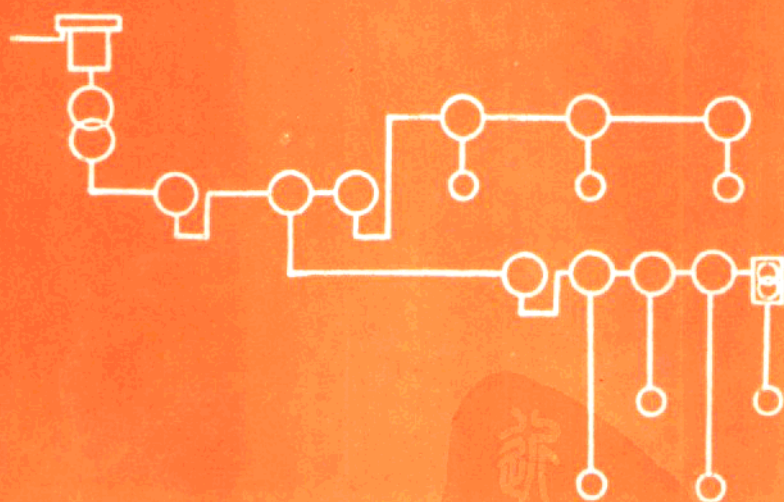




煤矿技工学校通用教材

矿井供电

(修订本)



煤炭工业出版社

TD61

L-416 b

煤矿技工学校通用教材

矿井供电

(修订本)

李景恩 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书共分八章,内容包括:矿井供电系统及其负荷计算,地面高低压电器,继电保护装置、供电线路,煤矿供电安全技术,过电压及其保护,井下供电设备及控制电器和采区供电。其中,对矿井供电系统及其负荷计算、井上下供电设备及控制电器、架空线路和电缆敷设以及继电保护、供电安全技术等内容作了详细介绍。

本书为全国煤矿技术学校通用教材,亦可供矿山职工培训和工人自学使用。

煤 矿 技 工 学 校 通 用 教 材

矿 井 供 电

(修 订 本)

李 景 恩 编

责任编辑:翟 刚

煤炭工业出版社 出版

(北京发行所外郎胡同21号)

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/16}$ 印张 $24^{3/4}$ 插页 1

字数 593 千字 印数 1—6,255

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 7-5020-1309-1/TD611

书号 4077 定价 28.00 元

前 言

为了适应煤矿技工学校教学改革的需要，加速技工人才的培养，促进煤炭工业现代化生产建设的发展和技术进步，全国煤矿教材编审委员会于1989年召开了第二次全体会议，确定以“七五”教材建设为基础，按照“补齐、配套、完善、提高”，突出基本理论、基本知识教学和基本技能训练的原则，编制了“八五”技工教材建设规划。这套教材包括：《机械制图》、《综采工作面采煤机》、《煤矿开采方法》、《机械化掘进工艺》、《矿井地质》、《矿山测量》等共计70余种，将陆续出版发行。

这套教材主要适用于全国煤矿技工学校教学，也适合具有初中文化水平的工人自学和工程技术人员参考。

《矿井供电》是这套教材中的一种，是根据“八五”期间全国煤矿技工学校统一教学计划和大纲编写的，并由全国煤矿技工教材编审委员会组织审定和认可，是全国煤矿技工学校和在职培训的必备教材。

该教材由阜新煤矿技工学校李景恩同志主编，阳泉矿务局安全培训中心吴信祥同志主审。另外，部分技校的有关教师和工程技术人员参加了审定工作，全国煤矿技工教材编审委员会的有关人员具体组织并参加了审定工作。

由于时间仓促，经验不足，书中难免有不当之处，请用书单位和读者批评指正。

全国煤矿技工学校教材编委会

1996年7月9日

ABE3 1/05

目 录

第一章 矿井供电系统及其负荷计算	1
第一节 概述	1
第二节 煤矿供电系统	4
第三节 电力负荷计算与变压器容量选择	13
第四节 功率因数的改善	21
习题与思考题	24
第二章 地面高低压电器	26
第一节 短路故障分析	26
第二节 开关电弧	43
第三节 高压隔离开关及其操作机构	48
第四节 高压负荷开关	50
第五节 断路器及其操作机构	51
第六节 高压熔断器	67
第七节 互感器	71
第八节 母线及绝缘子	78
第九节 并联电容器	80
第十节 高压成套配电装置	85
第十一节 高压电器的选择	87
第十二节 低压闸刀开关及熔断器	91
第十三节 磁力起动器	97
第十四节 自动空气开关	108
第十五节 低压成套配电装置	111
第十六节 低压电器的选择	114
习题与思考题	116
第三章 继电保护装置	121
第一节 概述	121
第二节 常用继电器	126
第三节 保护装置的接线方式	139
第四节 供电线路保护	143
第五节 电力变压器保护	156
第六节 电动机的保护	174
第七节 供电系统二次回路原理展开图和安装图	176
习题与思考题	183
第四章 供电线路	185
第一节 电力线路	185
第二节 导体截面的选择	206
习题与思考题	220

第五章 煤矿供电安全技术	228
第一节 井下电气设备的工作条件及类型	228
第二节 电气设备的防爆原理	231
第三节 变压器中性点接地方式	236
第四节 漏电保护	244
第五节 接地和接零	256
习题与思考题	264
第六章 过电压及其保护	266
第一节 大气过电压	266
第二节 内部过电压	277
习题与思考题	284
第七章 井下供电设备及控制电器	285
第一节 矿用高压配电设备	285
第二节 矿用变压器	296
第三节 矿用隔爆低压馈电开关	297
第四节 矿用隔爆型磁力起动器	305
第五节 煤电钻变压器综合保护装置	329
习题与思考题	331
第八章 采区供电	333
第一节 概述	333
第二节 采区供电计算	335
习题与思考题	353
附录	354

第一章 矿井供电系统及其负荷计算

第一节 概 述

一、电力系统的基本概念

电能可以远距离输送给各种用户，又可以方便地转化为其它各种形式的能量（如机械能、热能、声能、光能和化学能等），再加以使用时易于操作和控制等特点，所以它已经广泛地应用于工农业生产、科学研究、国防、交通和人民生活之中，现已成为现代化生产不可缺少的动力来源。

电能以功率形式表达时，俗称电力。电力由各种形式的发电厂产生，经过输送、变换和分配到达分散的电能用户，这个由生产—传输—分配—消费组成的有机整体，叫做电力系统，如图 1-1 所示。

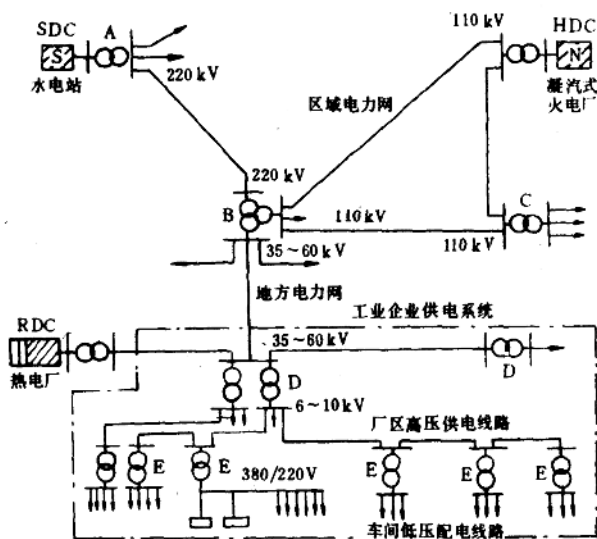


图 1-1 电力系统示意图

A—升压变电站；B—区域变电所；C—地方变电所；D—总降压变电所；E—车间变电所

电力系统各环节如下：

1. 发电厂

发电厂是把一次能源转换成电能的场所。目前用来转换成电能的自然能源主要有：燃料的热能、水流的势能、核燃料的核能、自然气流产生的机械能（如风能、波能）、地热能、太阳的辐射能等。发电厂通常建立在一次能源较丰富的地方，一般多距工矿企业负荷中心

甚远。根据所用能源的不同,通常将发电厂加以分类,如将使用热力作动力的,称为火力发电厂;将使用水力作动力的,称为水力发电厂;将使用核力作动力的,称为原子能发电厂。

在发电厂中,由发电机产生的电能电压较低,它除供附近用户直接使用外,一般要先经厂内的升压变电站转换成高压,再送至外界的高压电力网。

2. 变电所

变电所是接受、分配电能并改变其电压的枢纽,是从发电厂到用户之间的重要环节之一。变电所主要由各种电力变压器和配电设备构成,它的单线系统如图 1-2 所示。

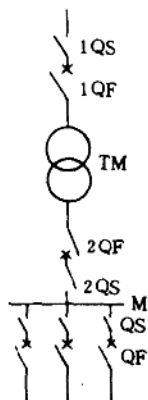


图 1-2 变电所设备

QS—隔离开关;QF—断路器;

TM—变压器;M—母线

母线 M 是汇集受电电源和配出负荷线路的设备;断路器 QF 是用来接通和切断正常及事故电流的设备;隔离开关主要起隔离电源的作用;变压器 TM 是变电所的核心设备,起变换电压的作用。

在变电所中,仅有受电和配电开关等控制设备,而不含电力变压器者称为配电所;虽有变压器,但只用来把交流转换为直流电者称为变流所。

按不同标准将变电所分类,按用途分:有升压或降压变电所、联络变电所、工矿企业变电所、农村变电所、整流变电所和电车变电所;按其在电力系统中的地位分:有枢纽变电所、穿越变电所和终端变电所;按供电范围分:有区域变电所(一次变电所)及地区变电所(二次变电所)等。

3. 电力网

电力网主要由各种变电所及各种等级的电力线路组成,是电力系统的重要组成部分,担负着输送、变换和分配电能的任务。

一般根据电压等级的高低,将电力网分成低压、高压、超高压和特高压几种:电压在 1kV 以下的为低压电网;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。

二、电力系统的电压等级

电气设备的额定电压(又称标准电压),是指发电机、变压器和用电设备在正常运行时技术性能最好、经济效果最佳的电压。

根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性,以及电力设备的制造技术水平等因素,由国家统一规定额定电压。

根据煤矿生产的特殊条件,有关部门制定了煤矿常用电压等级及其用途,见表 1-1。

表 1-1 煤矿常用电压等级及其应用范围

电压 (kV)	应 用 范 围	备 注
0.036 及以下	井下电气设备的控制及局部照明	直流
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	

续表

电压 (kV)	应 用 范 围	备 注
0.38	地面及井下低压动力	现有小型煤矿井下用
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
6	井上、下高压电机及配电电压	
10	井上、下高压电机及配电电压	正在研究实验
35 及 60	一般用于矿区配电或受电电压	
110	主要作矿区受电电压, 大型矿区也作配电电压	

三、煤矿企业对供电的要求

电力是现代化煤矿企业的动力。为了适应煤矿生产条件的特殊性, 对供电有如下要求:

1. 可靠性

供电的可靠性, 是指供电系统不间断供电的可靠程度。矿井一旦中断供电, 不仅会直接影响产量, 而且会使水泵停止排水, 通风机停止运转, 造成矿井被淹、瓦斯积聚、设备损坏或人身事故, 严重时将毁掉矿井。为了保证矿井供电绝对可靠, 每一矿井应有两回独立电源线路, 当任一回路因发生故障停止供电时, 另一回路应仍能担负矿井全部负荷。正常情况下, 如果采用一回路运行方式, 另一回路必须带电备用, 以保证井下生产过程中供电的连续性。

2. 安全性

矿井生产环境复杂, 自然条件恶劣, 供电线路和电气设备易受损坏, 可能造成人身触电和电火花引起的火灾或瓦斯煤尘爆炸等事故。因此, 必须采取防爆、防触电、防潮及过流保护等一系列安全技术措施, 严格遵守《煤矿安全规程》中的有关规定, 以确保安全供电。

3. 技术合理性

在保证可靠和安全供电的前提下, 还要保证供电质量。供电质量是指电压的偏移不超过额定电压值的 $\pm 5\%$; 频率的偏移: 3000kW 及其以上系统不超过 $\pm 0.2\text{Hz}$, 3000kW 以下的系统不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

4. 经济性

在满足上述要求条件下, 应力求供电系统简单, 安装运行操作方便, 建设投资少和运行费用低等。

四、电力用户分级

电力用户的分级, 是根据负荷的重要性以及供电中断所造成的危害程度来划分的。电力用户一般分三级管理, 以便在不同情况下合理地进行供电。

1. 一级用户

凡突然停电会造成人身伤亡或设备损坏, 且长期不能恢复生产或对国民经济带来重大损失者, 均属一级用户, 如矿山主通风机、井下主排水泵、竖井载人提升机等。对一级用户必须设有两个独立电源供电, 以保证一回供电线路故障情况下另一回仍能继续供电。

2. 二级用户

凡因突然停电会造成大量废品、产量显著下降、大量原材料报废,在经济上造成较大损失者,均属二级用户,如煤矿集中提运设备、空气压缩机、综采工作面供电的采区变电所等。对二级用户,应由两回线路供电。若取得两回线路有困难时,也可采用一回专用线路供电。

3. 三级用户

凡不属于一、二级用户的用电设备均属三级用户,如照明、修配厂等与生产无直接关系的用户。这类用户与供电无特殊要求,可设单一回路。

第二节 煤矿供电系统

一、供电系统

煤矿地面降压变电所的受电电源,一般来自电力系统的区域变电所或发电厂,经变压器降压后再配给煤矿各个用户,组成煤矿供电系统。

变电所受电电压为 35~110kV,视煤矿井型及所在地区电力系统的电压而定。降压后的电压为 3~10kV,经架空线或电缆向车间、井下变电所及高压用电设备等供电,组成煤矿的高压供电系统;经车间和井下变电所再次降压为 380、660、1140V 或更高电压后,向低压用电设备供电,又组成了各自的低压供电系统。

根据矿井的井田范围、煤层埋藏深度、矿井年产量、开采方式、井下涌水量,以及开采的机械化和电气化程度等不同,煤矿又分为深井和浅井两大典型供电系统。对于开采煤层深、用电负荷大的矿井,通过井筒将 3~10kV 高压电经电缆送入井下,一般称深井供电。如煤层埋藏深度距地表为 100~150m,且电力负荷较小时,可通过井筒或钻孔将低压电能经电缆直接送入井下,井下不需要开设专门的变电所硐室,此种系统称浅井供电。根据实际情况,也可以采用上述两种方式同时向井下供电,或开采初期采用浅井供电,后期采用深井供电方式。

1. 深井供电系统

图 1-3 所示为一典型深井供电系统,电源取自 35kV 电力网,经双回输电线路送至矿井地面变电所。为了保证矿井供电可靠,这两回输电线路经过两台 35/6kV 的变压器变压后的电能分别接在 6kV 母线的两段上。两段母线上的电能再经高压开关柜、电缆(或架空线)分别送至井上高压负荷,如矿井提升设备、压气设备和通风设备等。对于一级负荷供电的两回线路,必须分别联接在母线的两段上,以确保任意一段母线发生故障或检修时,可从另一段母线上获得电能。为了防止雷电入侵波对电气设备的危害,各段母线均装有避雷器。为了加强由变电所通过电缆直接供电电动机的防雷保护作用,在避雷器上并接有电容器。提高功率因数用的电容器组,分别接在两段母线上。各段母线上的电压互感器为三相五芯柱式,其二次电压是供测量、监视及保护用的。变电所内设有两台低压变压器,二次为三相四线制结线,作为地面低压动力及照明用。

井下供电的特征是高压电能经过敷设在井筒中的电缆送到井下中央变电所,再经过配电装置、电缆转送到采区变电所(或移动变电站)、主排水泵站等。由地面变电所引向井下中央变电所的电缆,为了限制井下短路容量,一般需串接电抗器;其根数不得少于两条,当一条出现故障时,其余电缆应能承担井下全部负荷。

为了保证供电可靠,井下中央变电所采用单母线分段,主排水泵应分别联接在母线的

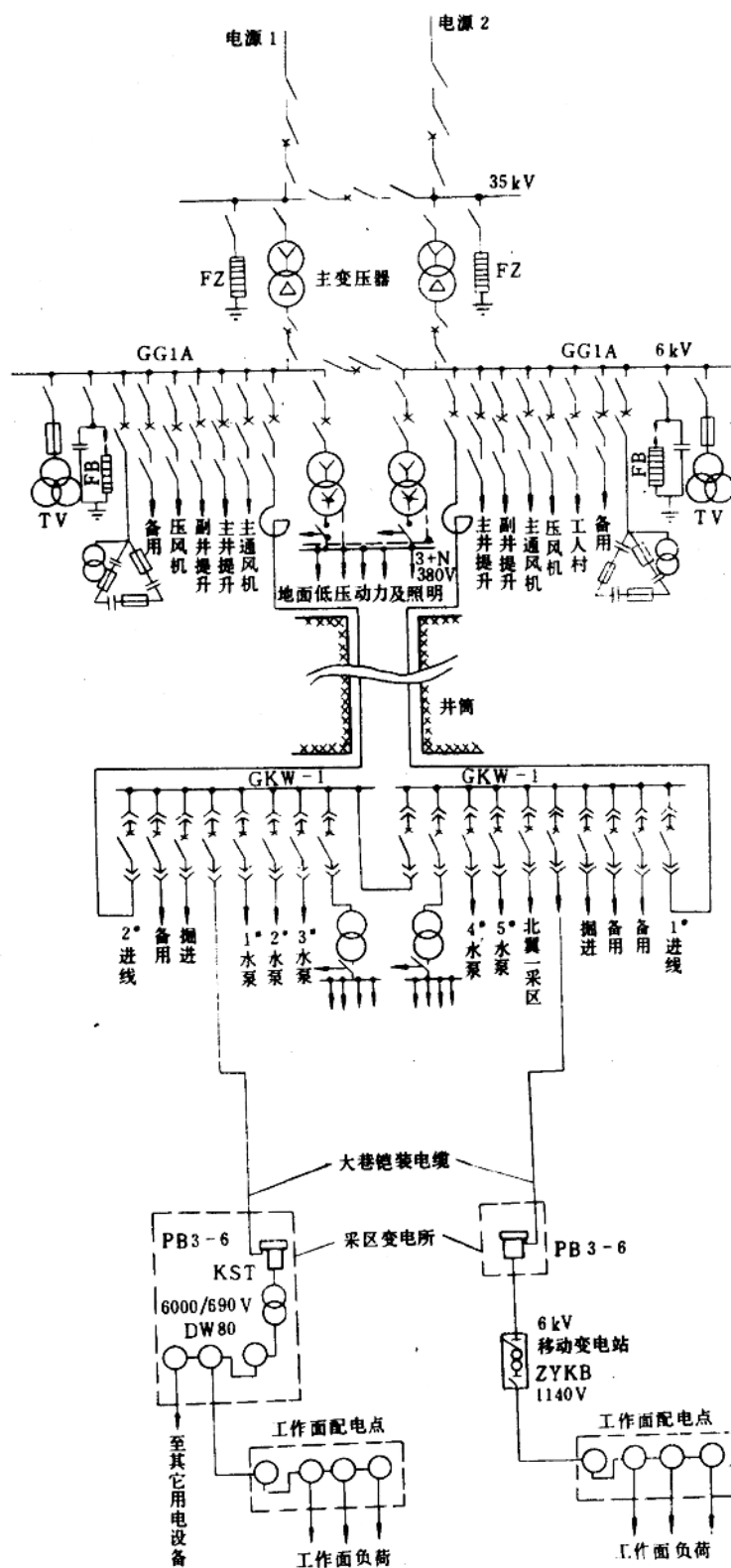


图 1-3 典型深井供电系统

FZ、FB—避雷器；TV—五柱式
电压互感器

两段上。井底车场附近硐室和巷道的低压动力用电，由井下中央变电所内的降压变压器供给。采掘机械的供电，由采区变电所内的降压变压器供给。井下架线式电机车的直流电源，是由中央变电所提供的 6kV 交流电能经降压整流后转换而来。

2. 浅井供电系统

图 1-4 是浅井供电系统图。它的供电特点是井下不设中央变电所，而是把地面变电所的 380V 或 660V 低压电能直接通过电缆经井筒送至井底车场配电所，供给车场动力及照明用。

采区供电，是由架空线路将高压电能送至采区地面后，再经钻孔（用钢管加固孔壁）中的高压电缆送到采区变电所，降压后再供给采掘动力设备；或在采区地面设变电亭，降压后直接把低压电能经钻孔中的电缆送至采区配电所。

为了防雷，在架空线路两端的电柱上应装设避雷器，并在变压器的进线侧装设跌落式熔断器，以利保护和检修。

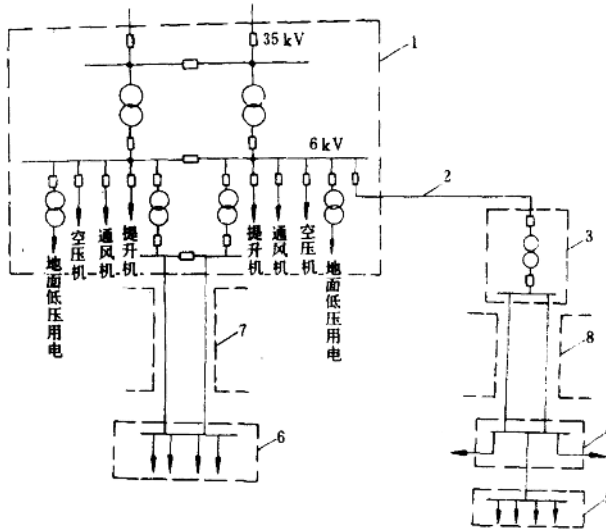


图 1-4 浅井供电系统图

1—矿井地面变电所；2—架空线路；3—变电亭；4—采区变电所；
5—配电所；6—工作面配电点；7—井筒；8—钻孔

用钻孔经电缆直接向井下提供低压电能，不仅能减少硐室的开拓量，而且不用昂贵的高压电缆和高压设备，也减少了高压触电的危险，既简便又经济。但钻孔中钢管用后不能回收，且地面变电亭在冬季和雨季维护检修困难。在供电设计中，应根据具体情况进行经济技术比较后，才能确定合理的供电系统。

二、矿井各级变电所

1. 地面降压变电所

地面降压变电所是矿山供电的枢纽，它担负着向井上、下配电的任务。

图 1-5 为大、中型矿井地面降压变电所的平面图和侧视图。受电电源线路为两回 60kV

架空线路,装有两台 SJ-10000/60 型容量为 10000kVA 的主变压器,采用内桥式结线,一次侧高压隔离开关为 GW5 型,断路器为少油的 SW2 型;二次侧 6kV 电能分别引入室内两段母线上,母线的分断处设有联络开关。变压器二次侧所有的电气设备都装设在成套高压开关柜内,它们呈两侧排列在高压配电室内。低压配电盘,以及控制、信号盘和操作电源等设在另一个房间内。

60kV 设备均设在室外,除变压器二次侧的引线采用矩形铝母线引入室内外,其一次侧设备连接一般采用铝绞线;承受力较大部分采用钢芯铝绞线。

如受电电压为 35kV,当采用 GBC-35 型成套配电装置时,除变压器设在室外,6 和 35kV 成套装置分别设于楼上楼下室内。这样布置既简洁又紧凑,室外占地面积小且便于管理,并不受气候变化的影响。35kV 设备如不采用成套装置,仍设在室外,其布置方式同 60kV 设备。

在室外支承载流导体的支柱有两种:钢筋水泥支柱和钢结构支架。在煤矿企业中,一般采用三角型钢构成的铁塔支柱或钢筋水泥支架,呈“H”型或“A”型,借助悬垂式瓷瓶将导体悬挂于支架上。

为了便于搬运主要设备,室外设备的四周修有路面,在变压器与断路器之间设有 3m 以上的平整路面,以便于安装或检修时搬运变压器,装有大型变压器时,还应设有钢轨。为了安全和便于管理,变电所周围应设围墙。

变压器和断路器均安装在牢固的基础上。在变压器和多油断路器的下面应设有油池,其内铺一层厚约 25cm 以上的卵石或碎石,以免溢出的油浮在表面引起火灾。

所有的动力电缆和控制电缆都应沿着设备基础敷设在有耐火材料砌成的沟道或隧道中,沟道一直延伸到配电室和控制室。

直流操作电源如采用蓄电池,应设有专用的蓄电池室,该室远离配电室和值班室,以防腐蝕性气体对人和设备造成危害。蓄电池室的外间设有储存室,贮存硫酸和蒸馏水。如采用硅整流作为操作电源时,其设备可直接放置于控制室内,不需另设房间。

为了防止直击雷对变配电设备的危害,在室外设备和房屋四周设置 3~4 支避雷针。

2. 井下中央变电所

井下中央变电所是全矿井下供电中心,接受从地面变电所送来的高压电能后,分别向采区变电所及主排水泵等高压设备转供电能,并通过变电所内的矿用变压器降压后,再向井底车场附近的低压动力和照明供电。

1) 位置的选择和设备布置

变电所的位置应设于负荷的中心地点,该地点地质条件要好,顶、底板稳定,无淋水,且通风良好,便于运输和进、出电缆方便。为了保证对一级负荷井下排水泵电动机的供电,一般将中央变电所硐室与水泵房建在一起,如图 1-6a 所示。

中央变电所与水泵房地面应在同一个水平上,其硐室及硐室入口 5m 以内的巷道必须用石料或耐火材料建成。为了防水,硐室的入口应比井底车场轨面高出 0.5m。

中央变电所的长度如大于 10m 时,必须在硐室的两端各设一个独立出口,以便于通风和事故时工作人员退出。出口应设双重门——铁板门与铁栅栏门。铁栅栏门平时关闭而铁板门是打开的,以保持有良好的通风,使室内最高温度不超过附近巷道温度 5℃;发生火灾时,关闭铁板门,隔绝通风。两门均向外开,但铁栅栏门敞开时不得妨碍外部铁板门的关闭。

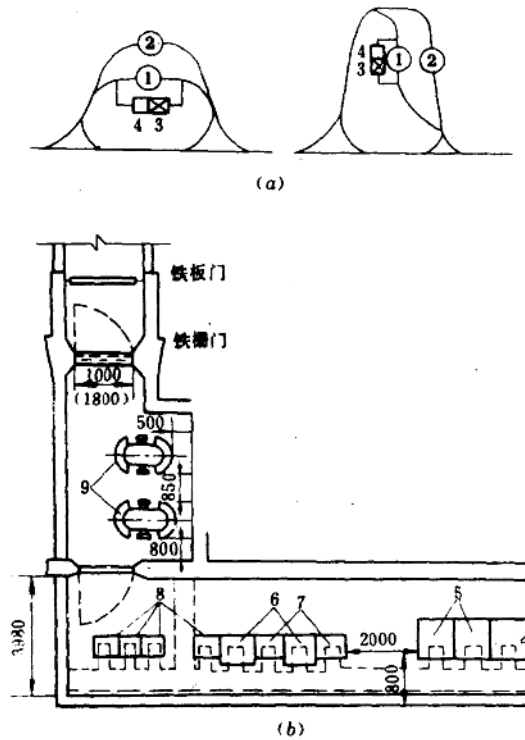


图 1-6 井下中央变电所的位置及平面布置图

a—位置图；b—平面布置图

1—副井井筒；2—主井井筒；3—中央变电所；4—水泵房；5—高压开关柜；
6—硅整流器柜；7—直流配电箱；8—低压配电装置；9—矿用变压器

中央变电所内的设备主要有高压开关柜、整流设备、低压配电装置、动力和照明变压器等。配电设备应采用成套配电装置，其平面布置关系如图 1-6b 所示，布置原则为：

- (1) 变电与配电部分应用防火门或防火墙分成两个间隔。带油设备不设集油坑。
- (2) 高压与低压配电装置应分开布置，高压集中在一侧，低压布置在高压的对侧或一侧的另一端，但它们之间应留有 0.8m 以上的通道；设备与设备和设备与墙壁之间，应留有 0.5m 以上的通道。如果设备不需要从两侧或后面进行检修时，设备之间或与墙壁之间可不留通道；变电所中间的通道或装有运输轨道的通道，其间宽度应不小于 1.5m。
- (3) 考虑到负荷的增加，变电所内设备的布置应留有 20% 的备用位置。

2) 主结线

图 1-7 是与图 1-6b 设备布置图相一致的电气主接线图，其接线原则是：

- (1) 高压母线采用单母线分段，其段数应与电源进线数目相对应，段与段之间设有母线联络开关，正常时母线分列运行。
- (2) 一级负荷，如高压水泵电动机等应均匀地分别接到各段母线上；向各采区供电的高压电缆和整流设备，也应分别接到不同的母线段上。

(3) 如低压设有主排水泵时, 低压母线也应接成单母线分段, 低压动力变压器不应少于两台。

(4) 变电所中除配电装置内可用母线连接外, 设备间的连线必须用电缆。一般高压电缆敷设于沟内; 低压电缆悬挂在墙壁上; 照明电缆沿拱顶敷设, 灯间距离为 3~4m。

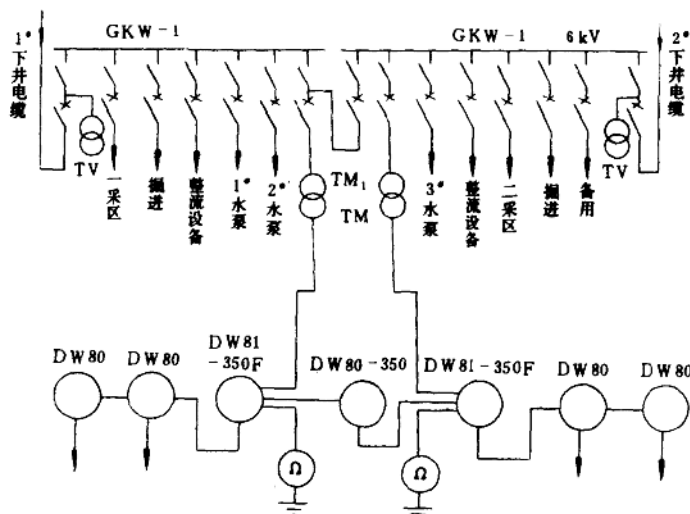


图 1-7 井下中央变电所的主结线

GKW-1—矿用一般型高压开关柜; TM₁、TM—矿用变压器; DW80—200A 馈电开关;

DW80-350 和 DW81-350F—350A 馈电开关; Ω—检漏继电器

3. 采区变电所

采区变电所是采区供电中心, 其任务是将中央变电所送来的高压电能变为低压电能, 并将电能配送到采掘工作面配电点或用电设备。

1) 位置的选择和设备布置

采区变电所的位置选择是否合理, 对于供电安全和供电质量有直接影响, 一般由供电电压等级、供电距离、采煤方法及采区巷道布置方式、机械化程度、采煤机组容量大小等因素所决定。选址的原则应满足如下要求:

(1) 设于能向最多生产机械供电的负荷中心, 使低压供电距离合理, 并力求减少变电所的移动次数;

(2) 顶底板坚固、无淋水及通风良好的地方, 以保证变电所硐室内的温度不超过附近巷道温度 5℃;

(3) 便于变电所设备运输。

此外, 采区变电所不能设在工作面的顺槽中, 一般设于采区运输斜巷与轨道斜巷之间的联络巷内, 如图 1-8a 所示。掘进工作面的供电一般由采区变电所担任, 不另设掘进变电所。但掘进大巷时, 根据起动电压的要求, 可利用联络巷做变电所或采用防爆移动变电站供电, 也可在大巷的一侧加宽巷道设临时掘进变电所。

图 1-8b 为采区变电所的设备布置图, 对其硐室防火、设备的布置及相互间的距离要

求，同井下中央变电所。

2) 主结线

为了保证供电安全，采区变电所内除动力变压器为一般矿用型外，其余的高、低压设备均为隔爆型配电装置。

采区变电所的几种不同接线方式如图 1-9 所示，其中图 a、b 接线适用于 1 台变压器能满足采区供电，且无一级负荷（井下排水设备）和综采工作面时。变压器二次侧接有两台总开关的接线方式，用于负荷电流大于 1 台总开关额定电流或分支供电时。但两台总开关

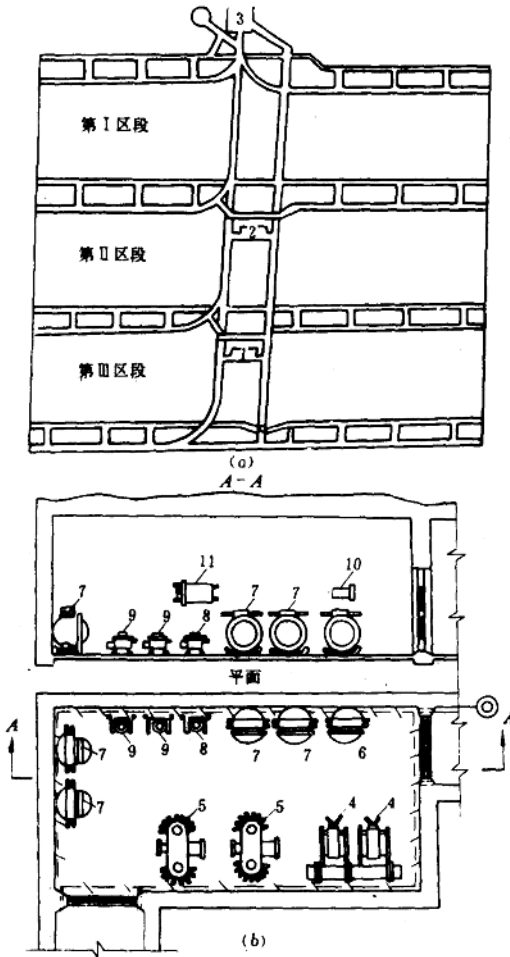


图 1-8 采区变电所的位置及设备布置图

a—位置图；b—设备布置图

1、2—采区变电所；3—采区绞车房；4—隔爆开关柜；
5—矿用动力变压器；6、7—隔爆自动开关；8、9—隔爆手动开关；10—检漏继电器；11—照明变压器。

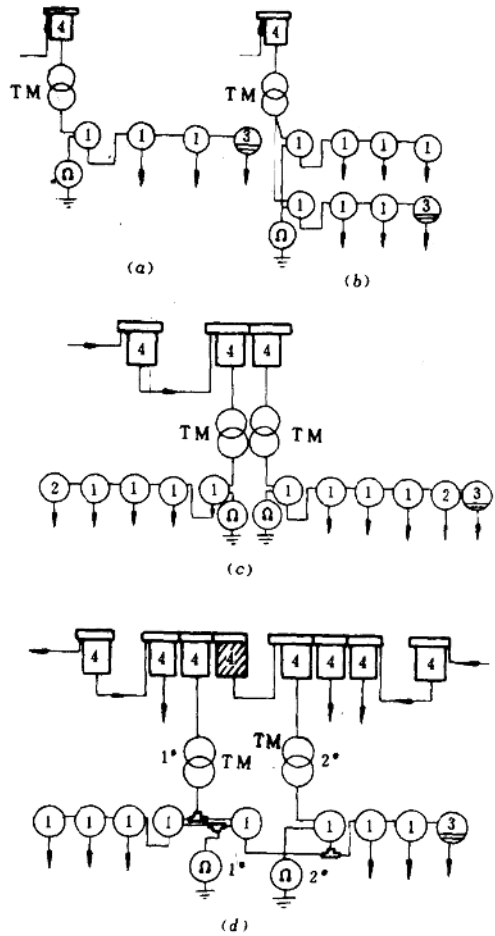


图 1-9 采区变电所的主结线

a—单一电源和变压器，低压侧设 1 台总馈电开关；

b—单一电源和变压器，低压侧设 2 台总馈电开关；

c—单一电源 2 台变压器；d—双电源 2 台变压器

1—馈电开关；2—磁力起动器；3—照明综合保护器；

4—高压配电装置；Ω—检漏继电器