

# 油库电气安全

## 防爆技术

王 祥 朱焕勤 石永春 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 油库电气安全 防爆技术

---

王 祥 朱焕勤 石永春 编著



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 前 言

油库电气系统由供电（变、配电所及发电机组）、输电（输电线路及附件）、用电设备、雷电、静电以及杂散电流等六个子系统组成。电气系统安全涉及防火、防爆、防触电三大方面，特别是对于储存输转具有易燃、易爆、易挥发、易流失特性的各种油品的油库而言，防火、防爆更是列于各项工作的首位。

近年来，我国石油、化工行业发展十分迅速，随着科学技术的飞速发展，新工艺、新设备、新方法不断涌现，出现了越来越多的防爆电气设备，并且防爆电气设备的更新换代步伐也逐渐加快。特别是近几年来，随着油库进入数字化、信息化管理，大量的现场测量电气仪表和装置等新型防爆电气设备进入油库。许多相关行业也纷纷颁布、制定或修订了各种标准、规范及规章制度。由于石油库对防火防爆的高标准与严要求，合理、安全地运用、使用与维护防爆电气设备是保证人身与财产安全以及石油库正常运行的关键因素。

本书作者于2002~2004年间参加了多个油库防爆电气设备的普查整修工作，积累了丰富的实际工作经验，为编写好本书打下了坚实的基础。

本书在广泛收集材料的基础上，立足油库现状，并依据新标准、新规定对内容进行阐述。同时，书中还纳入了一些相关成熟的新技术和新方法。本书在内容选择和阐述上立足当前，兼顾发展，特别注意内容的新颖性、实用性，将基础理论与工程实践相结合。

本书由王祥、朱焕勤、石永春编著，王朝晖、于佰俭也参加了该书的编写工作，全书由王祥统稿。由于编者水平所限，书中错误和不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评斧正。

编 者

# 目 录

前言

## 第一章 油库电气安全防爆的概念 1

第一节	油库爆炸危险环境的区域划分 .....	1
第二节	爆炸性混合物的分类、分级和分组 .....	6
第三节	防爆电气设备原理 .....	8
第四节	防爆电气设备的类型、标志及外壳防护等级 .....	14
思考题	.....	20

## 第二章 本质安全型电气设备 21

第一节	概述 .....	21
第二节	安全火花定义及安全系数 .....	23
第三节	安全火花系统 .....	24
第四节	电路中的能量 .....	25
第五节	安全火花试验装置与试验方法 .....	27
第六节	安全火花电路设计参考曲线 .....	29
第七节	最小点燃能量的试验方法 .....	30
第八节	电路的安全性能分析 .....	32
第九节	保护性元件 .....	33
第十节	本质安全型电气设备的防爆结构 .....	36
第十一节	本质安全防爆系统 .....	42
思考题	.....	47

## 第三章 常用防爆电气设备类型 48

第一节	隔爆型防爆电气设备 .....	48
第二节	增安型防爆电气设备 .....	57
第三节	正压型防爆电气设备 .....	63

第四节	充油型防爆电气设备 .....	65
第五节	充砂型防爆电气设备 .....	66
第六节	无火花型防爆电气设备 .....	68
第七节	气密型防爆电气设备 .....	69
第八节	浇封型防爆电气设备 .....	69
第九节	特殊型防爆电气设备 .....	70
第十节	复合型防爆电气设备 .....	70
思考题	.....	71

## **第四章 油库常用防爆电气设备产品介绍** 72

第一节	防爆电动机 .....	72
第二节	防爆断路器 .....	74
第三节	防爆电磁起动器 .....	76
第四节	防爆主令电器 .....	79
第五节	防爆插销 .....	82
第六节	防爆接线盒 .....	83
第七节	防爆箱 .....	84
第八节	防爆灯具 .....	85
第九节	防爆附件 .....	91
第十节	防爆仪表 .....	94
第十一节	防爆通信设备 .....	98
第十二节	其他防爆设备 .....	99
思考题	.....	101

## **第五章 防爆电气设备的选用、安装维修与管理** 103

第一节	防爆电气设备现状及发展趋势和选用 .....	103
第二节	防爆电气设备的安装 .....	108
第三节	防爆电气设备的检查、维护和修理 .....	115
第四节	防爆电气设备的报废、资料管理和防爆工具的使用 .....	126
第五节	油库防爆电器设备常见故障分析及解决办法 .....	129
第六节	油库区域使用普通手机的危害及防爆 .....	132
思考题	.....	134

## **第六章 油库配电设施和线路** 135

第一节	石油库变、配电所的布置与设计 .....	135
-----	----------------------	-----

第二节	输配电线路 .....	140
第三节	爆炸危险环境电气线路通用要求 .....	153
第四节	爆炸危险场所电缆的敷设 .....	161
第五节	爆炸危险场所钢管配线 .....	172
第六节	爆炸危险场所本质安全电路的配线 .....	175
第七节	爆炸危险环境防爆电气设备的施工设计 .....	177
思考题	.....	180

---

## 第七章 油库电气接地 181

第一节	保护接地与保护接零 .....	181
第二节	接地装置 .....	187
第三节	接地电阻的测量 .....	194
第四节	爆炸危险环境电气设备的接地和接零 .....	198
第五节	防静电接地 .....	201
第六节	油库电气接地应注意把握的几个环节 .....	202
思考题	.....	204

---

## 第八章 油库防雷电 206

第一节	雷电的概念 .....	206
第二节	石油库的环境特点及雷电事故 .....	208
第三节	防雷装置 .....	209
第四节	防雷措施 .....	215
第五节	储油区及作业区的防雷措施 .....	216
第六节	石油库的雷电及电涌防护 .....	219
思考题	.....	222

---

## 附录 223

附录一	防爆电气定点生产企业名录 (部分) .....	223
附录二	防爆质检中心通讯录及防爆合格证编号方法 .....	224
附录三	生产的火灾危险性分类 .....	225

参考文献	.....	226
------	-------	-----

## 油库电气安全防爆的概念

### 第一节 油库爆炸危险环境的区域划分

#### 一、爆炸危险区域

爆炸性混合物出现的或预期可能出现的数量达到足以要求对电气设备的结构、安装和使用采取预防措施的区域，称为爆炸危险区域。

爆炸危险区域的范围取决于下列各参数：

(1) 易燃物质的泄出量。随着泄出量的增大，其范围可能增大。

(2) 释放速度。当释放量恒定不变，释放速度增高到引起湍流速度时，将使释放的易燃物质在空气中的浓度进一步稀释，其范围缩小。

(3) 释放的爆炸性气体混合物的浓度。随着释放源处易燃物质浓度的增加，爆炸危险区域范围可能扩大。

(4) 易燃液体的沸点（液体混合物的初沸点）。易燃液体释放的蒸气的浓度与对应的最高液体温度下的蒸气压力有关。

(5) 爆炸下限。爆炸下限越低，爆炸危险区域的范围就越大。

(6) 闪点。如果闪点高于易燃液体的最高温度就不会形成爆炸性气体混合物。闪点越低，爆炸危险区域的范围就越大。某些液体（如卤代碳氢化合物）虽然能形成爆炸性气体混合物，却没有闪点，此时，以对应于爆炸下限的饱和浓度时的平衡液体的温度代替闪点，与相应的液体最高温度进行比较。

(7) 相对密度。相对密度大，爆炸危险区域的水平范围也将增大。规程中一般将相对密度在 0.75 以上的气体或蒸气视为比空气重的物质。

(8) 通风量。通风量增加，爆炸危险区域的范围将会缩小。

(9) 障碍。障碍物能阻碍通风，因此有可能扩大爆炸危险区域的范围，也可能限制爆炸性。

#### 二、爆炸性气体环境的分区

爆炸危险环境按爆炸性物质的物态分为：气体爆炸危险环境和粉尘爆炸危险环境两类。

爆炸性气体环境分为 3 个危险区域：

(1) 0 级区。连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境。

(2) 1 级区。正常运行时，可能出现爆炸性气体混合物的环境。

(3) 2 级区。正常运行时，不可能出现爆炸性气体混合物的环境，如果出现也是偶尔发生并且仅是短时间存在的场所。

上述正常运行是指正常的开车、运转、停车，易燃物质产品的装卸，密闭容器盖的开

闭, 安全阀、排放阀以及所有工厂设备都在其设计参数范围内工作的状态。

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高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附近, 或炽热部件的表面温度超过区域内易燃物质引燃温度的设备附近;

(4) 在生产装置区外, 露天或开敞设置的输送易燃物质的架空管道地带, 但其阀门处按具体情况定。

### 三、爆炸性气体环境危险区域的等级划分

爆炸危险区域的范围应根据释放源的级别和位置、易燃物质的性质、通风条件、障碍物及生产条件、运行经验、技术经济比较综合确定。在生产、使用、储存易燃易爆危险物品的场所, 由于有危险物质存在, 通常有产生爆炸事故的危险。为了预防这类事故的发生, 应该采取一系列既经济又安全的措施, 其中, 基础的一步就是要对爆炸危险场所进行区域等级划分。

(一) 爆炸危险场所内区域等级划分的判断原则

#### 1. 爆炸性物质的物理特性

首先查清爆炸性物质的爆炸上、下限的极限值, 引燃温度, 闪点, 粒度和密度等物理特性。爆炸下限值是划分等级的重要条件之一: 在正常情况下, 混合物的浓度有可能达到爆炸下限值时, 划分为 1 区; 对于存在时间较长以及频繁出现者, 则可划为 0 区; 对于爆炸上限以上的混合物, 由于遇到与空气混合时, 仍具有爆炸性质, 因此, 这种场合也划为 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。同一场所存在两种以上爆炸性物质时, 需研究其混合物是否具有爆炸危险性的叠加效应。叠加效应直接影响爆炸性混合物的爆炸极限范围, 使爆炸下限值降低, 爆炸上限值提高, 从而增加了危险性, 这种场合必须按最低的爆炸下限值确定。闪点、粒度、密度等都直接影响场所的划分; 引燃温度是确定场所引燃温度组别的依据。同时也必须考虑工艺流程中可能产生的最高温度进行综合划分。

#### 2. 释放源的状态

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, 并研究其所在空间可能分布的范围, 根据释放源所在区域的环境条件和安全技术措施, 综合研究爆炸性混合物可能出现的频度、出现时间和存在时间的长短及其范围。

#### 3. 密度对爆炸性物质的影响

爆炸性物质的密度不同, 其爆炸性混合物的出现和存在具有很大差异, 比空气轻的物质具有扩散性, 比空气重的物质具有沉积性。

#### 4. 通风的状态

确定爆炸危险场所的等级和范围时, 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, 等级划分时, 原则上可降低一级, 并可大大缩小其影响范围。露天或开敞式建筑物可视为具有通风良好的场所。半开敞式建筑物能充分进行自然通风的场所, 可视为具有通风良好的场所。设有天窗的房屋内, 爆炸性物质的相对密度在 0.7 以下者, 可视为通风良好场所。场所内具有机械通风条件, 整个场所内能充分通风换气时, 可视为通风良好的场所。



### 5. 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的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,可不视为释放源。在2区内,如有洼坑、沟槽等易存积爆炸性物质的部位,应视为1区。装有自动控制的检测仪表,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的场所,区域等级可降低一级。

### 6. 装置和设备遭受破坏的难易,误操作的可能性

由于装置和设备陈旧或强度降低,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,有可能具有破坏条件者,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机构者,应视为有误操作的可能性。

## (二) 油库爆炸危险场所内区域等级划分的判断方法

(1) 首先研究现场有无释放源,有释放源时可按(2)所述方法进行判断,无释放源时即为非危险场所。

(2) 研究爆炸性混合物有无连续地出现,或短时间频繁地出现,或长时间保持在爆炸下限以上的可能性,有可能的定为0区。例如:易燃液体的容器或槽罐的液面上部空间等,通常是爆炸性混合物连续地超过爆炸下限的区域;可燃气体的容器、槽、罐等内部空间长时间保持爆炸性混合物的部位;敞开容器内的易燃液体表面附近连续产生爆炸性混合物的区域;喷漆作业的室内,爆炸性混合物断续地出现的区域。没有可能的按(3)所述方法进行判断。

(3) 研究在正常情况下,有无积聚形成爆炸性混合物的可能性,有可能的定为1区。例如:向油桶、油罐灌注易燃液体的开口部位附近;爆炸性气体排放口附近,如泄压阀、排气阀、呼吸阀、阻火阀的附近;浮顶贮罐的浮顶上部;无良好通风的室内,有可能释放、积聚形成爆炸性混合物的区域;可能泄漏的场所内,易积聚形成爆炸性混合物的洼坑、沟槽等处。没有可能的按(4)所述方法进行判断。

(4) 研究在不正常情况下,有无产生爆炸性混合物的可能性,有可能的定为2区。例如:在正常情况下,不能形成爆炸性混合物的场所,有可能因设备容器的腐蚀、陈旧等因素,漏出危险物料的区域;因误操作或因异常反应形成高温、高压,有可能漏出危险物料的区域;因通风设备发生故障,有可能积聚形成爆炸性混合物的区域。没有可能的,则划为非危险场所。

(5) 非危险场所的判断。非危险场所是指在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。但这种非危险场所,并不一定是绝对安全的,必须考虑到有时发生危险几率极低的可能性。判定非危险场所时,还必须注意研究有无可能出现他种微量爆炸性气体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,充分分析,慎重研究。

石油库内各场所危险等级的划分见表1-1。

表 1-1

石油库内各场所危险等级划分

序号	建、构筑物及场所	危险等级	备注
1	轻油洞库主坑道、上引道、操作间、支坑道、洞内风机室	1	
2	洞内汽油罐间	0	一般不安装固定照明设备
3	汽油泵房(地下、半地下、地面)	1	不包括敞开式地面泵棚

续表

序号	建、构筑物及场所	危险等级	备注
4	汽油灌油亭、棚、间	1	仅指敞开式亭、间、棚，不包括电子定量控制室
5	铁路装卸油区	1	槽车口以外最短路径 15m，垂直 7.5m 以内的空间
6	地面、半地下油罐及放空罐的呼吸阀、测量口周围 5m（垂直和水平）范围内、覆土罐通道	1	
7	轻油桶装库房	2	包括能向露开的门窗外 3m（垂直和水平）以内的空间
8	汽油泵组（棚）	2	仅指敞开式
9	码头装卸油区	2	
10	阀组间、检查井、管沟	2	
11	汽油灌桶间（室内）	0	
12	洞内柴油、煤油罐间	1	一般不安装固定照明设备
13	乙炔发生器间	1	
14	柴油泵房、煤油泵房	2	
15	柴油、煤油灌桶间（室内、室外）	2	
16	隧道铁路装卸油区	1	整条隧道区
17	废油回收间、喷油间、喷漆间	2	

#### 四、可燃气体检测器

油品蒸气和空气混合后，就会形成爆炸性混合气体，当油品蒸气在空气中达到一定的体积浓度范围后，一旦遇到明火，就会发生爆炸。为了保证油库场所的安全，需要对油库场所内的可燃气体浓度进行检测。

可燃气体检测器主要用来检测可燃气体浓度，当可燃气体浓度达到危险值时，就会及时发出警报。

常用的可燃气体检测器有 XP-311A 型可燃气体检测器和 GASMAN FL 可燃气体检测仪，下面着重介绍这两种仪器的使用方法和检查维护。

##### （一）XP-311A 型可燃性气体检测器

###### 1. 使用条件

本检测器为本质安全型（第二章介绍）防爆结构，适用于检测液化石油气等可燃性气体以及可燃性溶剂的蒸发气体（对甲烷气检测另有规定）浓度。

（1）检测范围：0%~10%LEL（爆炸浓度极限的下限）；

0%~100%LEL；

（2）警报设定浓度：20%LEL；

（3）指示精度：满量程的±5%；

（4）使用环境温度：-20~+50℃；

（5）电源：5号干电池4节。

###### 2. 操作使用方法

检测器各部分名称如图 1-1 所示。

(1) 安装电池。必须在无可燃性气体泄漏的安全场所，按“+”、“-”极性正确装入4节5号电池。

(2) 检验电池电压。将转换开关由 OFF (关) 转至 BATT (电池) 挡位，检查电池电压，判断能否使用，检查中仪表的指示见图 1-2。

(3) 零调节。先装转换开关由 BATT 转到 L (低) 挡位置，待指针稳定，确认“0”。如指针不在“0”时，将调节旋钮缓缓转动，调到“0”为止。

(4) 测量。

1) 检测。先将转换开关转至 H (高) 挡，将吸引管靠近所要检测的地点测量，若指针在 10%LEL 以下时，则将转换开关转至 L (低) 挡，以便读到更精确的数值。

2) 读数。当表盘指针稳定下来以后，所指示的刻度值便是可燃性气体的浓度。当达到危险浓度 (20%LEL) 时，则会有声、光报警。

读数注意事项如下：

a. 表盘刻度为三层计数形式，从上到下分别表示 LEL、LPG (燃气油)、汽油的刻度，上层和中层均设有 L、H 两挡。

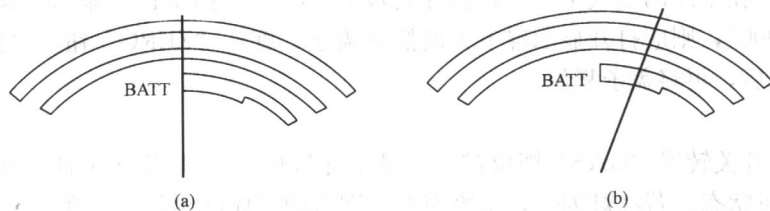


图 1-2 电池电压指示  
(a) 不能使用；(b) 能使用

b. LPG 及汽油的指示，以气体体积浓度直接读出，但因汽油的组成成分不定，故为参考标准。

c. 关机。检测完毕，必须吸入干净空气，使指针回到“0”位置后，方可关机。

d. 测量中，若只有声音而警灯不亮，则表示电池电量不足，必须按前述要求更换新电池。

3. 检查维护与故障处理

(1) 必须避免强烈的机械性冲击。

(2) 不可在高温、多湿、多尘的地方存放。

(3) 切勿随便拆卸，以免人为损坏。

(4) 长时间不使用，应将电池取出。

(5) 保养时须用柔软布料，不可用有机溶剂及湿布擦拭。

(6) 装入新电池后，将转换开关转至 BATT，发现指针无摆动或摆动不到标记范围现

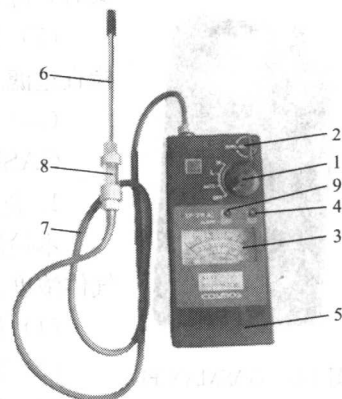


图 1-1 XP-311A 型可燃  
气体检测器

1—转换开关；2—零调节按钮；3—表盘；4—表盘照明按钮；5—电池室；6—吸引管；7—气体导入胶管；8—过  
滤/除潮器；9—报警灯

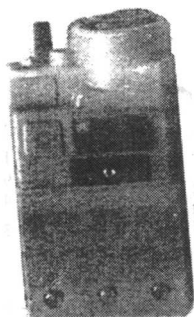


图 1-3 GASMAN FL  
型检测仪外形

象时，应检查电池接触或极性情况，并重新正确装入。

(7) 长期使用后，或出现检测器反应速度慢、灵敏度低的现象，应检查过滤/除潮器中的过滤纸脏、堵情况，并视情况更换。

## (二) GASMAN FL 型可燃气体检测仪

GASMAN FL 型检测仪外形如图 1-3 所示。

### 1. 使用条件

本检测仪器为本质安全型防爆结构，适用于检测危险场所的可燃性气体浓度。

(1) 检测范围：0%~100%LEL；

(2) 警报设定浓度：20%LEL；

(3) 使用环境温度：135℃以下；

(4) 电源：5 号干电池 4 节。

### 2. 操作使用方法

(1) 安装电池。必须在无可燃性气体泄漏的地方，打开电池盒盖，按“+”、“-”极性，正确装入 4 节 5 号干电池。

(2) 检验电池电压。将转换开关转到“TEST”（测试）挡位置，声频报警与视频显示同时进行。当显示屏上出现“100”以上字样时，表示电池为满容量；出现“50”以下字样时，则表示电池为半容量。

(3) 置零。在干净的空气中，将转换开关转至“GAS”挡位置，显示屏应为“000”状态。若不为“000”，则应打开显示屏下方的黑色盖子，旋转“ZERO”钮，将显示屏读数调至“000”状态后，再将盖子复位。

### (4) 测量。

1) 将转换开关转置“GAS”挡位置时，显示屏呈现“000LEL”字样，绿灯每 3s 闪烁一次，进入测量状态。若红灯闪烁，报警声响，则所测气体已达危险限度。

在弱光情况下，按显示屏左侧背景灯开关，可照明读数。

2) 测量中，如有持续的重音响起，电池将在 30min 内耗尽，应适时按前述要求更换电池。

### 3. 检查维护与故障处理

(1) 避免强烈的机械性冲击。

(2) 不可随便拆卸检测仪。

(3) 为避免静电影响，最好用湿布进行外部擦拭。

(4) 长期不用，应将电池取出。

## 第二节 爆炸性混合物的分类、分级和分组

### 一、爆炸性物质的分类

爆炸性物质可分为 3 类：

(1) I 类。矿井甲烷。

(2) II 类。爆炸性气体混合物（含蒸气、薄雾）。

(3) III类。爆炸性粉尘(含纤维)。

油库中主要是II类爆炸性物质。

## 二、爆炸性气体的分级和分组

由于可燃性气体与蒸气种类繁多,且特性各不相同,在选用防爆电气设备时若无统一的参数依据就无法正确选型,同时也不可能针对每一种可燃性气体或蒸气制造专用的电气设备,因此,就需要将各种爆炸性混合物进行分类。把它们分成若干个级别和组别,只要对应于这几个级别和组别来设计和制造相应的防爆电气设备,使这些设备的防爆性能满足同一级别、组别中所有可燃性气体或蒸气的要求,就能简化防爆电气设备的设计制造和检验工作,并使设备结构得到最大限度地统一,有利于标准化、系列化和通用化。

所以,对爆炸性混合物进行分类的目的,就是为了使防爆电气设备能按规定的级别和组别分挡设计制造和检验,满足各种爆炸性混合物的防爆需要,在选用时既保证安全,又经济合理。

对于电气设备,最大试验安全间隙、自燃温度、最小点燃电流这三个参数对防止爆炸性混合物发生爆炸关系很大。因此,爆炸性混合物就是以这三个参数为依据进行分级和分组的。

### (一) 爆炸性气体混合物的分级

爆炸性气体在标准试验条件下,按其最大试验安全间隙(MESG)和最小点燃电流比(MICR)可分为I、II A、II B和II C四级,见表1-2。

表 1-2 爆炸性气体的分类、分级、分组举例

级别	最大试验安全间隙 MESG (mm)	最小点燃 电流比 MICR	引燃温度(°C)与组别						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	
			$450 < t$	$300 < t \leq 450$	$200 < t \leq 300$	$135 < t \leq 200$	$100 < t \leq 135$	$85 < t \leq 100$	
I	MESG = 1.14	MICR = 1.0	甲烷						
II A	$0.9 < \text{MESG} < 1.14$	$0.8 < \text{MICR} < 1.0$	乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、氨苯、甲苯、苯、氨、甲醇、一氧化碳、乙酸乙酯、乙酸、丙烯腈	丁烷、乙醇内烯、丁醇、乙醇丁酯、乙酸戊酯、乙酸酐	戊烷、癸烷、石脑油、燃料油、煤油、柴油、汽油、环己烷	乙醚、乙醛			亚硝酸乙酯
II B	$0.5 < \text{MESG} \leq 0.9$	$0.45 < \text{MICR} \leq 0.8$	二甲醚、民用煤气、环丙烷	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯	异戊二烯				
II C	$\text{MESG} \leq 0.5$	$\text{MICR} \leq 0.45$	水煤气、氢、焦炉煤气	乙炔				二硫化碳	硝酸乙酯

### (二) 爆炸性混合物的分组

爆炸性混合物按其引燃温度(指按照标准试验方法试验时,引燃爆炸性混合物的热表面的最低温度)可分为T1、T2、T3、T4、T5、T6共6组,见表1-3。

表 1-3

爆炸性混合物按引燃温度分组

组 别	引燃温度 (°C)	组 别	引燃温度 (°C)
T1	$450 < t$	T4	$135 < t \leq 200$
T2	$300 < t \leq 450$	T5	$100 < t \leq 135$
T3	$200 < t \leq 300$	T6	$85 < t \leq 100$

引燃温度越小，组别越大，爆炸危险性就越大。

电气设备的最高表面温度，是指电气设备在容许范围内的最不利条件下运行时，暴露于爆炸性混合物的任何表面的任何部分不可能引起电气设备周围爆炸混合物爆炸的最高温度。最高表面温度应低于爆炸气体环境的引燃温度。电气设备局部最高表面温度是指对于总表面积不大于  $10\text{mm}^2$ （例如本质安全型电路使用的晶体管或电阻）的结构元件，其最高表面温度相对于实测引燃温度具有下列安全裕度时，该元件的最高表面温度允许超过电气设备上标志的组别温度：

- (1) T1、T2、T3 组电气设备为  $50^\circ\text{C}$ ；
- (2) T4、T5、T6 组和 I 类电气设备为  $25^\circ\text{C}$ 。

### 第三节 防爆电气设备原理

可燃气体或液体的蒸气与空气混合即构成爆炸性混合物，该混合物的爆炸是可燃气体（蒸气）在空气中迅速燃烧，引起压力急骤升高的过程。气体爆炸可以在设备、管道、建（构）筑物或船舱内发生，亦可在户外敞开的场地发生。由于防爆电气设备的使用场所为爆炸危险场所，因此，必须根据爆炸危险场所中存在的可燃性气体混合物的燃爆特性，在电气设备结构上进行防护，使之能够正常安全地运行。

#### 一、可燃性气体混合物的主要特性参数

为了评定可燃性气体混合物的危险性，通过试验测量研究，得到了一些参数。这些参数反映了爆炸性混合物的性质，体现了爆炸的难易程度。

##### （一）爆炸极限

可燃性气体或蒸气与空气组成的混合物，并不是在任何混合比例下都可以燃烧或爆炸，而且数量组合的比例不同，燃烧的速度（火焰蔓延速度）也不同。由实验得知，当混合物中可燃气体含量接近于化学计算量时（即理论上完全燃烧时该物质的含量），燃烧最快或最剧烈。若含量减少或增加，火焰蔓延速度则降低，当浓度低于或高于某一极限值，火焰便不再蔓延。可燃性气体或蒸气与空气的混合物遇火源能发生爆炸的浓度范围，称为爆炸浓度极限，通常用体积百分比（%）来表示，有时也用单位体积气体中可燃物的含量来表示（ $\text{g}/\text{m}^3$  或  $\text{mg}/\text{L}$ ）。这两者之间在  $20^\circ\text{C}$  时，有如下关系

$$y = \frac{x}{100} \cdot \frac{1000m}{22.4} \cdot \frac{273}{273 + 20} = \frac{xm}{2.4}$$

式中  $m$  ——可燃气体或蒸气的分子量；

$x$  ——以体积的百分比表示的可燃物质与空气混合物的爆炸下限；

$y$  ——以体积质量浓度（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）表示的可燃物质与空气混合物的爆炸下限；

22.4 ——为标准状态下， $1\text{mol}$  物质气化时的体积。

空气中可燃性气体、蒸气或薄雾的浓度即为该气体或蒸气的爆炸下限，而能够发生爆炸的最高浓度称为爆炸浓度上限。一切可燃物质与空气所形成的可燃性混合物，从爆炸下限到爆炸上限的所有中间浓度在遇有引爆源时都有爆炸危险。混合物的浓度低于爆炸下限时，既不爆炸也不燃烧。这是因为参加化学反应的可燃物质的分子数目少，空气量多，可燃混合气体过稀，反应不能进行下去。混合物的浓度高于爆炸上限时，不会爆炸，但能够燃烧。在燃烧中若有空气补充，使可燃液体的蒸气或可燃气体含量降低，进入爆炸极限范围时，仍可发生爆炸，因此，对上限以上的混合气不能认为是安全的。

用爆炸极限的上限与下限之差除以下限值，表示爆炸混合物的危险程度

$$H = \frac{x_2 - x_1}{x_1}$$

$H$  越大表示爆炸极限范围越广，形成爆炸的可能性就越大，其危险性越高。因此，确定出爆炸极限，就能正确地确定工艺过程的火灾危险程度，便于拟定各项预防燃烧爆炸的措施。但危险度只能说明在相同条件下危险的可能性程度，不能在不同条件下进行比较。表 1-4 列出了几种典型气体的爆炸危险度。

表 1-4 几种典型气体的爆炸危险度

名 称	爆炸危险度	名 称	爆炸危险度
氮	0.87	汽 油	5.00
甲 烷	1.83	辛 烷	5.32
乙 烷	3.17	氢	17.78
丁 烷	3.67	乙 炔	31.00
一氧化碳	4.92	二硫化碳	59.00

对于电气防爆来说，主要着眼于爆炸下限，因为它表明场所内形成爆炸危险的开始，决定了场所内空气中可燃性气体允许含量的最高限度，即意味着燃烧和爆炸的基本条件已经具备。

爆炸极限并不是固定的，而是随一系列因素而变化的，影响爆炸极限的主要因素有以下几点。

#### 1. 初始温度

爆炸性混合物的初始温度越高，则爆炸极限范围越大，即爆炸下限降低而爆炸上限增高。因为系统温度升高，其分子内能增加，使原来不燃的混合物成为可燃、可爆物质，所以温度升高使爆炸危险性增大。特别对于碳氢化合物，温度对上限的影响更为显著。表 1-5 列出了几种气体与液体的初始温度对爆炸极限的影响。

表 1-5 温度对爆炸极限的影响

混合物的初始温度 (°C)	爆炸极限 (体积%)			汽油蒸气的爆炸极限 (mg/L)
	二硫化碳	丙 酮	乙 醇	
0	4.2~27.8	4.2~8.0	2.55~11.8	65~150
100	1.25~33.4	3.2~10.0	2.25~12.53	50~203
200	—	3.2~10.0	2.0~12.50	50~203

## 2. 初始压力

初始压力对爆炸极限的影响很大，在增压的情况下，其爆炸极限的变化很复杂。

压力增大时上限的提高很显著，下限的变化则不明显。压力降低时，爆炸极限的范围缩小；当压力降到某一数值时，下限与上限重合，压力再降低，混合气即变成不可爆炸气体，这一最低压力称为爆炸的临界压力。碳氢化合物的混合物具有几个明显的临界压力值。温度在15~20℃时，为4~4.7kPa；用氧氯代替空气时，这一压力就降低至0.27~1.33kPa。临界压力的存在，表明在密闭的设备内进行减压操作，可以减小爆炸危险。表1-6列出了甲烷的初始压力与爆炸极限的关系。

表 1-6 压力对甲烷爆炸极限的影响

初始压力(kgf/cm <sup>2</sup> ) <sup>①</sup>	爆炸下限(%)	爆炸上限(%)	初始压力(kgf/cm <sup>2</sup> ) <sup>①</sup>	爆炸下限(%)	爆炸上限(%)
1	5.6	14.3	50	5.4	29.4
10	5.9	17.2	125	5.7	45.7

① 1kgf=9.8N。

## 3. 不燃性（惰性）介质的影响

向混合物中充入不燃性气体，随着充入量的增加，其爆炸极限范围将逐渐缩小，并在最终互相重合而变成不爆炸混合物。在甲烷的混合物中加入惰性气体（氮、二氧化碳、水蒸气、氩、氦、四氯化碳等），随着混合物中惰性气体量的增加，对上限的影响较之对下限的影响更为显著。因为惰性气体浓度加大，表示氧的浓度相对减少，而在上限中氧的浓度本来已经很小，故惰性气体浓度稍为增加，即产生很大的影响，而使爆炸上限剧烈下降。

惰性冲淡剂广泛用于充气型防爆电气设备。

## 4. 点火源的能量

各种爆炸混合物都有一个最低引爆能量，因此火花的能量、热表面的面积、火源与混合物的接触时间等，对爆炸极限均有影响。表1-7列出了甲烷在正常压力下，点火能量对其爆炸极限的影响。

表 1-7 点火能量对甲烷爆炸极限的影响

点火能量(J)	爆炸上限(%)	爆炸下限(%)	点火能量(J)	爆炸上限(%)	爆炸下限(%)
1	4.9	13.8	100	4.25	15.1
10	4.6	14.2	1000	3.6	17.5

## 5. 容器形状与尺寸

容器的形状与尺寸对爆炸极限也有影响，尤其是容器尺寸很小时，更为明显。在管子中进行的气体混合物燃烧试验表明，管子直径越小，热损失越大，火焰传播速度越小，爆炸极限范围也就越小，当管径小到某一临界值时，就不能点燃爆炸。

容器大小对爆炸极限的影响也可以从器壁效应得到解释。燃烧是由自由基产生一系列连锁反应的结果，只有当新生自由基大于消失的自由基时，燃烧才能继续。但随着管道直径（尺寸）的减小，自由基与管道壁的碰撞几率相应增大，当尺寸减少至一定程度时，即自由基（与器壁碰撞）销毁大于自由基产生，燃烧反应便不能继续进行。

可燃性液体的爆炸极限有两种表示方法：一是可燃蒸气的爆炸浓度极限，有上、下限之



分，以“%”（体积）表示；二是可燃性液体的爆炸温度极限，它是指可燃液体蒸气的浓度达到爆炸浓度极限时的相应温度，分为上限和下限，以“℃”表示。爆炸温度下限，即液体在蒸发出等于爆炸浓度下限的蒸气浓度时的温度，液体的爆炸温度下限即是液体的闪点；爆炸温度上限，即液体在该温度下蒸发出等于爆炸浓度上限的蒸气浓度。爆炸浓度极限与爆炸温度极限两者之间有相对应的关系，见表 1-8。

表 1-8 几种可燃性液体的爆炸温度极限和爆炸浓度极限的比较

液体名称	爆炸浓度极限 (%)	爆炸温度极限 (℃)	液体名称	爆炸浓度极限 (%)	爆炸温度极限 (℃)
酒精	3.5~18	11~40	乙醚	1.9~4.8	-45~13
甲苯	1.28~7.0	1~31	乙醇	3.3~19.0	-45~12
松节油	0.8~62	32~53	丙酮	2.6~12.8	-20~6
车用汽油	1.0~8.0	-38~-8	苯	1.5~9.5	-14~12
煤油	0.8~6.5	40~86			

可燃性液体的爆炸温度极限可以用仪器测定，也可利用饱和蒸气压公式进行计算。

### (二) 最小点燃能量

为了评定电气放电——电火花的点燃能力，引入最小点燃能量的概念。所谓最小点燃能量是指能引起一定浓度可燃物质燃烧或爆炸所需要的最小能量。若小于该能量值，则不能点火，故最小点燃能量是衡量可燃性气体危险性的重要参数之一。最小点燃能量的测定可用电火花法，其放电能量可由下式计算

$$E = \frac{1}{2}CU^2$$

式中  $E$ ——放电能量，J；

$U$ ——导体间的电位差，V；

$C$ ——导体间等效电容，F。

最小点燃能量的大小与多种因素有关：首先与可燃性气体的种类有关，它是按烷烃→烯烃→炔烃的次序递减的；此外，还与混合物的浓度、温度、压力、运动速度、电极形状、火花间隙长度、火花放电时间等有关。在一般情况下，可燃气体或蒸气与空气混合物的浓度稍高于理论计算浓度时，其点火能量最低。几种可燃物质的最小点燃能量见表 1-9。

通常情况下，温度增加，最小点燃能量减小；压力降低，最小点燃能量增加，当压力降低到某一临界值时，可燃气体较难点燃。

表 1-9 几种可燃物质的最小点燃能量

混合物	混合物浓度 (%)	最小点燃能量	混合物	混合物浓度 (%)	最小点燃能量
乙炔	7.7	0.019	汽油	—	0.15
二硫化碳	7.8	0.0019			

### (三) 最小点燃电流和最小点燃电流比

最小点燃电流 (MIC) 是指在规定的条件下，在规定的火花试验装置中，能点燃最易点燃混合物的最小电流，实质上它是另一种最小点燃能量。最小点燃电流比 (MICR)，是该