

江苏省特种作业人员安全技术培训考核系列教材

江苏省安全生产宣传教育中心组织编写



**FANGBAO DIANQI ZUOYE**

Jiangsusheng Tezhong Zuoye Renyuan  
Anquan Jishu Peixun Kaohe Xilie Jiaocai

# 防爆电气作业

主 编 / 吴炳辉

主 审 / 罗进明



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

江苏省特种作业人员安全技术培训考核系列教材

# 防爆电气作业

吴炳辉 主编

罗进明 主审

东南大学出版社

·南京·

### 图书在版编目(CIP)数据

防爆电气作业 / 吴炳辉主编. —南京:东南大学出版社,2011.6

ISBN 978-7-5641-2855-5

I. ①防… II. ①吴… III. ①防爆电气设备—技术培训—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 113684 号

---

书 名 防爆电气作业  
主 编 吴炳辉  
出 版 人 江建中  
责任编辑 张 慧  
出版发行 东南大学出版社  
(江苏省南京市四牌楼 2 号东南大学校内 邮政编码 210096)  
网 址 <http://press.seu.edu.cn>  
印 刷 南京京新印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 11  
字 数 275 千字  
版次印次 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-2855-5  
定 价 21.80 元

---

(\* 东大版图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系,电话 025-83792328。)

# 江苏省安全生产培训系列教材

## 编委会成员名单

### 一、编写委员会

主任：王向明

副主任：于宗立 赵利复 陆贯一 刘振田 喻鸿斌 徐林  
陈忠伟 赵启凤

委员：(按姓氏笔画排列)

丁羽如 马群 王从金 邓江波 丛跃滋 冯志明  
乔勇 华仁杰 苏斌 吴孝洪 谷红彬 张昕  
张继闯 沈晨东 武奇 单昕光 赵权 赵和平  
赵昶东 倪建明 曹永荣 曹斌 褚福银 魏持红

编委会办公室主任：刘振田

副主任：吴孝洪 褚福银 汪波 赵和平

### 二、编写工作领导小组

组长：刘振田

副组长：吴孝洪 褚福银 汪波 赵和平

成员：程继平 咎夏青 李建军

### 三、编写业务技术组

组长：咎夏青

技术组负责人：朱兆华

业务组负责人：李建军 翟瑞媛

## 序

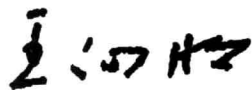
安全生产是企业和社会的永恒主题。近几年来,我们在江苏省委、省政府的领导下,按照科学发展观的要求,大力加强安全生产监督管理,促进了全省安全生产的发展,连续实现了生产事故和死亡人数的“双下降”,为实现“平安江苏”和“两个率先”作出了贡献。

搞好安全生产必须重视安全培训工作。大量实践说明,安全培训工作是安全生产的基础和前提,是一项战略性工作。2010年,《国务院关于加强企业安全生产工作的通知》(国发〔2010〕23号)和《省政府关于进一步加强企业安全生产工作的意见》(苏政发〔2010〕136号)中,再次强调了安全培训工作的重要性和必要性。因此,只有进一步认识和加强安全生产培训工作,才能更好地保证安全生产的可持续发展。

搞好安全生产培训,其中一项重要的工作是安全培训教材建设。为此,省局组织了全省具有丰富经验的专家、教授和工作人员编写了这套教材。本套教材是根据国家安监总局《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》(国家安监总局30号令)的要求,以国家培训大纲、考核标准为依据,特别是结合江苏的实际,介绍了生产单位特种作业人员需要掌握的安全知识、规章及技能。教材坚持安全理论与生产实践相结合,突出新的安全理念和“四新知识”,并为学员留有自主学习、自主探究的空间,以期达到教学相长的目的。

本书的编写时间紧、任务重、要求高,参加编写和参与组织工作的同志们为此付出了辛勤劳动,在此向他(她)们表示衷心的感谢。同时,在编写和出版的过程中,各市、县安监部门和有关同志给予了大力支持,在此一并表示感谢。

江苏省安全生产监督管理局局长  
江苏煤矿安全监察局局长



2011年5月

# 前 言

特种作业人员安全培训工作是各级安全监督管理部门和企业安全生产管理的一项重要内容。做好这项工作,对于保障特种作业人员及其他人员的生命安全,防止重特大事故,提高企业安全生产水平及经济效益都具有十分重要的作用。

经济社会快速发展、科学技术的不断进步和安全法制建设进程的加快,对新形势下的安全生产和安全培训工作提出了更新的标准、更高的要求。为了适应新形势,进一步落实党的“安全第一,预防为主,综合治理”的基本方针,江苏省安全生产宣传教育中心根据国家安全生产监督管理总局《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》的要求,组织编写了《防爆电气作业》教材。

本书共分9章,重点介绍如下内容:爆炸危险场所及其分类、分级;防爆电气设备的基本原理、结构及其技术要求;防爆电气设备的选型;防爆电气设备与电气线路的安装、运行、检查和维修基本要求;防爆电气的管理。希望本书介绍的防爆电气基本安全技术知识,能对防爆电气作业人员提高作业水平有所帮助。

由于时间仓促,不足之处在所难免,恳请各位专家及读者批评指正。

编者

2011-5

## 目 录

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| <b>第一章 概述</b> .....             | ( 1 )  |
| 第一节 爆炸的基本概念 .....               | ( 1 )  |
| 第二节 爆炸性物质 .....                 | ( 3 )  |
| 第三节 点燃源 .....                   | ( 5 )  |
| 第四节 电气在爆炸事故预防中的重要性 .....        | ( 10 ) |
| <b>第二章 爆炸性危险场所</b> .....        | ( 13 ) |
| 第一节 爆炸性危险场所的基本概念 .....          | ( 13 ) |
| 第二节 爆炸性危险物质分类、分级 .....          | ( 13 ) |
| 第三节 爆炸性气体危险场所分类 .....           | ( 16 ) |
| 第四节 可燃性粉尘区域划分 .....             | ( 20 ) |
| 第五节 危险区域划分示例 .....              | ( 23 ) |
| <b>第三章 防爆电气设备的通用技术要求</b> .....  | ( 27 ) |
| 第一节 分类、分级与分组 .....              | ( 27 ) |
| 第二节 制造材料 .....                  | ( 29 ) |
| 第三节 通用结构 .....                  | ( 33 ) |
| 第四节 某些类型电气设备防爆结构的通用要求 .....     | ( 37 ) |
| 第五节 Ex 元件 .....                 | ( 38 ) |
| 第六节 防爆标志 .....                  | ( 39 ) |
| <b>第四章 防爆电气设备的基本原理与结构</b> ..... | ( 43 ) |
| 第一节 隔爆型电气设备 .....               | ( 43 ) |
| 第二节 增安型电气设备 .....               | ( 47 ) |
| 第三节 本质安全型电气设备 .....             | ( 51 ) |
| 第四节 正压型电气设备 .....               | ( 57 ) |
| 第五节 浇封型电气设备 .....               | ( 62 ) |
| 第六节 其他防爆类型电气设备 .....            | ( 65 ) |
| 第七节 复合型和组合型防爆电气设备 .....         | ( 70 ) |
| <b>第五章 “n”型电气设备</b> .....       | ( 77 ) |
| 第一节 “n”型电气设备的类型 .....           | ( 77 ) |
| 第二节 “n”型电气设备的通用防爆结构和安全要求 .....  | ( 77 ) |
| 第三节 “nA”型无火花型旋转电机 .....         | ( 79 ) |
| 第四节 “nA”型无火花型照明灯具 .....         | ( 81 ) |

|             |   |                |
|-------------|---|----------------|
| 第五节         | “nA”型无火花型电气单元 .....                     | ( 83 )         |
| 第六节         | “nC”型有火花型电气单元 .....                     | ( 84 )         |
| 第七节         | “nC”型密封组件、浇封组件及气密组件 .....               | ( 85 )         |
| 第八节         | “nL”限制能量型电气设备和“nA nL”自保护限制能量型电气设备 ..... | ( 86 )         |
| 第九节         | “nR”限制呼吸型电气设备 .....                     | ( 88 )         |
| <b>第六章</b>  | <b>防爆电气设备选型 .....</b>                   | <b>( 89 )</b>  |
| 第一节         | 电机及低压电器的外壳防护等级 .....                    | ( 89 )         |
| 第二节         | 危险场所电气设备类型选择 .....                      | ( 90 )         |
| 第三节         | 防爆电机 .....                              | ( 93 )         |
| 第四节         | 防爆控制类、连接类电器 .....                       | ( 97 )         |
| 第五节         | 防爆灯具 .....                              | ( 100 )        |
| 第六节         | 其他防爆电器及涉电器具 .....                       | ( 103 )        |
| <b>第七章</b>  | <b>危险场所电气安装 .....</b>                   | <b>( 106 )</b> |
| 第一节         | 基本概念及通用要求 .....                         | ( 106 )        |
| 第二节         | 供电系统和电气保护 .....                         | ( 107 )        |
| 第三节         | 爆炸性气体环境电气线路的安装 .....                    | ( 110 )        |
| 第四节         | 爆炸性气体环境防爆电气设备的安装 .....                  | ( 116 )        |
| 第五节         | 可燃性粉尘环境电气线路和电气设备的安装 .....               | ( 123 )        |
| <b>第八章</b>  | <b>防爆电气设备的检查与维护 .....</b>               | <b>( 127 )</b> |
| 第一节         | 基本概念 .....                              | ( 127 )        |
| 第二节         | 防爆电气设备的检查 .....                         | ( 128 )        |
| 第三节         | 防爆电气设备检修的基础工作 .....                     | ( 138 )        |
| 第四节         | 防爆电气设备的维护要求 .....                       | ( 141 )        |
| 第五节         | 防爆电气设备运行及故障处理 .....                     | ( 143 )        |
| <b>第九章</b>  | <b>防爆电气管理 .....</b>                     | <b>( 146 )</b> |
| 第一节         | 防爆电气设备失爆分析 .....                        | ( 146 )        |
| 第二节         | 严格执行标准和法规 .....                         | ( 147 )        |
| 第三节         | 防爆电气全过程管理 .....                         | ( 149 )        |
| 第四节         | 防爆电气作业人员培训与考核 .....                     | ( 151 )        |
| <b>附 录</b>  | <b>.....</b>                            | <b>( 153 )</b> |
| A.          | 气体或蒸气爆炸性混合物分级分组举例 .....                 | ( 153 )        |
| B.          | 爆炸性和可燃性粉尘特性表 .....                      | ( 159 )        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>                            | <b>( 163 )</b> |



# 第一章 概述

## 第一节 爆炸的基本概念

在自然界中存在各种爆炸现象。广义地讲,爆炸是物质系统的一种极为迅速的物理的或化学的能量释放或转化过程,是系统蕴藏的或瞬间形成的大量能量在有限的体积和极短的时间内,骤然释放或转化的现象。在这种释放或转化的过程中,系统的能量将转化为机械功以及光和热的辐射等。爆炸以急剧的速度释放出巨大的能量,将使周围的物体遭受到猛烈的冲击和破坏。

### 一、爆炸的分类

爆炸可以由不同的原因引起,但不管是何种原因引起的爆炸,归根结底必须有一定的能量。按能量的来源,爆炸可以分为三类,即物理爆炸、化学爆炸和核爆炸。

(1) 物理爆炸。物理爆炸是由系统释放物理能引起的爆炸。

(2) 化学爆炸。化学爆炸是由于物质的化学变化引起的爆炸。

(3) 核爆炸。核爆炸是核裂变(如原子弹是用铀 235、钚 239 裂变)、核聚变(如氢弹是用氘、氚或锂核的聚变)反应所释放出的巨大核能引起的。

按反应相态的不同,爆炸可分为以下三类:

(1) 气相爆炸。它包括可燃性气体和助燃性气体混合物的爆炸、气体的分解爆炸、液体被喷成雾状物在剧烈燃烧时引起的爆炸等。

(2) 液相爆炸。它包括聚合爆炸、蒸气爆炸以及不同液体混合所引起的爆炸。

(3) 固相爆炸。它包括爆炸性化合物和混合危险物质的爆炸。

### 二、爆炸的基本条件

所有可燃气体、蒸气及粉尘与空气混合所形成的混合物的爆炸,均需要具备三个基本的条件:

(1) 爆炸性物质:能与氧气(空气)反应的物质,包括气体、液体和固体。(气体:氢气、乙炔、甲烷等;液体:酒精、汽油等;固体:粉尘、纤维粉尘等)

(2) 氧气:空气。

(3) 激发能源:包括明火、电气火花、机械火花、静电火花、高温、化学反应、光能等。

这就是习惯所说的爆炸三要素,或称爆炸三角形原理。

当可燃性物质与空气的混合浓度介于爆炸极限范围内时,遇点火源就会产生爆炸。但燃气与空气混合形成的可燃气体浓度低于该气体的爆炸下限(LEL)或高于其爆炸上限(UEL)都不会发生爆炸。



上述三个要素同时同地存在,就具备了发生爆炸的充分必要条件,这也是人们预防和防止可燃性气体发生燃烧与爆炸的原始理论依据。

显而易见,没有可燃性物质,就无法发生燃烧与爆炸;没有点燃源,即使存在可燃性物质和空气,显然也是无法发生燃烧与爆炸的。根据燃烧与爆炸发生的充分必要条件,人们提出防爆电气技术的“守候定理”:

在大气条件下,假若可燃性物质连续或长期地存在,不管点燃源如何,只要一出现,点燃就可能发生;同样,假若点燃源连续或长期地存在,不管可燃性物质如何,只要一出现,就可能被点燃。

这正像甲(乙)一直在等候乙(甲)一样,只要乙(甲)一出现就会和甲(乙)会面,故称为“守候”。守候定理说明,在思考和处理防爆电气技术问题时,人们不仅要考虑可燃性物质存在所造成的危险,而且还应该考虑点燃源存在所造成的危险,尤其是连续或长期存在可能造成的危险。然而遗憾的是,后一种情况常常被人们所忽视。

守候定理是人们在思考和解决防爆电气技术问题时必须遵守的一个重要原则。

### 三、爆炸的特点及破坏作用

爆炸的特点:

(1) 严重性。往往造成重大伤亡和多人伤亡事故,使国家财产蒙受巨大损失,严重影响生产的顺利进行,甚至迫使工矿企业停产,通常需较长时间才能恢复。

(2) 复杂性。事故原因比较复杂,如可燃物种类繁多,引起事故的火源也有多种等。事故发生后,设备炸毁、厂房倒塌、人员伤亡等因素,也给事故原因的分析带来困难。

(3) 突发性。爆炸常常猝不及防,可能仅在一秒钟内爆炸过程已经结束,设备损坏、厂房倒塌、人员伤亡等巨大损失也已在瞬间发生。

由于爆炸通常伴随发热、发光、压力上升、真空和电离等现象,具有很强的破坏作用。它与爆炸物的数量和性质、爆炸时的条件以及爆炸位置等因素有关。主要破坏形式有以下几种:

#### (1) 直接的破坏作用

机械设备、装置、容器等爆炸后产生许多碎片,飞出后会在相当大的范围内造成危害。一般碎片在100~500 m内飞散。如1979年浙江温州电化厂液氯钢瓶爆炸,钢瓶的碎片最远飞离爆炸中心830 m,其中碎片击穿了附近的液氯钢瓶、液氯计量槽、贮槽等,导致大量氯气泄漏,发展成为重大恶性事故,死亡59人,伤779人。

#### (2) 冲击波的破坏作用

物质爆炸时,产生的高温高压气体以极高的速度膨胀,像活塞一样挤压周围空气,把爆炸反应释放出的部分能量传递给压缩的空气层,空气受冲击而发生扰动,使其压力、密度等产生突变,这种扰动在空气中传播就称为冲击波。冲击波的传播速度极快,在传播过程中,可以对周围环境中的机械设备和建筑物产生破坏作用和使人员伤亡。冲击波还可以在它的作用区域内产生震荡作用,使物体因震荡而松散,甚至破坏。冲击波的破坏作用主要是由其波阵面上的超压引起的。在爆炸中心附近,空气冲击波波阵面上的超压可达几个甚至十几个大气压,在这样高的超压作用下,建筑物被摧毁,机械设备、管道等也会受到严重破坏。当冲击波大面积作用于建筑物时,波阵面超压在20~30 kPa内,就足以使大部分砖木结构建筑物受到强烈破坏。超压在100 kPa以上时,除坚固的钢筋混凝土建筑外,其余部分将全部

破坏。

### (3) 造成火灾

爆炸发生后,爆炸气体产物的扩散只发生在极其短促的瞬间内,对一般可燃物来说,不足以造成起火燃烧,而且冲击波造成的爆炸风还有灭火作用。但是爆炸时产生的高温高压,建筑物内遗留大量的热或残余火苗,会把从破坏的设备内部不断流出的可燃气体、易燃或可燃液体的蒸气点燃,也可能把其他易燃物点燃引起火灾。当盛装易燃物的容器、管道发生爆炸时,爆炸抛出的易燃物有可能引起大面积火灾,这种情况在油罐、液化气瓶爆破后最易发生。正在运行的燃烧设备或高温的化工设备被破坏,其灼热的碎片可能飞出,点燃附近储存的燃料或其他可燃物,引起火灾。如1979年12月,吉林液化石油气厂2号球罐破裂时,涌出的石油气遇明火而燃烧爆炸,大火持续了整整23个小时,造成了巨大的损失。

### (4) 造成中毒和环境污染

在实际生产中,许多物质不仅是可燃的,而且是有毒的,发生爆炸事故时,会使大量有害物质外泄,造成人员中毒和环境污染。

## 第二节 爆炸性物质

爆炸性物质是发生爆炸事故的基础性条件之一,防爆电气的设计首先要考虑的也就是要防什么样的爆炸性物质,在了解了爆炸性物质的前提下,解决怎样防的问题。

### 一、爆炸性物质的基本特征

爆炸性物质,不论是气体、液体、固体,本身是可燃的。

对液体而言,其本身是可燃的,并能够产生可燃性气体、蒸气或薄雾。可燃性液体包括可燃性液体和易燃性液体。

对固体物质而言,爆炸性物质主要是指粉尘,包括可燃性粉尘和导电性粉尘(电阻率等于或小于 $1 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 的粉尘、纤维或飞扬物)。

一种物质要成为爆炸性物质,还要与空气形成混合物。

### 二、爆炸性气体(蒸气)混合物的两个主要参数

#### (1) 闪点

闪点是指在标准条件下,使液体变成蒸气的数量能够形成可燃性气体/空气混合物的最低液体温度。

液体的闪点越低,引燃的危险程度越大。如环氧丙烷的闪点为 $-37.2^\circ\text{C}$ ,不仅在冬户外场所蒸发蒸气,而且在常温时会快速蒸发蒸气。

液体周围环境温度是影响液体蒸发的主要依据。我国规定了最高环境温度为 $45^\circ\text{C}$ 作为分界线,闪点高于 $45^\circ\text{C}$ 的称可燃性液体;闪点低于 $45^\circ\text{C}$ 的称易燃性液体。

可燃性液体在常温储存时没有爆炸危险性,但当可燃性液体呈雾状颗粒状态及操作温度高于液体闪点时同样有爆炸危险性。表1-1列出了几种易燃液体的闪点,从中可以看出,各种易燃液体的闪点相差很大,有一些在常温下就可以蒸发成蒸气。闪点低的易燃液体具有更大的危险性。

表 1-1 易燃性液体闪点举例

| 易燃性液体 | 分子式                                     | 闪点/°C | 易燃性液体 | 分子式   | 闪点/°C |
|-------|---|-------|-------|---|-------|
| 壬烷    | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$ | 30    | 苯乙烯   | $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ | 30    |
| 硝基甲烷  | $\text{CH}_3\text{NO}_2$                | 36    | 丙酮    | $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$                  | -20   |
| 硝基乙烷  | $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$       | 27    | 丁酮    | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_3$       | -9    |
| 甲醇    | $\text{CH}_3\text{OH}$                  | 11    | 乙醛    | $\text{CH}_3\text{CHO}$                     | -38   |
| 乙醇    | $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$       | 12    | 氯乙烯   | $\text{CH}_2=\text{CHCl}$                   | -78   |
| 甲酸    | $\text{HCOOH}$                          | 42    | 丙烯腈   | $\text{CH}_2=\text{CHCN}$                   | -5    |
| 煤油    | —                                       | 38    | 乙腈    | $\text{CH}_3\text{CN}$                      | 2     |
| 水煤气   | —                                       | 1.2   |       |   |       |
| 苯     | $\text{C}_6\text{H}_6$                  | -11   |       |   |       |
| 甲苯    | $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$       | 4     |       |   |       |

## (2) 爆炸极限

爆炸极限是指可燃性气体(蒸气)与空气形成的混合物,能引起爆炸的最低浓度(爆炸下限)或最高浓度(爆炸上限),介于爆炸下限和上限中间的浓度范围称爆炸范围。爆炸范围越大,则形成爆炸性混合物的机会越多;爆炸下限越低,则形成爆炸的条件越易具备。

爆炸极限的影响因素:

### ① 温度的影响

混合爆炸气体的初始温度越高,爆炸极限范围越宽,则爆炸下限降低,上限增高,爆炸危险性增加。

### ② 压力的影响

混合气体的初始压力对爆炸极限的影响较复杂,在 0.1~2.0 MPa 的压力下,对爆炸下限影响不大,对爆炸上限影响较大;当大于 2.0 MPa 时,爆炸下限变小,爆炸上限变大,爆炸范围扩大。

### ③ 惰性介质的影响

若在混合气体中加入惰性气体(如氮、二氧化碳、水蒸气、氩、氦等),随着惰性气体含量的增加,爆炸极限范围缩小。当惰性气体的浓度增加到某一数值时,使爆炸上下限趋于一致,使混合气体不发生爆炸。

### ④ 爆炸容器对爆炸极限的影响

爆炸容器的材料和尺寸对爆炸极限有影响,若容器材料的传热性好,管径越细,火焰在其中越难传播,爆炸极限范围变小。

## 三、粉尘爆炸机理

凡是呈细粉状态的固体物质均称为粉尘。能燃烧和爆炸的粉尘叫做可燃粉尘;浮在空气中的粉尘叫悬浮粉尘;沉降在固体壁面上的粉尘叫沉积粉尘。现已发现以下七类物质的粉尘具有爆炸性:金属(如镁粉、铝粉);煤炭;粮食(如小麦、淀粉);饲料(如血粉、鱼粉);农副产品(如棉花、烟草);林产品(如纸粉、木粉);合成材料(如塑料、染料)。

### (1) 粉尘爆炸的条件

可燃性粉尘爆炸应具备三个条件:粉尘本身具有爆炸性;粉尘必须悬浮在空气中并与空气混合到爆炸浓度;有足以引起粉尘爆炸的热能源。

和气体爆炸相比,粉尘爆炸所要求的最小引燃能较大,达 10 mJ,为气体爆炸的近百倍。因此,一个足够强度的热能源也是形成粉尘爆炸的必要条件之一。

### (2) 粉尘爆炸的过程

第一步:悬浮粉尘在热源作用下迅速地被干馏或气化而产生可燃气体。

第二步:可燃气体与空气混合而燃烧。

第三步:燃烧产生的热量从燃烧中心向外传递,引起邻近的粉尘进一步燃烧。如此循环下去,反应速度不断加快,最后形成爆炸。

### (3) 粉尘爆炸的特点

① 具有二次爆炸的可能。粉尘初始爆炸的气浪可能将沉积的粉尘扬起,形成爆炸性尘云,在新的空间再次产生爆炸,这叫二次爆炸。这种连续爆炸会造成严重的破坏。

② 粉尘爆炸感应期长,达数十秒,为气体的数十倍。

③ 粉尘爆炸可能产生两种有毒气体:一种是一氧化碳,另一种是爆炸物质(如塑料等)自身分解产生的毒性气体。

### (4) 影响粉尘爆炸的因素

① 物理化学性质。物质的燃烧热越大,则其粉尘的爆炸危险性也越大,例如煤、碳、硫的粉尘等;越易氧化的物质,其粉尘越易爆炸,例如镁、氧化亚铁、染料等;越易带电的粉尘越易引起爆炸。粉尘在生产过程中,由于互相碰撞、摩擦等作用,产生的静电不易散失,造成静电积累,当达到某一数值后,便出现静电放电。静电放电火花能引起火灾和爆炸事故。

粉尘爆炸还与其所含挥发物有关。如煤粉中当挥发物低于 10%时,就不再发生爆炸,因而焦炭粉尘没有爆炸危险性。

② 颗粒大小。粉尘的表面吸附空气中的氧,颗粒越细,吸附的氧就越多,因而越易发生爆炸,而且,发火点越低,爆炸下限也越低。随着粉尘颗粒的直径的减小,不仅化学活性增加,而且还容易带上静电。

③ 粉尘的浓度。与可燃气体相似,粉尘爆炸也有一定的浓度范围,也有上下限之分。但在一般资料中多数只列出粉尘的爆炸下限,因为粉尘的爆炸上限较高。

## 第三节 点燃源

一切能够引起爆炸性物质发生燃烧与爆炸的能量释放源都被叫做点燃源。例如,电气放电、高温热体等。在可燃性气体存在的场所中,电气设备就可能成为一种点燃源,例如,电气开关在接通或断开时就会产生电气放电,且这种现象在爆炸性气体环境中是一种十分危险的点燃源。

一般地讲,爆炸性物质的点燃源可以分为以下几类:电气放电、静电放电、碰撞与摩擦、固体热表面、激光辐射及其他一些点燃源等。

### 一、电气放电

电气开关放电,简称电气放电,作为爆炸性气体混合物的重要点燃源,主要是电气装置

中的开关元件在开与关时产生的放电。这种放电是在有源网络中发生的放电,是一种“有源”式放电,具有很大的能量。

有源网络的放电,不仅包括电气装置在正常工作状态下出现的放电,例如,开关元件在闭合或断开瞬间产生的电气火花(小功率时)、电弧(大功率时)、直流电机在换向时电刷与整流子之间产生的火花,而且还有电气线路中因绝缘破坏出现漏电或短路所引起的放电火花或电弧。这一类的放电对于点燃爆炸性气体混合物具有极大的危险性。

### (1) 电气放电的一般概念

根据燃烧与爆炸的热理论,电气放电点燃可燃性气体的过程是,在火花间隙处,电气放电把能量传递给可燃性气体的分子,使这些分子处于强烈激化和离子化状态。于是,燃烧过程——氧化放热反应开始,这一反应引起火花间隙处可燃性气体的温度急剧增高。

在有关燃烧与爆炸的理论著作中有对临界火焰核的描述,火焰核表面的温度就反映了火焰核产生的热量与它表面损失的热量之间的平衡状态。如果电气火花放电的初始能量足以形成火焰核,表面具有足够高的温度,且有一定的持续时间,就成为点燃源,引起周围爆炸性气体混合物点燃。特别是对那些很小的点燃能量就能使其点燃的混合物,电气放电就具有很大的危险性。

某些可燃性气体—空气混合物的燃烧特性和最小点燃能量如表 1-2 所示。

表 1-2 可燃性气体—空气混合物的燃烧特性和最小点燃能量举例

| 混合物   | 爆炸极限/%(体积比) |      | 化学计算<br>浓度/% | 最小点燃<br>能量/mJ | 燃烧温度/K |
|-------|-------------|------|--------------|---------------|--------|
|       | 下限          | 上限   |              |               |        |
| 甲烷    | 5.0         | 15.0 | 9.5          | 0.28          | 2 316  |
| 丙烷    | 2.37        | 9.5  | 4.0          | 0.25          | 2 383  |
| 甲苯    | 1.27        | 6.75 | 2.28         |               | 2 484  |
| 乙炔    | 2.5         | 81.0 | 7.75         | 0.019         | 2 893  |
| 氢     | 4.0         | 74.2 | 29.5         | 0.019         | 2 483  |
| 汽油—70 | 0.79        | 5.16 | 2.9          | 0.23          |        |
| 丙酮    | 2.5         | 12.8 | 5.0          |               |        |

### (2) 火花放电的点燃特性

火花放电主要产生在电感性电路和电容性电路中(在电阻性电路中的放电被称作所谓的“接触式放电”)。

在电感性电路中,电感元件是火花放电的主要因素,它能以磁场的形式储存能量,并在电路分布电容的电场形成之后,把这些能量发射到放电火花中。根据电路参数和触头断开速度,火花放电可能是一次性击穿,也可能是多次性击穿。已经进行的火花放电点燃特性的研究指出,在电感性电路中,多次性击穿的火花放电是最危险的。

在电容性电路中,由于电路参数和开关条件的不同,可能产生火花放电或弧光放电及触头局部过热。触头局部过热会使触头材料熔化、气化和飞溅(接触式放电)。火花放电现象,常常是在电容器充足电、电极间隙击穿的瞬间触头相互接近或直接接触而产生的;同样,在

电容器电压达到火花间隙击穿值的瞬间,触头发生分断或处于静止分断状态也会产生。

火花放电分三个阶段:

第一阶段,即放电形成阶段。在放电间隙上施加一个足以使放电间隙击穿的电压,通道形成。这一阶段的特点是放电电流小,放电间隙上的电压比较稳定。

第二阶段,即低阻放电通道形成阶段,形成电容放电。此时,放电通道流过的电流很大,放电通道出现的温度很高。这一阶段具有雪崩特性,总的持续时间在几分之一微秒到几微秒之间。

第三阶段,即火花通道破坏阶段。在第二阶段即电容放电之后,放电通道的电阻回升,电极间的电气强度恢复。

在大气压力条件下,产生火花放电的最小电压,当电极距离为  $6\sim 7\ \mu\text{m}$  时,是  $300\ \text{V}$ ;当电极距离为  $3\sim 4\ \mu\text{m}$  时,是  $150\ \text{V}$ 。

### (3) 开关放电的点燃特性

实际的开关式放电,无论放电的持续时间,还是电极上能量损失的数量,都不同于电容的瞬时放电和近似理想条件的断路放电。然而,放电能量仍起主要作用。点燃能量的数值与电路的参数(电动势、电流、电感、电容)和爆炸性气体混合物的成分、开关的条件(断开的速度、触头的材质、形状)、压力和温度等因素有关。

电路参数和放电参数之间的关系具有重要的意义,因为放电的初始状态取决于放电的形式和放电间隙处能量的分布。电路中开关式放电发生在运动的触头间,当触头闭合或分开一定距离时就停止。这种放电,甚至在保持额定断路条件下,也不可能具有再现性。火焰核发展过程的不稳定性和电路散热条件的不稳定性,是这种放电出现不稳定的主要原因。

点燃的不稳定性表现在,在接近点燃极限处,每次点燃后能够重复发生爆炸的电路参数和没有发生爆炸的电路参数之间没有一个明显的界限。此时,电路参数的变化范围相当的宽。

### (4) 弧光放电的点燃特性

当电路中发生弧光短路时,放电通道中具有很高的电流密度,并且放电通道中的温度可达  $10\ 000\sim 20\ 000\ ^\circ\text{C}$ ,比甲烷—空气混合物的点燃温度高出许多倍。所以弧光放电不管持续时间多长,总是能够点燃一定体积的混合物。由于火焰核超过临界体积,它就可能引起爆炸。

在电容性电路中,弧光放电发生在电容器上的电压超过电弧燃烧的最小电压即大于  $20\ \text{V}$  的情况下,它是一种电弧通道中温度约几千度的高密度的粒子流。

弧光放电,既可以由火花间隙击穿后发生火花放电形成,也可以由电极接触时局部过热引起触头材料熔化形成。

## 二、静电放电

我们知道,高阻绝缘体因摩擦、挤压等原因会产生静电电荷。这些电荷随着摩擦、挤压等过程的延续而积累起来,于是,在这些绝缘体上就会出现很高的电压,即静电电压,如果遇到合适的条件,就可能发生静电放电。

静电放电,是一种“无源”式放电,相对于有源网络的电气放电来说,放电能量要弱一些。

静电放电的能量与很多因素有关,例如,静电电压、积累的电荷量、绝缘体的形状、放电间隙、绝缘体上放电面积等。静电放电火花能够点燃爆炸性气体—空气混合物。实验指出,

球形电极与平面绝缘体之间的静电放电,在 2 500 V 时,点燃了氢气—空气爆炸性混合物。

### 三、碰撞与摩擦

一些固体在相互之间碰撞与摩擦时会产生一种火花,我们称之为机械火花。

“机械火花”被定义为一种由两个或多个固体发生碰撞或摩擦时,从固体上分离出来的微粒在碰撞或摩擦能量作用下发生燃烧的现象。

机械火花,在很多场合也被称作碰撞摩擦火花,是一种非电气放电,是由金属与金属、金属与岩石、岩石与岩石之间发生碰撞或摩擦而产生的火花。已经有很多文献记载,这种火花能够点燃爆炸性气体混合物。

在工业生产实践中,生产机械之间、生产机械与产品之间、生产机械与岩石之间常常发生碰撞和摩擦。在存在爆炸性气体混合物的生产现场中,由碰撞和摩擦而产生的机械火花点燃爆炸性气体混合物的可能性是比较大的。

### 四、固体热表面

固体热表面点燃可燃性气体—空气混合物,实际上就是所谓的“危险温度”的点燃。“危险温度”和电气火花、电弧一样,是爆炸性气体混合物的一种点燃源。

根据燃烧与爆炸的热理论可知,可燃性气体—空气混合物被“危险温度”点燃,可以分为两种方式:一种是可燃性气体—空气混合物被整个加热到某个温度时发生了燃烧;另一种是可燃性气体—空气混合物被具有某个温度的“点”点燃源所点燃,然后,燃烧在全部可燃性气体—空气混合物中继续蔓延下去。在测试时,发生可燃性气体燃烧时热表面的温度被称为这种可燃性气体的自燃温度。通常,人们也称这个自燃温度为可燃性气体的点燃温度。

固体热表面点燃可燃性气体—空气混合物的温度,比它的“自燃温度(点燃温度)”要高得多。这是因为固体热表面附近可燃性气体浓度特别低所造成的。可燃性气体在固体热表面上热能的作用下同这个表面上的表面物质发生了初始反应,消耗了一部分。另外,在初始阶段,固体热表面向可燃性气体传递了一部分热能,因而,它的温度也较低。因此,固体热表面必须具有更高的温度才能点燃它接触到的可燃性气体。

#### (1) 较大热表面的点燃

固体热表面点燃可燃性气体混合物的温度大小与很多因素有关。除可燃性气体的物理—化学性质外,例如,固体热表面的尺寸、材料、形状以及热表面同可燃性气体接触的时间和接触的速度等,都影响着这个点燃温度的大小,但是,没有发现其中的规律性。

有人用尺寸为 108 mm×12.7 mm×1.02 mm 的镍条加热后对天然气(甲烷 93.2%,乙烷 3.3%,高碳氢化合物和氮 1.5%)进行了点燃试验。试验发现,随着镍条宽度的减小,也就是散热面积的减小,点燃天然气的点燃温度增加了。同样尺寸、不同材料的其他金属条在不同的温度时点燃了同样浓度的天然气(图 1-1)。

试验发现,固体热表面在接触可燃性气体时有强烈的催化作用,这种作用将导致点燃温度增加。固体热表面接触可燃性气体的时间增长,点燃温度也将增高。

试验还发现,在固体热表面相等的情况下,表面积与体积比最小的物体具有最小的点燃温度。



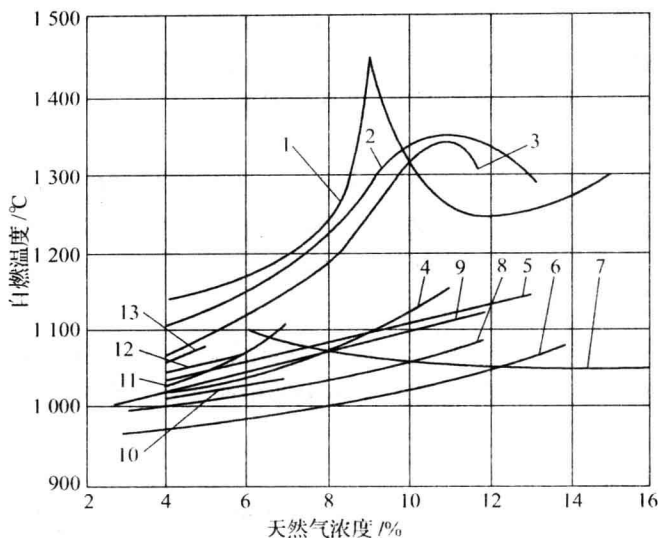


图 1-1 固体热表面的材料与点燃温度

1—白金;2—镍条(覆盖钯);3—镍条(覆盖白金);  
4—铜镍合金;5—钨;6—特种钢;7—铂;  
8—不锈钢;9—镍;10—钴铜;  
11—螺纹钢;12—铜;13—金

## (2) 炽热金属丝的点燃

炽热金属丝点燃爆炸性气体混合物,实质上,常常是指白炽灯丝对可燃性气体的点燃。

人们进行大量的试验研究后发现,白炽灯丝点燃可燃性气体混合物时存在一个最易点燃浓度,如表 1-3 所示。

表 1-3 白炽灯丝点燃可燃性气体的最易点燃浓度

| 可燃性气体 | 最易点燃浓度/%  |
|-------|-----------|
| 甲烷    | 5.5~6.0   |
| 乙炔    | 30~60     |
| 氢     | 10~15     |
| 丙烷—丁烷 | 2~4       |
| 乙醚    | 6~10      |
| 汽油    | 142(mg/L) |
| 二硫化碳  | 7.5       |

白炽灯丝点燃可燃性气体混合物,本质上是一种“火花”点燃,不是“温度”点燃。大家知道,白炽灯丝是在真空状态下被加到很高温度(大约 2000°C)而发光的。因为是真空,所以灯丝没有被氧化、燃烧。一旦灯泡破碎,高温的灯丝立即被氧化,在空气中形成火花。这样的火花常常点燃了可燃性气体混合物。

大功率的白炽灯丝,在灯泡破碎时可能没有完全被氧化、发光,此时,它的点燃仍是热表面的点燃。