

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.22.024

# 综合管廊超细干粉自动灭火系统设计探讨

张晏晏, 曹伟新, 陆继诚, 许嘉炯, 张曦明  
(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 超细干粉自动灭火装置是一种较为主流的综合管廊消防设施。国家标准未有针对超细干粉自动灭火系统的规定,而各地方标准的参数选择差距较大,因此在用于综合管廊时,超细干粉灭火系统的设计原则和细节参数无法达成广泛一致。针对上述问题,对比国家标准和各地方标准,认为在综合管廊中,超细干粉系统宜采用全淹没式超细干粉自动灭火系统;计算综合管廊超细干粉灭火剂用量时,可采用灭火剂用量=灭火剂设计浓度×容积×补偿系数的计算方法,危险等级可定义为中危险级;设计浓度和其他设计参数的选取应根据地方标准选择。

**关键词:** 综合管廊; 超细干粉灭火系统; 全淹没灭火系统

**中图分类号:** TU998.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)22-0136-05

## Discussion on Design of Ultra-fine Dry Powder Automatic Fire Extinguishing System in Utility Tunnel

ZHANG Yan-yan, CAO Wei-xin, LU Ji-cheng, XU Jia-jiong, ZHANG Xi-ming  
(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Ultra-fine dry powder fire extinguishing systems are popular fire-fighting facilities in utility tunnel now. However, the provisions of the national standard were not carried out, and the local standard parameters were quite different. So it was impossible to reach the widespread agreement on the design principles and detailed parameters for ultra-fine dry powder system fire extinguishing system in the utility tunnel. In view of these problems, with comparison of the national standards and local standards, it was considered that in utility tunnel, the ultra-fine dry powder systems should adopt fully submerged ultra-fine dry powder automatic fire extinguishing system. When calculating the dosage of ultra-fine dry powder extinguishing agent, the method of calculating dosage = the design concentration × volume × compensation coefficient could be used. Hazard level should be defined as medium hazard level. The selection of design concentration and other parameters should be based on local standards.

**Key words:** utility tunnel; ultra-fine dry powder fire extinguishing system; fully submerged extinguishing system

### 1 研究背景

超细干粉灭火系统是一种相对较新的灭火装置,已在综合管廊中被广泛应用。超细干粉是干粉

灭火剂的一种,是指粒径极细的无机灭火粒子,如聚磷酸铵(APP)、磷酸二氢铵( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ )、碳酸氢钠( $\text{NaHCO}_3$ )等分散在气体中形成的胶体灭火剂<sup>[1]</sup>。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0802400); 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司科研专项(K2017K027A)

90% 灭火剂粒子粒径在 20  $\mu\text{m}$  以下的固体粉末灭火剂为超细干粉灭火剂<sup>[2]</sup>。因此,超细干粉比普通干粉灭火剂有更小的颗粒。

然而国家标准对于超细干粉本身的设计、施工和验收的针对性不强。超细干粉规范数量多,修编年限不同,详细程度有较大的差异,详见表 1。

表 1 现有部分超细干粉灭火系统设计规范

Tab. 1 Existing design codes for ultra-fine dry powder fire extinguishing system

名 称	地域	标准号
《干粉灭火系统设计规范》	全国	GB 50347—2004
《超细干粉灭火系统设计、施工及验收规范》	山东省	DB 37/T 1317—2009
《超细干粉无管网灭火系统设计、施工及验收标准》	湖北省	DB 42/294—2004
《超细干粉自动灭火装置设计、施工及验收规范》	福建省	DB 35/T 1153—2011
《超细干粉灭火系统设计、安装与验收规程》	江苏省	DGJ 32/TJ 80—2009

因此,超细干粉虽已大规模运用于综合管廊消防,但在一些相对原则性的问题,比如灭火方式的选择和计算方法及许多细节参数选择上有较大的争议,无法达成一致。

值得注意的是,超细干粉和普通干粉的灭火性能差距很大。超细干粉灭火系统设计和干粉灭火系统设计原则及参数选取方法的相似度不高。《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004)中部分条款并不适用于超细干粉灭火系统设计。

为此,结合国家标准和各地方标准,通过对比研究,阐述综合管廊中超细干粉合理的灭火方式,讨论现有的设计参数,以期给出设计参数选择原则。

## 2 灭火方式的选择

超细干粉灭火系统可分为管网灭火系统及无管网灭火系统。两种灭火系统又可各自分为全淹没灭火系统以及局部应用灭火系统。

由于综合管廊内相关电力及控制电缆较多,空间不足,干粉管网灭火系统灵活性较差,很少运用于综合管廊之中。因此超细干粉灭火系统在管廊中的运用大多为无管网灭火系统。但是超细干粉在管廊中采用全淹没灭火系统还是局部应用灭火系统,一直存在较大的争议。

《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004)有强制性条文规定,局部应用灭火系统时在喷头和

保护对象之间、喷头喷射角范围内不应有遮挡物。而综合管廊本就是管线布置较为密集的市政设施,管线与管线之间距离较近,且管线下有支架支撑。若采用局部应用灭火系统,很难保证其喷射角范围无遮挡物的要求。因此,若采用局部应用灭火系统,无法满足部分强制性条文要求。

《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004)中有关全淹没灭火系统防护区的应用规定:综合管廊中没有设置在地面的开口,而一般的开口如人孔、投料口等在平时均为关闭的状态,通风口是其唯一不能自动关闭的开口,但一般通风口开口面积占防护区总内表面积不到 15%,因此该比例符合全淹没灭火系统要求;根据综合管廊的普遍设计要求,其钢筋混凝土结构设计耐火极限不应低于 1 h,符合超细干粉全淹没灭火系统要求的“防护区的围护节后及门、窗的耐火极限不应小于 0.5 h,吊顶的耐火极限不应小于 0.25 h”的规定。故在综合管廊使用超细干粉灭火设施,可满足国标中强制性条文的规定。

综合表 1 的地方标准可知,关于防护区大小的规定,各地标准均达成了一致,认为保护的独立防护区的面积不宜大于 500  $\text{m}^2$ ,净保护空间不宜大于 2 000  $\text{m}^3$ 。以一个标准综合管廊 200 m 防火区间为例,一般综合舱宽度最少 2.5 m,高度最少为 3 m,则防护区面积为 500  $\text{m}^2$ ,空间为 1 500  $\text{m}^3$ ,可见正常大小断面的管廊可以采用全淹没超细干粉灭火系统。由于此规定非强制性条文,因此管廊中断面较大或者长度稍长的特殊防火区间也可考虑采用全淹没超细干粉灭火系统。

设计超细干粉布置形式时,会考虑一字型布置,管廊作为狭长空间,其均匀程度也可以得到保证。福建、江苏等地方规范中要求,采用全淹没灭火方式的完全密封防护区需设置泄压口,目前设计的综合管廊中并未设置泄压口,但考虑到综合管廊并非完全密封的空间,因此不设泄压口也可以采用全淹没的灭火方式。

根据以上分析可知,综合管廊内可以采用全淹没式超细干粉自动灭火系统。

## 3 设计参数及计算方法探讨

### 3.1 危险等级确定

根据各地方规范,灭火系统配置场所的危险等级划分宜按《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)和《建筑灭火器配置设计规范》(GB 50140—

2005)的规定执行。综合管廊内通常只有在有电力电缆的舱室设置自动灭火装置,根据《建筑灭火器配置设计规范》(GB 50140—2005)附录 C 中的危险等级举例,其保护对象为电力电缆,类似于“油浸变压器室和高、低压配电室”,因此可定义为中危险级。

### 3.2 设计公式和方法

各地方标准的超细干粉灭火剂用量计算与国标的干粉计算方法并不完全相同。

根据《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004),全淹没灭火系统超细干粉灭火剂计算如下:

$$m = C \times V + \sum (K_{oi} \times A_{oi}) \quad (1)$$

$$V = V_v - V_g + V_z \quad (2)$$

$$V_z = Q_z \times t \quad (3)$$

式中  $m$ ——超细干粉灭火剂设计用量,kg

$C$ ——超细干粉灭火剂设计灭火浓度,kg/m<sup>3</sup>

$V$ ——防护区的净容积,m<sup>3</sup>

$K_{oi}$ ——开口补偿系数,kg/m<sup>2</sup>,根据防护区开口面积与总表面积比值确定

$A_{oi}$ ——不能自动关闭的防护区开口面积,m<sup>2</sup>

$V_g$ ——防护区内不燃烧体和难燃烧体的总体积,m<sup>3</sup>

$V_v$ ——防护区容积,m<sup>3</sup>

$V_z$ ——不能切断的通风系统的附加体积,m<sup>3</sup>

$Q_z$ ——通风流量,m<sup>3</sup>/s

$t$ ——干粉喷射时间,s

表 1 中各地方标准超细干粉灭火剂的计算公式均不相同,但计算基本理念相对一致,均为灭火剂设计浓度×容积×补偿系数。

由于国家标准与地方标准计算公式和方法上的差异,建议可以首先考虑各地方标准的公式进行设计用量的计算。如该地区并无地方标准,可以参考国标中的公式进行用量计算,或采用超细干粉厂商提供的计算公式进行灭火剂使用量的计算。

#### ① 灭火浓度的选取

一般认为干粉灭火剂的灭火效率随着粒径的减小而提高,扑灭相同强度火焰灭火剂的量也随之减少<sup>[3]</sup>。有研究表明,在实验室条件下,相同浓度超细干粉的灭火能力是普通干粉的 6~10 倍<sup>[4]</sup>。因此,超细干粉相对干粉而言,更小的灭火设计浓度即可以达到同样的灭火效果。

在综合管廊超细干粉灭火系统设计中,表 2 列举了部分地方标准的灭火浓度和设计浓度的参数。

可见,各地设计浓度差别较大,灭火剂设计浓度的选取最小为  $0.06 \times 1.2 = 0.072 \text{ kg/m}^3$  (江苏省),最大为  $0.65 \text{ kg/m}^3$  (国标)。国标中干粉灭火系统和大部分地方标准超细干粉灭火系统设计浓度的差距可达 6~10 倍,其差距值与文献<sup>[4]</sup>所述两者在实验室条件下的灭火能力区别一致。可见大部分地方标准编写时,考虑到现有研究成果,选用的超细干粉灭火设计浓度比国标小。

表 2 灭火剂最小灭火浓度

Tab. 2 Minimum extinguishing concentration of fire extinguisher agent

地域	标准号	灭火浓度	设计浓度
全国	GB 50347—2004		不得小于 $0.65 \text{ kg/m}^3$
山东省	DB 37/T 1317—2009	国家法定检验机构出具的生产厂家灭火剂灭火效能有效注册数据	不应小于最小灭火浓度的 1.2 倍
湖北省	DB 42/294—2004	全淹没: $0.065 \text{ kg/m}^3$	一般防护区不应小于最小灭火浓度的 1.2 倍;图书、档案和文物等易复燃场所,不应小于最小灭火浓度的 1.5 倍
福建省	DB 35/T 1153—2011		全淹没: 其他防护区 $\geq 0.12 \text{ kg/m}^3$ 图书、档案、文物等易复燃场所 $\geq 0.15 \text{ kg/m}^3$ 石油、液化气等易燃易爆场所 $\geq 0.15 \text{ kg/m}^3$
江苏省	DGJ 32/TJ 80—2009	全淹没: $0.06 \text{ kg/m}^3$ (根据某品牌超细干粉实验认证,详见地标 4.1.1 条文解释)	不应小于最小灭火浓度的 1.2 倍

不同地标中超细干粉的灭火设计浓度差距很大,可以达到 1.6 倍之多。根据条文解释,只有江苏省地方标准明确指出其最小灭火浓度仅根据某单一

品牌厂家实验数据所得,而其他地方标准的灭火浓度并没有说明依据。由此可见,具体灭火浓度的确定除需要满足各地的地方标准外,还应根据生产厂



家灭火剂灭火效能确定。因此,在超细干粉自动灭火系统设计后,招标完成时,还应根据建设方具体订购的产品重新进行二次设计。

## ② 容积的选取

对比超细干粉的地方规范的容积取值,容积可以选取为排除防护区的不燃烧体和难燃烧体的总体积后的净容积,也可以为防护区总容积。

对于综合管廊而言,超细干粉灭火系统主要运用于综合舱及电力舱中,阻燃的电力电缆是主要的不燃烧体和难燃烧体,考虑到支架、走道及其他设施所占空间,其总容积占防护区空间总体积不大。为方便计算,同时增加超细干粉系统的可靠度,建议在综合管廊超细干粉系统计算中只要将防火区的总体积值代入公式中即可。

## ③ 补偿系数的选取

补偿系数主要有三种:危险等级补偿系数、不密封度补偿系数、不均匀补偿系数。根据公式可知,计算灭火剂时采用补偿系数越多,则灭火剂用量越大,系统的设计就越保守,但安全性也越高。

部分国标及地方标准中需要采用配置场所危险等级补偿系数、不密封度补偿系数、不均匀补偿系数,系数的选取见表3~5。

表3 配置场所危险等级补偿系数

Tab.3 Compensation coefficient of hazard level in distribution places

地域	标准号	严重危险级	中危险级	轻危险级
全国	GB 50347—2004	—	—	—
山东省	DB 37/T 1317—2009	1.5	1.1	1
湖北省	DB 42/294—2004	—	—	—
福建省	DB 35/T 1153—2011	2	1.5	1.2
江苏省	DGJ 32/TJ 80—2009	1.5	1.1	1.0

表4 无管网灭火系统防护区不密封度补偿系数

Tab.4 Compensation coefficient of unsealed degree of protected space for pipeless fire extinguishing system

地域	标准号	不密封度 $\varphi$		
		$\varphi \leq 5\%$	$5\% < \varphi < 10\%$	$10\% < \varphi \leq 15\%$
全国	GB 50347—2004	—	—	—
山东省	DB 37/T 1317—2009	$\geq 1.1$	$\geq 1.2$	$\geq 1.3$
湖北省	DB 42/294—2004	—	—	—
福建省	DB 35/T 1153—2011	1.1	1.3	1.5
江苏省	DGJ 32/TJ 80—2009	1.0	1.1	1.2

表5 超细干粉灭火装置喷射不均匀补偿系数

Tab.5 Compensation coefficient of non-uniformity injection of ultra-fine dry power fire distinguishing device

地域	标准号	贮压悬挂式	非贮压悬挂式
全国	GB 50347—2004	—	—
山东省	DB 37/T 1317—2009	$\geq 1.0$	$\geq 1.5$
湖北省	DB 42/294—2004	—	—
福建省	DB 35/T 1153—2011	—	—
江苏省	DGJ 32/TJ 80—2009	1.0	2.0

可见,在不同地区建设的综合管廊,中危险级的危险等级补偿系数可取1.1~1.5;综合管廊的不密封度 $\varphi$ 为 $5\% < \varphi < 10\%$ ,不密封度补偿系数一般取1.1~1.3;综合管廊如采用贮压悬挂式的超细干粉灭火装置,不均匀补偿系数可以考虑选用1.0。

根据标准的条文解释,确定上述补偿系数时,除了江苏省地方标准中不密封度补偿系数有实验支持外,其他规范均缺乏说明。

根据上述论述可知,灭火剂最小灭火浓度可取 $0.072 \text{ kg/m}^3$ ;容积数值可选用防火区的总体积;在不同地区建设的综合管廊,危险等级补偿系数应根据中危险级选取,不密封度补偿系数根据 $5\% < \varphi < 10\%$ 选取,不均匀补偿系数根据贮压悬挂式选取。

## 3.3 充装量的选取

通过调查,目前市场上单具悬挂式灭火装置超细干粉额定充装量一般为2~8 kg/个。根据对市场某品牌超细干粉充装量进行调查,其充装量和各参数的关系见表6。

表6 某品牌超细干粉不同充装量安装尺寸

Tab.6 Installation size of the devices with different filling quantity

干粉剂量/kg	2	3	4	5	6	7	8
工作压力/MPa	1.2						
有效喷射时间/s	$\leq 5$						
灭火时间/s	$\leq 20$						
全淹没保护空间/ $\text{m}^3$	$\leq 20$	$\leq 30$	$\leq 40$	$\leq 55$	$\leq 55$	$\leq 55$	$\leq 85$
A类火保护面积/ $\text{m}^2$	1.4	1.6	1.8	2	2	2	2.2
B类火保护面积/ $\text{m}^2$	1.6	1.8	2	2.2	2.2	2.2	2.4
安装高度/m	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3.5$	$\leq 4$	$\leq 4.5$	$\leq 5$	$\leq 6$
保护半径/m	1	1.5	1.5	1.7	2	2	2.5

以表6的某品牌超细干粉为例,目前在选择设备充装量时需要注意以下问题:

① 选择充装量的第一限制因素为安装高度。由于综合管廊本身是为了满足管线集约化布置的需求,综合管廊内的净高一般不会小于3.5 m,否则综

合管廊的建造性价比降低。因此,应尽可能选择充装量较大的超细干粉装置,设计过程中应提前咨询相关厂家,以减少后期招标过程中由于安装高度不满足产品使用要求而导致的设计变更和相关费用变化,并应在说明中写明安装高度等相关技术要求,防止安装高度的问题带来的管廊消防安全隐患。

② 在设计过程中,应进行保护面积及保护空间或者其他相关空间尺寸的复核。

③ 选择设备充装量时,尤其是较大设备充装量时,应重点关注超细干粉装置的保护半径要求,并在设计和招标完成后确认设计时的安装距离满足相关设备保护半径的要求。

#### 4 其他布置要求

超细干粉自动灭火装置现场安装时如遇见通风口、投料口处、其他设备等,应自行避开孔洞、其他设备,往电缆放置侧安装,且离桥架边缘至少 300 ~ 400 mm,不影响喷撒效果。

#### 5 结语

① 超细干粉和普通干粉灭火装置有较大的区别。设计、施工和验收国家标准和各地地方标准不同,在综合管廊内的应用应因地制宜。

② 综合管廊内采用超细干粉自动灭火系统时,应根据全淹没灭火系统设计。

③ 综合管廊内的危险等级可定义为中危险级。灭火剂的设计计算和设计浓度的选取应首先根据地方标准选择,招标完成后应根据具体安装的设备复核已选取的灭火浓度是否满足设备灭火要求。进行超细干粉设备选型时,应考虑复核各设备的安装尺寸。

#### 参考文献:

- [1] 周文英,吕晓东,胡新赞,等. 超细干粉灭火剂研究进展[J]. 消防技术与产品信息,2016(3):14-20.

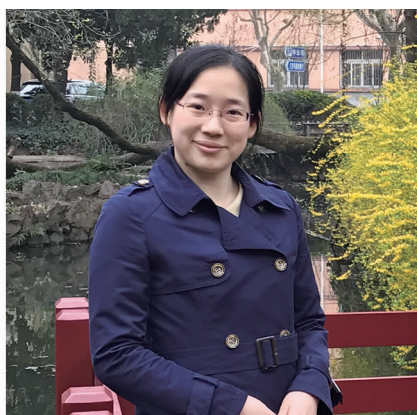
Zhou Wenying, Lü Xiaodong, Hu Xinzan, *et al.* Research progress of powder extinguishing systems [J]. Fire Technique and Products Information, 2016(3): 14-20 (in Chinese).

- [2] GA 578—2005, 超细干粉灭火剂[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

GA 578 - 2005, Super Fine Powder Fire Extinguishing Agent[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005 (in Chinese).

- [3] Chelliah H K, Lazzarini A K, Wanigarathne P C, *et al.* Comparison of the fire suppression effectiveness of sodium bicarbonate particles and fine-water droplets in non-premixed and premixed flames [EB/OL]. <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire01/PDF/f01111.pdf>, 2007-01-10.

- [4] Chattaway A, Dunster R G, Gall R, *et al.* The evaluation of non-pyrotechnically generated aerosols as fire suppressants [EB/OL]. <http://www.bfrl.nist.gov/866/HOTWC/HOTWC2006/pubs/R0000245.pdf>, 2007-01-10.



作者简介:张晏晏(1989-),女,江苏海门人,硕士,工程师,研究方向为水处理技术。

E-mail: zyy\_121@163.com

收稿日期:2019-09-10