



煤矿井下电工丛书

防爆原理及修理工艺

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

584

煤矿井下电工丛书

防爆原理及修理工艺

开滦煤矿编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是全套《煤矿井下电工丛书》的一个分册。主要介绍煤矿常用防爆电气设备的防爆原理、隔爆外壳修理、维修和故障分析、处理。对防爆电气设备的基本要求和常识也作了简要阐述。便于煤矿井下电工了解并掌握防爆电气设备的基本原理、维修的具体工艺和故障处理方法,从而更好的管好、用好、修好防爆电气设备,保证安全生产。

煤矿井下电工丛书 防爆原理及修理工艺

开滦煤矿编

*

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 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $4\frac{7}{8}$

字数104千字 印数1—20,500

1977年8月第1版 1977年8月第1次印刷

书号15035·2098 定价0.35元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们能够学会我们原来不懂的东西。
我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将
善于建设一个新世界。

中国人民有志气，有能力，一定要在
不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展。煤炭工业战线欣欣向荣，形势一派大好。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

为了适应煤炭工业的迅速发展，满足煤矿电工为革命学习技术的迫切要求，我们组织了以工人为主体的“三结合”编写小组，结合总结煤矿电工的实践经验，并收集了有关技术资料，编写了《煤矿井下电工丛书》。

参加“三结合”编写小组的有：河北矿冶学院、开滦煤矿唐山矿、赵各庄矿、范各庄矿、林西矿、开滦煤矿机修厂、开滦大学附属技工学校的工人、技术人员和教师。在编写过程中，进行了调查研究、征求意见和修改补充。内容由浅入深，文字力求通俗易懂。结合煤矿生产实际选编了一些例题，便于读者掌握和运用电的技术知识。

在编写过程中，我们得到许多厂矿、科研与设计单位以及院校的大力支持，谨此表示感谢。

由于我们的政治思想水平和技术水平所限，加之时间仓促，书中定有不少缺点和错误，热诚地希望同志们提出批评、指正。

开 滦 煤 矿 一九七四年九月

目 录

第一章	防爆原理	1
第一节	矿井瓦斯的形成及其性质.....	1
第二节	瓦斯的爆炸.....	4
第三节	矿用防爆电气设备的分类.....	14
第四节	隔爆外壳.....	16
第五节	安全火花电路系统.....	25
第六节	超前切断理论.....	39
第二章	防爆电气设备的基本要求	52
第一节	隔爆外壳的材质及强度.....	52
第二节	隔爆外壳的水压试验.....	54
第三节	隔爆外壳的结构及其参数.....	57
第四节	接线盒装置.....	64
第五节	空气间隙和漏电路.....	70
第六节	闭锁装置.....	73
第七节	鉴定程序.....	74
第三章	隔爆外壳的修理	77
第一节	失爆原因.....	77
第二节	静止隔爆接合面的修复.....	78
第三节	活动隔爆接合面的修复.....	111
第四节	隔爆面的修补工艺.....	113
第五节	隔爆面的防锈处理.....	120
第六节	生产管理及技术准备.....	128

第四章 防爆电气设备的管理、

维修和故障分析、处理	131
第一节 防爆电气设备的管理	131
第二节 防爆电气设备的维修	135
第三节 防爆电气设备的故障分析及处理	141

第一章 防 爆 原 理

第一节 矿井瓦斯的形成及其性质

矿井瓦斯是指有用矿物（主要指煤）在生成过程中的一种伴生气体。广义地说，凡是从煤层中或围岩层里涌出的气体，统称为矿井瓦斯。这种瓦斯气体的主要成分：甲烷(CH₄)、二氧化碳(CO₂)和氮气(N₂)，有时也会出现少量的乙烷(C₂H₆)、乙烯(C₂H₄)、氧(O₂)、氢(H₂)、一氧化碳(CO)、硫化氢(H₂S)和二氧化硫(SO₂)等气体。根据有关资料的介

表 1-1 各矿瓦斯成分表

矿井名称		气 体 成 分 (含量)%							瓦斯级别
		CH ₄	N ₂	CO ₂	H ₂	CO	O ₂	其他碳氢化合物	
开 林 西 深 唐 山 赵各庄	91~95	4.56	0.2	—	—	—	—	—	2
	90~96	2.7	0.5	0.03	1.1	—	2.1	—	3
	93~97	2.1	0.8	—	—	1.9	2.0	—	超
抚 顺	83.4~96.5	1.0~1.42	0.42	2.0	0.3	0.4	—	—	超
阜 新	90~94	1.8	1.2	1.1	0.8	2.1	1.2	—	超
大 同	95	0.5	—	—	2.0	—	2.5	—	超
阳 泉	89~94	2.3	2.1	—	0.4	—	1.0	—	超
峰 峰	92	4.1	—	1.2	—	2.5	—	—	超
淮 南	91	5.5	—	2.1	0.2	—	1.2	—	超
淮 北	90	7.8	1.1	—	0.5	1.2	—	—	超
徐 州	93	4.1	0.1	0.04	—	0.4	2.1	—	超
上海大屯	84~90	6.2	—	0.01	—	—	3.5	—	2
无 锡 丁 山	85	10.1	3.2	—	1.4	—	—	—	3

绍，我国各主要煤矿常出现的瓦斯成分和含量见表1-1所示。

从表中看出，矿井瓦斯的成分主要是甲烷，狭义地讲，矿井瓦斯就是单指矿内甲烷。煤矿通称的瓦斯就是指甲烷-空气混合物。

矿井瓦斯的形成

任何有机物质(即植物纤维)，沉积在地下与大气隔绝，经过厌氧菌的刺激与分解发酵后就能生成瓦斯，同时也伴生有多量的二氧化碳和少量的其他气体，其生成量很大。在理想条件下，一公斤纤维质变成烟煤的过程中能生成 257 升的甲烷。

矿井瓦斯的性质

矿井瓦斯，是一种无色、无味、无臭的气体，有时井下能嗅到苹果味，那是与甲烷同时放出的其他芳香族气体的气味。甲烷比空气轻，其比重为 0.544，在标准状态下每立方米甲烷重 0.716 公斤。它本身无毒，当在空气中的浓度增加时，氧气含量必然相对减少，具有严重的危险性，若甲烷含量浓度在 43% 以上时，就能使人窒息，如果含量增至 57% 以上时，人就有致命的危险。

甲烷不助燃，但当它在空气中的浓度较低时，遇火源能燃烧，当浓度在 5 ~ 16% 之间时，一遇火源即能爆炸。

矿井瓦斯的存状态

瓦斯在煤体或岩石中存在状态可分为两类：

1. 游离状态或称自由状态：瓦斯以完全的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度的大小，以及外界所施的压力与温度。

2. 吸着状态或称结合状态：它又可分为两种型式。

1) 吸附状态：甲烷气体分子吸附在煤的表面上形成一

个薄层，它是由于气体分子与固体粒子之间存在着很大的相互作用分子力而形成的，这个力具有引力的性质，只能在很短距离内起作用，因此，吸附薄层厚度仅为 $5 \sim 10 \text{ \AA}$ ①，但由于煤体中存在有丰富的微小孔隙，每个孔隙的表面都能吸附瓦斯，其总面积，每克煤能达到 200 米^2 之多，因此煤体对某些气体的吸附能力是相当大的。

2) 固溶状态：是气体被溶解于固体，即瓦斯被保留在煤体微粒结构内部的现象，而不是进入孔隙，它和气体溶解于液体中的现象相似。

以上所述是指瓦斯平衡未遭破坏时煤体中的存在状态，并非固定不变，而是处于游离与吸着间动平衡的不断变换状态。但当外界的温度与压力或煤体的结构发生变化时，这一平衡就遭破坏，而吸着状态向游离状态转化，称为解吸现象。

矿井瓦斯的放出形式

游离状态的瓦斯，在其不断运动过程中，对煤壁不断碰撞，产生压力，而吸着状态的瓦斯，其活动受到固体分子的束缚，不能表现任何压力，但部分瓦斯的确存在有相当大的内能。瓦斯的放出形式有以下几种。

1. 瓦斯涌出：采煤过程中，造成某些空间，破坏了瓦斯原有的动平衡状态时，部分游离瓦斯就扩散到这个采区空间，同时部分吸着瓦斯也要解吸，转而移入采区空间，如果转化过程是均匀而缓慢的，这种瓦斯放出的形式叫作瓦斯的涌出，这种现象是稳定而持久的，涌出量往往占很大比例，按每昼夜每吨煤中放出多少立方米的瓦斯量来确定矿井的瓦斯量级数，亦即用相对瓦斯涌出量 q （立方米/昼夜·吨）来

① $\text{\AA}$ ——称“埃”， $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ 厘米}$ 。

表示矿井瓦斯量的级数，如表1-2所示。

表 1-2 矿井瓦斯级数

瓦斯量级数	1	2	3	超
q	5以下	5~10	10~15	15以上

2. 瓦斯喷出：如果煤体或岩体中较大孔隙可勾通的范围很广，而且附近蕴藏大量的瓦斯时，往往会发生通过可见孔洞，在较短时间内，放出大量的瓦斯，这种现象称为瓦斯喷出。

3. 瓦斯突出：如果在吸着状态的瓦斯向游离状态的转化过程中，瓦斯在矿山压力等外界因素影响下，以较大规模在很短的时间内放出大量瓦斯，使煤和瓦斯一起突然喷入采区空间，此现象称多煤和瓦斯突然喷出，或称瓦斯突出。它一般发生在超级瓦斯矿井中。

第二节 瓦斯的爆炸

瓦斯的点燃条件

矿井瓦斯虽然具有燃烧和爆炸性，但并非在任何状态下都会发生，而必须具备一定的条件时才能点燃，即：

1. 瓦斯在空气中的浓度必须是5~16%之间，才能点燃，当低于5%时由于瓦斯量少，而当大于16%时则氧气量不足，均不能爆炸。

2. 必须存在能够点燃可燃性瓦斯的点火源或热源。在矿井条件下，能够点燃可燃性瓦斯的点火源有以下几种：

1) 明火及煤的自燃。

- 2) 爆破工作的炮焰。
- 3) 泡皮破损了的炽热灯丝。
- 4) 机械撞击或摩擦产生的火花。
- 5) 电气火花以及电气设备故障时的电弧等。

瓦斯的点燃，必须同时具备以上两个条件，才能发生。所以防止瓦斯的引燃也是从以上两方面来采取措施的，如加强通风来降低瓦斯浓度。在热源方面须遵守如下几点：

(1) 井下与井口附近，禁止吸烟和使用明火，以及带点火工具下井。

(2) 井下爆破必须采用安全炸药和雷管及隔爆型发爆器，并严格执行操作规程。

(3) 局扇起动前，必须在其附近20米以内检查瓦斯含量，主扇故障时不得开动机器。

(4) 严格管理井下火区。

(5) 电气设备和电网必须符合保安规程规定的要求。

瓦斯的燃烧和爆炸性

上面所述，矿井瓦斯的燃烧和爆炸性起码具备两个条件，当空气中含有一定浓度的瓦斯时，遇到引火源，就会引起瓦斯的燃烧或爆炸，实际上就是甲烷被空气中的氧所氧化的放热反应，其反应方程式如下：



千卡/克分子 (1-1)

其中氮气(N₂)不起变化。照上所述，可以找出影响瓦斯爆炸的各种因素。

1. 爆炸界限指在空气中甲烷遇火源后能够引起爆炸的浓度。根据试验所得，空气中甲烷遇火爆炸的最低浓度称爆炸下限，多数为5.5~6.0%，有时低到3.2%和高到6.7%，

而上限为14~16%，一般低于5~6%时，瓦斯能够燃烧，但不爆炸，当浓度低于3~4%时，火焰呈浅蓝色，在5%时，呈淡青色，利用安全检查灯或瓦斯浓度测定器来检定瓦斯浓度，当浓度高于16%时，瓦斯既不燃烧亦不爆炸。假如从外面不断加入空气，那么即可引火燃烧，但将混合气体冲淡到爆炸界限5~16%以内时，将会引起瓦斯的爆炸。

最强烈的爆炸是在浓度为9.5%时，因为空气中的氧和甲烷全部参加反应。甲烷燃烧或爆炸所需氧气量可从化学反应方程式(1-2)求得：



由于反应在空气中进行，空气中氧气含量为20.9%。在空气中有一个体积的氧气必然有 $79.01/20.9=3.77$ 体积的氮气及其他稀有惰性气体同时存在。所以要使一个体积的甲烷全部参加反应，就要有 $2 \times (1 + 3.77) = 9.54$ 个体积的空气。此时，混合气体中的甲烷浓度应为 $1/(1 + 9.54) \times 100 \approx 9.5\%$ ，但在井下氧的浓度较低，如以20%计算，则作用最完全时的甲烷浓度应是9.1%。

瓦斯爆炸界限也不是固定不变的，它受很多因素的影响。据有关资料介绍：当混合气体的初温为20℃时，爆炸界限为6.0~13.4%；100℃时为5.45~13.5%；700℃时为3.25~18.75%。即初温愈高，爆炸界限愈扩大，虽在正常情况下，井下不会有高温存在，但一旦矿井发生火灾时，或局部地点发生爆炸时，高温的因素是会出现的。除以上所述外，各种气体和煤尘混入时，对瓦斯的爆炸性也有极大影响。分述如下：

1) 氧的影响。由图1-1可看出，当甲烷混合气体中氧的浓度下降到12%以下时，即不能再引起爆炸。

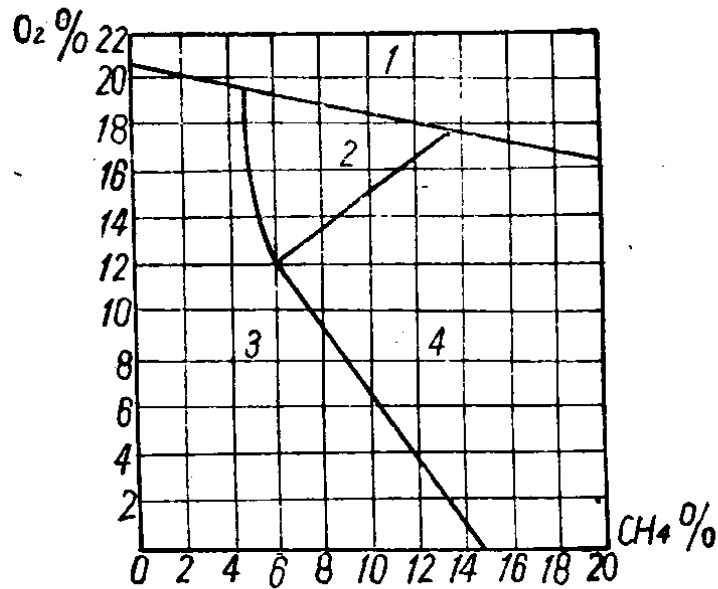


图 1-1 氧的含量与爆炸界限之关系

1—不存在甲烷和空气混合气体；2—爆炸的混合气体；3—不爆炸的混合气体；4—与新鲜空气混合时，可能爆炸的气体

2) 惰性气体混入时的影响。甲烷混合气体中每增加1%的二氧化碳时，其爆炸下限提高0.033%，上限下降0.26%，当二氧化碳混入时，还能使爆炸压力减低和引火迟延时间的增加。

在正常甲烷空气混合气体中，氮气每增加1%时，则下限提高0.017%，上限下降0.54%，如果增加量超过81.69%时，则混合气体不能引爆。氮气的增加，也能使爆炸压力减低和迟延时间增加。

3) 可燃性气体混合物的影响。每种可燃性气体在空气中含有一定浓度时，都具有爆炸性，矿井中常见的可燃性气体的爆炸界限如表1-3所示。

若各种可燃性气体同时存在时，应根据公式(1-3)求得混合气体的上、下限。

表 1-3 各种气体爆炸界限

气 体 名 称	下 限	上 限
甲 烷 (CH ₄)	5.0	16.0
乙 烷 (C ₂ H ₆)	3.22	12.45
乙 烯 (C ₂ H ₄)	2.75	25.6
氢 (H ₂)	4.0	74.2
一氧化碳 (CO)	12.5	75.0
硫 化 氢 (H ₂ S)	4.3	45.5

$$N = \frac{100}{\frac{C_1}{N_1} + \frac{C_2}{N_2} + \frac{C_3}{N_3} + \dots} \quad (1-3)$$

式中 N₁、N₂、N₃及N分别代表各种可燃性气体和混合气体的爆炸上限或下限；

C₁、C₂、C₃分别代表各种可燃性气体占混合可燃性气体总和的百分比（依 体 积 计 算：C₁ + C₂ + C₃ + ... = 100%）。

4) 煤尘混合时的影响。当甲烷的混合气体中有煤尘存在时，会使爆炸下限下降，所以当矿井中瓦斯与煤尘同时存在时是很危险的，必须采取有效措施使其浓度降低到保安规程规定的范围以内。

2. 引火温度即甲烷最低点燃温度，引燃不一定爆炸，只有在一定浓度下引火才会爆炸。甲烷的引火温度一般认为是650~750℃，但它同样受着很多因素的影响，即：

1) 与甲烷的浓度有关，从表 1-4 可见：由于甲烷的热容量大，最易引火的浓度不是理论上的 9 %，而是7~8%。

2) 与混合气体的压力有关：爆炸性混合气体在 1 大气压时，引火温度为700℃，在28大气压时，引火温度为460℃，

表 1-4 引火温度与甲烷浓度的关系

甲烷浓度 %	2.0	3.4	6.5	7.6	8.1	9.5	11.0	14.7
引火温度 ℃	810	665	512	510	514	525	539	565

若甲烷的混合气体在绝热条件下，压缩至最初容积的1/20时，其自身的压缩热，就有可能使之爆炸。如在放炮时的冲击压力，有可能使适当浓度的甲烷混合气体引爆。

3) 与火源的性质有关：若火源的温度相同，其表面积愈大和存在时间愈长，愈容易使瓦斯引燃。相反时，即使火源温度很高，但存在的时间非常短，也不能使瓦斯引燃。

因为甲烷的热容量大，它遇到某一高温热源时，被加热的混合物，在达到一定温度（等于点燃温度）时，并非立刻发生燃烧或爆炸，而是需要经过一定的时间，这个时间称为迟延时间或叫感应时间。

在温度和压力不变的情况下，点燃迟延时间值和混合物中甲烷浓度有关，如表1-5所示。

由此可见，随着甲烷浓度的降低，迟延时间也将缩短。另外，火源温度愈高时，迟延时间就愈短，也就是迟延时间与温度有关，此时与浓度无关。

此种引火迟延的现象，对矿井安全爆破有着十分重要的意义。因为放炮时，虽然爆炸火焰温度高达2000℃以上，但其存在时间很短，仅有万分之几秒，它不会使瓦斯引燃。但当其它可燃性气体混入甲烷，成为混合气体时，迟延就会减弱，如果混合气体中有30%的氢气，这一现象就不复存在。

虽然甲烷具有迟延特性，但对放炮工作不能有任何忽视，

表 1-5 不同温度下，点火延迟时间表

火源温度 ℃	700	725	750	775	825	925	1025
甲烷浓度 %	引 火 迟 延 时 间 (秒)						
4	8.2	— 3.6	2.4	1.4	—	—	—
6	10.0	4.3	2.6	1.5	0.62	0.21	0.07
8	14.0	5.2	3.0	1.6	0.67	0.25	0.08
10	—	6.3	3.5	1.75	0.72	0.26	0.09
12	—	7.9	4.1	1.9	0.77	0.27	0.09

因为有时炮泥充填不当，或炸药性能本身有变化，其火焰的停留时间会延长，甚至使药包的纸皮引燃。

爆炸压力

当瓦斯爆炸时，一般指产生气体生成物的最初瞬间的压力。当瓦斯爆炸后，其生成物的温度很高。在正常温度和压力下，以密闭容器在绝热状态下试验，温度可达2150~2650℃。由于高温而产生了高压，在一定的容积下，根据波义耳-马略特定律^①，可用公式(1-4)表示：

$$\frac{P}{T} = \frac{P_0}{T_0}$$

(1-4)

- 式中
- P——爆炸后之压力，大气压；

P₀——爆炸前之压力，一般为1大气压；

T——爆炸后之绝对温度，T=273 + t，℃；

T₀——爆炸前之绝对温度，T₀=273 + t₀，℃；

t——爆炸后之温度，在甲烷浓度为9.5%时，甲烷混合气体爆炸瞬间的温度，在密闭空间可达

① 对于一定质量的气体，若体积保持不变，则其压力正比于其温度而变化。