

机械化采煤技术丛书

采煤工作面电气设备

中国矿业学院机电系主编

煤炭工业出版社

机 械 化 采 煤 技 术 丛 书

采煤工作面电气设备

中国矿业学院机电系主编

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 介 绍

本书简要介绍了煤矿井下低压电网的安全用电和电气保护装置的基本原理,详细介绍了目前已经采用的机采工作面电气装备及机采工作面的生产机械的控制、信号和通讯系统。

本书可作为煤矿井下机电工培训教材和“七·二一”工人大学的参考书,也可供技术人员学习参考。

机械化采煤技术丛书

采煤工作面电气设备

中国矿业学院机电系主编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092¹/₁₆ 印张14 插页1

字数 335 千字 印数1—44,160

1979年5月第1版 1979年5月第1次印刷

书号 15035·2213 定价1.50元

出版说明

机械化采煤，是加速我国煤炭工业发展，大幅度提高劳动生产率，实现煤炭工业现代化的一项战略措施。我国广大煤矿职工在学大庆、赶开滦的群众运动中，大搞技术革新和技术革命，采煤机械化水平有了很大提高。特别是近几年来，根据毛主席“自力更生”和“洋为中用”的方针，综合机械化采煤有了一定的发展，并在积极地逐步推广。综合机械化采煤不仅产量大，效率高，成本低，而且大大减轻笨重的体力劳动，改善作业环境，是煤炭工业技术的发展方向。

为了配合机械化采煤的迅速发展，满足煤炭战线广大职工管好用好现代化采煤设备的迫切要求，煤炭工业部生产司等部门组织有关院校和厂矿，编写了一套《机械化采煤技术丛书》。这套丛书包括：《采煤机械液压传动基础》、《MLQ₁-80型采煤机维修》、《双滚筒采煤机》、《液压支架》、《采区运输机械》、《采煤工作面电气设备》、《机械化采煤工艺》和《液压支架用乳化液》共八册。即将陆续出版。

本丛书力求作到深入浅出，通俗易懂，内容以综合机械化采煤为主，简要介绍了国内外机械化采煤设备的结构原理、特性及使用维修等经验。这套书可以作为技工培训教材和“七·二一”工人大学的参考书，也可供具有初中以上文化程度的煤矿职工自学用。

本丛书在编写过程中，曾得到有关厂、矿、大专院校等单位的大力支持，在此谨致谢意。书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。

《采煤工作面电气设备》一书由中国矿业学院孙树朴、武增、于慕松、兰献辰和煤炭工业部综采指挥部吴元等同志编写，孙树朴同志执笔整理定稿。

目 录

第一章 概述	1
第二章 井下低压电网的安全用电和保护	3
第一节 井下安全用电的主要问题	3
第二节 矿用防爆电器的防爆原理	3
第三节 井下低压电网的电流保护	10
第四节 井下低压电网的漏电和漏电保护	36
第三章 机采工作面的电气设备	58
第一节 移动变电站	58
第二节 防爆馈电开关	82
第三节 矿用防爆磁力起动器	88
第四节 国外矿用防爆磁力起动器	103
第五节 电钻及照明变压器	146
第六节 矿用电缆	161
第四章 采煤机和输送机的控制	165
第一节 一般机械化工作面的电气控制系统	165
第二节 综合机械化工作面采煤机的控制	167
第三节 采煤机的功率自动调节装置	173
第四节 综合机械化工作面的信号通讯装置	175
第五节 综合机械化采煤工作面的信号与控制系统	180
第六节 工作面输送机控制及信号通讯系统	187

第一章 概 述

目前,随着我国煤炭工业的高速度发展,采煤工作面机械化程度越来越高,机采工作面设备总容量已经达到 600~700 千伏安,采煤机的单机功率已达到400千瓦,这样就给采煤工作面的供电系统带来了一些新的问题。因为在一定的工作电压下,电动机的功率越大,它的工作电流也就越大。由于电缆具有一定的阻抗,因此流过供电电缆的电流越大,电缆上产生的电压降也就越大,电动机得到的端电压就越低。电缆首端电压和电动机端压之差称为线路电压损失。这个现象在电动机起动时更为严重,因为电动机起动电流等于 5~7 倍额定工作电流,在起动瞬间,如果电缆线路上的电压降过大,电动机的端电压会下降得很低,以至无法正常起动。

机采工作面供电系统必须解决电压损失过大的问题,即在设备总容量加大的情况下,尽量减少电缆线路上的电压损失,以便保证电动机的端电压等于或接近它的额定电压,保证供电电能的质量。为了经济上合理,一般不采用单纯加大供电电缆截面或缩短机采工作面走向长度的方法,而是采用提高供电电压(高压进入工作面顺槽)和缩短低压供电距离的方法。用这两种方法解决问题是行之有效的。机采工作面供电系统的特点是:

(1) 提高供电电压等级

现在我国机采工作面的供电电压都从380伏提高到了660伏。目前,正在进行把供电电压提高到1140伏的工作。提高供电电压,就可以减小电动机工作电流,减少电缆上的电压损失,保证电气设备能够正常运行。

(2) 采用移动变电站

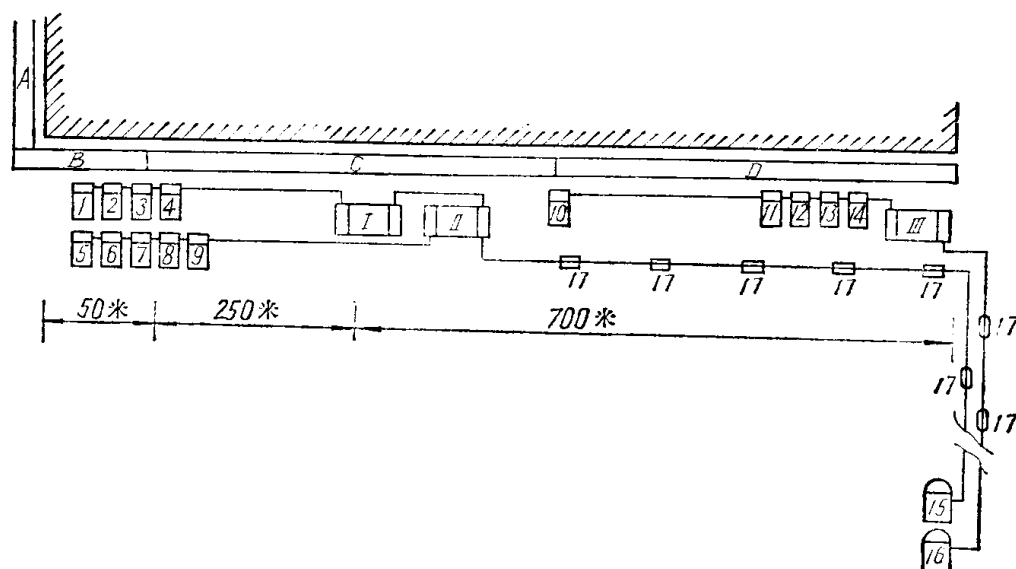


图 1-1-1 移动变电站供电系统示意图

A—工作面输送机; B—转载机; C、D—可伸缩胶带输送机; I、II、III—移动变电站;
1—采煤机开关; 2—乳化液泵开关; 3—备用开关; 4—电钻变压器; 5—通讯控制箱; 6—工作面输送机开关; 7—转载机开关; 8—备用开关; 9—照明变压器; 10、11—胶带输送机开关; 12—通讯控制箱; 13—备用开关; 14—照明变压器; 15、16—高压开关; 17—高压电缆防爆插销接头

采用能够移动的变电站，就可以缩短变电站和机采工作面动力设备的距离，减少电缆电压降损失，并能适当加长工作面的走向长度。目前，移动变电站与工作面距离一般小于300米；对供电距离最远、电动机功率最大的采煤机的距离一般小于500米。

（3）提高和改善电器设备及供电系统电气保护的性能

例如在电缆方面，除加强橡胶护套的机械性能外，电缆芯线还须有屏蔽层；在电器方面，要求具有良好的防爆性能，电气绝缘具有防潮特性，大修周期和工作寿命长，便于安装、运输等；在供电系统保护装置方面，过载、短路、漏电等保护装置，应广泛采用性能良好的电子保护。

图1-1-1所示为具有移动变电站的供电系统图，这个供电系统用于综合机械化工作面。

第二章 井下低压电网的安全用电和保护

第一节 井下安全用电的主要问题

煤矿井下低压电气设备的工作环境是十分恶劣的。它们所处的工作场所空间狭窄、空气潮湿、具有滴水 and 淋水的现象；由于落矸和片帮，电气设备还经常受砸和受压；采掘工作面的电气设备负荷变动大，起动频繁，不断移动；很多煤矿井下含有瓦斯和煤尘，在一定条件下，电火花具有引起瓦斯和煤尘爆炸的危险性。因此安全用电成为井下供电极为重要的研究课题，它关系到矿井生产和人身安全。

煤矿井下安全用电主要包括以下几个问题：

(1) 防止瓦斯、煤尘的引爆，这是关系到矿井安全生产和职工生命安危的重大问题，为此，要求按照《煤矿安全生产试行规程》的规定，正确选择电气设备的类型，正确使用和维护各种防爆型电气设备。

(2) 电气设备的安全运转，从电气设备正常工作的角度看，要求合理地选择电气设备的额定值，使它适应设备的需要；从电气设备的不正常运转（低电压、过负荷）和电气故障（短路）角度来看，要求具有完善的电气保护系统，在发生不正常运转和电气故障时，及时地切除故障，防止事故扩大和造成更为严重的后果。在日常维护运转中，要求值班人员经常注意电器运转情况，注意日常的检查修理以及预防事故的发生。

(3) 漏电和预防。如前所述井下电气工作环境恶劣，电气绝缘易于损坏（受潮和机械损坏），所以井下极易发生漏电现象。漏电现象可以造成人身触电事故，有引起火灾和瓦斯煤尘爆炸的危险，长期漏电可扩展为不完全短路或短路故障，使电缆和电气设备因严重过载而绝缘老化或烧毁；有时漏电流还会引起雷管超前引爆。因此，必须采取有效措施，降低漏电的危害程度，设置漏电保护及时切除具有危险程度的漏电网路，确保人身和生产的安全。

除上述问题外，在《煤矿安全生产试行规程》中，还有一些具体的规定，这里不再一一陈述。

总之，煤矿井下安全用电是十分重要的，只要认真贯彻有关《规程》的规定，在技术上做到正确选择、使用和维护电器设备，防止发生故障；正确选择和整定电气保护装置，当发生故障时，迅速地排除故障，就能做到安全用电。

第二节 矿用防爆电器的防爆原理

一、瓦斯煤尘的爆炸危险和防爆电器的型式

煤矿井下空气中所含的瓦斯主要指的是甲烷，又名沼气（ CH_4 ），它是无色、无味的气体。在一定条件下，瓦斯和煤尘都具有爆炸的危险。当空气中瓦斯含量达到4~14%、遇到高于点火温度（650~750℃）的热源时，就可能引起爆炸。由于爆炸时释放出很大的能量，产生很高的温度和很大的压力，对于人的生命和整个矿井的安全都造成严重的威胁。

实验证明，当瓦斯含量为8.3~8.6%左右时，最易引爆，而且爆炸力最大，瓦斯爆炸时产生的压力最大为7.4个大气压。人们常以8.3~8.6%的瓦斯浓度进行爆炸试验。当空气中煤尘含量达30~3000克/米³时，遇到高于700~800℃的点燃温度，也能引起爆炸，而且比瓦斯爆炸具有更大的破坏力。

瓦斯和煤尘统称为爆炸性混合物，点火温度（能量）则主要来源于电火花。

人们在生产斗争中不断总结经验。为了防止瓦斯和煤尘爆炸，主要从两个方面进行，首先限制瓦斯和煤尘在空气中的含量，使之不具有发生爆炸的浓度。对于瓦斯矿井要加强通风，必要时提前抽放瓦斯，以减少煤层中的瓦斯含量，降低空气中瓦斯浓度；对于煤尘则可以用洒水的方法，迫使煤尘降落，减少空气中煤尘含量。与此同时，还要设法限制热源和热源能量，对于电器来讲，主要是指电火花，要使电火花不能直接同空气中的瓦斯和煤尘接触，或使它的能量低于瓦斯或煤尘的点燃温度，即做成各种类型的防爆电气设备。

防爆电气设备主要有下列类型或它们的复合型：

（1）矿用安全型（KA）——是指在正常工作时不产生火花、电弧或危险温度的部件上采取适当措施，以提高安全程度的电气设备，如矿用变压器。

（2）矿用隔爆型（KB）——是指在外壳内部发生爆炸时，不引起外部爆炸性混合物爆炸的电气设备，如矿用开关、电机等动力设备。

（3）充油型（KC）——是指将可能产生火花、电弧或危险温度的带电部件浸在油中，使其不能引起油面上爆炸性混合物爆炸的电气设备。如矿用高压配电箱的油开关。

（4）通风充气型（KF）——是指向外壳内通入正压新鲜空气或隋性气体，以阻止外部爆炸性混合物进入外壳内部的电气设备。

（5）安全火花型（KH）——是指电路系统中，在正常或故障状态下产生的电火花都不能引起爆炸性混合物爆炸的电气设备，用于通讯信号设备、测量仪表和控制电路。

（6）特殊型（KT）——是指在结构上不属于上述各型规定，采取其它防爆措施的电气设备。

括弧中的拼音字母分别为各种防爆电气设备的标志，对于复合型矿用防爆型电气设备也用拼音字母标志，如主体为矿用隔爆型，部件为安全火花型，标志为KBH。

煤矿井下低压动力设备，因其控制功率大，主要采用矿用隔爆型电气设备及矿用隔爆兼安全火花型电气设备。

二、矿用隔爆型电气设备的防爆原理和要求

隔爆型电气设备有一个具有足够强度的坚固的隔爆外壳。一旦因电火花在壳内引起瓦斯煤尘爆炸时，产生的压力不致使外壳损坏，逸出外壳的火焰喷物，经过逸出路径的冷却作用，也不致引起外部爆炸性混合物爆炸，即具有隔爆作用。它的防爆原理就是利用其外壳的隔爆作用，把爆炸危险局限在壳内。为了保证隔爆作用，要求：

1. 外壳应有足够的机械强度

实验证明，瓦斯爆炸时产生的压力最大为7.4个大气压。同时随着外壳净容积不同，所产生最大压力也不同。因此，应根据净容积大小来确定电气设备外壳的机械强度。所谓净容积是指装配后空腔内剩余的容积，即实际的空气容积。

要求隔爆外壳能承受1.5倍实际的爆炸压力，试验压力见表2-2-1。

对于用衬垫密封的空腔，由于爆炸时气体不能泄出，压力可能增高，因此不论净容积

表 2-2-1 试 验 压 力

外 壳 净 容 积 (公升)	0.5以下	0.5~2	2 以上
试 验 压 力 (公斤/厘米 ²)	3	6	8

大小,其外壳均要求能承受 8 公斤/平方厘米的试验压力。

此外,隔爆外壳分成为几个空腔,并以小孔连通时,就可能出现两次以上的连续爆炸,产生压力叠加现象。因此,应尽量避免采用此种结构;无法避免时,应尽量增大连通孔的面积,使这些空腔中的瓦斯同时爆炸,以免形成压力重叠。

2. 隔爆外壳结合面应有一定间隙、宽度和光洁度

隔爆外壳内装着电气元件,需要经常进行检修和更换。从爆炸压力来看,完全密封的外壳,爆炸时产生的压力也是比较大的,因此隔爆外壳不采用密封结构。在隔爆壳内发生爆炸时,由于压力作用,将由结合面向外喷射火焰。为了防止喷出气体引起外壳外部的爆炸性混合物爆炸,要求隔爆外壳的结合面具有一定的间隙、宽度和光洁度,保证爆炸火焰向外喷射时,经过结合面间隙的散热降温作用,使喷出气体的温度降低到瓦斯点燃温度之下,不致引起壳外瓦斯爆炸。

试验证明,对于子口转盖式电气设备,如隔爆型磁力起动器等,当其转盖和外壳主体的结合面间的间隙不大于0.5毫米,结合面宽度不小于25毫米,防爆面的光洁度不低于▽5时,就可以起到隔爆作用。在其内部进行瓦斯爆炸试验时,不致引起壳外瓦斯爆炸。

防 爆 外 壳 结 合 面 的 结 构 不 同,对 不 同 结 构 的 结 合 面 的 间 隙、宽 度 和 光 洁 度 要 求 也 不 同,表2-2-2、表2-2-3、表2-2-4分别列出了这些要求。

表 2-2-2 不同结合面的隔爆间隙

结 合 面 种 类	间 隙(毫米)	结 合 面 种 类	间 隙(毫米)
电 动 机 轴 孔	0.6	操 纵 杆 与 杆 孔	0.3
圆 面 结 合 面	0.5	平 面 对 口	0.2
子 口 转 盖	0.5		

表 2-2-3 不同结合面的有效结合面宽度

结 合 面 种 类	净 容 积 (公升)		
	0.5以下	0.5~2	2 以上
	有 效 结 合 面 宽 度 (毫米)		
不动结合面的最小宽度	8	15	25
不动结合面的螺栓通孔至外壳内缘的最小宽度	5	8	10
轴与轴孔活动结合面最小宽度	25	25	25
操纵杆和杆孔 活动结合面最小 长度	电压在127伏以上或低于127伏, 功率在2.5千瓦以上	25	25
	电压低于127伏,功率小于2.5千瓦	15	15

注:净容积在0.1公升以下的不动结合面的最小宽度为 5 毫米。

表 2-2-4 不同结合面的光洁度

结 合 面 种 类		光 洁 度
不动平面或圆形结合面		▽5
电动机轴与轴孔活动结合面		▽6
操纵杆与杆孔结合面	杆	▽7
	孔	▽6

3. 隔爆外壳的使用和维修

隔爆型电气设备在运行中往往由于使用和维护不当,使电气设备失去隔爆性能。因此,加强对隔爆电气设备的管理和维护,保证它们的隔爆性能,是使用和维护中必须注意的问题。这对矿井安全生产也是十分重要的。

隔爆电气设备在运行中应注意以下几个问题:

1) 连接防爆面的螺丝、弹簧垫圈必须齐全并无松动现象,结合面的间隙必须符合表 2-2-2 的规定。

2) 防爆外壳必须完整,不能有裂纹,变形的现象,大修后应涂防锈漆,以防因锈蚀造成强度降低。

3) 要防止隔爆结合面生锈,由于井下空气潮湿,电气隔爆结合面极易锈蚀,破坏其隔爆性能。因此隔爆结合面防锈处理问题已为人们高度重视,现已摸索出不少行之有效的防锈方法。例如效果良好的隔爆结合面冷磷化防锈方法、用 204-1 置换型防锈油防锈等。当隔爆结合面稍有锈蚀斑点和针孔时,应用油石蘸汽油进行研磨处理,处理后应涂以防锈油。

4) 机械闭锁装置完善、牢固、可靠、转动灵活。闭锁应保证在开盖时电器不能操纵合闸,在合闸时不能打开盖子。隔爆电器严禁打开盖子,去掉机械闭锁进行操作,这是十分危险的。

5) 电缆进出线和隔爆型电气设备连接时,须经电器隔爆接线盒的接线端子。电缆进出线口必须封堵严密。

不用的进出线口应用 2 毫米厚以上的钢板和胶皮圈堵死,钢板放在胶皮圈的外面。

电缆进线口必须装有合格的密封圈,其内径等于电缆外径,公差 ± 0.3 毫米。胶皮圈外径与进线口内径差最大不得大于 2 毫米。

三、矿用安全火花型电气设备和安全火花控制电路

1. 矿用安全火花型电气设备的防爆原理

安全火花型电气设备是利用限制电火花能量的办法实现防爆要求的。把电火花能量限制在瓦斯引爆所需要的最小能量以下,使电气设备在正常状态和故障状态下,产生的电火花均不能引起爆炸性混合物的爆炸。

从有关安全火花的研究证明,电火花能够点燃瓦斯的最小能量为 0.5 毫焦耳。凡是能量比这个值大的电火花,就可能点燃瓦斯,反之电火花就是安全的。可见,不能点燃瓦斯的电火花能量是很小的,安全火花电路的电压、电流也是很小的。因此,这种防爆方法适用于低电压小功率的通讯信号设备、测量仪表和动力设备的控制电路。随着电子技术的发展和应用,以小控大,安全火花电路应用将更加广泛。

安全火花回路的电源可以是干电池、蓄电池或电源变压器。

为了保证安全火花性能，要求：

1) 在有爆炸危险的场所用的电源变压器，应置于隔爆壳内。直接与外部供电系统连接的电源变压器应有熔断器或断路器保护，加强绝缘，防止短路。

2) 当需要限制安全火花回路的电流时，在变压器副边应加限流电阻。限流电阻的选择应使其可能承受的最大电流不大于它的额定值；正常状态应使其消耗功率不大于它的额定值的 $2/3$ ，短路状态应不大于其额定值。限流电阻和电源连接必须可靠，用绕线电阻作限流电阻时需有防松脱措施，碳膜电阻不宜采用。

3) 向安全火花型电路供电的变压器副绕组和其它绕组之间须有铜质接地屏蔽，屏蔽层厚度不应小于 0.1 毫米。原副绕组接线端子须分布于两侧。变压器铁心必须接地。设置屏蔽层可有效地防止高压绕组串入向安全火花回路供电的副绕组，防止高频干扰。

4) 电源变压器绕组的绝缘介质强度试验须能承受交流 50 周 15 分钟耐压试验，耐压试验应比国家标准提高 25% 。

5) 电路中由于电感储能太大而不能达到安全火花要求时，在其两端可以加保护性元件，并接的保护性元件可采用面接型二极管和电容等，并用二重化措施。二重化措施是指采用二个保护元件，以防元件损坏时失去保护性能。例如并联二个电容，当采用面接型二极管时，应经过筛选和老化，其承受的最大电压不大于额定反向电压的 50% ，承受的最大电流不大于它的额定电流的 $2/3$ ；当采用电容元件时，所承受的最大电压不应大于它的额定值的 $1/3$ ，电解电容不宜采用。并接元件和其两端引线用环氧树脂浇封。对于直流继电器可加短路环。

6) 安全火花电路与非安全火花电路接入同一继电器时，非安全火花接点开闭的回路电压、电流、功率不得大于 250 伏、 100 伏安。

7) 电路应具有安全系数，对正常状态安全系数取 2 ；对故障状态安全系数取 1.5 。

安全火花型电气设备应由国家指定的安全鉴定单位进行试验，试验合格者发给证明书。

2. 安全火花型控制电路

安全火花控制电路在煤矿井下动力设备控制系统中已得到广泛应用，在远方控制系统中意义更大。井下的电动机由磁力起动器控制，为了使磁力起动器具有良好的防爆性能，现已生产隔爆兼安全火花型磁力起动器，这种磁力起动器具有安全火花的控制回路。安全火花控制回路起传递控制信号的作用，由安全火花控制回路的中间继电器接点操纵磁力起动器的电磁铁。磁力起动器电磁铁吸力线圈回路也称为主控回路。主控回路的所有元件都在隔爆壳内。下面介绍两种安全火花控制回路：

1) 具有串联二极管的安全火花控制回路

在 $QC810-60$ 和 $DQBH-660/200$ 型磁力起动器中都采用具有串联二极管的安全火花控制电路。图 2-2-1 所示为具有串联二极管的安全火花控制电路原理图。

电路电源取自动力回路线电压，经控制变压器 BK 和安全火花变压器 JYB 降压，以 9 伏电源电压供给安全火花控制回路。电

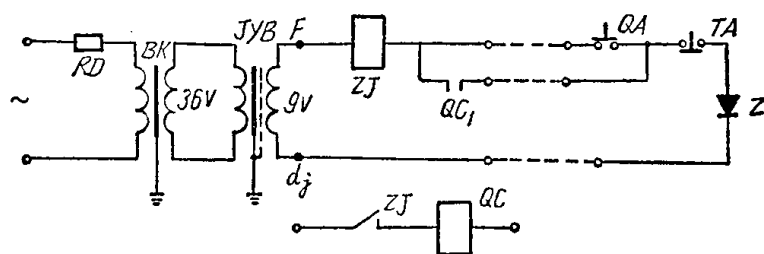


图 2-2-1 串联二极管安全火花控制电路原理图

路工作由远方控制按钮 QA 、 TA 控制。控制信号由直流中间继电器 ZJ 传递, ZJ 的动作电流很小, ZJ 的线圈具有限流作用, 从而保证电路具有安全火花性能。

直流中间继电器 ZJ 线圈的电感较大, 对交流电压具有较强的限流作用。对一定数值的电源电压而言, 接于交流电源时, 由于感抗的限流作用, ZJ 线圈中通过的交流电流较小; 而接于直流电源时, 由于电感对直流不起限流作用, 线圈中通过电流较大, 电路的工作就是利用了继电器的这一特点。

电路中设有远方二极管 Z , 使电路具有半波整流作用, 按下远方起动按钮 QA , 则构成一半波整流电路:

JYB 副边的 F 端 $\rightarrow ZJ$ 线圈 $\rightarrow QA \rightarrow TA \rightarrow Z \rightarrow JYB$ 副边的 dj 端。

加于中间继电器 ZJ 线圈的电压为半波脉动电压, 具有直流分量, 在继电器 ZJ 线圈中, 将通过足够的动作电流, ZJ 动作, 闭合它的常开接点, 接通接触器吸力线圈 QC 的回路, 达到传递控制信号的作用。接触器动作, 并以其常开辅助接点 QC_1 取代起动按钮 QA , 构成自保回路。

具有串联二极管的安全火花控制电路具有控制线短路、断路和二极管击穿的保护作用。当发生控制线短路和二极管击穿现象时, 交流电压加于 ZJ 线圈, 由于线圈感抗的限流作用, 电流较小, 不足以使 ZJ 动作, 起到了保护作用。同时, 控制回路发生短路时, 不影响电路的安全火花性能。

2) 具有并联分路二极管的安全火花控制电路

具有并联分路二极管的安全火花控制电路如图 2-2-2 所示。这种电路可用于磁力起动器的安全火花控制电路, 也可以用于工作面动力设备的安全火花控制系统。

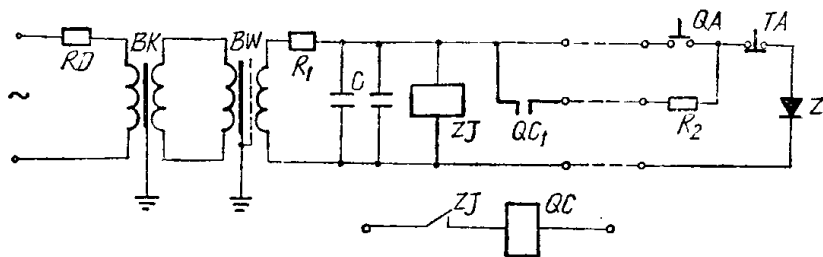


图 2-2-2 具有并联分路二极管的安全火花控制电路

电路的电源取自动力回路线电压, 经控制变压器 BK 降压, 再经电容 C 与稳压变压器 BW 组成的稳压电路, 提供 18 伏稳定电压。为了保证安全火花性能, 稳压变压器副边应用电阻率较高的漆包线绕制, 使它具有一定的内阻, 否则在变压器副边出口应串入一定的电阻 (R_1) 作为变压器内阻。这个内阻起限流作用, 电阻的数值保证即使在变压器出口发生短路, 也能将安全火花回路电流限制在元件范围之内。在变压器输出端并联电容 C , 作为保护性元件, 用来吸取回路中电感元件的储能, 并联电容采用二重化措施。电路中直流继电器并接于稳压变压器输出端, 和前述串联二极管电路相比, 安全火花远方控制回路中, 无串接的电感元件, 近于纯电阻回路, 有利于保证电路的安全火花性能。

并接于电源两端的中间继电器 ZJ 为直流继电器, 线圈电感较大, 对交流起限流作用, 电路的工作也是利用中间继电器的这一特点。

当未进行起动操作时, 并联分路二极管回路为断路, 此时交流电压加于中间继电器 ZJ 线圈, 线圈中电流小于 ZJ 的动作电流, 继电器不动作。当按下起动按钮时, 远方并联

分路二极管经 QA 、 TA 和控制芯线并接于中间继电器线圈两端,形成并联半波整流分路。在电源电压对于二极管为正向的半周内,二极管处于正向导通状态,并联分路中将通过半波电流。在该半周内,由于并联分路的电阻很小,稳压变压器副边又具有限流电阻 R_1 ,电压大部分降于电阻 R_1 上,中间继电器线圈得不到电压;在电源电压对二极管为负的半周内,二极管处于反向截止状态,并联分路不导通,半波电压加于中间继电器,加于继电器的电压中含有直流分量。因此中间继电器 ZJ 线圈中通过较大的电流。这个电流大于 ZJ 的动作电流,继电器动作,并闭合它的常开接点,接通接触器吸力线圈的电源,接触器动作。起动按钮松开后,接触器辅助接点 QC_1 和控制按钮中的 R_2 构成自保回路,维持 ZJ 处于动作状态。 R_2 的电阻值应使通过 ZJ 线圈的电流大于维持继电器吸合的电流。

控制电路具有控制芯线短路、断路和二极管击穿等故障的保护作用。当发生断路时,半波整流分路被切断,继电器线圈两端为交流电压;当发生短路或二极管击穿故障时,中间继电器线圈被旁路,加于线圈两端为数值很小的交流电压。当为交流电压时,中间继电器 ZJ 不动作或自行释放,起到保护作用。

采用并联分路二极管的安全火花电路时,应当正确选择和整定中间继电器,保证当电源出现最高电压时,继电器不会误动作;当电源电压出现允许的最低值时,继电器仍能保证可靠动作。

3) 安全火花控制回路的稳压电源

井下电网负荷变动大,起动频繁,电网电压波动较大,为了使安全火花电路工作电压稳定,不受电网电压波动的影响,安全火花电路可采用交流稳压电源。图 2-2-3 所示为电容 C 和饱和稳压变压器 BW 组成的稳压电路原理图。由稳压变压器副边向安全火花电路提供稳压电源,不受电源电压波动的影响。向安全火花回路供电的副绕组同原边绕组间具有铜质屏蔽层,以使安全火花电路可靠隔离,保证电路的正常工作和安全。

由电容 C 和饱和变压器组成的稳压电路实际上就是 LC 串联铁磁稳压电路,图 2-2-4 所示为 LC 串联铁磁稳压电路,它由工作在深度饱和区的铁芯电感 L 和电容 C 组成。当忽略回路中各元件的电阻影响时,在 LC 串联电路中,电容元件的电压和电感元件的电压刚好相位相反。电源电压 u 、电感电压 u_L 、电容电压 u_C 的正方向如图 2-2-4 所示。三个电压应当符合回路电压定理:

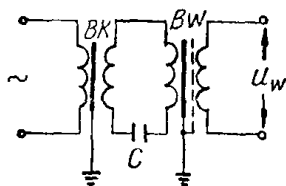


图 2-2-3 由电容 C 和饱和变压器组成的稳压电路

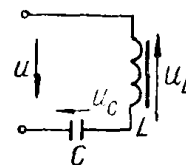


图 2-2-4 LC 串联铁磁稳压线路

$$u = u_C - u_L$$

电感电压、电容电压及电源电压的绝对值和回路电流关系如图 2-2-5 所示。串联两元件中,电容为线性元件,电压 u_C 和回路电流 I 成正比;电感元件为非线性元件,其电压 u_L 和回路电流 I 的关系(伏安特性)是饱和的特性。如前所述,电感工作在饱和区,在饱和区电感电压几乎和回路电流无关。在数值上电源电压 $|u|$ 为电容电压与电感电压之差 ($|u| = u_C - u_L$)。

LC 串联铁磁稳压电路的工作点设置在谐振点之后，并处于电感元件的饱和区。此时电容电压高于电感电压，电源电压为两元件电压之差，在数值上元件电压可以高于电源电压。

当电源电压变化时，引起回路电流的变化，电容电压随着电流成正比地变化，电感元件上的电压几乎不变，电源电压的变化量全部由电容电压的变化量来承担。从而在电感元件两端获得一比较稳定的电压。如图2-2-5中，当电源电压为 u_1 时，电容电压为 u_{C1} ，电感电压为 u_{L1} ；而当电源电压为 u_2 时，电容电压为 u_{C2} ，电感电压为 u_{L2} 。这里 $u_1 > u_2$ ， $u_{C1} > u_{C2}$ ，但 $u_{L1} \approx u_{L2}$ 。电感电压基本上是稳定的。

上述分析中未考虑各元件电阻的影响，当考虑到电阻影响时，稳压原理是相同的。

为了获得电路要求的稳定电压值，和使安全火花电路和非安全火花电路可靠隔离，在饱和铁芯电感上绕一副绕组，即为稳压变压器 BW，电路如图2-2-6所示。只要稳压变压器激磁电流足够大，工作在深度饱和区，在电源电压变化时，变压器原副边电压都会维持稳定的电压不变。当稳压变压器副边回路电流变化时，只是激磁电流有所增减，变压器原边电流并没有变化，也维持稳定电压不变。

有的安全火花电路采用图 2-2-7 所示铁磁谐振稳压变压器，即在漏泄变压器（具有磁分路的变压器）二次侧并接电容，根据其电抗和超前电流对二次铁芯的饱和作用，在电源变化时，使输出电压稳定。

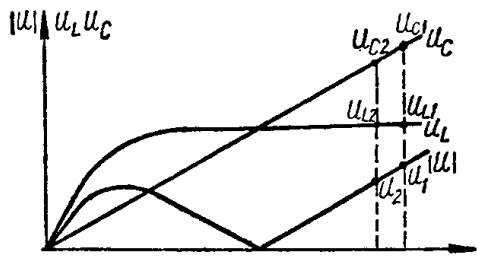


图 2-2-5 LC 串联稳压电路的伏安特性

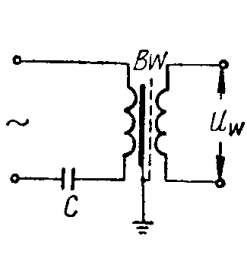


图 2-2-6 稳压变压器

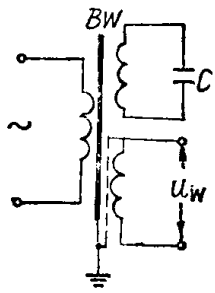


图 2-2-7 铁磁谐振稳压变压器

第三节 井下低压电网的电流保护

一、井下低压电网的不正常运行状态

电气设备的安全运转是安全用电的一个重要课题。为了保证电气设备的正常运转，首先应按实际需要合理地选择电气设备的类型和额定值，合理地选择电缆截面；在日常维护运转中，要求值班人员经常注意设备的运转情况。例如注意变压器和电动机的温度，起动器的电磁铁有无音响，设备起动是否困难等；注意日常检查修理，例如易松动机件的加固，触头的修理和更换，灭弧罩的清扫，电缆的吊挂等。这些是安全用电的必要措施，是值班人员的职责。

电气系统在运转中还可能发生一些不正常的运行状态。为此，要求具有完善的电气保护装置，保护的整定值要保障在发生故障时能够确实起到保护作用，这是防止事故蔓延、避免造成设备损坏所必须的。为了正确选择和使用继电保护装置，首先将电气系统在运转中可能出现的非正常运转状态的特点进行介绍，这里主要是指有关电气系统电流增长的不正常运转现象，以便采取措施予以保护。

1. 过负荷

过负荷也称为过载，是指电动机或变压器的负荷电流超过了额定值，而且过载时间也超过了允许值的运行状态。

电动机、变压器等电气设备在高于电气设备额定电流的情况下运行是难免的，电动机在起动过程中，变压器和电动机的电流就高于它们的额定电流。电气设备的电流高于其额定电流时，允许运行的时间具有一定的限制，称为允许过负荷时间。允许过负荷时间和通过电流倍数有关。例如在《变压器运行规程》中，规定了变压器的允许过负荷时间，当变压器在3倍额定电流的情况下运行时，允许工作1.5分钟；而当变压器中流过20倍额定电流时，只允许工作2秒钟。通过电流倍数越高，允许时间就越短。这是由于电流越高，发热量越大，温升就越快，而绝缘材料允许温升是有限度的。电气设备的电流超过额定电流，运行时间也超过允许的过负荷时间时，称为过负荷运行状态，它属于不正常的运行状态。电气设备处于过负荷运行状态时，由于电器温升过高，可能导致电器绝缘老化或损坏，甚至造成更为严重的故障。井下采区设备的工作条件十分繁重，频繁起动，超载运行，电网电压下降过大等，都是造成电动机、变压器等电气设备的过负荷运行的因素，因此必须对于过负荷状态采取适当的保护措施。

2. 断相运行状态

断相运行也称为单相运行，是指电动机的一种不正常运行状态，它是由于电源一相断线造成的。绝大多数单相运转发生在采用熔断器作为短路保护的供电系统中，由于一相熔断器熔断而造成了单相运转状态；少数是由于一相导体断线或接点脱落等引起的。

电动机处于断相运行状态时，它的特点是断线的一相电流变为零，其它两相电流增大，约为其额定电流的 $\sqrt{3}$ 倍，因等效电阻增大，实际发热量还要大。因此断相运行状态会引起电动机温升过高，造成绝缘损坏。井下中小型电动机的控制设备多采用熔断器保护，单相运转为一种常见的不正常运行状态。特别是对于起动不频繁、长时运转的一些设备（如局扇），断相是烧毁电动机的主要原因之一。因此对电动机断相运行也应采用相应的保护，以保证电动机安全运转。

3. 短路状态和短路电流计算

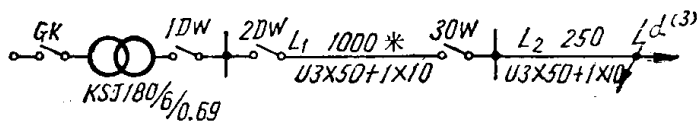
供电系统中，电气设备或供电线路具有电压的导体间（例如相与相）直接连通的现象称为短路。短路是一种故障状态，一般是由于线路或用电设备的绝缘损坏而造成的。由于井下的工作环境恶劣，电气设备或电缆绝缘易受损害，短路故障也比较多。

在井下供电系统中短路现象主要有三相短路和两相短路。短路的特点是短路电流大，在低压电网中通常可达工作电流的几倍到几十倍。大量的电能消耗在短路回路中，如不及时切除，可造成回路中设备绝缘损坏，触头熔焊，电缆着火，甚至引起井下火灾。当短路发生在瓦斯煤尘集聚的环境时，电弧性短路故障还会引起瓦斯煤尘爆炸的危险。同时短路故障的存在，还会引起电网电压下降，影响电网其它负荷的正常工作；因此供电系统中，必须设置性能良好的短路保护，当发生短路时迅速将故障切除。

为了正确选择开关设备，必须用可能的最大短路电流检验开关遮断容量。为了正确整定继电保护的動作电流，必须以最小短路电流检验保护装置能否可靠动作。因此，必须掌握短路电流的计算方法，以便求出电网各点的短路电流数值，供选择开关和整定继电保护使用。

图 2-3-1 所示为采区电网 d 点发生三相短路的简图，现以它为例说明短路电流计算方

法。由于 d 点三相短路时，电流和回路阻抗都是对称的，即为三相对称交流电路。只要确定了电源电压和回路阻抗，便可按(2-3-1)式求得三相短路电流：



$$I_d^{(3)} = \frac{U_e}{\sqrt{3} \sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X)^2}} \quad (2-3-1)$$

图 2-3-1 低压电网 d 点三相短路

式中 $I_d^{(3)}$ ——三相短路电流(安)；

ΣR ——短路回路中一相有效电阻的总和(欧姆)；

ΣX ——短路回路中一相电抗的总和(欧姆)；

U_e ——变压器二次侧额定空载电压(伏)。

在井下低压电网短路电流计算中，因为低压动力变压器容量远小于电网总容量，电源阻抗比动力变压器阻抗小的多，所以在计算中，忽略电源阻抗。即使在短路情况下，也可认为变压器原边电压维持其额定空载电势不变。变压器原边额定空载电势折算到副边时，等于变压器副边额定空载电势，该电势即为电源电压。例如在电网中电压为 660 伏时，变压器副边空载电势为 690 伏。

短路回路每相的总阻抗为回路中各元件阻抗之和，图 2-3-1 所示回路中，每相阻抗包括变压器阻抗和二段电缆的阻抗，一般都忽略回路中开关设备的接触电阻和短路点电弧电阻。

变压器每相电阻和电抗可由变压器参数表查出。

电缆阻抗可按式 (2-3-2) 及式 (2-3-3) 求得

$$R = r_0 L \quad (2-3-2)$$

$$X = X_0 L \quad (2-3-3)$$

式中 X_0 ——每公里电缆的电抗(欧/公里)；

r_0 ——每公里电缆的电阻(欧/公里)。

二相短路时，电流经过二相阻抗，按下式计算：

$$I_d^{(2)} = \frac{U_e}{2 \sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X)^2}} \text{ 安} \quad (2-3-4)$$

$$I_d^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_d^{(3)} \quad (2-3-5)$$

式 (2-3-5) 为两相短路电流和三相短路电流的关系式。

计算举例：

图2-3-1中给出了电路各元件的参数，求 d 点三相短路电流和两相短路电流。

变压器阻抗为：

$$R_B = 0.0593 \text{ 欧}$$

$$X_B = 0.1036 \text{ 欧}$$

电缆阻抗为：

$$R_1 = r_{01} \times L = 0.38 \times 1.18 \times 1 = 0.4484 \text{ 欧}$$

$$X_1 = X_{01} \times L = 0.081 \times 1 = 0.081 \text{ 欧}$$

$$R_2 = r_{02} \times L = 0.732 \times 1.18 \times 0.25 = 0.2158 \text{ 欧}$$

$$X_2 = X_{02} \times L = 0.088 \times 0.25 = 0.022 \text{ 欧}$$