

煤矿安全技术及设备培训教材

# 煤矿电气防爆技术基础

中煤科工集团上海研究院检测中心 编

Meikuang Dianqi Fangbao Jishu Jichu

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



煤矿安全技术及设备培训教材

# 煤矿电气防爆技术基础

中煤科工集团上海研究院检测中心 编



中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书依据《煤矿安全规程》、GB 3836 爆炸性环境系列标准及防爆电器产品的行业标准等,结合煤矿井下广泛使用的防爆电器产品进行编写,全书共分两编十三章。书中所编写的内容力求与矿用防爆电器产品的生产技术相适应,着重介绍矿用电气防爆技术、基本设计等基础内容,以求兼顾矿用防爆电器产品设计、制造、使用及检修等各专业的读者,同时为相关科研人员提供参考。

本书可作为矿用防爆电器产品制造厂、使用和检修单位的基础培训教材,也可供有关工程技术人员及大专院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

煤矿电气防爆技术基础/中煤科工集团上海研究院  
检测中心编. —徐州:中国矿业大学出版社,2012.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1425 - 6

I. ①煤… II. ①中… III. ①防爆电气设备—矿山安  
全 IV. ①TD684

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 044384 号

书 名 煤矿电气防爆技术基础  
编 者 中煤科工集团上海研究院检测中心  
责任编辑 王江涛  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83885307 83884995  
出版服务 (0516)83885767 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 374 千字  
版次印次 2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷  
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

# 《煤矿电气防爆技术基础》

## 编审委员会

主任委员	陈同宝			
副主任委员	夏文刚	王彩燕		
委	羊跃海	刘冰	张建	
员	陈洪飞	吕志文	倪春明	
	钱松	蔡利新	于超龙	
	郁文哉			

# 序

煤炭,为我们的工业提供了食粮;煤炭,为我们的生存和生活提供了能源;我们的脑海里多少都漂浮着那些讴歌煤炭的美好诗句。那么,作为煤炭生产场所的煤矿,给那么多人留下无尽遐想的煤矿,理应是令人敬佩和称颂的。可是,曾几何时,人们每每谈起煤矿,就会联想到瓦斯、火灾、涌水、塌方等与生命的伤害和消失联系在一起的令人生畏的词汇……

煤矿的安全生产,给我们的煤矿所有者、生产管理者、作业实施者、产品制造者、科学研究者提出了一个现实的、迫切的、永恒的命题。

哈佛管理学认为企业的成功在于决策和管理。科学的常识告诉我们,煤矿的安全生产保障基于知识和管理。有了必要的专业知识,人们可以自省、自律、自保;有了充分的管理措施,作业可以有章、有序、有效。知识和管理构成避免安全危害的强大屏障。

一把利刃无攻击者操之不能成为凶器,一辆汽车不行驶在公路上不会构成交通事故。常识告诉我们,任何一个物件,一种现象,只有在产生“功能”的同时,才会伴生安全“隐患”。因此,我们的知识灌输,我们的管理立足,是不是应该围绕某种“功能”去实施呢?

矿用防爆电器产品是煤矿煤炭生产必不可少的物件。而每一种产品都有它自身特定的功能,它在展示“功能”的同时可能伴生“隐患”。因此,充分发挥“功能”,有效抑制“隐患”,运用“知识”和“管理”去实现煤炭生产安全保障是产品设计者、生产者、使用者和管理者的不二职责。

本书从专业的角度,以浅显、直观的方式,为从事煤矿防爆电器产品设计、制造、检验和维修人员提供了一眼知识的“源泉”,同时也为煤矿生产管理者提供了一根制定管理措施的“拐杖”。

知识就是力量,管理就是效益。知识和管理的叠加就是安全的保障。希望我们业界的知识层为我们的煤炭安全生产提供更多的专业知识,希望我们的管理层为煤炭安全生产制定更多的保障措施。

中煤科工集团上海研究院检测中心主任  
中国煤炭劳动保护科学技术学会机电安全专委会主任委员  
中国煤炭学会机电一体化专委会副主任委员



# 前 言

煤炭、石油、化工和纺织等工业在国民经济中占有很重要的地位,这些行业在生产过程中会形成爆炸性混合物的危险环境,而煤矿井下一般存在着甲烷—空气爆炸混合物环境。防爆电器产品是指按规定的标准设计制造、按规定的条件在爆炸性环境使用,不会引起周围爆炸性混合物点燃爆炸的电气设备;而按规定的标准设计制造、按规定的条件专供煤矿井下有瓦斯爆炸危险环境使用的电气设备称为矿用防爆电气设备。

矿用防爆电气设备是煤矿安全生产的重要环节,为保障煤矿安全生产状况得到根本的好转,防爆电气的安全基础知识培训是一项长期的任务。矿用防爆电器产品制造、维修和使用过程,涉及机、电和其他专业的技术人员,由于人员频繁变动和新老交替的影响,同时需要掌握不同专业的知识,因此迫切需要电气防爆技术方面较完整的培训书籍。

中国煤炭科工集团上海研究院检测中心不仅承担煤矿防爆电气设备的检验任务,而且承接防爆安全技术的培训任务,从2005年开始,在原有基础上重新整理、汇编了《煤矿用防爆电气技术培训教材》,并进行了10多期的集中培训,同时,本书的部分作者先后到矿区和制造厂进行现场讲授,受到普遍欢迎。为满足需要,我们组织撰写了本书,拟作为从事煤矿防爆电气设备设计、制造、检修和煤矿生产单位的普及培训教材,也可供其他从事煤炭行业防爆电气设备技术和管理工作的有关人员参考。

本书由中煤科工集团上海研究院检测中心组织编写,陈同宝任主任委员,夏文刚、王彩燕任副主任委员。具体撰写分工如下:第一编,第一章和第二章,羊跃海;第三章,钱松;第四章,倪春明;第五章,蔡利新;第六章,于超龙;第七章,郁文哉。第二编,第一章及第三章第一至四节,夏文刚;第二章、第六章,王彩燕;第三章第五节及第四章第二节、第三节,吕志文;第三章第六节、第七节及第四章,张建;第三章第八节、第九节,刘冰;第五章,陈洪飞。

本书依据《煤矿安全规程》、GB 3836 爆炸性环境系列标准及防爆电气设备的行业标准等,结合煤矿井下广泛使用的防爆电器产品进行编写。全书共分两编十三章,其中第一编介绍煤矿井下的爆炸性环境、防爆电气设备的类型及防爆性能要求;第二编介绍防爆电气设备的电气性能、基本构成和电气性能试验等内容。书中所编写的内容力求与煤矿生产的新技术相适应,同时也着重介绍矿用电气防爆技术、基本设计等基础内容,以求兼顾矿用防爆电器产品设计、制造、使用及检修等各专业的读者,同时为相关科研人员及大专院校师生提供参考。因此本书也是一本基础培训教材。

GB 3836.1~4《爆炸性环境用电气设备》的2010版已开始实施,结合新标准的执行,本书在防爆技术方面的内容尽量与其衔接。由于编者水平有限,特别是对新标准学习理解不够,书中难免存在不足和错误之处,敬请读者批评指正。本书在编写过程中曾得到各级领导的大力支持,也得到专业技术专家的帮助,他们提出不少宝贵意见,对此一并表示由衷的感谢。

## 目 录

## 第一编 矿用电气设备的防爆及安全性能要求

第一章 煤矿井下爆炸性环境	3
第一节 煤矿井下瓦斯	3
第二节 瓦斯的特性	4
第三节 煤矿井下环境和工况条件	7
第四节 防止瓦斯爆炸	9
第二章 矿用防爆电气设备防爆性能的通用要求	12
第一节 电气设备防爆型式	12
第二节 防爆电气设备类别和温度组别	16
第三节 防爆性能的通用要求	18
第四节 防爆性能通用试验项目	25
第三章 矿用隔爆型电气设备防爆原理	28
第一节 隔爆型电气设备防爆原理	28
第二节 隔爆型电气设备防爆结构	31
第三节 隔爆型电气设备防爆设计要求	41
第四节 隔爆型电气设备防爆性能试验	49
第四章 矿用增安型电气设备防爆原理	56
第一节 增安型电气设备防爆原理	56
第二节 增安型电气设备防爆结构	57
第三节 增安型电动机专用要求	64
第四节 增安型电动机试验要求	66
第五章 矿用本质安全型电气设备防爆原理	68
第一节 本质安全型电路的基本原理	68
第二节 本质安全型电气设备的防爆结构	72
第三节 本质安全电路设计计算基础	79
第四节 本质安全型电气设备防爆试验	81
第六章 矿用浇封型电气设备防爆原理	91
第一节 浇封型电气设备防爆原理	91
第二节 浇封型电气设备防爆结构	92
第三节 矿用浇封型电气设备防爆性能试验要求	98
第七章 矿用一般型电气设备技术要求	100
第一节 矿用一般型电气设备结构要求	100

第二节 矿用一般型电气设备补充要求..... 103

**第二编 矿用防爆电器产品的电气性能和技术要求**

**第一章 矿用防爆电器类产品概述**..... 107

    第一节 矿用防爆电器类产品分类..... 107

    第二节 矿用防爆电器类产品性能要求..... 109

    第三节 矿用防爆电器产品保护要求..... 110

**第二章 矿用防爆配电开关**..... 113

    第一节 矿用防爆低压真空馈电开关..... 113

    第二节 矿用防爆高压真空配电装置..... 120

**第三章 矿用防爆控制开关**..... 130

    第一节 矿用防爆低压真空起动机..... 130

    第二节 矿用防爆型高压起动机..... 146

    第三节 矿用防爆型低压软起动机..... 151

    第四节 矿用防爆型高压软起动机..... 158

    第五节 矿用防爆型高压起动机电抗器..... 160

    第六节 矿用防爆型变频调速装置..... 164

    第七节 矿用防爆型交流电牵引采煤机电控箱..... 173

    第八节 矿用防爆型掘进机电控箱..... 182

    第九节 矿用防爆型运输设备电控箱..... 187

**第四章 矿用隔爆型移动变电站**..... 193

    第一节 矿用隔爆型移动变电站的组成..... 193

    第二节 移动变电站用高压负荷开关..... 195

    第三节 移动变电站用防爆型低压保护箱..... 198

**第五章 综合保护装置及检漏继电器**..... 201

    第一节 矿用隔爆型煤电钻综合保护装置..... 201

    第二节 矿用隔爆型照明信号综合保护装置..... 206

    第三节 矿用隔爆型检漏继电器..... 212

**第六章 矿用防爆电器类设备电气性能试验**..... 218

**参考文献**..... 230



# 第一编

## 矿用电气设备的防爆及安全性能要求

防爆电气设备是特殊电气设备中的一个大类,与船用电气设备、牵引用电气设备等一样,是从量大面广的通用电气设备中派生出来的。本编仅涉及矿用防爆电气设备的防爆性能要求(如隔爆型电气设备的外壳结构部分),而不涉及设备的电气性能要求(如隔爆型电气设备的“本体”部分)。

设计防爆电气设备一般是在设备达到电气性能基本要求后,再增加防爆保护措施来达到防爆要求,但电气性能要求和防爆性能要求是一个不可分割的整体,两者有着相互依存的关系,以本质安全型防爆电气设备为例,防爆性能要求和电气性能要求要同时考虑、互相兼顾。为便于叙述,涉及防爆电气设备电气性能要求的内容将在第二编结合具体防爆电器类设备介绍。



# 第一章 煤矿井下爆炸性环境

煤炭生产过程中会产生瓦斯、煤尘等具爆炸性的可燃物质,因此,煤矿井下环境的最大特征是大部分生产场所为爆炸性危险环境。井下采、掘、运等生产机械所需动力主要依靠电力,井下几乎无处不在使用着供配电、通讯和自动控制等各种电气设备,按《煤矿安全规程》规定,在具有瓦斯爆炸的危险场所使用的电气设备必须采用矿用防爆电气设备。本章主要涉及安全使用矿用防爆电气设备所需考虑的环境和工况。

## 第一节 煤矿井下瓦斯

在漫长的成煤过程中,在煤层及其围岩层缝隙中积蓄了多种有害气体,这些气体统称为瓦斯,在煤矿掘进和开采过程中,以游离或吸附状态存在的瓦斯气体会释放出来。瓦斯含有甲烷(分子式为 $\text{CH}_4$ )、二氧化碳、一氧化碳、硫化氢和二氧化硫等气体,其中甲烷占主要成分,所以矿井瓦斯通常也单指甲烷气体。

井下空气中瓦斯的含量取决于矿井本身的自然条件,如地质构造、煤层瓦斯含量、煤层中瓦斯压力和透气性等,同时也取决于煤层开采深度、准备巷道掘进速度和采煤工作面生产能力等因素。一般来说,瓦斯主要涌出源是准备巷道的新暴露掘进工作面、采煤工作面及采落的煤。通常在通风量不足等情况下,巷道内瓦斯含量会超过《煤矿安全规程》规定的下限控制值,尤其在准备巷道的掘进工作面、采煤工作面与回风巷道的交界处附近更为严重。煤矿很多巷道都有一定向上的倾角,由于瓦斯比空气轻,因此会在工作面附近巷道上部积聚,一般矿井通风系统不能完全消除这种瓦斯积聚,这些区域危险程度相对较高。《煤矿安全规程》规定,低瓦斯矿井的采煤工作面,必须在工作面设置甲烷传感器;高瓦斯和煤(岩)与瓦斯突出矿井的采煤工作面,必须在工作面及其回风巷设置甲烷传感器,在工作面上隅角设置便携式甲烷检测报警仪。

### 一、掘进巷道瓦斯情况

据有关资料介绍,有的掘进巷道打眼爆破后大约在半分钟之内,瓦斯浓度由1%提高到16%;在1 min之内,瓦斯浓度可提高到30%左右;在3~15 min内,瓦斯浓度则降低到4%~5%。当局部通风机停止工作时,巷道瓦斯积聚浓度随着绝对瓦斯涌出量的增加、瓦斯浓度超限时间的延长、巷道长度和倾角的增大而增大。

### 二、采煤工作面瓦斯情况

在采煤工作面的采煤机附近落煤带和工作面与回风巷的交界处附近,瓦斯积聚较为严重,采煤工作面瓦斯涌出量除了与煤的瓦斯含量有关以外,还与落下的煤和新暴露煤壁的瓦斯逸出量有关。一般认为,开采煤层的厚度、工作面风速、煤层瓦斯天然含量和采煤工作面

平均日推进速度等,是影响瓦斯浓度的主要因素。

### 三、矿井瓦斯等级划分

《煤矿安全规程》规定,一个矿井中只要有一个煤(岩)层发现瓦斯,该矿井即为瓦斯矿井。瓦斯矿井必须依照矿井瓦斯等级进行管理。矿井瓦斯等级,根据矿井相对瓦斯涌出量、矿井绝对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式划分为:

(1) 低瓦斯矿井:矿井相对瓦斯涌出量小于或等于  $10 \text{ m}^3/\text{t}$  且矿井绝对瓦斯涌出量小于或等于  $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(2) 高瓦斯矿井:矿井相对瓦斯涌出量大于  $10 \text{ m}^3/\text{t}$  或矿井绝对瓦斯涌出量大于  $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(3) 煤(岩)与瓦斯(二氧化碳)突出矿井。

低瓦斯矿井中,相对瓦斯涌出量大于  $10 \text{ m}^3/\text{t}$  或有瓦斯喷出的个别区域(采区或工作面)为高瓦斯区,该采区应按高瓦斯矿井管理。

## 第二节 瓦斯的特性

### 一、瓦斯爆炸特性

#### (一) 燃烧与爆炸

煤矿井下瓦斯爆炸一般是由燃烧引起的,瓦斯气体与空气形成的混合物发生燃烧后,产生急剧的物理、化学变化,瞬间产生大量的热能和压力向周围扩散,同时发出很强的响声,这就是瓦斯爆炸。瓦斯爆炸就其本质来说,是一定浓度的甲烷和空气中的氧气在一定温度作用下发生的激烈化学反应,同时伴随着放热、产生二氧化碳气体和水蒸气,化学反应式表示为:



式中左边为初始混合物,右边为反应生成物和释放的热量  $Q$ 。

#### (二) 瓦斯爆炸的条件

矿井瓦斯是无色、无味和无臭的气体,当达到一定浓度时遇点燃源就会燃烧和爆炸。

##### 1. 瓦斯爆炸极限

在标准测试条件下引起爆炸的气体浓度极限值称为爆炸极限:能够引起爆炸的气体最低浓度称为爆炸下限;能够引起爆炸的气体最高浓度称为爆炸上限。爆炸极限值并不是一个常数,而是与爆炸性气体混合物的温度和压力、其他惰性物质含量、点燃源的种类及能量的大小等因素有关,如瓦斯(甲烷)一般爆炸下限在  $5\% \sim 6\%$  之间;爆炸上限在  $14\% \sim 16\%$  之间(随温度、湿度、空气流速不同有变化)。任何爆炸性气体都存在着爆炸的下限和上限,如表 1-1-1 所列,爆炸性气体混合物在其爆炸极限范围内产生的爆炸压力都有一个峰值,这个峰值就是最大爆炸压力,产生最大爆炸压力时的气体浓度称为最大爆炸压力浓度。如在规定的实验室条件下测得的甲烷最大爆炸压力浓度为  $9.8\%$ ,最大爆炸压力为  $0.717 \text{ MPa}$ 。几种典型爆炸性气体在规定的试验条件下测得的爆炸极限如表 1-1-1 所列。

表 1-1-1 几种爆炸性气体特性

序号	名称	分子式	爆炸极限/%	最大爆炸压力/MPa	最大爆炸压力浓度/%
1	甲烷	CH <sub>4</sub>	5~15	0.717	9.8
2	丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.33~9.5	0.858	4.6
3	乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2.75~28.6	0.886	8.4
4	氢气	H <sub>2</sub>	4~74.2	0.739	32.3
5	乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2.5~81	1.03	14.5

瓦斯浓度在爆炸下限以下时,燃烧时产生的热量不足以维持燃烧需要的最低温度,因而瓦斯气体不会被点燃发生爆炸;浓度逐渐增加而超过爆炸上限时,混合物中瓦斯过剩,助燃的氧气浓度低于化学当量值,不能满足完全燃烧的需要,也不会发生爆炸。但是,在井下空气中瓦斯浓度超过爆炸上限时,由于瓦斯气体取代氧气,对于人的生命有危险。例如,空气中瓦斯气体浓度超过 43% 时,由于氧气不足,人就会有窒息的危险。

### 2. 助燃剂

助燃剂可以是空气、氧气或辅助性气体,但主要是空气中的氧气,混合物气体中氧气含量在 12% 以上时就有可能引起瓦斯爆炸;氧气浓度降低时,瓦斯爆炸极限范围也随着缩小;当氧气浓度降低到 12% 以下时,即使在瓦斯爆炸极限范围内也不会发生瓦斯爆炸。氧气浓度与甲烷爆炸极限的关系如图 1-1-1 所示。

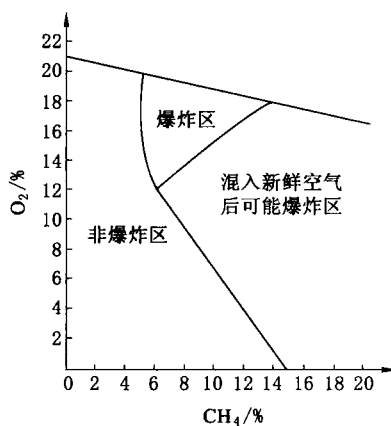


图 1-1-1 氧气浓度与甲烷爆炸极限的界限图

### 3. 点燃源

能引起可燃物质燃烧的热能源称为点燃源,如火花、电弧和危险温度等。当点燃源的温度高于瓦斯的点燃温度,或点燃源火花能量高于瓦斯的最小点燃能量时,就可能产生瓦斯爆炸。点燃源的存在,是引起瓦斯爆炸的必要条件之一。煤矿井下点燃源包括明火、电气火花、热表面、铝热反应、静电放电和机械火花等,但电火源是井下瓦斯爆炸的主要点燃源,同时井下射频等波源也是潜在的点火源,要限制其能量。

(三) 瓦斯爆炸的危害

1. 爆炸压力

瓦斯爆炸后其生成物温度很高,理论上按其温度约为 1 850 °C(考虑了爆炸瞬间热损失)来计算,高温使气体急剧膨胀,产生的冲击波具有很高的压力,这就是爆炸压力,其粗略计算可用式(1-1-1)表示:

$$p_1 = p_0 \times \frac{273 + t_1}{273 + t_0} \quad (1-1-1)$$

式中  $p_1$ ——爆炸后压力;

$p_0$ ——爆炸前压力;

$t_1$ ——爆炸后温度(取 1 850 °C);

$t_0$ ——爆炸前温度(取常温 15 °C)。

由式(1-1-1)可得: $p_1 = 7.4 p_0$ ,即爆炸后气体压力可达爆炸前的 7.4 倍。瓦斯爆炸产生高温、高压,使爆炸源附近的气体在巷道高速传播形成冲击波,冲击波对其传播路径上的一切障碍物都将产生压力,造成人员集中伤亡,毁坏生产设备和巷道设施。

2. 产生压力重叠

瓦斯爆炸冲击波扬起大量煤尘并使煤尘参与爆炸;若气体中有足够的瓦斯和氧气,还可形成连续爆炸。这时由于气体温度升高,引起压力急剧升高,加上巷道狭窄无法释压而引起压力重叠,实际上二次爆炸产生的最大爆炸压力要大得多,破坏力也更大。

3. 产生有毒有害气体

瓦斯爆炸后产成大量的有毒有害气体,造成人员中毒死亡。有害气体中,对人体危害最大的是一氧化碳和二氧化碳。如一氧化碳(CO)含量达 0.4%时,人会中毒死亡。有害气体释放还导致空气中氧气含量降低,当空气中氧气含量降到 10%~12%以下,人将失去知觉,时间长将导致死亡。

二、煤尘对瓦斯爆炸的影响

井下空气中存在的煤尘严重危害作业工人的健康,同时煤尘在一定条件下也会发生燃烧或爆炸,因此,煤尘也是煤矿生产主要灾害之一。煤尘在井下以依附固体表面的煤尘层和浮在井下巷道空气中的煤尘云两种状态存在,煤尘在空气中氧气较少的条件下也能着火,其空气中呈悬浮状态煤尘粒度(粒径)在 1 mm 以下、其浓度(单位体积中悬浮煤尘的质量)在 30~2 000 g/m<sup>3</sup> 范围内时,遇上 700 °C 以上的较大热源,便有发生爆炸的危险。一般瓦斯爆炸和煤尘爆炸是伴生的,在瓦斯爆炸后引起煤尘爆炸,而煤尘爆炸造成的破坏更为严重。

另外,瓦斯和煤尘与空气混合物产生叠加效应,使瓦斯爆炸极限范围扩大,也增加了危险性。当瓦斯中混有煤尘时,会使爆炸下限下降,煤尘和甲烷混合时的爆炸下限下降情况如表 1-1-2 所列。

表 1-1-2 煤尘和甲烷混合时的爆炸下限

悬浮状态煤尘浓度/(g/m <sup>3</sup> )	10.3	17.4	27.9	37.5
甲烷爆炸下限/%	3.7	3.0	1.7	0.6

因此,矿井中瓦斯和煤尘同时存在状态是很危险的,要控制和防止煤尘飞扬,避免和减少瓦斯和煤尘同时出现的情况。《煤矿安全规程》规定了煤矿井下的空气成分和井巷中风流速度要求,对采掘设备也有相应的防扬尘规定,例如在综合机械化采掘工作面,规定采煤机、掘进机必须安装内、外喷雾降尘装置;对工作面、井下煤仓放煤口、溜煤眼放煤口、输送机转载点和卸载点及其他凡能产生煤尘的地点,都必须安设喷雾洒水装置或除尘器。

矿用防爆电气设备的防爆技术主要是针对防止瓦斯点燃爆炸而采取的保护措施,而未专门考虑针对煤尘点燃爆炸的保护措施。

### 第三节 煤矿井下环境和工况条件

矿用防爆电气设备从生产到使用过程中要承受不同程度的环境和工况条件影响,电气性能、防爆性能的故障与其有很大关系。由于煤矿井下工作环境差,防爆电气设备会因外力损伤、化学腐蚀、机械磨损和自然老化等原因影响防爆性能,必须定期由专业人员按规定进行检查和维护。

#### 一、气候环境

##### 1. 温度

煤矿井下的气温随着地层深度和季节的变化而有所区别,但同一地点的年平均温度比较稳定,上下温差变化不大。《煤矿安全规程》规定,生产矿井采掘工作面的空气温度不得超过 $26^{\circ}\text{C}$ ,机电设备硐室的空气温度不得超过 $30^{\circ}\text{C}$ 。采掘工作面的空气温度超过 $30^{\circ}\text{C}$ 、机电设备硐室的空气温度超过 $34^{\circ}\text{C}$ 时,必须停止作业。进风井口以下的空气温度必须在 $2^{\circ}\text{C}$ 以上。以上的规定既考虑了使煤矿井下工人有较合适的工作环境,又考虑了电气设备在运行中能防止高温散热差、高低温的热剧变以及热老化等现象导致绝缘老化,以确保电气设备的正常运行寿命。

##### 2. 相对湿度

井下环境空气湿度大,有的地方还有淋水现象,井下很多场所的相对湿度在 $95\%\sim 100\%$ 范围内变化,最高相对湿度可达凝露点,这种气候环境与湿热带气候相当,会加速电气设备绝缘的下降、造成绝缘材料表面的漏电,电气设备在长期运行过程中由于煤尘向机壳内不断侵入,会使原有电气材料绝缘性能降低,严重时导致电击穿现象。因此,矿用防爆电气设备要求按 GB/T 2423.4—2008 标准规定的试验方法进行交变湿热试验,试验严酷等级应符合相应湿热带电工设备标准的规定,以确保电气设备在井下长期运行过程保持良好的绝缘性能。

#### 二、机械环境

##### 1. 冲击和振动

矿用防爆电气设备从井上运输到井下及安装使用过程中都要承受不同程度的冲击和振动,机载电气设备运行过程要承受剧烈振动,同时巷道受顶板压力的作用会出现煤块、岩石冒落,使电气设备易遭碰、砸、压。因此,要求矿用防爆电气设备外壳要坚固,抗机械冲击强度性能等应按 GB 3836 系列防爆标准的要求评定;同时还要保证电气性能不受冲击、振动

的影响,其振动频率、振幅和时间等应按 GB/T 2423 系列标准的要求评定。

## 2. 作业空间

煤矿井下三维空间受到很多的限制,如运输过程受提升罐笼尺寸、巷道断面和转弯半径等限制;一般矿用防爆电气设备使用地点的巷道、机电硐室和工作面空间都比较狭窄;另外煤矿生产作业地点经常变动,电气设备需要频繁移动,由于不易安置起重设备,因此要求合理选择电气设备材料、外形和结构以便于搬运。

## 三、供电条件

### 1. 供电系统和电压等级

煤矿供电系统一般为地面变电所以 10 kV 或 6 kV 供给井下中央变电所、采区变电所直到工作面配电点。井下电气设备伴随着供电电压等级的变化而发展,采区生产机械工作电压从采用 660 V/1 140 V 到目前的 3 300 V 电压等级,其中 3 300 V、1 140 V 等是煤矿特有电压等级。井下供电的特点:电源(变压器)容量有限;几乎全部为电缆供电,网络电压损失大;远端短路电流较小;负荷(电动机)多为直接起动,对供电系统影响大。

### 2. 电压偏差

煤矿井下由于开采深度、层次的变化,采煤工作面走向距离远,加上井下用电负荷经常变化,因此供电电压的波动范围较大,在用电高峰时电压会降至额定电压的 75%~80%左右,要求矿用电气设备能在较宽的电源范围下正常工作,例如,对电磁操作的矿用防爆开关设备要求应在控制电源电压额定值的 75%~110%范围内均能可靠地动作,同时,对矿用开关设备电子保护器的稳定性等提出较高的要求。

### 3. 电磁环境

煤矿井下采用可控硅等功率电子器件的防爆电气设备应用日益增加,其产生的谐波会干扰电子保护器、控制设备及煤矿井下通讯系统,造成这些电气设备功能紊乱和失效。如矿用防爆变频器设备无论是整流状态还是逆变状态都具有非线性特性,会产生高次谐波,这种高次谐波会使电源的电压和电流波形发生畸变,如果不采取有效抑制措施,它对电控装置和通信系统会有不同程度的影响。

## 四、其他特殊工况

### 1. 电气设备壳内环境

绝缘材料在持续加热后,最初其机械性能下降,然后材料发生分解反应,析出气体和烟雾,如隔爆外壳内带电部件发生短路飞弧现象,会使绝缘材料有机成分受热分解产生爆炸性气体,其中一氧化碳和氢气含量较大,其含量随电弧燃烧时间增加而增大。一般绝缘材料尽管能耐高温,但经高温分解产生的气体浓度足以达到爆炸危险程度,这种情况也需引起重视。表 1-1-3 列出了聚酰胺树脂、环氧树脂和苯乙烯聚酯共聚物三种绝缘材料在密闭容器内高温分解生成的气体量。

由于防爆电气设备外壳一般要达到防爆或防护要求,因此在正常运行中壳内温度扩散条件差,在内部形成特殊的环境条件,尤其对需频繁起停、须分断大电流的防爆电气设备,如空气中的开关触头的电弧会引起设备内高分子绝缘材料分解,从而产生有害物质,导致电器元件工作条件的恶化;严重时电弧能量使得防爆外壳中的压力和温度升高,造成外壳结构破



表 1-1-3 三种绝缘材料在密闭容器内高温分解生成的气体量

气体	高温分解 1 克树脂产生的气体量/cm <sup>3</sup>		
	聚酰胺树脂	环氧树脂	苯乙烯聚酯共聚物
二氧化碳	52.0	8.3	19.0
一氧化碳	100.0	28.2	—
氢	80.6	—	—
甲烷	56.3	30.2	16.9
乙炔		2.9	—
乙烯		8.8	13.2

坏,因此要采取电气保护措施防止电气弧光短路发生。如防爆标准规定在矿用隔爆外壳内,能承受空气中产生电弧、且由大于 16 A 额定电流引起电气应力的绝缘材料(例如在断路器、接触器和隔离开关等开关电器中),按照 GB/T 4207—2003 的规定,其相对泄痕指数不应小于 CTI400M。如果绝缘材料相对泄痕指数达不到要求,则要求其体积限制到空隔爆外壳总容积的 1%,或要求有合适的检测装置保证在绝缘材料可能分解导致出现危险之前在电源侧断开向其供电的电源。

#### 2. 工作负荷

煤矿井下采、掘、运机械用的电动机经常处于点动、堵转、频繁起动、重载起动和过载条件下运行。如采煤机械在割煤过程中会产生过载,采煤机频繁起动会导致电动机过热烧毁;运输机械在带负荷(堆煤)情况下起动,造成电动机起动困难甚至烧毁;在工作机械频繁起动过程中,控制开关频繁操作会造成触头熔焊而丧失分断能力。因此,要求矿用电气设备应具有一定过负荷能力和足够的容量裕度。

#### 3. 采区供电的安全

为保证采煤工作面走向长度内线缆下降损失不超过允许值,移动变电站必须深入采区。大容量供配电用防爆电气设备大量使用在有瓦斯爆炸危险场所及高电压深入采区作业点是煤矿生产不同于地面爆炸性危险场所工况的另一大特点,对采煤作业场所的防爆安全和供电安全提出更高要求,如《煤矿安全规程》规定采区电气设备使用 3 300 V 供电时,必须制定专门的安全措施。

### 第四节 防止瓦斯爆炸

采取适当的措施,使产生爆炸的三个条件不同时具备即可达到防止爆炸的目的。空气中氧气含量(体积比)通常为 21%左右,煤矿井下生产为保证作业工人正常工作,采用通风设备不间断地从地面向井下强制通风,使井下巷道空气中含氧量处在和地面几乎一样的范围。《煤矿安全规程》规定采掘工作面的进风流中,氧气浓度不得低于 20%,也就是说爆炸必须具备的三个必要条件之一氧气不可避免存在,控制瓦斯气体浓度和控制点火源能量就成为两种最常用的防止瓦斯爆炸的措施。