

# 第三章 电气设备的防爆

## 第一节 矿井瓦斯的燃烧和爆炸

矿井瓦斯是指有用矿物（主要指煤）在生成过程中伴生的气体，对煤矿来讲，这种瓦斯的主要成份为甲烷，含少量的二氧化碳和氮，有时还含有极少量的乙烷、乙烯、氧、氢、一氧化碳、硫化氢和二氧化硫等。一些矿井瓦斯含量的分析见表3-1-1。

表 3-1-1 各矿瓦斯成份和含量

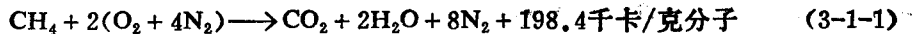
矿名	气 体 含 量 %						
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	其他碳氢化合物
开滦	90~96	2.7	0.5	0.03	1.1	—	2.1
抚顺	83.4~96.5	1.0~1.42	0.42	2.0	0.3	0.4	—
阜新	90~94	1.8	1.2	1.1	0.8	2.1	1.2
大同	95	0.5	—	—	2.0	—	2.5
阳泉	89~94	2.3	2.1	—	0.4	—	1.0
峰峰	92	4.1	—	1.2	—	2.5	—
淮南	91	5.5	—	2.1	0.2	—	1.2
淮北	90	7.8	1.1	—	0.5	1.2	—
徐州	93	4.1	0.1	0.04	—	0.4	2.1
大屯	84~90	6.2	—	0.01	—	—	3.5
无锡	85	10.1	3.2	—	1.4	—	—

从表 3-1-1 中可以看出，矿井瓦斯的主要成份是甲烷。因此，也可以这样认为矿井瓦斯就是指甲烷，煤矿中通常所说的瓦斯是指甲烷-空气混合物。

甲烷是一种无色、无臭、无味，比空气轻的气体，比重为0.554。甲烷本身是无毒的，但在空气中含量增加时，氧含量就会相对地减少，此时具有严重的危险性。例如，当空气中甲烷含量达到43%以上时，人就会窒息。如果含量高达57%以上时，人就有致命的危险。

### 一、瓦斯的燃烧与爆炸

甲烷在空气中含量较低时，遇火源可以燃烧，含量达一定范围时，就会发生爆炸。矿井瓦斯的燃烧与爆炸，实际上就是甲烷被空气中的氧气所氧化的放热反应。一般这种反应可用下式表示：



事实上，瓦斯爆炸并不是在任何情况下都会发生，而是必须具备一定的条件，这就是：

1. 瓦斯在空气中的含量达到爆炸的浓度界限范围，对甲烷来讲，是5~15%左右。
2. 存在能够点燃的点火源，如裸火、电火花等。

因此，在矿井中为消除瓦斯的燃烧与爆炸，一方面要加强通风，防止瓦斯的积聚，另一方面就需要设法消除点火源。

二、混合物的爆炸界限

实验证明，爆炸并不是在任何浓度的可燃性混合物中都能发生。在各种可燃性混合物中，均有一个能发生爆炸的范围，就是所说的爆炸的浓度界限。可燃性混合物的浓度界限由混合物的物理化学特性以及外界因素（如温度、压力等）所决定。在标准状态下（760毫米水银柱、20±5℃时）甲烷和其他几种可燃性气体或蒸汽与空气混合物的爆炸浓度界限见表3-1-2。

表 3-1-2 几种可燃性空气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 C <sub>H</sub>	上限 C <sub>B</sub>		下限 C <sub>H</sub>	上限 C <sub>B</sub>
甲 烷	5.00	15.00	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 气	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

当可燃性混合物的浓度处于上、下浓度界限之间，则就有爆炸危险。可燃性空气混合物遇火源爆炸的最低浓度，称为爆炸的浓度下限。根据试验，甲烷的下限多在5.0~6.0%，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。

由多种可燃性气体或蒸汽与空气组成的混合物，可按公式（3-1-2）及式（3-1-3）计算混合物爆炸浓度的上下限值。

$$C_B = \frac{100}{\frac{V_1}{C_{B1}} + \frac{V_2}{C_{B2}} + \frac{V_3}{C_{B3}} + \dots + \frac{V_n}{C_{Bn}}}, \% \quad (3-1-2)$$

$$C_H = \frac{100}{\frac{V_1}{C_{H1}} + \frac{V_2}{C_{H2}} + \frac{V_3}{C_{H3}} + \dots + \frac{V_n}{C_{Hn}}}, \% \quad (3-1-3)$$

式中 C<sub>B</sub>——多种混合物的爆炸浓度上限；

C<sub>H</sub>——多种混合物的爆炸浓度下限；

V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>、V<sub>3</sub>…V<sub>n</sub>——代表各种可燃性气体占混合物总体积的百分比，且V<sub>1</sub>+V<sub>2</sub>+V<sub>3</sub>+…+V<sub>n</sub>=100%；

C<sub>B1</sub>、C<sub>B2</sub>、C<sub>B3</sub>…C<sub>Bn</sub>及C<sub>H1</sub>、C<sub>H2</sub>、C<sub>H3</sub>…C<sub>Hn</sub>——分别表示各种可燃性气体爆炸界限的上限和下限。

影响爆炸界限的诸因素：

1. 温度 提高可燃性混合物的初始温度，可扩大爆炸浓度界限的范围，可使下限减小而上限提高。甲烷-空气混合物的初始温度与爆炸界限的关系见表3-1-3。

表 3-1-3 初温与爆炸浓度界限的关系

初 温 ℃	浓 度 界 限 %	
	下 限	上 限
20	6.00	13.40
100	5.45	13.50
200	5.05	13.85
300	4.40	14.25
400	4.00	14.70
500	3.65	15.35
600	3.35	16.40
700	3.25	16.75

2. 压力 适当增加可燃性混合物压力，也可使下限减小上限提高，扩大爆炸浓度范围。甲烷-空气混合物的压力与爆炸界限的关系见表3-1-4。

3. 试验容器 在不同直径的玻璃管容器内作爆炸试验，试验结果见表3-1-5。使用不同容器作爆炸试验，爆炸浓度界限也不同。容器越大，爆炸浓度界限也将扩大。而当管子直径减小到某一临界值时，就不能点燃爆炸。

表 3-1-4 压力与爆炸浓度界限的关系

压 力 kg/cm <sup>2</sup>	浓 度 界 限 %	
	下 限	上 限
1.0	4.50	14.2
32.0	4.45	44.2
64.0	4.00	52.9
128.0	3.60	59.0
192.0	3.15	60.0

表 3-1-5 容器与爆炸浓度界限的关系

管的直径 mm	浓 度 界 限 %	
	下 限	上 限
50.0	5.40	14.30
25.0	5.80	13.30
9.0	7.80	11.60
8.1	8.30	10.90
7.2	8.45	10.60
5.6	8.50	10.50
4.5	9.95	9.95
3.6	不点燃	—

4. 充入不燃性气体时的影响 向混合物中充以不燃性气体，随充入量的增加，其爆炸界限范围将逐渐缩小，并在最终互相重合。如在甲烷-空气混合物中充入二氧化碳时，每增加1%时，其爆炸下限提高0.033%，上限下降0.26%。在甲烷-空气混合物中充入氮，每增加1%，则下限提高0.017%，上限下降0.54%。当二氧化碳或氮充入时，还能使爆炸压力减低和延迟时间增加。

5. 矿井中煤尘的影响 当甲烷-空气混合物中有煤尘存在时，会使爆炸下限降低，见表3-1-6。所以矿井中瓦斯与煤尘同时存在是很危险的，必须采取有效措施控制它们的浓度。

对于电气设备的安全运行，以及从安全技术来说，最重要的问题是确定可燃性混合物的爆炸浓度下限，从而可以确定，在使用电气设备环境中可燃性混合物含量的允许浓度。

表 3-1-6 甲烷、煤尘同时存在时爆炸浓度下限

空气中的甲烷 %	0.5	1.4	2.5	3.5	4.5
煤尘的下限浓度 g/m <sup>3</sup>	34.5	26.4	15.5	6.1	0.4

### 三、点 火 源

可燃性混合物的燃烧与爆炸，需要具有一定热能的点火条件。对煤矿井下来讲，裸火、炮焰、自然发火等都可以成为点火源。电气设备在正常或故障状态时所发生的火花、电弧以及灼热体等，也是点燃可燃性混合物的点火源。

不论那类点火源，一般可分火焰点燃和热面点燃两种。第一种是火焰直接接触可燃性混合物。属于第二种热面点燃的有：电气设备的发热；透明罩和泡皮破损的白炽灯灯丝；电路触头闭合和分断瞬间的放电；摩擦或撞击火花；电气设备导电零件在强电弧短路时所形成的灼热金属微粒等。

各种不同点火源对各种可燃性混合物的最易点燃浓度如表 3-1-7 所列。从表中可以看出，放电火花对甲烷-空气混合物的最易点燃浓度为 8.5% 左右。

表 3-1-7 点火源与最易点燃浓度

混 合 物 名 称	不同点火源的最易点燃浓度 %					
	绝热压缩	火 焰	灼热灯丝	热 表 面	放电火花	摩擦火花
甲 烷	6.5	10.5	6.5	6.0	8.5	6.5
乙 炔	—	—	30~60	—	9.25	40~60
氢	—	30.0	10~15	—	21~22	13~18
乙 烯	—	6.5	—	—	7.0	6.5
丙 烯	—	—	—	—	7.0	—
丙 酮	—	5.9	—	—	7.0	15.0
丙 烷	—	4.1	2~4	—	6.0	—
醚	—	4.1	6~10	—	5.5	—
甲 苯	—	—	—	—	3.5	8.0
汽 油	—	—	14.2	—	3.5	—
二 硫 化 碳	—	10.0	7.5	—	7.7	2~6

所谓最易点燃，是指其点燃或燃率最大，即  $P = 100\%$  者。点燃或燃率是试验过程中点燃次数与试验次数的比值。

由热面点燃可燃性混合物时，其点燃温度大大超过自燃温度。自燃温度是指可燃物质不经点燃，而可自行燃烧的温度。确定气体混合物自燃温度的试验装置见图 3-1-1。它是将密封的反应瓶 2，置于加热箱 1 中。并在专用的混合缸 12 中，按需要浓度制备可燃性混合物。加热箱用加热器加热至某一温度，使各部位的热电偶 3 读数，调整至 5 分钟内相差不大于  $1^{\circ}\text{C}$  为止，然后，通过管路将混合物放入到抽空的反应瓶中。经反复试验，求得最低点燃的温度就是自燃温度。可以看出自燃温度是在密封保温条件下获得的，这与开放的热面点燃方式是不同的。表 3-1-8 列出了一些混合物自燃温度与点燃温度的数据。

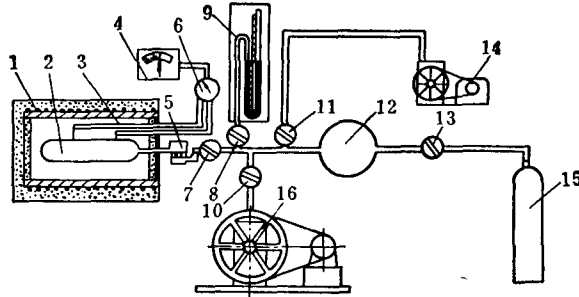


图 3-1-1 自燃温度试验装置

1—加热箱；2—反应瓶；3—热电偶；4—电位计；5—隔火器；6—转换开关；7—阀门；8、10、11、13—阀；9—压力计；12—混合缸；14—压缩机；15—瓦斯瓶；16—真空泵

表 3-1-8 自燃温度与点燃温度

混合物名称	自燃温度℃	点燃温度℃	混合物名称	自燃温度℃	点燃温度℃
乙炔	305	420	硫化氢	290	495
汽油	265	855	乙醇	423	648
氢	510	640	松节油	253	776
二氯乙烷	455	610	甲醇	420	507
二丁醚	170	640	二乙醚	162	182
二硫化碳	102	180	甲烷	400	900

点火源的点燃特性与混合物的成份、火焰的大小、温度、火源与混合物接触的持续时间等因素有密切关系。

从摩擦火花的点燃试验中证明，钢的锈蚀面与各种铝合金板摩擦产生的火花，能够点燃甲烷-空气混合物等多种可燃性混合物。钢与钢摩擦时所形成的火花，可以点燃氢、二硫化碳，乙炔以及硫化氢与空气的混合物。

摩擦火花的点燃特性，除混合物浓度外，还与其摩擦速度、冲击角度、冲击能量以及材质成份等有关。以铝合金与锈蚀钢板的撞击摩擦为例，其冲击角度与点燃或燃率的关系

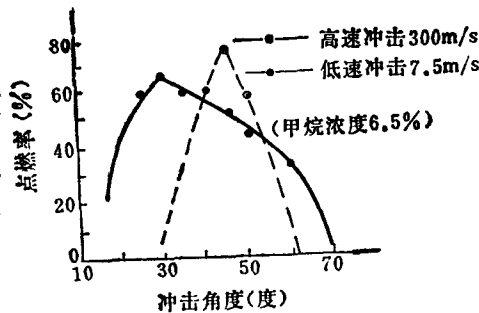


图 3-1-2 冲击角度与点燃或燃率的关系

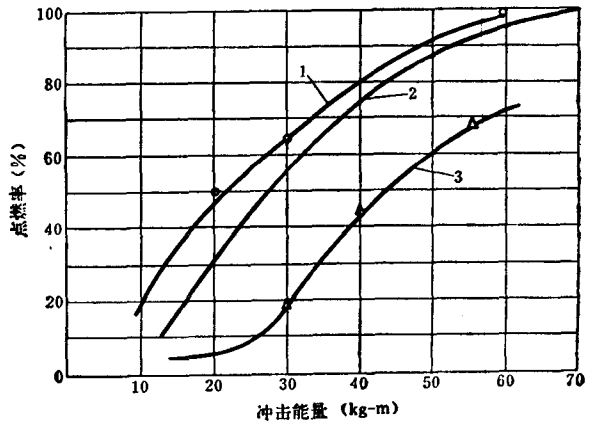


图 3-1-3 冲击能量与点燃或燃率的关系  
1—相对湿度90%；2—相对湿度57%；3—干燥状态

见图 3-1-2。从图中可见点燃率在 $45^\circ$ 时为最高。其冲击能量的试验结果见图 3-1-3，试验是以铝镁合金进行的，可以看出点燃率随着冲击能量的提高而提高，尤其在潮湿状态更为严重。在一系列试验中还发现扇风机运行时，有时混进了其他物质，如小螺栓、水锈、岩块等，与叶片间高速度撞击时产生的火花，也具有点燃的危险。

截煤机切割煤层，碰到煤层中的夹石或顶底板的岩石，也会产生摩擦火花。试验认为，岩层中石英对点燃甲烷-空气混合物是起主要作用的。只要摩擦温度达到 $1250^\circ\text{C}$ ，就会成为点火源。如果切割煤层时遇到黄铁矿，就有更大的危险性。因为黄铁矿尘加热到 $270\sim 300^\circ\text{C}$ 时就能自燃，这时首先点燃的是黄铁矿尘，并且由它将甲烷-空气混合物再行点燃。

#### 四、点燃温度与迟延时间

在爆炸界限内的可燃性混合物，接触到适当的点火源时，就会发生混合物的爆炸。这里对于燃烧或爆炸所需的加热，叫做点燃，点燃所需的最低温度，叫做点燃温度。但是，在某一点燃温度下，从开始加热到产生化学反应，还需要经过一个相应地迟延时间或称为感应时间，它是与点燃温度有关的。

点燃温度受着许多条件的影响。特别是容器的大小、形状和材质以及混合物性质及其所处的周围温度、压力等有关。

增加压力，将使单位容积内混合物的密度增加。如果爆炸是一种纯粹的热反应，不考虑热量向外逸出的影响，则增加密度就意味着增加反应能，因而爆炸可以在较低的温度下发生。

点燃温度与容器的大小有关，随着容器直径的加大，点燃温度将会降低，见图 3-1-4。从图中可以看到，甲烷-空气混合物在任意浓度时，大容器内的点燃温度比小容器低。试验证明，甲烷浓度在 $5.5\sim 6.5\%$ 时，点燃温度为最低，约为 $630\sim 750^\circ\text{C}$ 。如果浓度向两个方向变化，其点燃温度就随之增高。

随着混合物中氧的增加，点燃温度有急剧降低的趋势。如将 $7.5\%$ 的甲烷-空气混合物盛于容器内，并向容器内注入氧，使其浓度变化，这时就会获得图 3-1-5 所示的点燃温度。

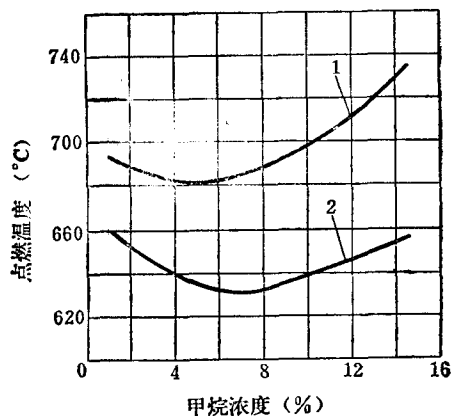


图 3-1-4 不同容器点燃温度与浓度的关系  
曲线1—容器的容积48升；曲线2—容器的容积440升

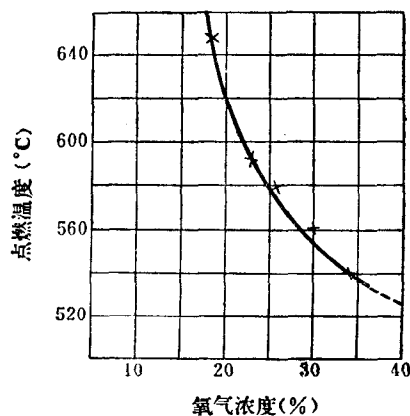


图 3-1-5 点燃温度与氧浓度的关系

可燃性混合物加热到一定温度（等于点燃温度）时，并经过一个迟延时间，就引起爆炸。其迟延时间是与温度、压力以及混合物浓度等试验条件有关的。例如以8.3%的甲烷-空气混合物进行试验，在不同温度和不同压力下，得到的结果见图3-1-6、图3-1-7和表3-1-9所示。

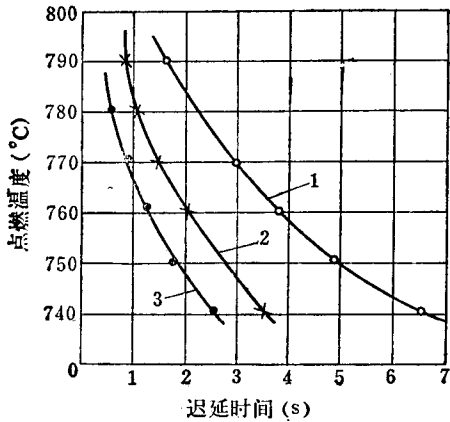


图 3-1-6 温度与点火迟延的关系  
1—740℃；2—750℃；3—780℃

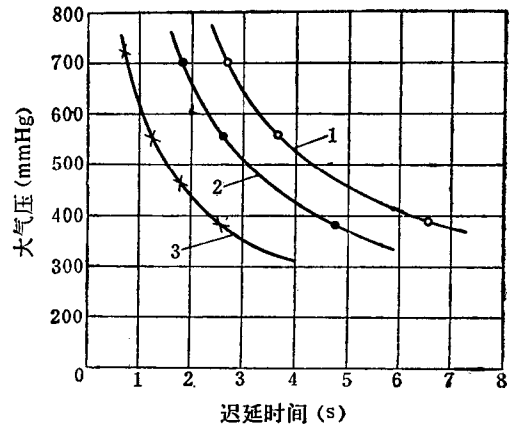


图 3-1-7 压力与点火迟延的关系  
1—394mmHg；2—550mmHg；3—704mmHg

表 3-1-9 不同温度、压力下点火迟延

温度 ℃	大气压 kg/cm <sup>2</sup>			
	704	550	470	394
740	2.58	3.40	5.10	6.68
750	1.79	2.36	4.02	4.84
760	1.27	1.92	2.60	3.64
770	1.04	1.34	1.72	2.90
780	0.80	1.10	1.25	2.34
790	—	0.90	1.01	1.65

温度与压力不变，点燃迟延时间与混合物浓度有关，表 3-1-10 列出了不同浓度的甲烷-空气混合物与迟延时间的关系。

表 3-1-10 不同温度下浓度与点火迟延的关系

甲烷浓度 %	温度 ℃						
	700	725	750	775	825	925	1025
4.0	8.2	3.0	2.4	1.4	—	—	—
6.0	10.0	4.3	2.6	1.5	0.62	0.21	0.07
8.0	14.0	5.2	3.0	1.6	0.67	0.25	0.08
10.0	—	6.3	3.5	1.75	0.72	0.26	0.09
12.0	—	7.9	4.1	1.90	0.77	0.27	0.09

点燃温度和迟延时间，对电气设备防爆和安全技术具有重大意义。点燃温度可确定电

气设备最高允许温度，如保护开关切断电源时间小于迟延时间，当还未发生爆炸前，能迅速断开电源，就可防止爆炸事故发生，后者可以作为控制时间。

### 五、电火花的最小点火能

电气设备（包括配线）都可能产生火花，但是电火花一般持续时间很短，可看作过渡性的火花。这些火花可视为极小的球形火花，当它足够大时就能点燃可燃性混合物爆炸。而当其直径逐渐缩小到某个值以下时，可燃性混合物就不能点燃。也就是说只有给予可燃性混合物一定能级以上的点火能时，才会发生点燃。所以电气设备所产生的火花，若成为点火源，其能量必须超过某一点火能的数值。点燃可燃性混合物的最小能量，一般称为最小点火能。一些气体或蒸汽与空气混合物以及粉尘与空气混合物最小点火能的测试结果，分别列于表3-1-11和表3-1-12。

表 3-1-11 可燃性气体或蒸汽与空气混合物的最小点火能

混合物名称	混合物浓度 %	最小点火能 mJ	使用设备的电容 pF	点火电压 kV
丁 酮	5.2	0.29		
甲 烷	8.5	0.28	9	7.9
戊 烷	3.3	0.28		
丙 烷	5.3	0.26	10	7.2
乙 烷	6.5	0.25	10	7.1
丁 烷	4.7	0.25	4~7	
己 烷	3.8	0.24	4~7	
庚 烷	3.4	0.24	4~7	
环 己 烷	3.8	0.22	4~7	
苯	4.7	0.20	4~7	
乙 醚	5.1	0.19	4~7	
环 丙 烷	6.3	0.17	4~7	
丁二烯-1,3	5.2	0.13	4~7	
甲基环氧乙烷	7.5	0.13	4~7	
戊 酮	7.0	0.11		
环 氧 乙 烷	10.8	0.06	4~7	
氢	28.24	0.019	4	
乙 炔	7.7	0.019		
二 硫 化 碳	7.8	0.009		

表 3-1-12 可燃性粉尘与空气混合物的最小点火能

粉尘名称	最小点火能 mJ	爆炸下限 g/m <sup>3</sup>	最大爆炸压力 kg/cm <sup>2</sup>
聚 乙 烯	80	25	
洗 衣 粉	60	45	
硬 橡 皮	50	25	
煤	40	35	
淀 粉	40	45	
铝	20	35	
镁	20	20	
松 脂	10	15	



由表3-1-11和表3-1-12可以看出：

(1) 一般粉尘与空气混合物的最小点火能约比可燃性气体或蒸汽与空气混合物大两个数量级。所以气体或蒸汽与粉尘并存时，首先必须注意气体或蒸汽点燃的危险，但是粉尘爆炸时，易引起联锁反应，扩大灾害，也应充分注意。

(2) 气体或蒸汽与空气混合物的最小点火能是个相当小的数值。设计电气回路时，如果必须使其火花、电弧的能量低于此数值，在目前还是很难做到，而且这样低能级的回路，即使做得到，在实用上也是很有限的。

事实上，表3-1-11的数据，只是在极理想的条件下（几乎可以忽略损失）测得的数值。在实际中即使发生了近于此数值数倍的火花能也不一定会点燃可燃性混合物，所以所谓安全火花回路，并非以表3-1-11的最小点火能为设计依据，而是考虑实际回路中，发生有能量损失的火花时的点燃问题。

实际回路中发生电火花时，由于火花能的损失，实际点火能的平均值要比最小点火能大得多，如图3-1-8所示，没有一条截然的点火界限，而是一条宽带。实际点火能级的实验次数是有限的，次数越多，实际点火能级越趋向于低的方面。测定次数与点火能级的关系见图3-1-9。

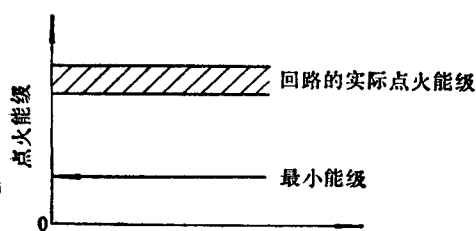


图 3-1-8 点火能级的比较

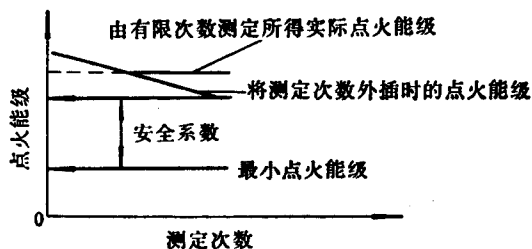


图 3-1-9 实验次数与点火能级的关系

### 六、爆炸温度与爆炸压力

爆炸温度是指可燃性混合物反应时燃烧生成物的瞬间温度。以甲烷-空气混合物为例，可以按反应式(3-1-1)粗略计算出来。

我们知道，1克甲烷-空气混合物反应所生成的总热量  $Q = 13250$  卡/克。一部分使生成物温度升高，另一部分则用于生成物本身的热量消耗。生成物每升高  $1^\circ\text{C}$  所需的热量为：

$$Q_1 = C_{\text{CO}_2} \cdot g_{\text{CO}_2} + C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g_{\text{H}_2\text{O}} + C_{\text{N}_2} \cdot g_{\text{N}_2} \quad (3-1-4)$$

式中  $C_{\text{CO}_2}$  及  $g_{\text{CO}_2}$  为二氧化碳的比热及克分子量；

$C_{\text{H}_2\text{O}}$  及  $g_{\text{H}_2\text{O}}$  为水蒸汽的比热及克分子量；

$C_{\text{N}_2}$  及  $g_{\text{N}_2}$  为氮的比热及克分子量。

生成物本身所消耗的热量，主要是指  $0^\circ\text{C}$  的水变成为  $100^\circ\text{C}$  的水蒸汽所需的热量  $Q_2$ ：

$$Q_2 = (q_1 + q_2) \cdot g_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3-1-5)$$

式中  $q_1$  为 1 克水由  $0^\circ\text{C}$  变为  $100^\circ\text{C}$  所需的热量；

$q_2$  为  $100^\circ\text{C}$  的水变为  $100^\circ\text{C}$  的水蒸汽所需的热量。

代入后经过计算，就可以得到爆炸温度大约为  $2400^\circ\text{C}$ 。一般情况为  $2100 \sim 2200^\circ\text{C}$ 。

爆炸压力一般是指产生气体生成物的瞬时压力。由于爆炸后生成物的温度很高，由于高温产生了高压。根据波义耳-马略特定律，在一定容积下，爆炸时的压力可按式(3-1-6)计算

$$P_{ex} = P_0 \frac{T_{ex} + 273}{T_0 + 273} \quad (3-1-6)$$

式中  $P_0$  和  $T_0$  —— 爆炸前的初压和初温，

$P_{ex}$  和  $T_{ex}$  —— 爆炸后的压力和温度。

甲烷-空气混合物爆炸瞬间的温度，在密闭容器内可达 2650℃，一般可达 2100~2200℃。初温一般取 15~17℃，将此数据代入式(3-1-6)中可得

$$P_{ex} = P_0 \frac{273 + (2100 \sim 2200)}{273 + (15 \sim 17)} \approx 8.3 \sim 8.5 (\text{kg/cm}^2)$$

以上计算，是假定爆炸在绝热条件下进行的，事实上由于爆炸生成物的自由扩散，爆炸后的温度大约为 1850℃，所以实际测得的爆炸压力为 7.4 大气压。图 3-1-10 是几种可燃性混合物的浓度与爆炸压力的关系。从图中可以看出，在标准状态下，最大爆炸压力，一般均不超过 10 个大气压。

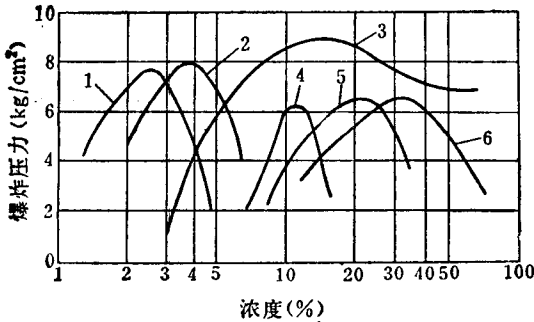


图 3-1-10 爆炸压力与浓度的关系

1—己烷；2—乙醚；3—乙炔；  
4—甲烷；5—煤气；6—氢

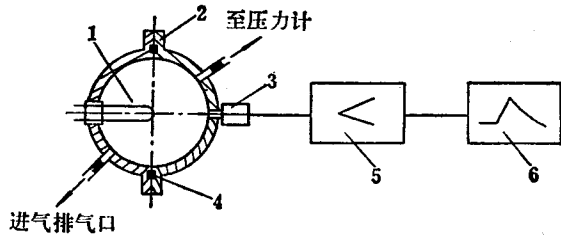


图 3-1-11 爆炸压力试验装置示意图

1—点火塞；2—爆炸腔外壳；3—压力传感器；  
4—密封垫圈；5—放大器；6—示波器

图 3-1-11 是爆炸压力的试验装置。爆炸是在 8 升青铜的两个半球的标准外壳中进行，壳内中心设点火源，压力传感器拧在外壳上，爆炸时经放大后传送到示波器，把爆炸压力记录下来。

在一定容积范围内的密闭外壳，其爆炸压力几乎和容积大小无关。如容积为 0.5~64 升的外壳，它们之间的爆炸压力，只差 0.1 公斤/厘米<sup>2</sup>。但当容积小于 0.5 升时，爆炸压力随着容积减小则显著降低，当容积为 0.01 升时，其爆炸压力为 4 公斤/厘米<sup>2</sup> 以下。

## 第二节 防爆电气设备的分类

使用在有爆炸危险环境中的电气设备，为保证安全生产，需要采用适合于其生产环境的防爆电气设备。现行《煤矿安全生产试行规程》规定：一、二级瓦斯矿井的采区进风巷

道中，固定式电气设备可以采用矿用安全型的，三、超级瓦斯矿井要采用矿用防爆型的。又规定在有瓦斯或煤尘爆炸危险的矿井中，移动式的电气设备必须采用矿用防爆型或矿用安全火花型的。

在工业生产环境中应用的防爆电气设备，可分煤矿用防爆和工业厂房用防爆两大部分。这两部分防爆电气设备，虽然使用环境不同，但其原理和结构是基本相同的。这些防爆电气设备的设计和制造，要符合GB1336-77《防爆电气设备制造检验规程》（以下简称防爆规程）和《安全火花型防爆电气设备制造检验暂行规定》（以下简称安全火花规定）中有关规定。

一、爆炸性混合物的分级分组

爆炸性混合物，按其传爆能力可分为四级，其分级标准见表3-2-1。标志传爆能力大小的是最大试验安全间隙，将在后面要详细阐述。对于安全火花的分级在第五节另有叙述。

爆炸性混合物按其自燃温度的高低分为五组，其划分标准见表3-2-2。

表 3-2-1 分级标准

级 别	试验最大不传爆间隙 $\delta$ mm
1	$1.0 < \delta$
2	$0.6 < \delta \leq 1.0$
3	$0.4 < \delta \leq 0.6$
4	$\delta \leq 0.4$

表 3-2-2 分组标准

组 别	爆炸性混合物的自燃温度 $T$
a	$450 < T$
b	$300 < T \leq 450$
c	$200 < T \leq 300$
d	$135 < T \leq 200$
e	$100 < T \leq 135$

工业生产中常见的各种爆炸性混合物的分级分组情况，见表3-2-3。其中甲烷就包括了矿井瓦斯，因此煤矿的防爆，大致与工业防爆1级相适应。

表 3-2-3 各种爆炸性混合物的分级分组

组别 级别	a	b	c	d	e
1	甲烷、氨、醋酸	丁醇、醋酸酐	环己烷		
2	乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、苯、氯苯、甲醇、甲苯、一氧化碳、醋酸乙酯	丁烷、乙醇、丙烯、醋酸丁酯、醋酸戊酯	戊烷、己烷、庚烷、辛烷、癸烷、硫化氢、汽油	乙醚 乙醛	
3	市用煤气	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、1,4-二氧基己烷、乙烯	异戊二烯		
4	水煤气、氢	乙 炔			二硫化碳

二、防爆的类型及标志

防爆电气设备已如前述，系采用某些措施，以保证在具有爆炸危险的环境中安全运行。当设备内部发生故障时，也不致点燃周围可燃性混合物。现有的防爆类型主要有以下几种：

1. 防爆安全型 是指在正常运行时不产生火花、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。通常简称为安全型，在工业厂房中，也只能安装在Q-2级场所。在煤矿一、二级瓦斯矿井的采区进风巷道中，固定式电气设备可以采用矿用安全型的。

2. 隔爆型 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。现已在煤矿电力设备中广泛采用，它是法兰保护原理为基础的防爆电气设备。

3. 防爆充油型 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，使其不引起油面上爆炸性混合物爆炸的设备。

4. 防爆通风、充气型 是指向外壳内通入正压新鲜空气或充入惰性气体，以阻止外部爆炸性混合物进入外壳内部的电气设备。煤矿中基本上不采用此种类型的电气设备。

5. 安全火花型 是指电路、系统及设备在正常和故障状态下，产生的电火花和温度都不能引起爆炸性混合物爆炸的电气设备。这种类型多用于通讯、信号和自动化系统。

6. 防爆特殊型 是指结构上不属于上述各型规定，采取其他防爆措施的电气设备。

根据《防爆规程》和《安全火花规定》，各种类型的防爆电气设备，均须在设备外壳的明显处标有清晰的凸纹防爆标志，仪器仪表允许采用非凸纹的永久性标志。各种类型防爆电气设备的标志见表3-2-4。

表 3-2-4 防爆电气设备标志

类 型	标 志	
	工 厂 用	煤 矿 用
防爆安全型	A	KA
隔 爆 型	B	KB
防爆充油型	C	KC
防爆通风、充气型	F	KF
安全火花型	H	KH
防爆特殊型	T	KT

防爆电气设备可以制成单一类型的，也可以制成复合型的。按主体、部件的类型、级别、组别的顺序标出，见图3-2-1及图3-2-2。当无隔爆型或安全火花型部件时，则级别标以“0”。

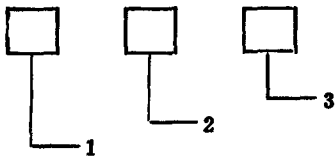


图 3-2-1 单一类型标志  
1—类型；2—级别；3—组别

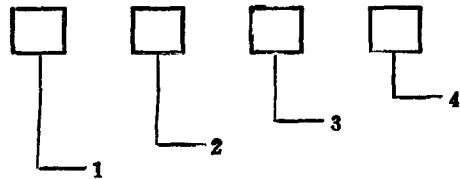




图 3-2-2 复合类型标志  
1—主体类型；2—部件类型；3—级别；4—组别

如工厂用防爆安全型b组，标志为“AOB”。工厂用主体隔爆型3级b组，部件安全火花型II组b组，标志为“BH3 II b”。煤矿用主体矿用隔爆型，部件矿用安全火花型，标志为“KBH”。

其他国家防爆电气设备的标志综合列于表3-2-5。

表 3-2-5 其他国家防爆电气设备的标志

国 别	总 标 志		类 型 标 志						
	厂	房 煤 矿	隔 爆	安 全	充 油	通 风	充 砂	安全火花	特 殊
罗马尼亚	Ex	A	a	s	n	v	n	i	X
匈牙利	Rb-	Sb	n	f	O	t	n	SZ	K
苏 联		P	B	H	M	П	K	И	C
东德、西德	Ex	Sch	d	e	O	f	p	i	S
奥地利	Ex	Sch	d	e	O	f	p	i	S
捷克斯克 斯洛伐克	Ex		3	0	5	9	1	9	8
波 兰		B	M	W	O	P	Z	I	S
瑞 士			t	h	O	V			S
意大利	X		pE	SP		SI			
日 本	AP-		d	e	O	f		i	S
法 国	ADF		A		B				
南斯拉夫	Sc		t	s	O	v	n		
英 国	FLP								
加 拿 大									
美 国									

防爆设备通过防爆试验规定允许使用场所，并在铭牌上用文字说明

### 第三节 防爆电气设备的通用要求

各种类型防爆电气设备的通用要求包括：环境的温度及耐潮性；电气设备的表面温度；进线装置；电气间隙及漏电距离；接线与接地；透明罩与观察窗等。

#### 一、环境的温度及耐潮性

煤矿用防爆电气设备，需考虑到井下温度高、湿度大的特点。《防爆规程》规定，环境温度须按 +35℃ 设计，作产品型式试验时要作耐潮试验，耐潮试验在专用的试验箱中进行。被试的产品按正常工作状态装配完整后放在试验箱中，试验时每 24 小时为 1 个周期，每个周期开始时通电升高温度，同时开动湿源，在 1 小时内达到温度 40±2℃、相对湿度 95±3%，保持 16 小时。然后切断电源，在 2 小时内温度降至 30℃，保持相对湿度仍为 95±3%，不少于 5 小时。试验连续进行 7 个周期，在最后一个周期，进行绝缘电阻的检测和介电强度的耐压试验，其合格标准见《防爆规程》。经耐潮试验后的电气设备，应能保持正常的工作性能。

#### 二、电气设备的表面温度

防爆电气设备在额定工作状态下，其外壳表面的最高允许温度（包括防爆安全型及安全火花型的内部元件温度），不得超过表 3-3-1 的规定。煤矿用的防爆电气设备，其外壳表面温度不得超过 200℃。

限制电气设备的表面温度，是为了保证设备运行中，不致出现能够点燃周围可燃性混合物的危险温度。考虑电气设备负荷、电源电压的波动以及外壳表面堆积灰尘等因素，允许表面温度按可燃性混合物自燃温度的80%计算，留有20%的裕度。

表 3-3-1 外壳表面最高允许温度

组 别	a	b	c	d	e
温 度 ℃	360	240	160	110	80

### 三、进 线 装 置

防爆电气设备的进出线，只能采用电缆。引入电缆的进口处，需采用具有弹性的密封垫（橡胶圈）或其他措施严密封牢。为保证其密封性能，橡胶密封垫的硬度须为邵尔氏硬度45~50，其各部分尺寸，除了要保证与电缆间密封的可靠外，还需要与出线口间保持可靠密封。为了配合不同外径电缆，密封垫可适当地切割数道同心切槽，其各部尺寸需符合图3-3-1及图3-3-2的规定。

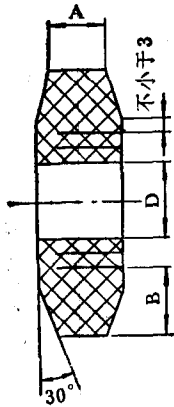


图 3-3-1 橡胶密封垫

D—电缆公称外径±1;  
A— $\geq 0.7D$  (不小于10);  
B— $\geq 0.3D$  (不小于4)

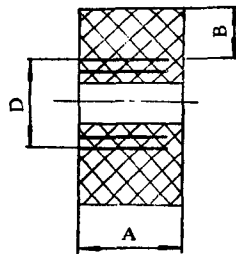


图 3-3-2 压紧螺母式用橡胶密封垫

D—电缆公称外径±1;  
A— $\geq 0.7D$  (不小于10);  
B— $\geq 0.3D$  (不小于4)

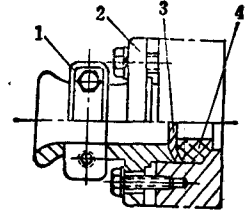


图3-3-3 压盘式进线装置

1—防止电缆拔脱装置;  
2—压盘; 3—堵板;  
4—密封垫

引入橡套软电缆的进线装置，一般采用压盘式或压紧螺母式进线装置，见图3-3-3及图3-3-4所示。进线嘴应制成喇叭口状，并有防松防拔的装置，以防电缆的松动或拔脱。为了防止在不引入电缆时，进线嘴成为对外的通口，进线装置须备有不少于2毫米厚的金属板封堵。压紧螺母式进线装置，须在螺母与弹性密封垫之间，加装金属垫圈，以防螺母拧入时，损坏密封垫。

引入铠装电缆的进线装置，须设有放置电缆的空腔，见图3-3-5。如果采用钢管布线，则应将压紧螺母制成螺纹连接的方式，如图3-3-6所示。

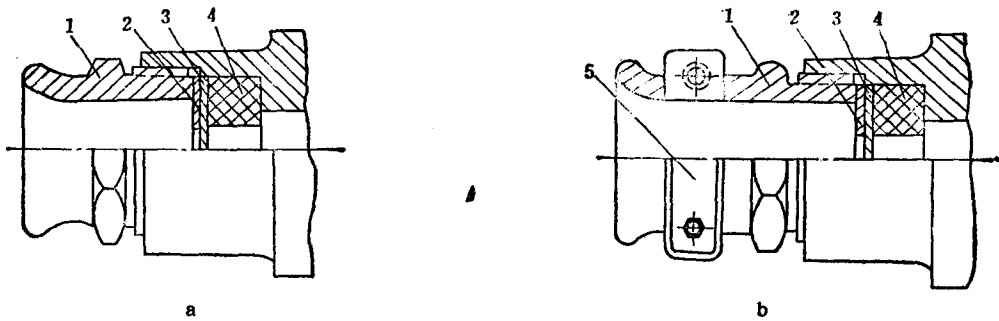


图 3-3-4 压紧螺母式进线装置

a—适用于公称外径小于20毫米的电缆；b—适用于公称外径大于20毫米的电缆；  
1—进线嘴；2—金属垫圈；3—堵板；4—密封垫；5—防止电缆拔脱装置

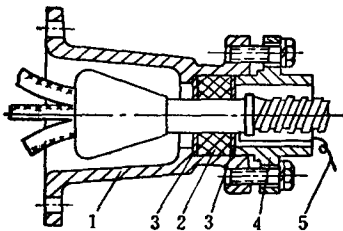


图 3-3-5 铠装电缆进线装置

1—接线盒体；2—金属垫；3—密封垫；  
4—压盘；5—铅皮和铠装接地

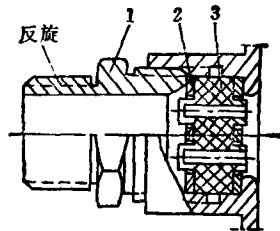


图 3-3-6 钢管布线进线装置

1—压紧螺母；2—金属垫；3—密封垫

#### 四、电气间隙及漏电距离

煤矿井下的空气比较潮湿，煤尘很大，如果电气设备的接线盒内，裸露的带电零件间或带电零件对地间电气间隙过小，就容易击穿放电。如果漏电距离过小，则由于支撑裸露带电零件的绝缘件表面附着煤尘，并具有吸水性，使其绝缘降低，在电场的作用下，会出现漏电现象，从而使绝缘件表面碳化，导致短路危险。因此，防爆电气设备接线盒内部（包括防爆安全型主体内部）的电气间隙及漏电距离，需适当高于普通电气设备规定，见表3-3-2。

电气间隙是指两个导电零件之间，或导电零件对地之间的最短直线距离，漏电距离则为两个导电零件之间或导电零件对地之间沿着绝缘材料表面的最短距离。不仅与电压等级有关，其漏电距离还与所用绝缘材料的抗漏电能力有直接关系。各种绝缘材料根据抗漏电强度可分为四级，分级是在标准试验条件下进行的。绝缘材料抗漏电强度分级见表3-3-3。在计算漏电距离时，导电部分表面涂漆或氧化层均不能认为是绝缘的（绕组例外）。如用绝缘漆胶封带电沉头螺钉，当胶封厚度不小于3毫米时，可认为是绝缘的。两个固定绝缘件之间的配合面可视为漏电距离。计算时对于≤3毫米的凸缘或凹窝，不能视为有效的漏电距离，这时应按图3-3-7上点画线的距离计算之。

表 3-3-2 漏电距离与电气间隙

电 压 等 级 V		漏 电 距 离 mm				电 气 间 隙 mm
直 流	交 流	绝 缘 材 料 抗 漏 电 级 别				
		I	II	III	IV	
48以下	60以下	$0/3$	$0/3$	$0/3$	$10/3$	$0/3$
115以下	127~133	$0/6$	$0/6$	$10/6$	$14/6$	$0/6$
230以下	220~230	$0/6$	$8/8$	$12/8$	不	$8/8$
460以下	380~400	$8/6$	$10/10$	$14/10$	许	$10/6$
	660~690	14	20	28	使	14
	3000~3300	50	70	90	用	36
	6000~6600	90	125	160		60
	10000~11000	125	160	200		100

注：表中分母为电流不大于5安、额定容量不大于250瓦的电气设备的漏电距离和电气间隙。

表 3-3-3 绝缘材料抗漏电分级

抗漏电强度级别	绝 缘 材 料
I	上釉的陶瓷、云母、玻璃
II	三聚腈胺石棉耐弧塑料、硅有机石棉耐弧塑料
III	聚四氟乙烯塑料、三聚腈胺玻璃纤维塑料、表面用耐弧漆处理的环氧玻璃布板
IV	酚醛塑料、层压制品

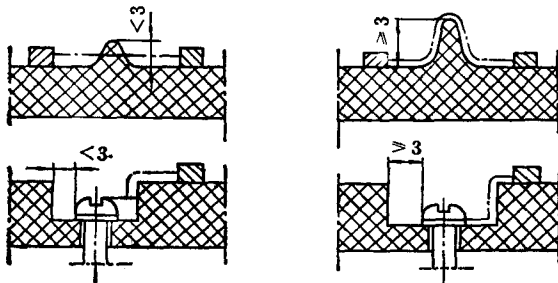


图 3-3-7 漏电距离计算示意图

### 五、接线与接地

电气设备接线盒内的接线端子应有足够的机械强度，并保证可靠连接。虽受温度变化、振动等影响，也不应出现接触不良的现象，连接方法见图 3-3-8。为了避免飞弧、闪络现象对壳壁的影响，接线盒空腔的内壁（非加工面），应涂可靠的耐弧漆。

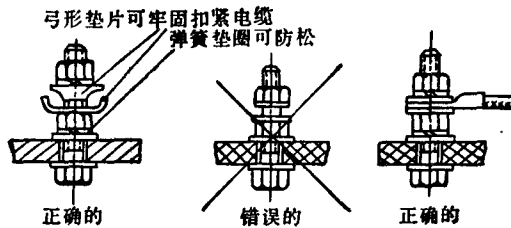


图 3-3-8 导体连接示意图

电气设备的接地，是为了保证人身安全和防止漏电火花的重要措施。电气设备的金属外壳（移动式设备以及电源电压低于36伏的电气设备除外）以及铠装电缆的铅皮和铠装等，均应可靠接地。外接地螺栓的直径如下：

- (1) 容量小于或等于5千瓦的不小于M8；
- (2) 容量大于5千瓦至10千瓦不小于M10；
- (3) 容量大于10千瓦的不小于M12；
- (4) 通讯、信号、按钮、照明灯等小型设备不小于M6。

煤矿防爆电气设备，还必须具有系统接地，因而其接线盒内至少需有一个内接地端



子，与电缆的接地芯线连接起来。

各接地端子都应有防松垫圈和电镀防锈处理，并在明显处标出接地标志。

#### 六、保护罩和观察窗

有些防爆电气设备（如仪表、信号灯、照明灯具等）外壳上，须设有观察窗或保护罩。由于有受到外物和掉落的岩石、煤块等撞击危险，观察窗和保护罩一般采用高强度的透明材料制成，并须进行冲击试验合格后才允许使用。照明灯具的保护罩，由于在保护罩内温度很高，在保护罩表面又会遭到矿井水淋溅，因此保护罩内外有较大温差，照明灯具保护罩除须作冲击试验外，还须作温差试验。

#### 七、其他防止意外的措施

防爆电气设备尚有一些防止意外的措施，如外壳的紧固件、联锁装置、警告标志等。

外壳的紧固件是保证外壳完整的可靠部件。螺栓和螺母须装有防松装置；螺栓和不透螺孔须留有大于1.5倍防松垫厚度的螺纹余量，以备当丢失垫圈时仍能拧紧螺栓；紧固螺栓不允许穿透外壳，螺孔周围及底部厚度须不小于3毫米。所有紧固零件都应该进行防锈处理。

正常运行时产生高电压、火花或电弧的电气设备，须设有联锁装置。当电源接通时，不能打开壳盖；壳盖打开后，不能接通电源。联锁装置，可以采用电气的，也可以采用机械的结构。

对于只用于紧固零件的外壳结构，加紧联锁装置确有困难时，可在适当的位置加装“放电后或切断电源后才可打开壳盖”的警告标志。

电气设备在输出端断电后，如果壳内仍有带电的部件时，应在这些带电部件的上部加设绝缘遮盖，并标注明显的警告标志。

### 第四节 隔爆型电气设备

隔爆型电气设备，是指电气设备外壳内部发生可燃性混合物爆炸时，外壳不被损坏，并且不会引起壳外可燃性混合物的燃烧和爆炸的电气设备。对隔爆型设备外壳的材质、外壳的坚固性和隔爆性分别叙述如下：

#### 一、外壳的材质

煤矿井下的防爆电气设备，由于使用环境狭窄、搬运困难和有受冒落的岩石、煤块或其他设备撞击危险等原因，特别是工作面设备，需要频繁地移动，更需要一个坚固的外壳。按《防爆规程》规定：

1. 煤矿采掘工作面电气设备（包括装在截煤机、采煤机、装煤机、装岩机、运输机等机械上的）的外壳应用钢板或铸钢制成，其他零部件或装配后外力冲击不到的及容积不超过2升的电气设备外壳，可用牌号不低于HT25~47灰铸铁制成（电机除机座须用钢板或铸钢制成外，其他零部件可用牌号不低于HT25~47灰铸铁制成）。

2. 手持式或支架式电钻（及其附带插销），携带式仪器仪表、灯具等外壳，可用抗拉