

肖純賢 楊洪順 黃宝榮編著

煤矿电气設備的 防爆性能 及其試驗方法

煤炭工业出版社

煤矿电气设备的防爆性能 及其試驗方法

肖純賢 楊洪順 黃宝榮編著

煤炭工业出版社

內 容 提 要

本書主要介紹矿用防爆电气设备的防爆結構、性能及其試驗方法。書的前半部介紹有关矿井瓦斯爆炸的一些知識、防爆原理，并簡要地敘述矿用防爆电气设备的各种防爆形式：防爆外壳、安全火花系統和超前切断电源设备；書的后半部着重介紹各种防爆电气设备，如防爆电机、防爆起动机、防爆高压配电设备，以及这些设备的試驗方法；在書的結尾还扼要地介紹了苏联和其他国家的防爆性能的試驗方法，并对試驗方法的改进做了探討。

本書內容簡明、扼要，除适于广大矿用防爆电机制造和使用技術人員参考外，还可供电工們閱讀。

1456

煤矿电气设备的防爆性能及其試驗方法

肖純賢 楊洪順 黃宝荣編著

煤炭工业出版社出版(社址：北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 084 号

京华印書局排印 新华書店发行

开本 787×1092 公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 $8\frac{13}{16}$ 插頁 2，字數 60,000

1960 年 5 月北京第 1 版 1960 年 5 月北京第 1 次印刷

統一書号：15035·1085 印数：0,001~4,000 册 定价：0.52 元

前 言

在党的领导下，我国的煤炭工业在建国后的短短十年中得到了飞快的发展，特别是 1958 年大跃进以来，由于認真贯彻了党的一整套“两条腿走路”方针，发展速度更为迅速，在产量方面，去年就赶过了英国，在生产技术方面，更是不断革新，从而使我国一跃为世界上产煤最多的国家之一。

随着煤炭工业的发展和产量的激增，我国煤矿企业的机械化和自动化程度也在不断提高，絕大多數的矿井都使用着各种各样的现代化的設備。防爆电气設備就是这些設備中的一类，由于它具有防爆外壳（或防火花系統和超前切断电源設備），所以有瓦斯及煤尘爆炸危险的矿井应用很多。防爆电气設備在这样的矿井，是实现安全生产的有力工具之一，因此全面的、系統的掌握它的性能是十分必要的。

为了帮助广大矿用防爆电气設備制造人員、使用人員、修理人員进一步了解防爆电气設備的性能及其試驗方法，和掌握防爆电气設備的制造、使用方面的知識，我們根据几年来对防爆电气設備的檢查、試驗和研究的結果，以及国内外的資料特編写了本書。

由于時間仓促，掌握的材料不多及知識水平有限，难免有不妥之处，望讀者多提意見，以便改正。

目 录

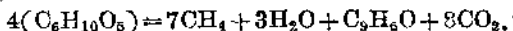
前言	1
第一章 矿用电气设备的防爆性及其结构	3
1-1. 矿井瓦斯及煤尘的爆炸	3
1-2. 电气设备的防爆外壳	9
1-3. 电气设备在弧光短路时的防爆性能	51
1-4. 安全火花型的电路系统与元件	70
1-5. 超前切断电源的应用	81
第二章 防爆电气设备	86
2-1. 高压防爆配电设备	87
2-2. 矿用防爆起动机	90
2-3. 矿井防爆电动机	90
第三章 防爆性能的试验	107
3-1. 现行防爆性能试验方法	107
3-2. 苏联及其他国家试验方法略述	114
3-3. 目前防爆试验的缺点和新试验方法	115

第一章 矿用电气设备 的防爆性及其結構

1-1. 矿井瓦斯及煤塵的爆炸

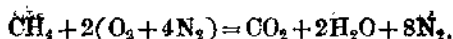
矿井瓦斯，通常是指單純的甲烷(CH_4)而言。当然在更多的情况下，矿井瓦斯除甲烷之外，还含有二氧化碳(CO_2)，乙烷(C_2H_6)及硫化氢(H_2S)等，但因其量是很少的，所以看做是单一成分的矿井瓦斯。甲烷通常叫做沼气，它是一种无色、无味、无臭的气体，比重是0.554，因此它很容易积聚在巷道的頂板处，对于瓦斯檢查来講，測量巷道最上部的瓦斯情况是非常必要的。这种瓦斯本身是无味的，但由于在矿井中，它和少量的硫化氢共同存在，所以这些气体就具有一种腐朽的苹果的味道了。

矿井瓦斯的发生是由于植物質埋入地下，当其进行有机物質的泥炭化过程而出現的。这个过程就是植物質与空气隔絕，而由其本身所存在的氧气，进行緩慢的氧化作用而生成的，可以用化学式表示如下：



因此在煤矿井中碰到瓦斯的机会是很多的，而往往数量又是很大的，我国的很多煤矿矿井是有不同程度的矿井瓦斯的，这就需要充分控制它并爭取利用它。

矿井瓦斯能够燃燒。如果在空气中含有一定的濃度时，它可以成为有爆炸危險的混合物，在这种情况下遇到了引燃的火源，就会形成瓦斯的爆炸，其反应如下式：



这就是說，1份甲烷的完全燃燒，需要10份空气中的氧来助燃，而空气中只含氧20.9%，因此可以計算出甲烷的最大爆炸濃度在9.5%左右，但是它的爆炸界限是5—15%。

引起矿井瓦斯燃燒或爆炸，需要有两个条件：一是相当的瓦斯濃度，二是高溫的火源或热源。矿井瓦斯的燃燒溫度，一般認為是650~750°C。由于点火源种类的不同，以及瓦斯所处的状态的不同，这个燃燒溫度的变化范围也是很大的。

研究矿井瓦斯爆炸的現象，可以发现点火迟延的特性。就是当爆炸性瓦斯混合物接触到点火源之后，并不立刻就引燃起来，而是要迟延一个時間的，这个時間的长短是取决于溫度的大小的。比如引燃溫度在650°C时，大約需要10秒的時間，当这个溫度达1200°C时，經0.02秒就能引起爆炸。表1为各种情况下的点火迟延关系。

甲烷点火迟延時間表

表 1

溫 度 °C	775	825	875	925	975	1075	1175
甲烷濃度%	点 火 迟 延 时 間, 秒						
6	1.08	0.58	0.31	0.20	0.122	0.039	—
7	1.15	0.60	0.36	0.21	0.130	0.041	0.019
8	1.23	0.62	0.37	0.22	0.133	0.042	0.012
9	1.30	0.65	0.39	0.23	0.141	0.044	0.015
10	1.40	0.68	0.41	0.24	0.148	0.049	0.018
12	1.64	0.74	0.44	0.28	0.160	0.055	0.020

这种情况可以解释为，矿井瓦斯必须当其吸收了一定的热量之后，才开始反应。矿井瓦斯的燃烧是以发火点为中心的同心圆向四周扩散的，而它燃烧过程如图 1-1 所示。

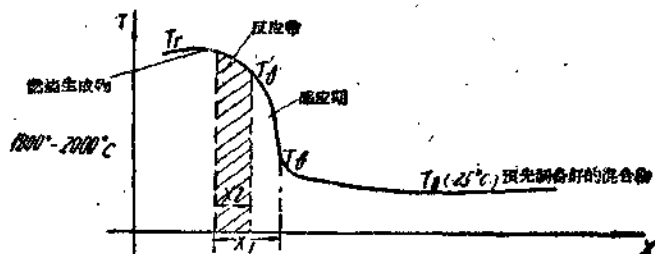
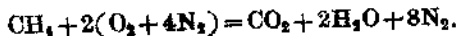


图 1-1 矿井瓦斯的燃烧过程

从图 1-1 上可以看出，矿井瓦斯在加热后，混合物由初温 T_0 逐渐升高到着火温度 T_b ，此后进入了感应期并继续加热而开始点燃。但是它的点燃层是在极薄的气层内，由于顺次的从发火点向外蔓延，所以形成全面爆炸。甲烷的火焰扩散速度并不是很大的，约为 34 毫米/秒，当其逐渐扩散的同时，使得燃烧生成物的体积要比原来的体积大的多，而这个体积的增大是与温度有关的。如果温度增加到 273°C 时，体积可增大 2 倍，当温度增高到 1800°C 时，其体积就要增大至 7~8 倍，这时生成物向外膨胀，它的速度将与声速相接近。

矿井瓦斯的爆炸温度，是指产生气体生成物的最初瞬间的温度，可以按反应式粗略的计算出来。



这里可以看出 1 公分的甲烷和 4 公分的氧經完全燃燒，会生成 2.25 公分的水蒸汽和 2.75 公分的二氧化碳，而这里还有不参加反应的 16 公分的氮。

甲烷燃燒热为.....	13,250 卡
二氧化碳比热.....	0.248
水蒸汽的比热.....	0.490
氮的比热.....	0.247

我們知道，甲烷的燃燒热，一部分用于生成物的热量消耗，而另一部分，則形成了生成物的溫度上升了。前者所消耗的热量当每升高攝氏一度时，为

$$0.248 \times 2.75 + 0.490 \times 2.25 + 0.247 \times 16 \\ = 5.547 \text{ 卡.}$$

但是在 0°C 水成为 100°C 的蒸汽时，在 2.25 公分所消耗的热量為：

$$(539 + 100) \times 2.25 = 1,438 \text{ 卡.}$$

因此，实际作为升温的热量是：

$$13,250 - 1,438 = 11,812 \text{ 卡.}$$

这个热量做为升高的溫度时，則有

$$11,812 \div 5.547 = 2127^{\circ}\text{C.}$$

我們就算得出，爆炸溫度大約为 2127°C 。

对于瓦斯爆炸的压力，我們可用下式計算之，

$$P = p \times \frac{273 + T}{273 + t},$$

式中 p 和 t ——初压和初溫；

P 和 T ——爆炸压力和爆炸溫度。

如果，在 $t=17^{\circ}\text{C}$ 溫度下，則爆炸壓力，

$$P = p \times \frac{273 + 2127}{273 + 17} = 8.3p.$$

假如，爆炸前的初壓是標準大氣壓時，那麼從理論上，爆炸壓力可達 8.3 個大氣壓，而在實際試驗中，由於瞬間的熱量消失，往往約為 7 個大氣壓左右。

煤塵就是在井下巷道中飛揚的那種微細的煤炭粉粒，它是在採煤、割煤、落煤、裝載和運輸的生產過程中產生的。通常飛揚的煤塵，它的直徑約 1 微米至 1 毫米。在空氣中的這種煤塵，可以用測塵儀來測出它在空氣中的含量，而且也可以採用灑水和撒岩粉的方法來迫使它降落下來，從而大大減少飛揚的煤塵。

通常在礦井中，衡量煤塵是否具有爆炸性，主要取決於煤塵粒度的大小，它的成分（含揮發分和水分灰分的情況），以及空氣中所含的數量等等。從粒度來看，0.75~1 毫米的煤塵都能爆炸。從成分來看，煤塵的爆炸性和它的可燃揮發分的多少是有很大的關係的，揮發分指數越大，爆炸性就越大，當指數超過 10% 以上就具有爆炸性，這個揮發分指數 V 可用下式來表示之。

$$V = \frac{a\% \times 100}{100 - b\% - c\%},$$

式中 $a\%$ ——揮發分百分數；

$b\%$ ——灰分百分數；

$c\%$ ——水分百分數。

對於巷道中煤塵的含量大小問題，通常認為在每立方米

空气中含有 30~3000 公分的煤尘时，都具有爆炸性，而 112 公分/立方米的含量，它的爆炸是最猛烈的，也就是燃烧最完全的。从资料中可以看到，1902 年法国庫立耶尔 (Courrières) 发生的那次大爆炸，死亡了 1099 人，就是由于煤尘爆炸所产生的事故。如果巷道中同时有矿井瓦斯的存在，那么这种煤尘的爆炸性就更为严重。

煤尘的爆炸现象，在很多方面是和矿井瓦斯相同的，比如上面已经提到，它有一个爆炸界限，另外煤尘爆炸时也有一个点燃温度，大约为 700~800°C，这些方面都是非常近似的，但是也有不同的地方，那就是煤尘爆炸，它产生大量的一氧化碳(CO)，这一点是更为危险的，另外就是全部煤尘中是只有一小部分飞扬起来，而其余大部分是落在巷道的底板上。

矿井瓦斯或煤尘是煤炭生产中最危险的一个敌人，在生产中与瓦斯、煤尘作斗争，我们已经取得了一些方法。这就是一方面消除瓦斯的积聚和迫使煤尘降落，控制爆炸可能性的条件，而另一方面，则采取消除井下各种引燃爆炸的火源来相互补充，以期达到防止灾害事故的发生。

能够引燃矿井瓦斯或煤尘爆炸的火源，可以有很多种，如：

- 裸火和煤的自然燃；
- 爆破工作的炮焰；
- 不良的油安全灯；
- 泡皮破损了的灼热灯丝；

机械撞击或摩擦火花;

电火花以及电气设备故障时电弧等。

以上这些都可能成为引燃的原因,所以必須加强措施,以达到消除引燃的可能性。对于电气设备来講,它的防爆措施,一般有以下三种方式:

1. 采用防爆外壳的结构,这就是将电气元件安装于坚固的不傳爆的外壳中,从而使爆炸可能性只发生在外壳内部,对于一般动力设备多应用这一种;

2. 应用安全火花参量来解决防爆性能的安全火花型电路系統和器械,这种方式构造简单,不需要另加外壳,它适合于通訊、信号及遙控系統和元件等低电压小功率的装置。

3. 对于电气照明工具、放炮器和矿井电纜等,則不能以防爆外壳来解决,对于这种情况,可用超前切断电源方法来实现防爆性能的要求。

1-2. 电气设备的防爆外壳

在有瓦斯煤尘爆炸危险的矿井中所采用的矿用防爆型电气设备,特别是动力设备如电动机、开关等,在不同情况下,如何来达到其爆炸稳定性和不傳爆性,已如前述主要是以防爆外壳来保证的。

所谓电气设备的防爆外壳,基本上是由具有一定强度的鋼板焊接的或用鑄鉄、鑄鋼制成的。这种矿井电气设备,是将正常产生火花的或者不产生火花的部分、絕緣的和不绝緣的可能引起矿井瓦斯爆炸的电气零件均放在此防爆外

壳内。防爆外壳，具有一定的防爆结构，此种防爆结构，即主要决定防爆外壳防爆性能的因素，也就是用具有一定的表面光洁度，一定长度和间隙的防爆接合面来实现

因此，当电气设备由于操作或故障产生火花电弧或高热状态，并在外壳内引起矿井瓦斯的爆炸时，由于防爆外壳的保护作用，而不致于导致壳外的矿井瓦斯爆炸，从而保证职工生命和生产的安全。

防爆外壳的主要保护作用有二个方面：其一，是在外壳内部甲烷和空气混合物爆炸压力的作用下，外壳不被破坏，因而不能使爆炸火焰直接点燃矿井中的瓦斯混合物；其二，是在外壳内部当甲烷和空气混合物发生爆炸时，其生成的带有较高温度的爆炸火焰，通过防爆外壳法兰盘的间隙向外传出时，由于接合面的保护作用，使传出的爆炸火焰，不能够点燃矿井瓦斯。

防爆外壳的爆炸稳定性，是由制作防爆外壳的材质和强度来保证的。而防爆外壳的不传爆性，是通过外壳零件的配合状态，用限制接合面的宽度和间隙值来达到的。例如，对于防爆电气设备的平面对口接合面的允许间隙为0.2毫米；圆筒接合面的允许间隙以直径差计算，为0.5毫米等等。

总之，防爆外壳的接合面宽度及其间隙，是矿井电气设备作为防爆型的主要特征，也是保证矿井电气设备的防爆性能的主要方法之一。

一、防爆外壳的發展簡史及對防爆外壳的特殊要求

在 1808 年英國人曾建議，礦井中使用的電氣設備採用安全燈網的形式，即用金屬網來擋住火焰，利用金屬網對火焰的散熱作用防止傳爆。當時，在井下的電器比較廣泛的採用了這樣的保護方法，這樣的方法從 1890~1900 年一直沿用了 10 年，但是它的保護效果是不好的。在電氣設備的外邊，罩上一層方格鐵網罩，這樣的保護，只適用於很小容量的設備，而利用它散熱。內部爆炸所發生的熱量是不能完全防止傳爆的。如曾經用 IIMB 磁力起動器作過試驗，在 IIMB 型磁力起動器的出綫處，去掉部分防爆外壳而代之以金屬網，試驗的結果，發現是傳爆的，而且金屬網的溫度達到 1000°C ，因此，它不起保護作用。

以後，在歐洲企圖尋找另外的途徑，考慮把電氣設備完全密閉在外壳之內，但猶恐密封外壳在內部爆炸時，產生危險。因此，在外壳上開一孔口，並在孔口上，安裝一些金屬薄片。但這種裝置，在實際運轉中，也沒有收到良好的效果，特別是煤塵很容易進入壳內，引起爆炸，所以也沒有被採用。

到 1903~1906 年德國科學家倍琳加進行了全部密閉的防爆外壳的試驗，也進行了具有一定的間隙和長度的防爆外壳的試驗，得到的結論證明了防爆外壳是可靠的，即發明了現在防爆外壳的結構。

1930 年到 1940 年，在蘇聯馬克耶夫煤礦安全科學研究院着手專門研究防爆間隙問題。由於當時，井下使用

的电气设备容量都不大而且电压较低，其内部短路时产生火花引起壳外爆炸的现象不太严重，因此，只对甲烷在内部爆炸时，引起傳爆問題进行了研究。当时得到的防爆接合面宽度与間隙的关系曲线如图 1-2 所示。并且認為符合这个曲线要求的，可以算作是安全的。

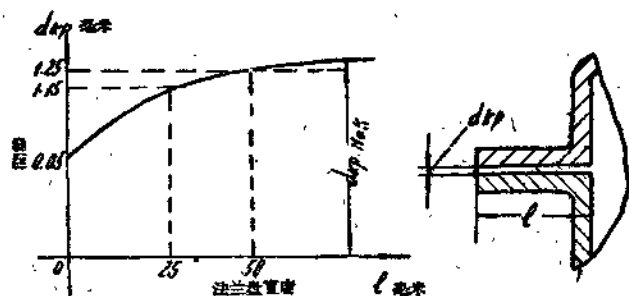


图 1-2 防爆面宽度与傳爆間隙的曲线

从上面的曲线可以看出，当防爆接合面宽度在 25 毫米以上时，对于間隙的增大，沒有多大作用的，所以确定了当宽度在 25 毫米时，間隙小于 1.15 毫米就可以达到安全作用。而在实际制造时，往往有很多不可估量的危險存在，所以加一安全系数。最后决定防爆接合面的宽度为 25 毫米时，間隙为 0.5 毫米。

倍琳加的标准一直被采用了 50 年沒有有什么修改。英、美做出的防爆产品都重复倍琳加的设计，变动不大，現行国际电气委员会防爆外壳委员会关于电气设备防爆外壳构造的建議，也是采用了这个标准。

1950 年苏联馬克耶夫研究院曾注意到研究电气設

备在外壳内部发生短路时引起的外部爆炸的问题。由于在发生短路时，熔化的金属屑通过间隙使得外部的甲烷发生了爆炸，因此，发现需要改进外壳的结构。

到目前为止，苏联马克耶夫研究院对于电气设备内部产生电弧短路情况下防爆性能的研究已经取得了应有的成就，并且提出了改进防爆外壳结构的建议。

由于防爆外壳，是保证矿井电气设备防爆性能的主要方法之一，它应该满足下列这些特殊要求：

1. 外壳应有足够的坚固性，在下列情况下不致被损伤或变形：

1) 在外壳内部产生甲烷-空气混合物爆炸压力的作用下；

2) 由于过载或短路引起内部的油或有机物分解出的爆炸性气体发生爆炸的时候；

3) 煤块或岩石从顶上掉下的打击；

4) 电气设备本身从高处坠落到地下(如在搬运时不慎的情况下)；

5) 受到矿井中工作机械(如截煤机、康拜因及手电钻等)的突然撞击。

2. 外壳在下列热源作用下烧灼及过热，不应受到损伤：

1) 在切断电流时或在短路发生弧光时；

2) 电气设备过载时；

3) 机械摩擦过热(如轴承结构不良引起的过热等)及其他。

2. 防爆外壳的零件配合，应该有足以使外壳内部爆炸不能波及外部爆炸的防爆接合面宽度和间隙，以免在下列情况时，发生爆炸：

1) 内部甲烷爆炸时；

2) 由于过载或短路引起内部的油或有机绝缘物分解而生成的气体爆炸时；

3) 在电气设备保护装置动作时灼热的瓦斯弧光和金属微粒的作用下。

4. 外壳所采用的金属材料和其他金属材料相互摩擦，不应该产生火花，或者虽产生火花不能引起瓦斯爆炸。

5. 这种电气设备，应该具有当外壳盖子被打开时为了防止人身触电危险的闭锁装置。

二、外壳的材质与强度

由于防爆外壳，具有爆炸稳定性的作用，因此外壳材质的决定，是要根据在矿井电气设备防爆外壳内，爆炸混合物或其他物质产生的最大压力及最高温度等情况来选择。此外，亦需考虑到矿井电气设备的使用的要求，即重量轻、尺寸小以及在金属产生摩擦时其火花不应该点燃矿井瓦斯。

1. 外壳内的爆炸压力及温度

防爆外壳内甲烷-空气混合物的爆炸压力，对于密闭的外壳，假设外壳没有冷却作用，按照气体状态方程式从理论上计算，其最大压力为8.3大气压。但在实际上，由