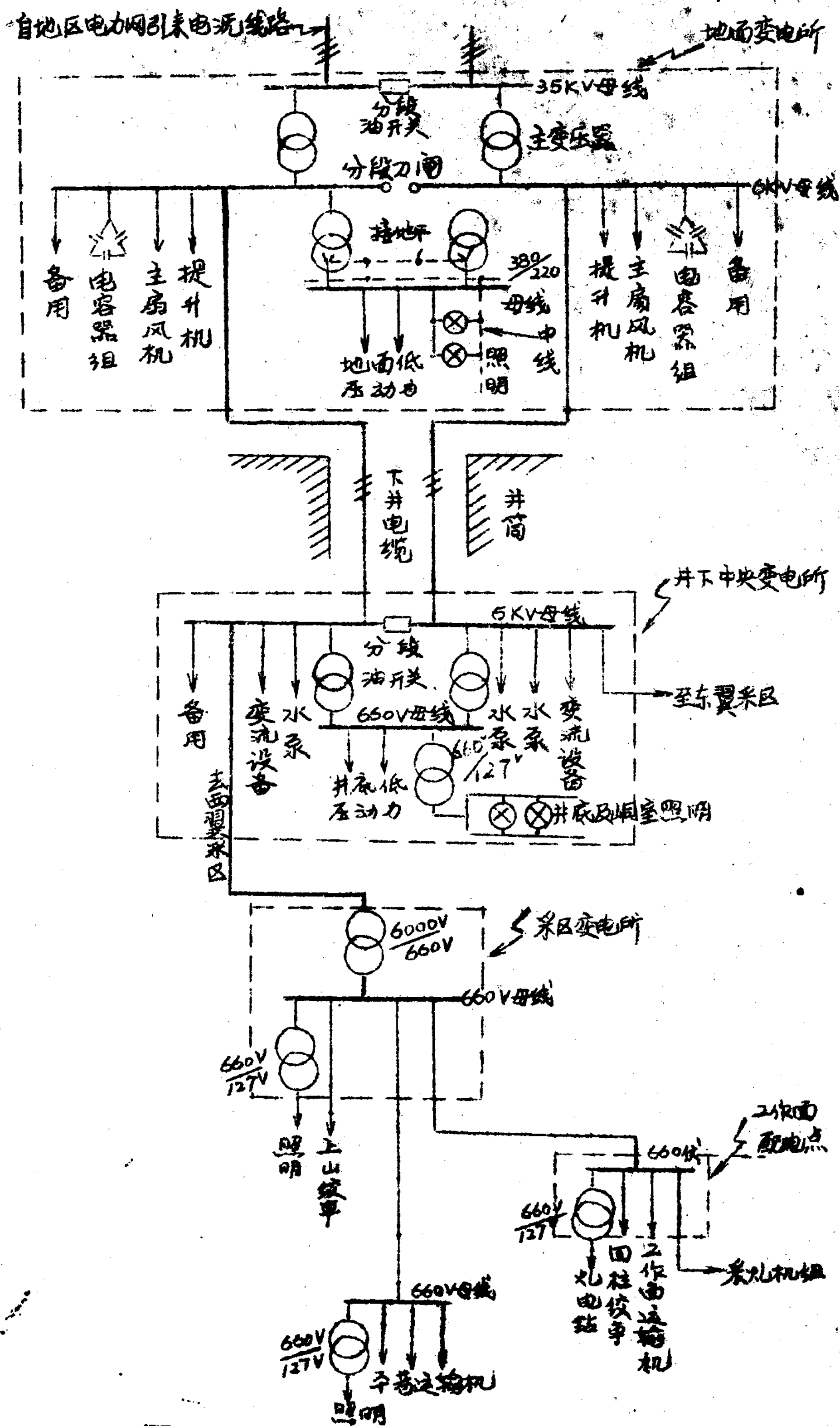


图 1 — 1 矿井供电系统图 (典型示例)

全图总的自上而下分为地面变电所、井下中央变电所和采区变电所以下三大部份。

地面变电所的作用是将电力网引来的 35 千伏高压电能降压到 6 千伏，然后分配给井上、下像主扇风机、提升机和主水泵等高压电动机的主要用户，再将 6 千伏电能降压到 380/220 伏分配给各地面低压动力和照明。（有时地面变电所也兼作 35 千伏或 6 千伏高压配电所，对附近的其他矿井、工厂或农村配电。因为不是主要任务，本系统图中没有标出）。地面低压动力采用 380 伏，照明采用 220 伏电压，这种三相四线制的供电方式可以用同一台三相降压变压器来解决，省去了专供照明的变压器所以比较经济。

井下中央变电所设在井底车场，将井上引来的 6 千伏电能分配到井底水泵房和各采区变电所等高压电用户，再将 6 千伏电能降到 660 伏分配给井底车场附近的低压动力。（目前有的矿井采区低压供电仍采用 380 伏，所以它们的井底车场低压也采用 380 伏）。

和地面照明供电不同，煤矿安全生产试行规程规定：井下照明，手持式电气设备（电钻等）的额定电压和电话信号装置的额定供电电压不得超过 127 伏。所以在井下中央变电所设有专门的照明变压器将 660 伏电能变成 127 伏向井底车场的巷道和峒室照明灯供电。

井下架线式电机车的电源采用 250 伏或 500 伏直流电。现在广泛采用硅整流器把交流变成直流，向电机车运输用的架空线路供电。当井下采用蓄电池式电机车时，也要由井下中央变电所向蓄电池组充电台的变流设备供电。

随着采煤机械化的发展，工作面机组用电量显著增加，采区和工作面长度也不断加大。所以近年来我国采区低压供电多改为 660 伏，将来可能还向 1140 伏发展，当然也有少数采区仍用 380 伏电压供电的。用 660 伏电压供电其技术经济效果是十分明显的：它增加了采

区低压电网供电的距离，减少了采区变电所迁移的次数，从而节省了峒室的开拓和维护费。因为正如前面提到过的，当输送的功率一定时，提高电压，通过电缆的电流必然减少。也可以选用较小截面的电缆，达到节省用铜量和橡胶原料的效果。关于采区变电所以下的有关问题，我们在本章第三节和第四章中还要专门进行讨论。

为了保证矿井供电的可靠，煤矿安全生产试行规程规定：每一矿井至少要有两回电源线路：三级和超级瓦斯矿井，要有两回专用的线路；一、二级瓦斯矿井至少要有两回专用的线路。矿井主变压器，必须不少于两台，当一台变压器发生故障或进行检修时，另一台能保证向全矿主要用电户供电。本供电系统图是满足了上述要求，而且每回电源线路和每台变压器都分别接到35千伏和6千伏分段母线的各一段上，进一步提高了全矿供电的可靠性。

为了保证对一级用户不间断的供电，所有一级用电户（提升机、主扇风机、和井下主排水泵等）必须用两回线路（和电源线路一样每回包括三相导线）供电，每回线路应分别接到分段母线的各一段上，两段母线之间用开关断开。当任一台变压器或任一段母线发生故障或进行检修时，由另一台变压器或另一段母线向一级用户供电。

由地面通过井筒送到井下中央变电所的电，至少要敷设两条（每条电缆有三根芯线），并且分别与母线两段之一连接。当任一条电缆发生故障时，另一条电缆应保证原有送电能力。最大涌水量季节，应保证两条电缆可以同时向井下供电，使备用主水泵机组也能投入运转。

改善全矿的功率因数对节电有重要意义。功率因数的意义及其提高方法，大家在电工学中已经有所了解。提高功率因数后能节省电能损耗和减轻电源负担。改善功率因数已经成为节约用电的重要措施。因此各矿均在地面变电所内设置静电电容器组来改善功率因数。

最后要特别说明，图1—1所介绍的矿井供电系统是根据大矿深

井的一般条件考虑的，至于在其他条件，应“按照实际情况决定工作方针”的原则分析，不要认为图1—1所介绍的是一成不变的，如矿小井浅时，由于负荷小距离近，也可以采用380伏低压电缆下井的办法；又譬如西南煤矿开采平峒较多，当开采上面的水平时，由于井下涌水可以顺水沟排出，井下中央变电所没有高压水泵负荷较小；但发展到开采平峒以下水平时，不但排水任务重，而且还有暗井提升绞车设在井下；另外又如采区远离井底车场，所采煤层埋藏又不深，采区附近又有风井或钻眼可利用时，也可从地面由架空线将高压电能送至采区相应的地面，再降压用电缆送至采区；当所采煤层埋藏较深时也可用高压电缆下井，至采区变电所再降压。总之，怎样规划具体矿井的供电系统，要全面体现社会主义企业对供电可靠和节约等各方面的要求，通过认真地技术经济比较，就能提出最符合实际情况的方案。

本节中提出许多新名词如电缆、母线等，有的我们有机会在后面章节介绍，这里就不再重复。有的名词含义有必要顺便加以说明，以便于同学自学。例如供电线路、电源线路和备用线路这三个名词有时是指同一具体的高架空线路，但从不同角度来分析又不能用同一名词来统一；从电力网的区域变电所看，向矿井送电的叫供电线路（线路更长，电压更高的也叫输电线路）；从矿井地面变电所看，送入电能的叫电源线路；当电源线路不止一回路时，有一回路检修，其余回路仍照常能供电的叫备用线路。又例如供电、配电两个名词也是经常遇见，它们的含义好像很相似，都是向用电户或用电设备送去电能，但又有所区别：供电往往是从电源的角度，向某变电所或某电动机供电；配电往往是从变电所母线或某条线路上总的方面看，把电能分配给每个用电户或电气设备。

§ 1—2 供 电 设 备

开关设备和电缆等统称为供电设备。矿井供电设备有什么特点呢？毛主席说：“每一物质的运动形式所具有的特殊的本质，为它自己的特殊的矛盾所规定”。矿井的生产条件决定了矿井电气设备的特点。矿井的客观条件又是怎样的呢？(1)巷道中空间狭窄，生产机械经常移动，所用电动机的负荷特别繁重。所以井下电气设备应该是体积小，功率大，保护完善，便于移动；(2)井下潮湿并有碎岩塌落爆破飞煤的危险；所以专门设计制成的“一般矿用型电气设备（外壳上铸有KY字样）”的外壳很结实，有很好的防潮性，在井下运转中能保持良好的绝缘。(3)为了防止瓦斯和煤尘发生爆炸的危险，专门设计制成的矿用电气设备还有矿用安全型”，“矿用安全火花型”和“矿用防爆型”三种。煤矿安全生产试行规程中规定了各种矿用电气设备的使用范围，现将主要内容列表（见表1—2）介绍于后。

应该加以补充说明的是，一般矿用型电气设备实际上国内生产的少，据了解只有照明灯和矿用电力变压器两种。当然并不是生产技术不够，而是因为可以用非矿用电气设备代替，故减少了生产的品种。

矿用安全型电气设备（外壳上铸有KA字样标记）的构造，除符合一般矿用型电气设备的条件外，正常运行状态时发生火花的部份（如电动机的滑环部分）要有防爆措施。对正常运行状态时不发生火花部分的温度，应限制在允许温度范围内（所用绝缘等级比容许温升降低 10°C 使用）。矿用安全型电气设备所生产的种类也不多，主要是照明灯和绕线型异步电动机两种。但因它缩小了防爆外壳，使电气设备的重量和价格都显著降低。这就是它的主要优点。

在有瓦斯或煤尘爆炸危险的矿井中，除表中所列规程允许的范围

煤矿安全生产试行规程规定各种矿用电气设备的适用范围一览表

表 1—2

电 气 设 备 的 安 装 使 用 地 点			电 气 设 备 的 种 类			
			固定式的	电话机, 信号装置 和自动闭锁装置	照明灯	移动式的
无 瓦 斯 矿 井						
瓦 斯 矿	一 级	无瓦斯喷出的井底车场和主要进风巷道, 使用架线电机车运输的巷道中及沿该巷道的主要机电硐室	可以采用一般矿用型(即KY)的。 但国内尚未生产一般矿用型设备以前, 经省(区)管理局批准, 允许使用普通型(即非矿用型)的电气设备			
	二 级					
	三 级					
	超 级					
	一 级	采区进风巷道	可以采用矿用安全型(即KA)		可以采用矿用安全型(即KA)	
	二 级					
	三 级					
	超 级					
	一 级	工作面顺槽及回风巷中	必须采用矿用防爆型(即KB)			
	二 级					
	三 级					
	超 级					
开采有瓦斯和瓦斯突出危险的矿井(属于超级瓦斯矿)			或安全火花型(KH)的。普通型携带式测量仪表(如电 压、电流、功率表), 只准在沼气浓度1%以下的, 地点使用。			

电话机、信号装置和自动闭锁装置)都必须采用矿用防爆型(外壳标志KB)或矿用安全火花型的(外壳标志KH)。这两种矿用电气设备在煤矿中最广泛使用,说明它们在预防瓦斯煤尘自然灾害中所起的重要作用,所以我们必须作为重点来研究。研究防爆原理必须先研究引起瓦斯和煤尘爆炸的因素和防止瓦斯和煤尘点燃的方法。

一、电气设备防爆的原理

首先分析矿井瓦斯和煤尘爆炸的条件

试验证明:矿井瓦斯成分主要是甲烷(CH_4),它发生爆炸取决于两个因素:瓦斯浓度和点火温度。前者是爆炸的内因,后者是外部条件。大量地试验证明:空中甲烷含量5%至16%时,在点火温度(650°C 至 750°C)下能引起爆炸;而当空气中甲烷含量为9.5%时,最容易爆炸,爆炸压力也最大,接近8个大气压。由于爆炸产生很大压力,对人的生命和生产设备以至整个矿井都有强裂的破坏力。

井下煤尘当粒度在0.75—1毫米范围内,挥发分指数超过10%,空气中含量达到30—3000克/米³时,遇到 700°C — 800°C 的点燃温度,就能爆炸。它爆炸时产生大量有毒的一氧化碳。如果巷道中同时有瓦斯存在,那么这种煤尘的爆炸性就更为严重。

为了避免引起爆炸应从两方面解决这个问题:(1)加强通风,经常检查瓦斯情况,任何工作地点发现瓦斯浓度达到1%~2%时,必须停止机器,切断电源,撤出人员进行处理;(2)有煤尘爆炸危险的矿井,应制订以预防为主的综合防尘措施和煤尘管理制度。产生煤尘的地点,必须采取喷雾、洒水、煤层注水,水炮泥等措施并且对巷道定期清扫浮煤、冲洗煤尘,刷浆或安装岩粉棚,迫使煤尘降落。使瓦斯和煤尘不会集聚到可能爆炸的浓度,这是一方面的工作,力求发生爆炸的可能性降到最小。

另一方面要限制点火温度出现的可能。“在这里条件是重要的。

没有一定的条件，斗争着的双方都不会转化。”点火温度的能量，来源于许多方面，例如禁止携入矿井的火柴所引起的明火，导线接头不良或大电流通过导体引起高温及电路断开时产生的电弧或电火花等等。电缆线路引起的两种点火温度，一般可以用严格检修制度，正确选择导线截面和设置继电保护装置来消除。电气设备内产生的电弧或电火花，是在运行过程中不可避免要发生的，只有从本身设计上想办法。如能限制电气设备中电火花能量（火花能量与电压和电流成正比）低于点燃瓦斯或煤尘所需要的最小能量，则该电气设备在井下运用中就不能点燃瓦斯或煤尘使其爆炸。这种电火花称为安全火花型电气设备。试验证明：不能点燃瓦斯的电火花能量是很小的，根据电路元件的性质有所不同。其数值不准大于表1—3中所列的数值。安全火花型电路目前只用于井下信号，仪表和生产机械的控制线路和保护线路。随着电子技术在煤矿的应用不断发展，安全火花型电气设备也会多起来。

表 1 — 3

参 数 电 路		电 压 (伏)	电 流 (安)
电 阻		24	5.00
电 感	100 毫亨	24	0.16
电 容	10 微法	46	0.10

对矿井动力设备很难做成安全火花型的，而是采用隔爆方法。因为瓦斯爆炸时产生一定的压力，如果将电气设备的外壳做成足够的强度，使外壳内部因电火花引起瓦斯爆炸时，不能损坏外壳，也不能引起外部瓦斯爆炸，即可实现电气设备的隔爆性。外壳的隔爆性能与外壳的结构和材质有关。

1. 外壳的强度

试验证明，瓦斯爆炸产生的压力约 3 个大气压。但外壳不能做成密闭的，总是有间隙的。因此当内部瓦斯爆炸时总有一部份气体外泄而降低了爆炸压力，也是一个优点。外壳的体积越小，它总的泄气面积和散热面积也小，但它的单位体积占的泄气面积和散热面积比大体积的外壳为大，所以小体积的外壳，应承受的压力就减小了。外壳的耐压强度与外壳内腔的净容积的关系见表 1—4。

表 1—4

空腔净容积 (公升)	小于 0.5	0.5 ~ 2	大于 2
耐压 (公斤/厘米 ²)	3	6	8

防爆外壳在出厂时需经过水压试验。加压时间不得少于一分钟。

2. 隔爆接合面的长度与间隙

试验证明，电气设备外壳的隔爆性与接合面的宽度，间隙和加工的光洁度等因素有关。例如图 1—2 隔爆结合面图中，若外壳的空腔大于两公升，则只有当结合面宽度 b 大

于 25 毫米，间隙 δ 不大于 0.5 毫米，在保证的加工光洁度 ($\nabla 5$) 条件下，才具有隔爆作用。外壳内部发生瓦斯爆炸时，火焰由接合面喷出，如果间隙 δ 够小，火焰就不会直接喷出壳外，

只要火焰进出的路径 b 足够长，就可使喷出的气体散热降温，到了壳外时

气体温度已低于瓦斯点燃温度，不能引起外部瓦斯爆炸。

由于结合面的种类不同，保证隔爆性所要求的间隙 δ ，加工光洁度和净容积不同时所要求的有效结合面长度 b 也不一样，现从表 1—5 中可以看出。

隔爆接合面

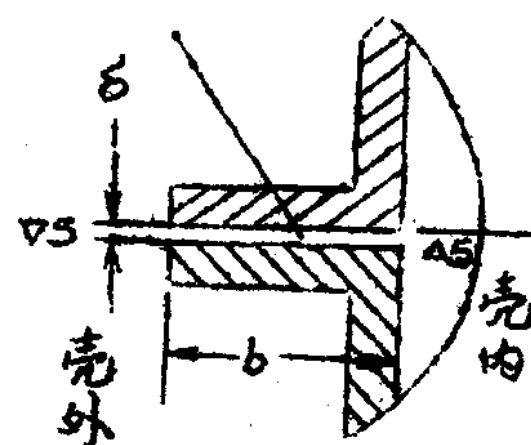


图 1—2 隔爆接合面图

b — 宽度； δ — 间隙