

T D 684

C-427

煤矿安全技术培训教材

煤矿电气防爆

编写：崔居普 孙存华 周凤鸣
 武恒隆 刘明秀 肖调燕
审稿：林基晃 杨永森 金兆民
 陈庆珠 刘纪周

煤炭工业出版社

前 言

瓦斯、水、火、顶板等自然灾害及各类事故是煤矿井下生产作业的一个突出问题，它直接影响着煤炭生产的健康发展。目前煤矿事故多的一个重要原因是煤矿职工的法制观念不强，安全技术素质较低。为适应煤炭工业发展的需要，促进煤矿安全生产状况的根本好转，对煤矿在职职工实行强制性的安全技术培训是一项十分重要的战略性任务。近年来，这项工作已受到各级部门领导的普遍重视。

为配合正规的安全技术培训工作，教育局工人培训处组织一些局、矿、安全技术培训中心和院校编写了局矿领导干部、采掘区队长、通风区队长、机电区队长、运输区队长、采区电钳工、放炮员、瓦斯检查员、测风员、提升机司机、电机车司机、安全监察员、防突人员、井下采掘工人等类人员的安全技术培训教材，将陆续出版发行，以满足培训工作的需要。

这套教材结合各类人员的工作性质、职责，编写内容上力求通俗易懂，联系本岗位的实际工作，着重从党和国家的安全生产方针、政策、法规；安全技术基本应用知识；各类灾害事故的发生规律、预防措施和事故的处理，以及矿山救护与自救、互救等方面作为编写的基本内容。按本教材进行培训后，对煤矿职工将会增强法制观念，自觉遵章守纪，提高安全技术水平和预防各类事故的能力，促进安全生产。

在编、审教材工作中得到有关单位的大力支持，在此表示感谢。

中国统配煤矿总公司教育局

ABF 42/09

编者的话

随着我国煤炭工业的不断发展，煤矿开采深度和开采量逐渐加大，井下可燃、可爆性气体及煤尘的生成量也越来越多。另一方面，随着煤矿机械化、现代化程度的不断提高，井下使用的电气设备越来越多。为了防止电气设备在正常运行中或事故状态下产生的电弧、电火花点燃井下可燃性气体和煤尘，必须搞好电气防爆。多年来的生产实践告诉我们，井下电气设备的防爆性能如果遭到破坏，不仅会造成机电事故影响生产的正常进行，而且可能引爆井下瓦斯和煤尘，造成重大恶性事故，严重威胁职工生命和国家财产、资源的安全。因此，搞好电气设备的防爆工作是保证煤矿安全生产的必要条件之一。

为了适应煤矿生产发展的需要，切实搞好井下电气设备的防爆，改善安全条件，提高安全水平，我们编写了《煤矿电气防爆》一书。本书根据《煤矿安全规程》和国家颁布的有关标准以及“煤矿安全技术培训教学大纲”的要求，同时结合典型事故案例，对有关电气防爆的基本理论、各类防爆电气设备的性能、防爆原理、结构特点及其使用、维护、检查、检修等方面的知识和技术，煤矿井下电气防爆管理作了较为系统、全面的介绍。另外还对煤矿井下有关的电气安全基本知识和技能作了简单介绍，以供参考。

《煤矿电气防爆》一书主要作为具有初中以上文化程度的煤矿井下电气设备防爆检查员的培训教材，也可作为防爆电气设备检修工、煤矿机电区队长、班组长和井下电工及有关工程技术人员的业务学习参考书。

本书在编写过程中曾得到中国统配煤矿总公司教育局的高度重视和协助，平顶山矿务局机电处、安全技术培训中心对本书的

编写给予了大力支持和帮助，对此，我们一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，热诚欢迎广大读者批评指正。

编者

一九九一年七月

目 录

前 言

| | |
|------------------------------|----|
| 第一章 防爆电气设备概述 | 1 |
| 第一节 矿井沼气爆炸 | 1 |
| 第二节 矿井煤尘爆炸 | 7 |
| 第三节 矿用电气设备的基本要求与防爆措施 | 10 |
| 第四节 防爆电气设备的类型 | 12 |
| 第五节 防爆电气设备的选型 | 19 |
| 复习题 | 22 |
| 第二章 防爆电气设备的通用要求 | 23 |
| 第一节 防爆电气设备的通用规定 | 23 |
| 第二节 防爆电气设备的专用规定 | 33 |
| 第三节 防爆电气设备的试验项目 | 35 |
| 第四节 防爆电气设备的检验 | 41 |
| 复习题 | 42 |
| 第三章 隔爆型电气设备 | 43 |
| 第一节 概述 | 43 |
| 第二节 电气设备外壳内的沼气爆炸 | 45 |
| 第三节 隔爆原理 | 50 |
| 第四节 隔爆型电气设备的隔爆结构参数 | 57 |
| 第五节 隔爆型电气设备的外壳附件 | 63 |
| 第六节 隔爆型电气设备防爆性能的保证 | 66 |
| 第七节 隔爆型电气设备的试验 | 70 |
| 复习题 | 74 |
| 第四章 增安型电气设备 | 76 |
| 第一节 概述 | 76 |
| 第二节 增安型电气设备的防爆措施 | 78 |
| 第三节 增安型电气设备的专用规定 | 85 |

| | | |
|------------|------------------------------------|-----|
| 第四节 | 增安型电气设备的试验 | 90 |
| 复习题 | | 96 |
| 第五章 | 本质安全电路和本质安全型电气设备 | 97 |
| 第一节 | 本质安全电路基本知识 | 97 |
| 第二节 | 本质安全型电气设备的防爆原理 | 101 |
| 第三节 | 本质安全型电气设备的部件 | 109 |
| 第四节 | 本质安全型电气设备的结构要求 | 119 |
| 第五节 | 本质安全型电气设备的试验 | 123 |
| 复习题 | | 126 |
| 第六章 | 其它型式的防爆电气设备简介 | 127 |
| 复习题 | | 140 |
| 第七章 | 防爆电气设备的使用与维修 | 141 |
| 第一节 | 隔爆型电气设备的使用与维修 | 141 |
| 第二节 | 增安型电气设备的使用与维修 | 157 |
| 第三节 | 本质安全型电气设备的使用与维修 | 161 |
| 复习题 | | 163 |
| 第八章 | 电气防爆管理 | 164 |
| 第一节 | 建立健全专业化管理组织机构 | 164 |
| 第二节 | 健全管理制度实行科学管理 | 166 |
| 第三节 | 防爆电气设备的检查和修理 | 177 |
| 第四节 | 《煤矿安全规程》中与电气防爆有关的规定 | 185 |
| 复习题 | | 194 |
| 附录一 | 最小点燃电流、电压曲线 | 195 |
| 附录二 | 短路电流计算 | 203 |
| 附录三 | 煤矿采区电网中常用电动机的额定电流及 额定起动电流 | 245 |
| 附录四 | 计量单位及词头对照表 | 250 |
| 参考文献 | | 251 |

第一章 防爆电气设备概述

第一节 矿井沼气爆炸

一、瓦斯

在长期的成煤过程中，伴生了一些有害气体。这些气体蓄积在煤层、岩层和泥沙层的缝隙之中，在煤矿掘进和开采过程中，这些气体会不断地释放出来。我们把这些在煤矿生产过程中产生的有毒有害气体称为瓦斯。

1. 瓦斯的成分

瓦斯的主要成分是甲烷 (CH_4)，俗称沼气[●]，此外还有氮气 (N_2)、二氧化碳 (CO_2)、一氧化碳 (CO)、乙烷 (C_2H_6)、氢气 (H_2)、硫化氢 (H_2S) 和二氧化硫 (SO_2) 等气体。我国一些矿务局 (矿) 常出现的瓦斯成分和含量见表1-1。从表中可以看出，矿井瓦斯中甲烷的含量一般在83%以上。

2. 瓦斯的的存在状态

瓦斯在煤体或岩石中以游离状态或吸附状态存在。

(1) 游离状态 (自由状态)：瓦斯以完全气态存在于煤体或岩体的空隙、裂纹与孔洞中，存在的数量取决于煤体和岩体空隙的大小以及外界的压力与温度。

(2) 吸附状态 (结合状态)：瓦斯以单分子薄膜形式吸附在煤的表面。固体物质都具有把周围介质中的微粒吸附到其表面的能力，这种能力叫固体物质的吸附性。固体物质的吸附性与其表面积的大小有关。由于煤是一种多孔物质 (其孔隙与煤化程度

[●] 沼气原指池沼泥污中埋藏的植物发酵腐烂生成的气体，其主要成分是甲烷。《煤矿安全规程》(1986年版)将井下有害气体总称为瓦斯，将甲烷称为沼气。因此，本书中“沼气”一律指甲烷。

表 1-1 部分局矿瓦斯成分含量表

| 局(矿)名称 | 各种成分含量(%) | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----|---------|
| | CH ₄ | N ₂ | CO ₂ | H ₂ | CO | 其它碳氢化合物 |
| 平顶山(己 ₁₀ 煤层) | 43.88 | 8.09 | 14.33 | — | — | 33.69* |
| 大同 | 95 | 0.5 | — | — | 2.0 | 2.5 |
| 唐山 | 90~96 | 2.7 | 0.5 | 0.03 | 1.1 | 2.1 |
| 抚顺 | 83.7~96.9 | 1.0~1.42 | 0.42 | 2.0 | 0.3 | — |
| 阜新 | 91.9~96 | 1.8 | 1.2 | 1.1 | 0.8 | 1.2 |
| 阳泉 | 89~94 | 2.3 | 2.1 | — | 0.4 | 1.0 |
| 峰峰 | 94.3 | 4.2 | — | 1.2 | — | — |
| 淮南 | 91 | 5.5 | — | 2.1 | 0.2 | 1.2 |
| 淮北 | 91.1 | 7.9 | 1.1 | — | 0.5 | — |
| 徐州 | 93.4 | 4.1 | 0.1 | 0.04 | — | 2.1 |
| 上海大屯 | 84~90 | 6.2 | — | 0.01 | — | 3.5 |
| 无锡丁山 | 85 | 10.1 | 3.2 | — | 1.4 | — |

* 其中C₂H₆为29.84%，C₃H₈为3.77%，C₄H₁₀为0.08%。

有关)，每克煤的微孔所具有的表面积可达数10~200m²，因而煤具有很高的吸附性。煤所吸附的瓦斯量不仅取决于煤化程度，也与周围的压力和温度有关。

上述瓦斯在煤中存在的两种状态，在一定的压力和温度条件下处于游离与吸附间动态平衡状态。实测表明，在目前开采深度(1000~2000m以内)的煤层中，70%以上的瓦斯以吸附状态存在于煤体之中。

3. 瓦斯的释放形式

瓦斯涌出：采煤过程中，煤体中的压力、温度及煤体结构发生变化，破坏了原有的平衡状态，部分游离瓦斯就扩散到采区空间，同时部分吸附状态的瓦斯也转化为游离状态，进入采区空间。如果瓦斯扩散转化过程是稳定、缓慢和持久的，就叫做瓦斯涌出。瓦斯的涌出源主要是准备巷道的新暴露面和回采工作面以及新采落的煤。

瓦斯喷出：如果煤体或岩体中较大的空隙可沟通的范围很

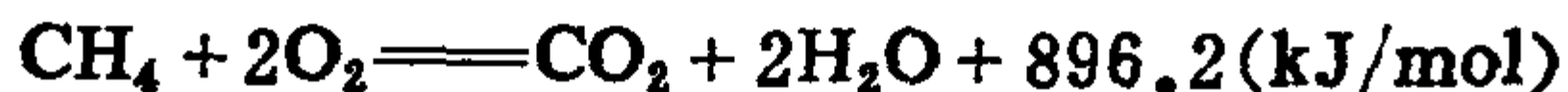
广，而且附近蕴藏大量瓦斯时，这些瓦斯在较短时间内从可见的孔洞大量放出的现象叫瓦斯喷出。

瓦斯突出：煤矿井下采掘过程中，在极短的时间内（几秒或几分钟）突然从煤（岩）体内喷出大量煤（岩）与瓦斯的現象叫煤与瓦斯突出，简称瓦斯突出。煤与瓦斯突出是一种复杂的动力现象。大多数研究者认为，煤与瓦斯突出是地压、高压瓦斯和煤体结构性等三个因素综合作用的结果，是积聚在围岩和煤体中大量潜能的高速释放。

二、沼气的性质

沼气是一种无色、无臭、无味的气体。它的密度（在标准状况下）是 0.717g/l ，大约是空气密度的一半，因此很容易积存在巷道的顶板处，特别是聚积在冒落的顶板空间或独头上山的掘进工作面中。沼气极难溶于水，易扩散，渗透性很强。沼气虽然无毒，但当它在空气中的浓度增加时，氧气含量必然减少，因此会使人感到呼吸困难、身心不适，对人体的健康造成危害。如果沼气浓度达到43%时，人就会窒息，如果含量达到57%时，人就有致命的危险。

沼气本身不助燃，但极易燃烧。当空气中具有一定浓度的沼气并遇到高温时，可引起爆炸。沼气燃烧和爆炸的化学反应方程式是一样的，都是甲烷与空气中的氧气发生氧化还原反应：



所不同的是燃烧的传播速度慢，每秒约为数十米；爆炸的传播速度快，可达 $2000\sim 3000\text{m/s}$ 。此外燃烧只产生光和热，没有响声，这是因为燃烧时发出的热量不多，没有气体高速膨胀；而爆炸因反应速度快，放出大量的光和热，所以气体高速膨胀，发出巨大的响声。

三、沼气爆炸的条件

沼气并不是在任何情况下都会爆炸的，而是必须同时具备三个条件：一是要有一定的浓度；二是具有足够能量，能引起沼气爆炸的点火源或危险温度；三是有足够的氧气。三者缺一

不可。

1. 沼气的浓度

爆炸性气体与空气混合，只有在一定浓度范围内才是可爆炸的，即点燃这种浓度的混合气体，爆炸会自动蔓延开来（不须再继续输入能量和空气）。可能产生爆炸的最低浓度称为爆炸下限。最高浓度称为上限。对于沼气来讲，在新鲜空气中爆炸界限为5%~16%^①。沼气浓度低于5%或高于16%时都不会发生爆炸，只能燃烧。燃烧浓度也应有一个界限，但是目前还没有实验数据。煤矿常见的几种可燃性气体混合物的爆炸浓度界限见表1-2。

表 1-2 几种可燃性气体混合物的爆炸浓度界限

| 混合物名称 | 浓度界限 (%) | | 混合物名称 | 浓度界限 (%) | |
|-------|----------|-------|-------|----------|-------|
| | 下 限 | 上 限 | | 下 限 | 上 限 |
| 甲 烷 | 5.00 | 16.00 | 环 己 烷 | 1.33 | 7.75 |
| 乙 烷 | 3.22 | 12.45 | 甲 醇 | 6.72 | 36.50 |
| 丙 烷 | 2.37 | 9.50 | 乙 醇 | 3.28 | 19.00 |
| 丁 烷 | 1.86 | 8.41 | 乙 醛 | 3.90 | 57.00 |
| 戊 烷 | 1.40 | 7.80 | 氢 | 4.00 | 75.00 |
| 乙 烯 | 2.75 | 28.60 | 一氧化碳 | 12.50 | 74.00 |
| 丙 烯 | 2.40 | 11.00 | 氨 | 15.50 | 27.00 |
| 丙 酮 | 2.55 | 12.80 | 二硫化碳 | 1.25 | 50.00 |
| 甲酸甲酯 | 5.05 | 22.70 | 氯 乙 烯 | 4.00 | 21.70 |
| 乙 炔 | 2.50 | 81.00 | 硫 化 氢 | 4.30 | 45.50 |
| 苯 | 1.41 | 6.75 | 甲 基 氯 | 8.25 | 18.70 |
| 甲 苯 | 1.27 | 6.75 | 乙 基 氯 | 4.00 | 14.80 |
| 环 丙 烷 | 2.40 | 10.00 | 甲 基 溴 | 13.50 | 14.50 |

另外，矿井中煤尘对沼气被引燃爆炸的界限影响很大。当沼气-空气混合物中有煤尘时，会使爆炸下限下降。这是因为煤

^① 这里的浓度是指体积比。因为每摩尔的气体体积都是22.4l，所以在研究气体化学反应时，为了便于计算总是采用体积浓度。本书所述浓度除特别说明外，均为体积浓度。

尘在300~400℃时能放出大量可燃气体，所以混入煤尘可以使沼气爆炸下限降低。根据测定，当沼气浓度3.5%、煤尘含量6.1g/m³时就会发生爆炸。表1-3是沼气和煤尘混合物爆炸的最低值。

表 1-3 沼气煤尘同时存在的爆炸下限

| | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|-----|-----|
| 空气中的沼气(%) | 0.5 | 1.4 | 2.5 | 3.5 | 4.5 |
| 煤尘的下限浓度(g/m ³) | 34.5 | 26.5 | 15.5 | 6.1 | 0.4 |

2. 点火源 (或危险温度)

当火源的温度高于沼气的点燃温度或发热固体表面温度高于沼气的自燃温度时，就可点燃沼气-空气混合物。

点燃温度是把热源热体放在最易热引燃的沼气-空气混合物●中，引起混合物局部燃烧，然后扩展开来形成全面燃烧或爆炸的热源热体的最低温度。在局部燃烧扩展开来后，除去热源体，也能引起气体混合物全面燃烧或爆炸。这个最低温度称为沼气-空气混合物的点燃温度。如果热源热体温度低于点燃温度，在气体混合物中只能引起局部燃烧，而不能扩展成全面燃烧或爆炸，当除去热源热体时局部燃烧马上熄灭。点燃温度与沼气-空气混合物的初始状态有关，现在还没有准确的数据，一般认为在650~750℃之间。

自燃温度是把盛有最易热引燃的沼气-空气混合物的容器加热，不需要点火源就能发生全面燃烧或爆炸的最低温度。甲烷的自燃温度是595℃。

煤矿井下导致沼气点燃的火源有：明火、炮焰、电火花、摩擦撞击产生的火花和发热的物体表面等。

3. 氧气含量

混合气体中氧气的含量在12%以上时才有可能引起沼气-空气混合物爆炸。试验证明，沼气爆炸范围随混合气体中氧气浓度

● 最易热引燃的浓度是7.5%；最易被电火花引燃的浓度是8.3%~8.5%。

的降低而缩小，特别是爆炸上限下降很快。当氧气浓度降低到12%时混合气体即失去爆炸性。

四、沼气爆炸的危害

矿井沼气爆炸是煤矿特有的、后果极其严重的一种灾害。这种灾害发生时能造成人员伤亡，严重摧毁井下设施，使生产中断并且难以在短期内恢复。例如，1942年，在本溪煤矿因电气火花引起沼气爆炸和煤尘爆炸，共有1549人死亡。又如，日本夕张煤矿1981年发生沼气爆炸，接着又引起井下火灾，造成93人死亡，矿井被迫关闭。沼气爆炸造成的危害是由以下几方面引起的：

1. 高温

沼气爆炸时产生大量的热量，使周围气体温度迅速上升，可达1850℃以上。这样高的温度会造成人员伤亡，也会引起井下火灾，烧毁巷道和设备。

2. 高压

爆炸时由于气体温度骤然升高，必然会引起气体压力的增大。在空间一定的情况下，爆炸前后气体压力关系可用下式表示：

$$P_1 = P_0 \times \frac{273 + t_1}{273 + t_0} \quad (1-1)$$

式中 P_0 ——爆炸前混合气体的压力，Pa；

P_1 ——爆炸后混合气体的压力，Pa；

t_0 ——爆炸前混合气体的温度，℃；

t_1 ——爆炸后混合气体的温度，℃。

若以 $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ； $t_1 = 1850$ 代入上式，

则 $P_1 \approx 7.4P_0$ 。

即爆炸后气体的压力是爆炸前的7.4倍。

3. 冲击波

沼气爆炸时产生的高温、高压，使爆炸源附近的气体向外高速传播，形成冲击波，可造成大量人员伤亡及巷道和设备破坏。

4. 连续爆炸

沼气爆炸后产生的冲击波可以扬起煤尘，使煤尘参与爆炸。另外在爆炸发生时，爆炸源附近的气体高速向外冲出后形成一个低压区，因此冲击气体连同外围的气体又高速返回爆源。如果反向冲击的气体中含有足够的沼气和氧气，就可形成二次爆炸。

5. 有毒有害气体

沼气爆炸后产生大量的有毒有害气体，同时空气中氧含量大大减少。有害气体中，对人体危害最大的是一氧化碳。有煤尘参与爆炸时，产生的一氧化碳更多。据分析，当空气中氧含量降到10%~12%时，人将失去知觉，导致死亡。一氧化碳含量达到0.4%时，人将很快中毒死亡。根据某矿爆炸后气体取样分析：氧气(O₂)占6%~10%；氮气(N₂)占82%~88%；二氧化碳(CO₂)占4%~8%；一氧化碳(CO)含量占2%~4%。从气样中有害气体的含量看，一氧化碳中毒是造成伤亡的重要因素。

第二节 矿井煤尘爆炸

一、煤尘爆炸的机理

煤尘是指依靠自身的重量就可以降落下来，但也可在空气中悬浮一段时间的、直径小于1mm的煤炭颗粒。它是在煤的开采和运输过程中产生的。随着生产规模的不断扩大和矿井机械化程度的提高，煤尘的生成量也在不断地增加。在大型矿井中，一昼夜煤尘的生成量可达矿井煤炭产量的3%。

煤尘在井下的存在状态有两种：一是堆积或附着在固体表面，形成煤尘层；二是悬浮在空气中，即煤尘云。

煤尘在一定条件下可燃烧和爆炸，造成重大事故。由于煤是可燃物质，被破碎成细小颗粒后表面积增大，氧化能力显著提高。煤尘在300~400℃时就能放出大量可燃气体，这类可燃性气体一经与空气混合，在高温作用下即发生燃烧。如果这时放出的热量能够有效地传播给附近的煤尘，这些煤尘也迅速受热分解，

跟着燃烧起来。这种过程不断地进行下去，氧化反应越来越快，温度越来越高，达到一定程度便发展为剧烈的爆炸。其中粒度在 $75\mu\text{m}$ 以下的煤尘是爆炸的主体。

二、煤尘爆炸的条件

煤尘爆炸必须同时具备四个条件：（1）煤尘本身有爆炸性；（2）煤尘悬浮在空气中形成煤尘云并达到一定的浓度；（3）有能引起煤尘爆炸的热源；（4）有足够的氧气。

1. 煤尘的爆炸性

煤的碳化程度越高，可燃挥发物的含量就越高，煤尘的爆炸性就越强。因此可用工业分析法计算出的可燃挥发物百分值来大致判断煤尘的爆炸危险性。煤尘的可燃挥发分又称煤尘的爆炸指数，其值为：

$$V = \frac{V^*}{100 - A^* - W^*} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 V ——可燃挥发分，%；

V^* ——工业分析挥发分，%；

A^* ——工业分析灰分，%；

W^* ——工业分析水分，%。

一般认为 V 在10%以下时煤尘基本是不爆炸的，属于这类的为无烟煤； V 在10%~15%时爆炸较弱，属于这类的是贫煤； V 在15%以上时即有爆炸危险性，属于这类的有焦煤、气煤和褐煤等。据统计，在统配煤矿中有88%的矿井煤尘爆炸指数均大于28%，有很强的爆炸性。

应该指出，由于煤的成分很复杂，同类煤的挥发分也不一样，所以挥发分含量可作为确定煤尘有无爆炸危险的参考依据。确定一个煤层有无煤尘爆炸危险性必须按《煤矿安全规程》154条规定进行煤尘爆炸性鉴定。

2. 浮游煤尘的浓度

煤尘的浓度常用单位体积中悬浮煤尘的质量 (g/m^3) 来表

示^①。井下空气中只有悬浮的煤尘浓度在一定的范围内，才可能引起爆炸。能够发生煤尘爆炸的最低含量叫做煤尘爆炸下限浓度；最高煤尘含量叫做爆炸上限浓度。煤尘爆炸的浓度范围的确定与煤的成分、粒度、点火源的种类、温度及试验条件有关。我国试验的结果：煤尘爆炸下限浓度 $45\text{g}/\text{m}^3$ ，上限浓度 $1500\sim 2000\text{g}/\text{m}^3$ 。爆炸力最强的煤尘浓度为 $300\sim 400\text{g}/\text{m}^3$ 。

在井下各生产环节中，一般情况下很难形成浓度大于 $45\text{g}/\text{m}^3$ 的煤尘云，但当巷道中沉积的煤尘层受到冲击波的震动、气流的吹扬或其它原因再次扬起后，其浓度就可以达到爆炸的界限。因此，沉积煤尘是最大的隐患。另外，如果矿井空气中有沼气和煤尘同时存在，可以互相降低两者的爆炸下限，从而增加了爆炸的危险性（沼气与煤尘同时存在的爆炸下限见表1-3）。

3. 点火源（或危险温度）

煤尘爆炸的引燃温度变化范围较大，它随着煤尘的性质和试验条件的不同而变化。经试验，我国煤尘云爆炸的引燃温度在 $610\sim 1050^\circ\text{C}$ 之间，一般为 $700\sim 800^\circ\text{C}$ 。煤尘层的引燃温度较低，当固体表面温度在 200°C 以上且煤尘层厚度超过 5mm 时，煤尘很容易发生自燃。

4. 氧气

试验表明，空气中的氧气含量降低时，煤尘爆炸的引燃温度会升高，当空气中的氧气含量低于 17% 时，煤尘就不会爆炸。

三、煤尘爆炸的危害

煤尘爆炸与沼气爆炸一样是矿井的严重灾害，而且二者往往相伴发生。煤尘爆炸的危害也可分为五个方面。

(1) 煤尘爆炸可放出大量的热能，爆炸火焰温度高达 $1600\sim 1900^\circ\text{C}$ 。

(2) 爆炸产生巨大的压力，其理论值为 736kPa ，但在爆炸过程中，如遇障碍物（巷道的拐弯或巷道断面的突变），爆炸力

^①粉尘的浓度有两种表示方法：一是用单位体积中粉尘的质量，二用单位体积中粉尘的颗粒数。

将猛增，尤其是连续爆炸时，第二次爆炸的理论压力为第一次的5~7倍。所以煤尘爆炸的破坏性要比沼气爆炸更为严重。

(3) 爆炸的冲击波速度可高达2340 m/s。

(4) 引起连续爆炸。例如平顶山某矿1960年因煤电钻短路火花引起沼气爆炸。爆炸波震起了沉积的煤尘，又导致二次、三次爆炸，造成了死亡多人的重大事故，给国家财产和人民生命安全造成极严重的损失。

(5) 爆炸气体中含有大量的二氧化碳和一氧化碳，灾区空气中一氧化碳的浓度可达2%~3%，甚至高达8%左右。这是造成矿工大量中毒伤亡的主要原因。

第三节 矿用电气设备的基本要求与防爆措施

一、煤矿井下工作条件对电气设备的要求

(1) 井下环境潮湿，有的地方还有淋水，因此电气设备要求防滴（溅），隔爆外壳及隔爆接合面要求防锈蚀，电气绝缘材料要求耐潮。此外，井下温度较高，故还应对矿用电气设备的绝缘性能进行湿热试验。

(2) 井下常有煤、岩石冒落、片帮，运动设备的拉、挂、碰、撞，易使设备受损坏，因此要求电气设备具有坚固的外壳。

(3) 井下采、掘工作面经常移动，电气设备也将随着移动，因此要求电气设备的选材与结构应便于搬运。

(4) 井下工作繁重、负荷变化大，因此要求电气设备运行可靠，有一定的过负荷能力。

(5) 井下空间狭窄，照明不足，因此要求电气设备体积小，操作简单，维护方便。

(6) 井下存在着沼气、煤尘等爆炸性混合物，因此要求使用在爆炸性环境的电气设备具有防爆性能。

二、矿用电气设备防爆的重要性

为了防止沼气、煤尘爆炸事故的发生，一方面要限制它们在空气中的含量，例如采用加强通风以降低沼气的浓度，喷洒水或

岩石粉迫使煤尘降落等措施，另一方面要杜绝一切能够点燃矿井沼气、煤尘的点火源和危险温度。

电气设备正常运行或事故状态下可能出现火花、电弧、热表面和灼热颗粒等，它们都具有一定的能量，可以成为点燃矿井沼气和煤尘的点火源。大量的统计资料表明，电火源是井下沼气爆炸的主要点火源。例如：1970~1981年间全国煤矿（社、队小煤窑除外）共发生255次重大的爆炸事故。其中有115次是由电气火花源引爆的，占爆炸事故的45%。如果按爆炸死亡人数统计，电火花引爆事故死亡人数则占总死亡人数的55%，均居第一位。又如美国煤矿1952~1961年10年间所发生的209次沼气燃爆事故中，由于机电设备不良（含照明设备）引爆的次数为75次，占爆炸事故的35.9%。随着煤矿电气化程度的提高及井下电气设备的电压等级的提高，电气设备的事故更易发生。因此搞好电气设备的防爆，对防止沼气、煤尘爆炸事故具有十分重要的意义。

三、矿用电气设备防爆的基本措施

电气设备防爆总的方向是设法消除点火源同爆炸性混合物的接触，限制热源的强度或作用范围。目前煤矿井下电气设备防爆常采取以下措施。

1. 采用间隙隔爆技术

间隙隔爆技术是把正常运行或故障状态下可能引爆沼气或煤尘的电气设备置于坚固的具有隔爆结构的外壳内。当隔爆外壳内部发生爆炸时，不会引起外壳外部的沼气与煤尘的爆炸，即采用“隔爆外壳”进行电气防爆。这种防爆技术一般用于“强电”系统。

2. 采用本质安全技术

本质安全技术的特点是限制热源的能源，使本质安全设备在正常或事故状态下所产生的电火花均不能点燃沼气与煤尘，即采用“本质安全电路”（旧称“安全火花电路”）。这种防爆技术只适用于“弱电”系统。

3. 采用增加安全程度的措施