

“防爆安全技术”讲座

第2讲 爆炸性物质的分类与危险场所的区域划分

徐建平

(上海仪器仪表自控系统检验测试所,上海 200233)

1 爆炸性物质的分类、分级和分组

1.1 爆炸性物质的分类

我国和 IEC 标准规定要求一样,将爆炸性物质分为三类(英文称之为“Group”):

I类:矿井甲烷;

II类:爆炸性气体混合物(含蒸气、薄雾);

III类:爆炸性粉尘和纤维。

北美国家将爆炸性物质分为三类(英文用“Class”表示,可译为“级”):

Class I:爆炸性气体;

Class II:爆炸性粉尘;

Class III:纤维。

我国所指的 I 类爆炸性物质是指矿井甲烷,俗称“瓦斯”气体。造成煤矿爆炸的主要原因是矿井中甲烷气体浓度达到爆炸极限,遇点燃源引起爆炸。由于煤矿井下环境特殊,故把甲烷专门列为 I 类。矿用防爆电器设备主要是能防止甲烷爆炸,其他可燃气体在矿井中含量甚少,在电气防爆性能方面不做专门考虑。所以矿用防爆电气设备在其他危险场所中不适用。

II类爆炸性物质包括爆炸性气体和爆炸性蒸气。所谓爆炸性气体是指可燃气体,即氢、一氧化碳、环氧乙烷等与空气混合,浓度达到爆炸极限时的气体混合物。所谓爆炸性蒸气是指易燃液体(丙酮、汽油等)的蒸气或细小液滴与空气混合,浓度达到爆炸极限的气体混合物或薄雾。

需要指出的是,相互接触能自动发生爆炸的气体、蒸气不在此列。例如氟与氢、氯与乙炔、臭氧与乙醇蒸气等形成的爆炸性气体不属 II 类,因为这些爆炸性气体相遇引起爆炸的原因与前述不同。

III类爆炸性物质包括爆炸性粉尘和爆炸性纤维。它是指能产生爆炸的粉尘、纤维,包括可燃性粉尘或纤维(如棉花纤维)与空气混合,浓度达到爆炸极限的混合物。由于导电粉尘具有更大的危险性,因此爆炸性粉尘按其导电性能,分为导电粉尘(如铝粉等)和非导

电粉尘(如淀粉等)。

炸药类粉尘(或纤维)爆炸时威力很大,电气设备需具备足够强度才不致被破坏。因此,炸药类物质不属于爆炸性粉尘、纤维之列。爆炸性粉尘环境用电气设备不适用于炸药生产场所。

1.2 爆炸性气体的分级

通常爆炸性气体按其最大试验安全间隙(MESG)和最小点燃电流比(MICR)进行分级。

(1) 按最大试验安全间隙(MESG)分级

实验表明,不同的爆炸性混合物其最大试验安全间隙不尽相同,所以爆炸性气体分级的方法之一可以采用 MESG 进行分级。MESG 测定的标准方法是采用 IEC60079-1A 文件规定的试验容器完成的。隔爆型电气设备的设计就是以 MESG 为基础的。经实验测定, I 类甲烷气体的 $MESG = 1.14 \text{ mm}$ 。II类爆炸性气体的分级限值规定如下:

A 级: $0.9 \text{ mm} < MESG < 1.14 \text{ mm}$;

B 级: $0.5 \text{ mm} \leq MESG \leq 0.9 \text{ mm}$;

C 级: $MESG < 0.5 \text{ mm}$ 。

因此,A 级隔爆型电气设备其隔爆间隙必须小于 1.14 mm ,而 C 级必须小于 0.5 mm ,两者是不同的。可见适用于 A 级爆炸性物质的隔爆型电气设备不适用于 B 级或 C 级爆炸性物质的场所。如果设备选型不当,就可能失去防爆作用。

(2) 按最小点燃电流比(MICR)分级

试验表明,在规定的标准试验条件下,不同物质产生点燃所需的电流大小各不相同。不同爆炸性物质(气体、蒸气)的最小点燃电流可应用 IEC79-3 规定的本质安全电路的火花试验装置测定。所谓最小点燃电流比是指用甲烷的最小点燃电流(MIC)为参考,以气体的最小点燃电流除以甲烷的最小点燃电流,即:

$$MICR_{\text{某物质}} = \frac{MIC_{\text{某物质}}}{MIC_{\text{甲烷}}}$$

实验结果显示,所有爆炸性气体、蒸气的最小点燃

电流都比甲烷小,所以 $MICR < 1.0$ 。本质安全型电气设备的设计就是以 $MICR$ 为基础的。

根据 $MICR$ 定义可知,甲烷的最小点燃电流比为 1.0,其他 II 类气体的分级限值规定如下:

A 级: $0.8 < MICR < 1.0$;

B 级: $0.45 \leq MICR \leq 0.8$;

C 级: $MICR < 0.45$ 。

分析表明,爆炸性气体、蒸气的最大试验安全间隙(MESG)越小,最小点燃电流也越小。若按最小点燃电流分档归纳分级,与按最大安全间隙分级,两者结果十分相似。

据此,中国和绝大多数 IEC 成员国一样,将煤矿甲烷以外的全部爆炸性蒸气、气体分成 A、B、C 三级。其中,A 级的代表气体为丙烷,B 级的代表气体为乙烯,C 级的代表气体为氢气。北美国家将爆炸性气体表述为 Class I,并细分为 A、B、C 和 D 四级(英文称之为“Group”,也可译为“组”)。其中,Group A 的代表气体是乙炔;Group B 的代表气体是氢气;Group C 的代表气体是乙烯;Group D 的代表气体是丙烷和甲烷。表 1 给出了中国与北美气体分级对应关系。从表 1 中可以看出,甲烷需要的点燃能量最大,II C 级气体则最易被点燃。

万方数据 表 1 不同气体分级体系对比

典型气体	中国、IEC 标准	北美标准	点燃特性
甲烷	I	D	难 ↓ 易
丙烷	II A		
乙烯	II B	C	
氢气	II C	B	
乙炔		A	

1.3 爆炸性气体的分组

和 IEC 标准的规定一样,我国将爆炸性气体按其引燃温度分为 T1 ~ T6 六个组别。北美对温度组别的划分与 IEC 基本一致,他们只是将部分温度组别划分得更细而已,共计分成 14 个温度组别。表 2 给出了两种分组体系的对应关系。

表 2 温度组别与引燃温度的关系

中国、IEC 标准	北美标准	引燃温度/℃	点燃特性
T1	T1	> 450	难 ↓ 易
T2	T2	$300 < t \leq 450$	
-	T2A	$280 < t \leq 300$	
-	T2B	$260 < t \leq 280$	
-	T2C	$230 < t \leq 260$	
-	T2D	$215 < t \leq 230$	
T3	T3	$200 < t \leq 215$	
-	T3A	$180 < t \leq 200$	
-	T3B	$165 < t \leq 180$	
-	T3C	$160 < t \leq 165$	
T4	T4	$135 < t \leq 160$	
-	T4A	$120 < t \leq 135$	
T5	T5	$100 < t \leq 120$	
T6	T6	$85 < t \leq 100$	

从表 2 可以看出,不同爆炸性气体的引燃温度不同。温度组别 T1 的气体引燃温度最高,而温度组别为 T6 的气体则最易被点燃。在实践中,为了防止因电气设备发热导致爆炸性环境引爆,我们应严格控制电气设备的最高表面温度,并确保设备的最高表面温度不超过设备可能接触到的气体的引燃温度。因此,就电气设备的最高表面温度而言,凡满足 T6 温度组别气体环境用的电气设备,也必能满足 T1 ~ T5 组别的气体环境应用的要求。

1.4 可燃性粉尘分类和分组

如前所述,可燃性粉尘(爆炸性粉尘)按其导电特性,可分为导电粉尘和非导电粉尘两种类型。凡电阻系数小于或等于 $1 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 的粉尘、纤维或飞扬(絮)物可认定为导电粉尘,否则可认定为非导电粉尘。

最新 IEC60079-0 国际标准将爆炸性粉尘和纤维定义为 III 类爆炸性物质,并将所有爆炸性粉尘和纤维细分为 III A、III B 和 III C 三个级。其中,III A 为爆炸性纤维,III B 为非导电粉尘,III C 为导电性粉尘。很显然,III C 物质最危险,而 III B 次之。

关于可燃性粉尘的分组,依据现行国家标准的规定,可燃性粉尘按其最低点燃温度进行分组,分成 T1 ~ T6 六个温度组别。具体分组方法同爆炸性气体引燃温度分组。

可燃性粉尘的点燃温度分为粉尘与空气混合物最低点燃温度(即粉尘云最低点燃温度, T_{cl})和粉尘层最低点燃温度。

粉尘层最低点燃温度通常又分为粉尘层厚度为 5 mm 的最低点燃温度(T_{5mm})和粉尘层厚度为 12.5 mm 的最低点燃温度($T_{12.5mm}$)。这些点燃温度数据通常可通过查阅相关手册或通过试验获得。

2 危险场所的区域划分

2.1 目的意义

在生产、处理、使用、储存、运输易燃易爆危险物品的场所,通常有产生爆炸事故的危险。

在具体的实践中,由于爆炸性物质的物理性质、出现的方式、涉及的范围、存在的概率和持续的时间各不相同,发生爆炸的可能性及危害程度也都不一样。因此,可根据爆炸性物质出现的频繁程度和持续时间正确划定爆炸危险场所区域将有助于防爆电气设备的选型,并采取其他必要的安全技术措施(例如,安装换气排风扇、安装可燃性气体检测报警装置、使用无火花工具、控制其他危险点燃源、实施安全管理措施等),实现最经济的生产安全。

2.2 区域划分的判断因素

(1) 存在危险介质的可能性

要了解危险介质存在的可能性,必须首先分析可能的释放源的状态,以查清在正常情况下释放源可能出现的具体部位以及可能发生的释放量、释放速度、释放方向、释放时间、释放规律和频度。其次研究其所在空间可能分布的范围,即根据释放源所在的区域的环境条件和安全技术措施,综合研究危险介质可能出现的频率、出现时间和存在时间的长短及其范围。

根据国家有关规范规定,释放出爆炸危险物质的可能性大小分为以下四个级别。

① 连续级释放源

连续级释放源是指连续释放或预计长期释放或短时频繁释放的释放源。例如:没有充惰性气体的固定顶盖储罐中的易燃液体的表面;直接与空间接触的易燃液体的表面(可适用于油、水分离器);经常或长期向空间释放易燃气体或蒸气的自由排气孔和其他开口等。

② 第一级释放源

第一级释放源是指正常运行时周期或偶尔释放的释放源。例如:设备在正常运行时,会释放易燃物质的泵、压缩机和阀门等的密封处;安装在储有易燃液体的容器上,在正常运行排水时向空间释放易燃物质的工艺设备的排水系统;在正常运行时会向空间释放易燃物质的取样点等。

③ 第二级释放源

第二级释放源是指在正常运行下不会释放,即使释放也仅是偶尔且是短时释放的释放源。例如:在正常运行时,不可能出现释放的泵、压缩机和阀门的密封处;法兰、连接体和管道接头;在正常运行中不可能向空间释放易燃物质的安全阀、排气孔和其他开口处;在正常运行中不可能向空间释放易燃物质的取样点等。

④ 多级别释放源

由上述两种或三种级别组成的释放源,并且:基本上划分为连续级或第一级;在不同的条件下所产生的释放,这些条件造成的区域,比基本级别所确定的区域大,但频繁程度少且持续时间短。(不同条件是指例如在同样的通风条件下易燃物质的释放量不同)。

由此可见,连续级释放源可能导致0区,第一级释放源可能导致1区,第二级释放源可能导致2区。

(2) 爆炸性物质的物理特性

爆炸性物质的物理特性包括爆炸极限值(爆炸上限和爆炸下限)、引燃温度、闪点、粒度和比重等物理特性。爆炸下限值是划分区域的重要条件之一,在正常情况下混合物的浓度有可能达到爆炸下限时,划分

为1区。对于存在时间较长以及频繁出现者,则可划分为0区。对于爆炸上限以上的混合物,由于遇到与空气混合时,仍具有爆炸危险,因此这种场所也划为0区。仅在不正常情况下偶尔有可能达到爆炸下限浓度者划为2区。很显然,爆炸下限值越低,达到爆炸下限的可能性就越大,同时爆炸危险区域的范围也越大。

对于同一场所可能存在两种以上爆炸性物质时,须研究其混合物是否具有爆炸危险性的叠加效应。所谓叠加效应是指两种以上爆炸性物质混合后,能形成爆炸危险性更高的混合物。这种混合物的爆炸下限值比它们各自的爆炸混合物的下限值均低。表3给出了甲烷与空气和煤尘与空气的混合物的爆炸下限实验值。

表3 甲烷和煤尘与空气的混合物爆炸下限值

爆炸性物质	两种爆炸性物质混合时的爆炸下限					
	0.00	10.3	17.4	27.9	37.5	47.8
悬浮煤尘/g·m ⁻³	0.00	10.3	17.4	27.9	37.5	47.8
甲烷/%体积	4.85	3.7	3.0	1.7	0.6	0.0

叠加效应会直接导致爆炸性混合物的爆炸极限范围的扩大,使爆炸下限值降低,爆炸上限值提高,从而增加了物质的危险性。因此,对于存在叠加效应的场所必须考虑可能的最低爆炸下限值。

闪点、粒度和比重等也可直接影响场所的划分。对于爆炸性液体,闪点越低,爆炸危险区域的范围就越大,当闪点高于易燃液体的最高温度,一般就不会形成爆炸性气体混合物。对于爆炸性粉尘环境,若爆炸性粉尘与空气相混合,并呈悬浮状,其浓度在爆炸极限以内时可产生粉尘爆炸。粉尘的粒度越细(即分散度越大),悬浮在空气中的可能性越大,其爆炸危险性也越大。另外,物质的引燃温度是确定设备温度组别的重要依据,此时必须同时考虑工艺温度以及环境温度对设备选型的影响。

这里还需特别指出的是:爆炸性物质的比重千差万别,对爆炸性环境的形成具有重大影响。比空气轻的物质具有扩散性;比空气重的物质具有沉积性。比重越重(比重大于1)爆炸危险区域的水平方向扩散范围也就越大。比重在0.7以上的气体或蒸气不易迅速上升逸散,故可视为比空气重的物质。

(3) 通风条件

确定爆炸危险场所区域范围时,通风的好坏对爆炸危险物质的扩散和排出是个重要因素。对于通风良好的爆炸危险场所,原则上可降低一级,并可大大缩小其影响范围。对于存在爆炸性粉尘(纤维)的场所应注意排出的危险性,粉尘(纤维)应排放到不危害其它场所的

安全区域或收集在袋内等容器中,否则应考虑到是否有重新卷扬起来的危险。可视为通风良好的场所有:①露天或开敞式建筑物;②半开敞式建筑物能充分进行自然通风的场所(自然通风的空气流量容易使爆炸危险物质很快稀释到爆炸下限1/4以下);③屋顶设有天窗的厂房内,爆炸性物质的比重在0.7以下者;④厂房内具有机械通风条件者,整个厂房内能充分通风换气时(对具有易燃液体的建筑物,机械通风不应低于6次/h的换气次数,并设有独立备用的通风系统)。

局部机械通风在稀释爆炸性气体混合物方面比自然通风和一般机械通风更有效,因而可使爆炸危险区域范围缩小,在设计中应当作为一项有效防爆安全措施予以应用。当释放源处于无通风的环境时,则可能提高爆炸危险区域的等级,连续级或第一级释放源可能导致0区,第二级释放源可能导致1区。

在机械通风方面还应考虑故障的影响。这是因为爆炸危险区域的划分是按通风设备在正常运行情况下确定的。只有当具有独立的备用通风系统,或在通风设备发生故障时有阻止易燃物质释放的预防措施(如自动停止工艺过程等),或在通风设备发生故障时有使电气设备断电的预防措施时,可不必考虑机械通风故障的影响。

由于通风管道系统容易产生静电,因此通风管道系统宜采取接地等技术措施,以避免静电危害的形成。

(4) 设备、装置的结构和配置情况

容器结构强度若能具备爆炸性物质所要求安全性能,并且也无打开的条件,可不视为释放源;不装阀门、接头、仪表等的管道设备,可视为不存在释放源;在2区内,如有洼坑、沟槽等易积聚爆炸性物质的部位,应视为1区;装有自动控制的检测仪器,当场所内任意地点的混合物浓度接近爆炸下限的25%时,能可靠地发出报警并同时联动有效通风设施的场所,可降低一级;由于装置和设备的陈旧或强度降低,视其有无摩擦、碰撞、振动、腐蚀性物质以及内外力等情况来分析,有可能成为破坏条件者,即认为有被破坏的可能;在操作系统上不具备防止误操作的控制功能的设施,应视为有误操作的可能。

(5) 远离释放源的距离

除上述影响危险场所区域划分的因素外,危险区域的划分还与远离释放源的几何距离有关。所以,爆炸危险场所的区域划分界限,一般以远离释放源的距离为基准。除上述主要因素外,有时大气压、温度、湿度等环境条件也将影响爆炸危险区域的划分,还要适当关注爆炸后果的严重性。如果爆炸后可能会导致大量人员伤亡时,则危险区域的划分宜提高一级。

2.3 危险场所的区域划分

爆炸危险场所按爆炸性物质的物态,可分为爆炸性气体危险场所和可燃性粉尘危险场所两种场所。

(1) 爆炸性气体危险场所

与IEC标准规定一样,我国GB 3836.14-2000《爆炸性气体环境用电气设备第14部分:危险场所分类》、GB 50058-1992《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》和《中华人民共和国爆炸危险场所电气安全规程》均根据爆炸性气体环境出现的频率和持续时间,把爆炸性气体危险场所分为0区、1区和2区三个区域(zone)。图1给出的是典型的带有呼吸阀的露天油罐的爆炸危险区域划分示例。

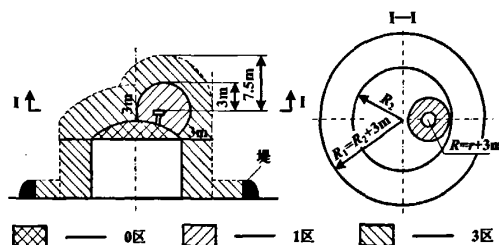


图1 典型的带有呼吸阀的露天油罐的危险区域划分

① 0区是指爆炸性气体环境连续出现或长时间存在的场所,即在正常情况下,爆炸性气体混合物,连续地、短时间频繁地出现或长时间存在的场所。一般情况下,除了封闭的空间,如密闭的容器、储油罐等内部气体空间外,很少存在0区场所。这里,虽然高于爆炸上限的混合物不能作为爆炸性混合物,但是对于有可能进入空气而使其达到爆炸极限范围以内的情况仍应划为0区。如固定顶盖的易燃液体储罐,当液面以上空间未充惰性气体时,应划为0区。

② 1区是指在正常运行时,可能出现爆炸性气体环境的场所。

③ 2区是指在正常运行时,不可能出现爆炸性气体环境,如果出现也是偶尔发生且仅是短时间存在的场所。正常运行指设备的正常启动、停止、正常运行和维修,且所有设备都在其设计参数范围内工作;不正常情况是指有可能发生的设备故障或误操作。

(2) 可燃性粉尘危险场所

根据现行国家标准GB 12476.3-2007《可燃性粉尘环境用电气设备 第3部分 存在或可能存在可燃性粉尘的场所分类》规定,按照可燃性粉尘/空气混合物出现的频率和持续时间及粉尘层厚度,可燃性粉尘危险场所可分为20区、21区和22区三个区域。

① 20区是指在正常运行过程中可燃性粉尘连续出现或经常出现,其数量足以形成可燃性粉尘与空气

混合物和/或可能形成无法控制和极厚的粉尘层的场所及容器内部。

② 21区是指在正常运行过程中,可能出现粉尘数量足以形成可燃性粉尘与空气混合物但未划入20区的场所。该区域包括,与充入或排放粉尘点直接相邻的场所,出现粉尘层和正常操作情况下可能产生可燃浓度的可燃性粉尘与空气混合物的场所。

③ 22区是指在异常条件下,可燃性粉尘云偶尔出现并且只是短时间存在、或可燃性粉尘偶尔出现堆积或可能存在粉尘层并且产生可燃性粉尘空气混合物的场所。如果不能保证排除可燃性粉尘堆积或粉尘层时,则应划分为21区。

(3) 非爆炸危险场所的判断

非爆炸危险场所是指正常情况下或非正常情况下,均不能产生爆炸性混合物的场所。根据有关标准,符合下列条件之一时,可划为非爆炸危险区域:①没有释放源并不可能有易燃物质侵入的区域;②易燃物质可能出现的最大体积浓度不超过爆炸下限值的10%;③在生产过程中使用明火的设备或炽热部件,其表面温度超过该区域易燃物质引燃温度的设备附近;④在生产装置区外,露天或开敞安装的输送爆炸危险物质的架空管道地带(但其阀门处须按具体情况另行考虑)。

判定非危险场所时,还须注意研究有无可能出现其他微量爆炸性粉尘所产生的爆炸危险性的叠加效应,必须考虑到有可能产生的各种因素,并经充分分析后慎重研究其存在的可能性。

(4) 北美爆炸性危险场所的划分

北美国家将爆炸性危险场所划分为两个区域(di-

vision),即 Division1 和 Division2。它们的定义如下:

① Division1(1区)。在正常工作条件下,可能存在于爆炸性或可燃性混合物的场所(包括气体、粉尘和纤维场所)。


② Division2(2区)。仅仅在故障条件下或其他异常情况下,偶尔地或短时间地存在爆炸性或可燃性混合物的场所(包括气体、粉尘和纤维场所)。

从定义看出,北美的区域(division)划分方法与我国的区域(zone)划分方法存在着很大的差异。它们之间的近似对应关系如表4所示。

表4 两种区域划分体系近似对应关系

中国、IEC 标准	北美标准	危险程度
0区(Zone 0)	Division1(1区)	高
1区(Zone 1)		↑
2区(Zone 2)	Division2(2区)	低

根据资料,典型的爆炸性危险场所被划分为0区(Zone 0)、1区(Zone 1)和2区(Zone 2)的百分比分别为2%、28%和70%;而被划分为 Division1(1区)和 Division2(2区)的百分比分别为5%和95%。从这些数据可以看出,被划分为2区的范围较大。此外,由于上述区域划分方法系定性划分方法,具有一定的模糊性。国外也曾有过采取定量概念划分区域的报道,即将一年中存在爆炸性混合物且其浓度介于爆炸极限范围内的时间少于10h的划分为2区,介于10~1000h的为1区,大于1000h的为0区。尽管这一划分概念尚未成为国际认可的标准,但它确实可使人们对区域的概念有一个更加直观的认识。

 防爆安全技术基本术语

• 试验用爆炸性混合物 explosive test mixture

用于防爆电气设备试验的特定爆炸性混合物。

• 工作温度 service temperature

设备在额定运行时所达到的温度。

• 最高工作温度 maximum service temperature

工作温度的最高值。注解:每个设备的不同部件最高工作温度可能不同。

• 最高表面温度 maximum surface temperature

电气设备在允许的最不利条件下运行时,其表面或任一部分可能达到并可能引燃周围爆炸性气体环境的最高温度。

• 爆炸性气体环境的引燃温度 ignition temperature of an explosive gas atmosphere

按照 IEC 60079-4 规定的方法进行试验时,能够引燃爆炸性气体与空气混合物的热表面最低温度。

• 温度组别(爆炸性环境用电气设备的)

temperature class (of an electrical apparatus for explosive atmospheres)

爆炸性环境用电气设备按其最高表面温度划分的组别。