

# 超细干粉灭火设备在涂装作业场所中的应用

宋文华<sup>1,2,3</sup>, 杨志舟<sup>1</sup>, 李子伟<sup>1</sup>, 伍东<sup>1</sup>, 苗欣<sup>1</sup>

(1. 天津理工大学 环境科学与安全工程学院, 天津 300191;

2. 上海交通大学 环境科学与工程学院, 上海 200030; 3. 天津工业大学 消防与安全工程研究所, 天津 300160)

**摘要:** 由于油漆和溶剂具有易燃易爆的特性, 涂装作业场所的火灾爆炸危险性很大, 一旦发生事故, 会造成巨大的财产损失和人员伤亡。针对此类场所火灾爆炸事故的特点, 对超细干粉灭火设备对此类场所火灾爆炸事故的控制能力进行了讨论, 并结合实例进行了超细干粉灭火设备在涂装作业场所应用的设计及计算。

**关键词:** 超细干粉; 涂装作业; 爆燃; 消防设计

**中图分类号:** X924, TU89 **文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-0029(2007)06-0661-04

## 1 前言

涂装是工业产品表面保护中所采取的最基本、最广泛和最有效的手段。但是, 在涂装作业过程中大量使用的挥发性溶剂、助剂和漆料都极易燃烧, 在涂装作业过程中这些溶剂和漆雾有相当大的部分以蒸气和小颗粒的形式散发在喷漆车间内。由于涂装生产线上的喷漆室大都为密闭型, 所以这些溶剂蒸气和漆雾很容易与空气混合达到爆炸极限, 一旦遇到明火或火花将会发生火灾爆炸事故, 后果非常严重。通过设置消防设备, 提高涂装作业场所的消防安全水平, 可预防重大火灾爆炸事故的发生, 减少财产损失和人员伤亡。

## 2 涂装作业工艺及火灾特征

涂装作业中使用的漆料一般是由基料、颜料和溶剂组成的。溶剂中的汽油、酒精、苯、二甲苯等组分的闪点都在 28℃ 以下, 极易燃烧。漆雾以及蒸发的溶剂和空气混合产生的爆炸性混合气体, 爆炸极限在 1.7%~15%。同时, 由于涂料溶剂都具有较大的绝缘性, 当它们流动、搅拌、分散以及喷射时, 涂料与器壁以及涂料分子之间相互急剧摩擦产生静电荷, 当静电积累到一定程度以后就会出现火花放电现象。若此时喷漆车间中的漆雾和溶剂的浓度在爆炸极限以内, 极易导致爆炸性混合气体的爆燃。另外, 喷漆生产线上电气设备局部过热或其它火焰也容易使浓度较大的油漆蒸汽燃烧和爆炸。相对于火灾来说, 爆燃产生的压力波的破坏性更大, 造成的危害也更严重, 应考虑在喷漆车间内具有爆燃危险的部位采取消防措施。

## 3 超细干粉及自动灭火装置

### 3.1 超细干粉灭火剂

超细干粉是指粒径小于 5 μm 甚至小于 0.5 μm 的干粉灭火剂。这种灭火剂比表面积大、活性高, 形成均匀分散、悬浮于空气中相对稳定的气溶胶, 受热分解速度快, 捕获自由基能力强, 灭火效能高, 是普通干粉灭火剂的几倍甚至几十倍。超细干粉与其它常用的灭火剂相比较具有三个显著特点: 一是适用范围广, 超细干粉多为 ABC 干粉, 适于扑救 A、B、C 类和带电设备火灾; 二是灭火速度快, 灭火效率高, 七氟丙烷的灭火时间达 10 s, 而超细干粉设备的灭火时间小于 1 s, 而且在所有灭火技术中, 超细干粉灭火剂的设计用量最少; 三是环保安全, 超细干粉对人体皮肤和呼吸道无刺激、无毒害, 对其他物质无污染、无腐蚀、易于清理, 对大气臭氧层耗减(O DP) 为 0, 温室效应潜能值(GWP) 为 0。

### 3.2 超细干粉自动灭火装置

超细干粉自动灭火装置是一种以超细干粉为主要灭火粒子, 通过温控或电控方式自动启动进行灭火的灭火装置。有的装置具有温控和电控两种启动方式, 当环境温度上升到一定值时能自动施放灭火剂, 还可以与手动按钮、火灾探测器、火灾报警控制器等配套使用。超细干粉自动灭火装置按系统组成分为管网式和无管网式, 按储存状态分为有压式和无压式。有压式一般用氮气作为推进剂, 平时把具有一定压力(多为 12 MPa)的氮气和粉体共同储存在密闭的压力容器中; 无压式平时为无压储存, 只有当接收到温控或电控信号时才突然产生压力, 将粉体推出进行灭火。

根据漆类火灾的特点和喷漆生产线的现场环境, 喷漆车间的消防设施可采用自动喷水灭火系统、细水雾灭火系统、卤代烷灭火系统或超细干粉灭火系统。卤代烷灭火系统灭火速度快, 灭火浓度低、无污染, 但具有一定的毒性, 价格较高, 并且由于其对大气臭氧层的破坏, 国际上已限制使用; 自动喷水灭火系统只有在火焰直接影响到喷头时才能开启喷头, 对于火灾发展迅速的喷漆车间火灾控制能力较弱, 且作为灭火介质的水对精度较高的喷漆设备有影响; 细水雾灭火系统可以扑救液体火灾, 灭火效率高, 用水量小, 水渍损失小,

但技术及设备还没有得到广泛的应用。超细干粉自动灭火装置的灭火剂与火焰接触时,灭火组分迅速捕捉并消耗燃烧链式反应中产生的自由基,使自由基很快耗尽,终止火灾的链式反应,迅速扑灭火灾。

#### 4 超细干粉灭火设备的设计

某自行车厂喷漆车间的喷漆作业主要集中于静电喷涂室、手工补漆室和修补台,是火灾爆炸危险性最大的部位,在对该喷漆车间进行超细干粉灭火装置用量和布置设计时,主要考虑这三个部位的设计。

##### 4.1 干粉用量计算

###### 4.1.1 静电喷涂室干粉用量计算

依据《脉冲干粉自动灭火装置配置设计及安装规范》(以下简称“规范”)的规定,脉冲自动干粉灭火可分为全淹没灭火和局部应用灭火。全淹没灭火适用于扑救封闭空间内的火灾,局部应用灭火适用于扑救非封闭空间的具体被保护对象。采用全淹没灭火形式的独立的防护区内,安装两个或两个以上的灭火装置时应设自动联动启动装置。防护区应符合下列条件:体积小于 $400\text{ m}^3$ ,流速小于 $3\text{ m/s}$ ;非密封度(封闭空间的非密封程度,为防护区内不能关闭的开口面积与防护区体积之比)小于 $1.5\%$ 时,应采用全淹没灭火形式。

在喷漆车间内,静电喷涂室是爆燃危险最大的部位,也具有全淹没灭火的条件。虽然静电喷涂室的非密封度大于 $1.5\%$ ,但是依据“规范”条文解释第5.1.1.2条中的描述,在对静电喷涂室进行脉冲干粉自动灭火装置的设计时,仍应采用全淹没灭火方式;由于手工补漆室和修补台是由人工进行操作的,采取全淹没灭火形式会对工作人员造成危险,故应采用局部应用灭火方式。

按照发生火灾的物质的不同,火灾大体可分为A、B、C、D四类,其中B类火灾为易燃可燃液体、易燃气体和油脂类火灾。该车间的火灾应属于B类火灾,故在计算的时候采用的设计喷射密度为 $0.13\text{ kg/m}^3$ 。

根据“规范”,全淹没灭火方式的干粉用量可用式(1)计算。

$$M=V\times Q\times K \quad (1)$$

式中: $M$ 为设计用量, $\text{kg}$ ; $V$ 为防护区的体积, $\text{m}^3$ ; $Q$ 为设计喷射密度(设计喷射强度), $\text{kg/m}^3$ ; $K=k_1\times k_2\times k_3$ ( $k_1$ 为灭火装置配置场所的危险等级调节系数,严重危险等级 $k_1=1.2$ ,中危险等级 $k_1=1.1$ ,轻危险等级 $k_1=1.0$ ; $k_2$ 为遮蔽调节系数,当 $S_z/S\leq 0.15$ 时, $k_2=1+1.33\times S_z/S$ , $k_2\leq 1.2$ ;当 $S_z/S>0.15$ 时,遮蔽物体两侧应按两防护区分别计算灭火干粉用量, $k_2=1$ ; $S_z$ 为设备遮住面积, $\text{m}^2$ ; $S$ 为防护区面积, $\text{m}^2$ ; $k_3$ 为封闭空

间非密封度, $k_3=1.1$ )。

该车间静电喷涂室保护区体积为 $33.40\text{ m}^3$ ,保护区面积为 $11.52\text{ m}^2$ ,保护区高度为 $2.9\text{ m}$ ,设计喷射强度取 $0.13\text{ kg/m}^3$ 。由于该车间的火灾后果严重,故取 $k_1=1.2$ ;由于该静电喷涂室基本没有遮挡物,因而 $S_z/S\approx 0$ ,故取 $k_2=1$ ;依据规范, $k_3=1.1$ 。因而, $K=k_1\times k_2\times k_3=1.32$ 。综上可计算出静电喷涂室的全淹没干粉用量为 $5.73\text{ kg}$ 。

###### 4.1.2 手工补漆室干粉用量计算

根据“规范”第5.1.2.3条的规定,局部灭火干粉用量采用局部防护体积法进行计算,计算公式与全淹没方式相同。

补漆室实际体积为 $11\text{ m}^3$ ,最大保护体积为 $18\text{ m}^3$ ,要求保护区高度小于 $3\text{ m}$ 。但是依据“规范”,进行局部防护计算时,防护区计算体积应比其实际体积大 $15\%$ ,故补漆室的计算体积 $V=11\times(1+15\%)=12.65\text{ m}^3$ ;补漆室的火灾危险等级较大,故取 $k_1=1.1$ ;由于该室基本没有遮挡物, $S_z/S\approx 0$ ,故取 $k_2=1$ ;依据“规范”规定, $k_3=1.1$ 。因而, $K=k_1\times k_2\times k_3=1.21$ 。综上可计算出补漆室的局部淹没干粉用量 $M=1.99\text{ kg}$ 。

###### 4.1.3 修补台干粉用量计算

修补台的主要工作是对各个喷漆工序中产生的有缺陷的产品进行修补,采用局部淹没灭火方式。

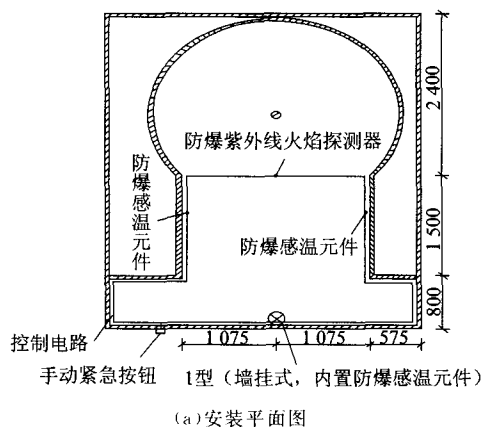
修补台保护区体积为 $7.14\text{ m}^3$ ,保护区面积为 $2.8\text{ m}^2$ ,保护区高度为 $2.55\text{ m}$ ,计算体积 $V=7.14\times(1+15\%)=8.21\text{ m}^3$ ;其它计算参数均与补漆室相同,可计算出修补台的局部淹没干粉用量 $M=1.29\text{ kg}$ 。

#### 4.2 超细干粉灭火设备的选择

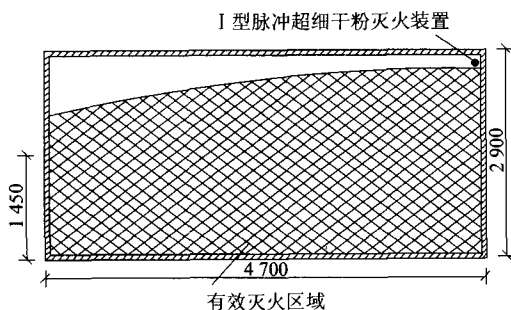
某公司生产的1型脉冲干粉自动灭火装置内装有灭火干粉、气体发生剂和电活化剂。当其动作时,壳内气体迅速膨胀、压力增大,将底部外壳冲破,喷出干粉,超细干粉迅速向四周弥漫,形成淹没式灭火状态,火焰在超细干粉连续的物理、化学作用下被扑灭。

该装置采用天花板固定,最大安装高度为 $3.5\text{ m}$ ,自动启动温度为 $70\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ ,干粉质量为 $7.0\pm 0.5\text{ kg}$ ,有效喷射时间 $\leq 1\text{ s}$ ,使用的环境温度为 $-50\sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ ,使用期为 $5\text{ a}$ 。对B类火灾的最大保护面积为 $21\text{ m}^2$ ,最大保护体积为 $42\text{ m}^3$ 。因此1台脉冲干粉自动灭火装置即可以对静电喷涂室的火灾或爆燃起到及时有效的扑灭作用,该装置对于防护区体积、防护区面积、保护高度以及干粉用量等指标,都是符合要求的。

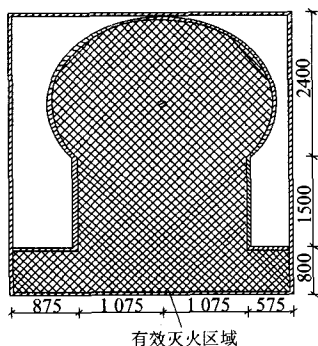
图1为静电喷涂室超细干粉设备安装示意图和干粉作用区域图。其中,(a)为安装平面示意图,(b)和(c)分别为干粉作用区域剖面图与平面图。



(a) 安装平面图



(b) 干粉作用区域剖面图



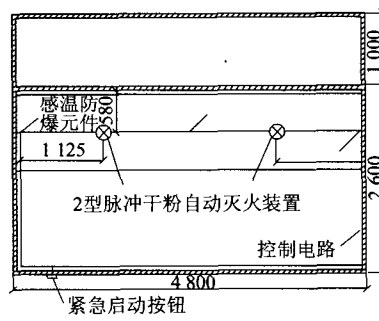
(c) 干粉作用区域平面图

图1 静电喷涂室超细干粉灭火装置安装示意图及干粉作用区域图

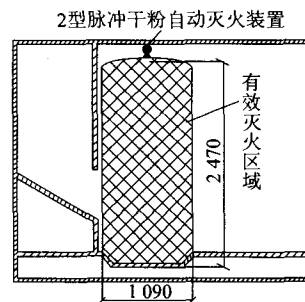
该公司生产的2型脉冲干粉自动灭火装置扑救B类火灾时,安装高度要求 $\leq 3 \pm 0.5$  m,每台装置的干粉质量为 $1.95 \pm 0.05$  kg,自动启动温度 $85 \pm 5$  °C,电启动时间 $\leq 2$  s,喷射时间 $\leq 5$  s,使用的环境温度为 $-50 \sim 50$  °C,使用期为5 a。由于补漆室和修补台进行喷漆作业的强度较小,产生的溶剂蒸气和漆雾的浓度也较小,因而在这两个部位发生的火灾事故主要以火灾为主,根据“规范”计算出的干粉用量和2型装置的干粉质量,在补漆室和修补台分别设置2台和1台2型装置可满足要求。

图2为补漆室超细干粉灭火装置安装示意图和干粉作用区域图。其中,(a)为安装平面示意图,(b)和(c)分别为干粉作用区域剖面图与平面图。

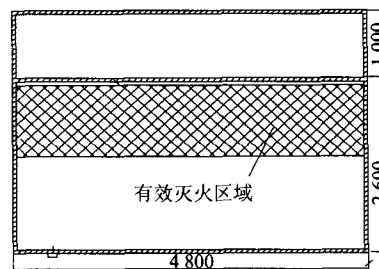
图3为修补台超细干粉灭火装置安装示意图和干粉作用区域图。其中,(a)为安装平面示意图,(b)和(c)分别为干粉作用区域剖面图与平面图。



(a) 安装平面图



(b) 干粉作用区域剖面图



(c) 干粉作用区域平面图

图2 补漆室超细干粉灭火装置安装示意图及干粉作用区域图

#### 4.3 探测装置选择

油漆类火灾发生时,无阴燃阶段,发展迅速并伴有强烈的热辐射。因此,探测器应当反应迅速,响应时间短,而且探测信号要准确可靠。同时,由于喷漆车间具有爆燃危险,所以探测器还应具有一定的防爆能力。常见的离子型和光电型感烟火灾报警系统探测巡检时间均在10 s以内,不能及时探测出喷漆车间的火灾爆炸现象。目前,反应较快的为火焰探测器,紫外线火焰探测器可以接受波长为 $0.185 \sim 0.245$   $\mu\text{m}$ 的紫外线,对火灾响应速度快(可以在40 ms以内,最快可以达到12 ms),对日光辐射和绝大多数人工照明辐射不响应,并可带自检机构,可以现场调整其灵敏度和响应时间,具有很大的灵活性。因此,防爆型紫外线火焰探测器和防爆型点式感温探测器联合使用,是对喷漆车间火灾进

行探测的最佳方案,既可以探测火焰的辐射,又可以探测温度的变化,对喷漆车间的爆燃能够做到及时反应。

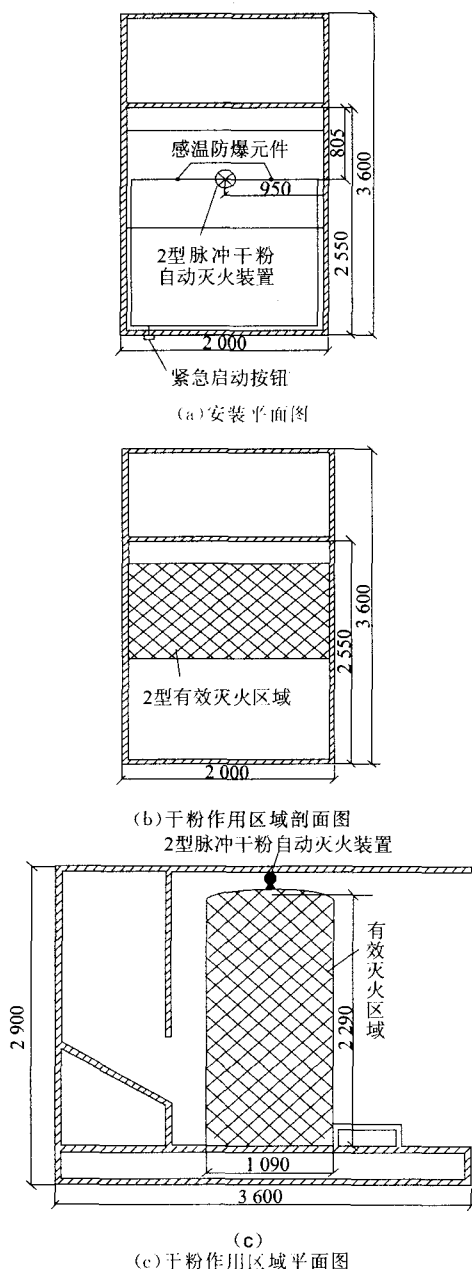


图3 修补台超细干粉灭火装置安装示意图及干粉作用区域图

考虑到补漆室、修补台与静电喷涂室的火灾危险和类型有所不同,可能发生的事故以火灾为主,因此选用防爆型感温探测器。

《火灾自动报警设计规范》中规定:“在散发可燃气体和可燃蒸气的场所,宜选用可燃气体探测器”。由于油漆中溶剂挥发的可燃气体混于空气中,其主要成分是二甲苯,它的密度比空气大,主要聚集在靠近地坪的部位。所以,喷漆生产线上的所有部位,尤其是流平间和烘干室都应设置可燃气体探测器,且安装在距地坪

0.3 m 以下的高度。

#### 4.4 消防联动控制

消防联动设备是火灾自动报警系统的执行部件,消防控制室接到火警信息后应能自动或手动启动相应的消防联动设备。火灾发生时,火灾报警控制器发出报警信息,消防联动控制器接受报警信息并发出联动信号,启动相关的消防设备实施灭火。火灾探测器报警以后,为了更好地实现灭火效果,防止火灾蔓延,火灾报警经确认后,控制器应实现以下联动功能:(1)切断防护区内的排风机电源;(2)切断烘干炉的电源和热源;(3)停止工件运送轨道的运转。

#### 5 结束语

(1)针对涂装作业场所的火灾爆炸事故的特点,笔者从消防设计的角度进行了分析,并结合实际情况讨论了超细干粉灭火设备在此类场所的适用性,提出了消防安全方案。

(2)超细干粉灭火剂是目前干粉灭火领域的研究热点,其灭火能力已得到认可。但是由于其颗粒直径很小,在类似喷漆车间有人作业的场所应用时是否会对现场人员产生毒害作用,是一个值得研究的问题。

#### 参考文献:

- [1] 周建平. 我国涂装危害现状与国外差距及对策[J]. 劳动保护, 2000, (6): 52-53.
- [2] DB12/T217-2005, 脉冲干粉自动灭火装置配置设计及安装规范[S].
- [3] 戴漫. 涂装车间有关消防问题的探讨与对策[J]. 材料保护, 2001, 34(12): 55-56.
- [4] 杨琦, 米秋林, 邓强. 脉冲超细干粉灭火技术在建筑防火设计中的应用[J]. 消防科学与技术, 2005, 24(4): 508-510.

### Application of ultra-fine dry powder extinguishing device on industrial coating workshop

SONG Wen-hua<sup>1,2,3</sup>, YANG Zhi-zhou<sup>1</sup>,  
LI Xiao-wei<sup>1</sup>, WU Dong<sup>1</sup>, MIAO Xin<sup>1</sup>

(1. School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300191, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China; 3. Fire and Safety Engineering Research Institute, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

**Abstract:** Because of the flammable characteristics of the paints and solvents that used in industrial coating workshops, those places are at large risk of fire and explosion hazard. Moreover,

# IG541 气体灭火系统工程设计计算

卢红祥<sup>1</sup>, 邓红<sup>2</sup>, 俞颖飞<sup>3</sup>, 周华<sup>1</sup>

(1. 浙江大学 流体传动及控制国家重点实验室, 浙江 杭州 310027;

2. 浙江信达可恩消防实业有限责任公司, 浙江 杭州 310014; 3. 浙江省消防总队, 浙江 杭州 310014)

**摘要:**针对目前IG541灭火系统通常采用“中期压力”和设计流量进行管网的设计计算,分析了这种设计计算方法存在的问题,提出了动态设计计算方法,实时计算IG541系统管网内的压力和流量,以达到准确、全面进行系统设计计算的目的。设计并建立了IG541管道配件当量长度测量系统和IG541气体灭火实验系统。

**关键词:**IG541灭火系统;管网计算;当量长度;灭火实验

**中图分类号:**X924, TU89 **文献标识码:**B

**文章编号:**1009-0029(2007)06-0665-04

## 1 前言

IG541灭火系统具有环保、高效的特点,近几年在消防行业中得到了广泛的应用。IG541灭火系统的工程应用需要进行科学、准确的水力设计计算,才能确保系统灭火的可靠性,而系统管网设计计算方法作为核心技术,成为消防领域攻关的目标。目前对于IG541灭火系统工程设计计算进行的研究,已经取得了很多研究成果。中华人民共和国建设部、国家质量技术监督检验检疫总局,于2006年3月联合发布了有关IG541灭火系统的设计规范,即《气体灭火系统设计规范》(GB 50370-2005)(以下简称《设计规范》),对我国IG541灭火系统的设计、施工以及工程验收提供了统一、规范的依据,促进此项灭火技术的应用和发展。

《设计规范》首次给出了IG541系统管网设计计算方法,采用“中期压力”(以释放95%的设计灭火剂用量的一半时,减压孔板前的压力)和各管道设计流量进行各管道内气流压力损失的计算,依次计算出各喷嘴处的气体压力,然后确定各喷嘴的型号。依照这种设计

计算方法,无法计算出IG541气体具体的喷放时间以及各防护空间的实际灭火剂体积分数。这是因为各防护空间的设计浓度须在60s内达到设计浓度的95%,对于有人在的防护空间,其灭火剂体积分数必须小于43.5%,否则会使人窒息,威胁到人的生命安全。

浙江信达可恩消防实业有限责任公司委托浙江大学开展了对IG541系统工程设计计算的研究。在设计计算方法上,采用动态设计计算方法,实时计算管网内各节点气体的压力和流量、喷嘴的型号、IG541气体喷放时间、各防护空间气体实际喷放量等参数,并建立了IG541灭火试验室和实验系统,对IG541系统的设计计算做全面的实验研究。

## 2 IG541管网设计计算方法

### 2.1 研究现状及存在问题

根据ISO/CD/14520-1《气体灭火系统——物理性能及系统设计》第3.3条第3.3.4.2款“非液化气体”中规定:流量计算基于释放过程中储存钢瓶的平均压力,同时考虑钢瓶的充装压力及管道内总的灭火药剂容量相对于钢瓶容积的百分数。其设计思想是将一个动态变化的问题静态化处理,以压力和流量的平均值进行管网的设计计算。这种设计计算在理论上是科学的,但在实际应用中,存在着灭火剂在喷射过程中各管道的平均压力和平均流量如何确定问题。

目前,比较流行的管网设计计算方法是以《气体灭火系统——物理性能及系统设计》为指导,借鉴其它气体灭火系统的设计计算方法,以灭火剂喷出50%时(通常为中期状态下),减压孔板上游端气体压力作为管网

if such incident has occurred, it would cause a huge loss of property and personnel. In this paper, the capability of ultra-fine dry powder extinguishing device to control the fire and explosion accident of industrial coating workshop has been discussed based on the characteristics of fire and explosion accident of such industrial workshop, and has made an application example by use the ultra-fine dry powder extinguishing device in the fire protection design of a industrial coating workshop.

**Key words:** ultra-fine dry powder; coating plants; deflagration; fire protection design

作者简介:宋文华(1964—),天津理工大学环境科学与安全工程学院教授,博士生导师,博士,主要从事环境科学、环境管理与风险评价、安全技术及工程和消防工程等领域的研究,天津市南开区红旗南路,300191。

收稿日期:2007-05-16