

设计经验

## 深圳前海合作区综合管廊自动灭火系统比选

朱安邦<sup>1</sup>, 刘应明<sup>1</sup>, 汪叶萍<sup>2</sup>

(1. 深圳市城市规划设计研究院有限公司, 广东 深圳 518028; 2. 中国城市规划设计研究院  
深圳分院, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)规定,“干线综合管廊中容纳电力电缆的舱室;支线管廊中容纳6根及以上电力电缆的舱室应设置自动灭火系统;其他容纳电力电缆的舱室宜设置自动灭火系统”。目前国内综合管廊设置的自动灭火方式有水喷雾、细水雾、超细干粉、气溶胶等多种方式,但各种方式都有其限制条件和优缺点,综合管廊内的自动灭火方式的选择是行业内争议较大的问题之一。在对几类自动灭火方式进行应用比较基础上,总结了各类自动灭火系统的设计要点,并结合深圳前海合作区综合管廊的实际情况,通过对比分析,认为全域采用高压细水雾自动灭火系统,在后期运营、使用性能及造价费用等方面更具有优势。

**关键词:** 综合管廊; 自动灭火系统; 运营维护; 造价

**中图分类号:** TU990.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)18-0042-06

## Comparison of Automatic Fire Extinguishing Systems in Utility Tunnel in Shenzhen Qianhai Cooperation Area

ZHU An-bang<sup>1</sup>, LIU Ying-ming<sup>1</sup>, WANG Ye-ping<sup>2</sup>

(1. Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518028, China; 2. Shenzhen Branch, China Academy of Urban Planning & Design, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** According to the *Technical Code for Urban Utility Tunnel Engineering* (GB 50838 - 2015), the trunk utility tunnel which contains the power cable and the branch utility tunnel which contain six or more power cables should be set up automatic fire extinguishing system; other compartments are recommended to set up the fire extinguishing systems. At present, there are several kinds of automatic fire extinguishing system including water spray, water mist, ultra-fine dry powder, and aerosol. However, each mode has its limitations, advantages and disadvantages. So it is arguable to select the automatic fire extinguishing method in the utility tunnel. Basing on the application comparison of several types of automatic fire extinguishing methods, the key design points of various types of automatic fire extinguishing systems are summarized. Combination with the situation of the utility tunnel in Shenzhen Qianhai Cooperation Area, through comparative analysis, the overall use of the high-pressure water mist automatic fire extinguishing system is more advantageous in terms of post-operation, performance and cost of construction.

**Key words:** utility tunnels; automatic fire extinguishing system; operation and maintenance; cost

《城市综合管廊工程技术规范》(GB 50838—2015)中规定,“干线综合管廊中容纳电力电缆的舱室;支线管廊中容纳 6 根及以上电力电缆的舱室应设置自动灭火系统;其他容纳电力电缆的舱室宜设置自动灭火系统”。目前国内综合管廊内设置的自动灭火系统有水喷雾、细水雾、超细干粉、气溶胶等多种方式,各类灭火方式都有其限制条件和优缺点<sup>[1]</sup>。

深圳市前海深港现代服务业合作区(以下简称前海)成立于 2010 年,为“高标准,高要求”打造现代化国际滨海城市中心,规划采用综合管廊敷设市政管线。

## 1 综合管廊内消防设置

### 1.1 综合管廊内火灾分析

综合管廊属于构筑物,含有燃气、电力、通信、热力、污水等管线,其火灾种类如表 1 所示。

表 1 综合管廊舱室火灾分类

Tab. 1 Fire classification in utility tunnel

舱室管线	火灾分类
天然气管道	C
阻燃电力电缆	E
通信电缆	B
热力管道	A
污水管道	A
其他	A

根据各类管线的火灾危险性,综合管廊内的消防重点是天然气管道舱室和设置有电力电缆的舱室。

### 1.2 综合管廊内针对电力电缆的消防措施

目前,国内还未针对综合管廊内的消防系统设置出台专门的技术规范,综合管廊内容纳电力电缆、通信电缆、给水管线等的情况下,要不要设置消防系统,设置何种消防系统存在不同的意见。但是,综合管廊内可能引起火灾的主要原因是电力电缆,因此针对电力电缆布置相应的消防措施具有共识。综合管廊内电力管线的相间短路、对地短路、接触不良、线路过载等因素都容易引起电力电缆发生火灾。综合管廊中,电缆起火的温度可超过 800 ℃,如果没有及时关闭电源,火灾必将危及相邻的线路<sup>[2]</sup>。

综合管廊内由于电缆火灾不易察觉,而且救援比较困难,电力电缆一旦发生火灾,消防人员无法进入管廊进行灭火救援,因此需要设计采用自动灭火系统。

根据《电力工程电缆设计规范》、《城市电力电缆线路设计技术规定》、《城市综合管廊工程技术规范》等,电力电缆在综合管廊内应采用阻燃电缆。额定电压等级为 110 kV 及以上的电力电缆宜设置电缆接头集中区,并且设置电气火灾监控系统 and 自动灭火装置。

为了更好地保护综合管廊,在容纳电力电缆的舱室按照距离不超过 200 m 设置不燃性墙体进行防火分隔。

### 1.3 综合管廊内针对天然气管道的消防措施

综合管廊内燃气舱中,采用以监控为主的一套设备,包括设置可燃气体探测报警系统及防爆电气设备等预防火灾风险。

在含天然气管道的舱室,同样不超过 200 m 设置一道防火隔墙。另外,天然气管道舱室内的电气设备要按照防爆要求进行设置。而且舱室内的电气线路不设置接头。

为了应对火灾时逃生,在综合管廊各舱室还应设置逃生口。逃生口要按照国家标准的要求进行设置。

## 2 综合管廊内常用灭火系统比较

### 2.1 常见自动灭火系统比较

目前,根据相关规范及工程案例,国内综合管廊内密闭环境的电气火灾采用的自动灭火系统有细水雾灭火、超细干粉灭火、气溶胶、二氧化碳气体灭火等多种方式。

二氧化碳气体灭火对火灾是有效的,但由于二氧化碳的冷却作用较小,火虽然能扑灭,但难于在短时间内使火场的环境温度(包括其中设置物的温度)降至燃气的燃点以下。如果气源不能关闭,则气体会继续逸出,当逸出量在空间里达到或高过燃烧下限浓度时,则有发生燃烧或爆炸的危险,故一般不采用气体灭火方式<sup>[3]</sup>。

故仅对高压细水雾、S 型气溶胶以及超细干粉等几种灭火方式,在具体的工程应用中的优缺点进行比较和判断。一方面,要从自动灭火系统的灭火原理、保护方式、响应时间、喷射时间等方面进行对比。另一方面,针对综合管廊的特点,自动消防灭火系统还应考虑系统复杂性、安装空间、残留物等。最后,还应从各类自动灭火系统的设计施工和验收规范等技术健全性进行考虑<sup>[4]</sup>。

具体比较见表 2。

表 2 常用自动灭火系统对比

Tab. 2 Comparison of automatic fire extinguishing systems

项目	高压细水雾	S 型气溶胶	超细干粉
灭火原理	通过雾状水雾对燃烧体进行水冷却、窒息、稀释等作用而扑灭火灾,灭火效果好	通过极细小的固体或液体微粒进行吸热降温、气相化学抑制、固相化学反应,实现灭火	通过对有焰燃烧的强抑制、对表面燃烧的强窒息、对热辐射的隔绝和冷却作用灭火
适用火灾类型	A、B、C、E	A、B、C、E 表面火灾	A、B、C、E
保护方式	全淹没式,分区保护或局部保护	全淹没	主要扑救初期火灾,分为全淹没式灭火和局部应用灭火
响应时间/s	开式系统≤30	≤5	≤3
喷射时间	30 min	≤2 min	≤30 s (全淹没), >30 s (局部应用)
系统复杂性	系统复杂,需要配备消防泵房、稳压设备、管网、喷头、控制设备等,对水质和管材要求高	一般为成品,工厂预制,系统简单	一般为成品,工厂预制,系统简单
安装空间	空间需求大,需设水池、泵房、管道、喷头等	空间需求小	空间需求小
运维复杂性	技术成熟可靠,运维简单,寿命可达 30~60 年	需要 5~6 年更换一次	需要 5~6 年更换一次
残留物	无	无残留	灭火后形成玻璃状覆盖层,人体吸入后会导致呼吸道系统中毒
设计施工和验收规范	《细水雾灭火系统技术规范》(GB 50898—2013),《水喷雾灭火系统技术规范》(GB 50219—2014)	《气体灭火系统设计规范》(GB 50370—2005),《气体灭火系统施工及验收规范》(GB 50263—2007)	《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004),《非贮压式超细干粉灭火装置系统技术规程》(DB 62/T 25—3094—2015),《超细干粉自动灭火装置设计、施工及验收规范》(DB 35/T 1153—2011)
优点	灭火效果好,可实时监控和有效降低火灾现场的温度	灭火速度快,灭火剂用量少,省空间,系统及维护简单	灭火速度快,灭火剂用量少,省空间,系统及维护简单
缺点	需设置消防管位,占用较大空间	需定期检验,每 5~6 年更换一次制剂	需定期检验,每 5~6 年更换一次制剂

2.2 综合管廊消防设计经验借鉴

综合管廊内常用的灭火系统(高压细水雾、水喷雾、超细干粉和 S 型气溶胶)具体实例见表 3。

表 3 国内综合管廊工程自动灭火系统选型实例

Tab. 3 Example of automatic fire extinguishing system selection in domestic utility tunnel project

项 目	自动灭火系统	建成年份
上海安亭新镇综合管廊	水喷雾灭火系统	2003 年
广州大学城综合管廊	无,设置消火栓	2003 年
上海世博园综合管廊	不设消防水泵房的移动式水喷雾系统	2007 年
苏州月亮湾综合管廊	S 型热气溶胶灭火系统	2011 年
前海怡海大道电缆隧道	水喷雾灭火系统	2013 年
郑州机场综合管廊	S 型热气溶胶灭火系统	2015 年
深圳光明新区华夏路综合管廊	S 型热气溶胶灭火系统	2015 年
厦门集美新城综合管廊	S 型热气溶胶灭火系统 超细干粉灭火系统	2015 年
武汉市中央商务区综合管廊	S 型热气溶胶灭火系统 超细干粉灭火系统	2016 年
深圳北环电缆隧道	超细干粉灭火系统	2018 年
深圳大空港启动区综合管廊	超细干粉灭火系统 高压细水雾灭火系统	在建
深圳阿波罗未来城综合管廊	超细干粉灭火系统 高压细水雾灭火系统	在建

高压细水雾灭火系统主要优势体现在更好的电绝缘性、更具经济性、更具灭火效率<sup>[5]</sup>,而且相比于水喷雾灭火系统,高压细水雾灭火系统不会产生大量的排水,这一特点在综合管廊内具有相当大的优势。目前,在综合管廊中,高压细水雾灭火系统具有取代水喷雾灭火系统的趋势。

气溶胶灭火系统作为哈龙替代产品,因其具有优秀的灭火性能和环保性能,近年得到了快速发展。综合管廊建设初期,电力电缆舱室设置的自动灭火装置多采用 S 型气溶胶预制灭火系统。

但随着哈龙替代物开发研究的不断深入,一种新型的冷气溶胶灭火剂——超细干粉灭火剂受到越来越多的关注。

目前 S 型气溶胶自动灭火装置逐渐被超细干粉替代<sup>[6]</sup>。主要原因是气溶胶灭火装置容易出现误喷及启动可靠性不稳定等问题,且 S 型气溶胶装置尚未取得国家 3C 认证。最近几年新建的综合管廊内普遍采用超细干粉灭火系统。



### 3 前海综合管廊自动灭火方案比选

#### 3.1 概况

前海已建成综合管廊3.2 km,正在建设的综合管廊为0.8 km。远期规划(至2030年)建设干、支线综合管廊长度为15.3 km。其中干线综合管廊10.5 km,支线综合管廊4.8 km<sup>[7]</sup>(见图1)。



图1 前海干支线综合管廊布局示意

Fig.1 Layout of Qianhai trunk utility tunnel and branch utility tunnel

在前海的综合管廊中,容纳电力电缆的舱室包括综合舱(纳入10 kV电力电缆+通信电缆+给水管道等)和高压电力舱(纳入110 kV和220 kV电力电缆)。最大综合舱净空尺寸为4.9 m×3.2 m;最大电力舱净空尺寸为2.6 m×3.2 m。

为统筹考虑前海区域综合管廊消防系统布置,以最大综合舱及最大电力舱为研究对象,对高压细水雾自动消防系统和超细干粉自动消防系统方案进行比选。

#### 3.2 超细干粉自动灭火系统方案

##### ① 产品选型

超细干粉灭火装置主要有5、8、10 kg等规格,目前应用较广泛的是8 kg规格。

##### ② 部分设计参数

a. 设计参考《干粉灭火系统设计规范》(GB 50347—2004)、《超细干粉管网灭火系统设计、施工及验收标准》(DB 42/294—2004)等。

b. 全淹没式灭火系统。

c. 灭火设计浓度 $\geq 0.1 \text{ kg/m}^3$ ,电缆沟、电缆夹层、变配电室等场所,灭火剂全淹没式设计浓度 $\geq 0.12 \text{ kg/m}^3$ 。

d. 保护对象、防护区及分区长度见表4。

表4 前海综合管廊典型断面尺寸

Tab.4 Typical section size of Qianhai utility tunnel

防护区	保护对象	净空尺寸/(m×m)
综合舱	10 kV 电缆、通信、给水管道	4.9×3.2
高压电力舱	110 kV 电缆、220 kV 电缆	2.6×3.2

##### ③ 超细干粉自动灭火系统费用测算

在以上设计参数下,以1 km典型断面的综合管廊进行该系统造价估算。在典型断面综合舱和高压电力舱分别需要安装超细干粉装置115、110套(8 kg,悬挂式)。则1 km综合管廊内设置235套,费用约144.2万元/km。

按照全生命周期计算,考虑超细干粉自动灭火系统需要每5年更换一次。综合管廊100年使用寿命期内需要更换20次。贴现率按照国家开发银行最低基准利率4.85%进行计算,则在全生命周期下,1 km费用约677.9万元。

#### 3.3 高压细水雾自动灭火系统方案

##### ① 高压细水雾自动灭火系统组成

综合管廊内高压细水雾一般采用开式系统,该系统由高压泵组、开式细水雾喷头、分区控制阀(开式)、系统过滤装置、水箱(消防水池)、供水管网及火警报警装置构成。

##### ② 部分设计参数

系统持续喷雾时间为30 min;开式系统的响应时间 $\leq 30 \text{ s}$ ;最不利点喷头工作压力 $\geq 10 \text{ MPa}$ ;高压泵组泵体材料为不锈钢而且工作压力 $\geq 14 \text{ MPa}$ ;消防泵房服务半径为2 km。

##### ③ 高压细水雾自动灭火系统费用组成

在以上设计参数下,以1 km典型断面的综合管廊进行该系统造价估算。

消防泵房组成:高压细水雾泵组(含单泵、稳压泵、增压泵等)、阀门、水箱等。

高压细水雾系统材料:高压细水雾开式区域阀组、高压细水雾开式喷头、阀门、高压不锈钢管等;综合管廊内设置高压细水雾灭火系统材料1 km费用为380万元。

泵房土建及泵房占地:按照相关材料费用估算,高压细水雾系统中,每个消防泵组材料费用估算为80万元,可以满足单向2 km长度综合管廊的消防压力要求。

前海共规划建设15.3 km综合管廊,需要独立

设置3座消防泵房,每座独立占地为 $100\text{ m}^2$ ,预计设置8个方向的泵组,可采用地下式设计或地上式设计两种方式。消防泵房布局见图2。

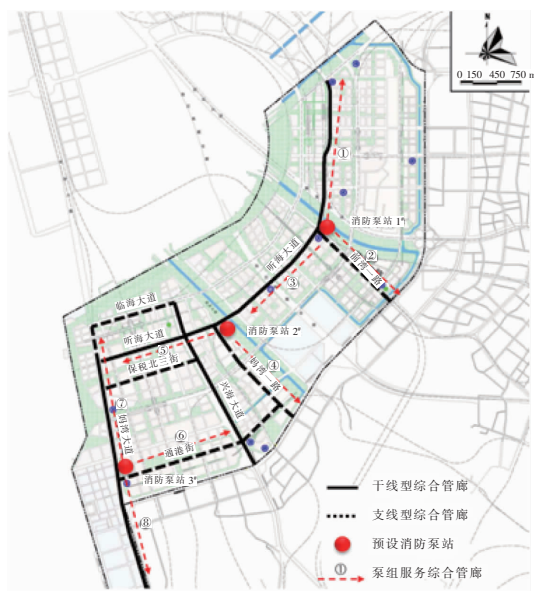


图2 前海综合管廊消防泵房布局

Fig. 2 Fire pump house layout of Qianhai utility tunnel

泵房后期运营电费:泵房后期运营需要供电运行稳压泵,每座泵组稳压泵功率为 $0.55\text{ kW}$ 。同时需要定时运行补水泵,其功率为 $7.5\text{ kW}$ (该部分用电费用在此不计算)。

#### ④ 费用测算(现金流量贴现值法)

高压细水雾自动灭火系统使用寿命可以达到 $30\sim 60$ 年,按 $50$ 年计算。全生命周期下,采用高压细水雾系统,综合管廊 $100$ 年使用寿命期内需要更新 $2$ 次。

$1\text{ km}$ 材料费为 $380$ 万元,每 $50$ 年更新一次,按贴现率为 $4.85\%$ 计,则全生命周期内贴现值为 $418.9$ 万元;

$3$ 个消防泵房设备材料费贴现值为 $705.6$ 万元,则该部分 $1\text{ km}$ 综合管廊均摊费用为 $46.1$ 万元/ $\text{km}$ ;

$3$ 个消防泵房土建费用为一次性投资(按占地面积为 $100\text{ m}^2$ 估算):地下式 $4\,000$ 元/ $\text{m}^2$ ,地上式 $1\,500$ 元/ $\text{m}^2$ 。则 $3$ 个消防泵房一次性投资为 $120$ 万元(地下式)或 $45$ 万元(地上式)。

综上, $1\text{ km}$ 测算综合管廊采用高压细水雾系统造价贴现值为 $585$ 万元(地下式)或 $510$ 万元(地上式)。

### 3.4 方案比选

从设计施工便利性比较,超细干粉灭火系统设计简单,由于其本身即是一个成品,无需多余设计,故较为简单。而高压细水雾自动灭火系统涉及泵房、水箱、泵站、喷淋系统等,施工设计复杂。

从性能方面比较,高压细水雾消防系统和超细干粉灭火系统各有优缺点,都能达到综合管廊内灭火要求,且都符合现有国家规范的要求。但是,根据实际运行经验,高压细水雾自动灭火系统更具有可靠性,且响应时间较超细干粉灭火系统快,可以在火灾发生时最大程度减少损失。

从运营管理上比较,超细干粉灭火系统需要每隔 $3\sim 5$ 年更换一次。未来随着人工成本的增加,更换超细干粉灭火系统期间需要耗费大量人力,人工费用将会较大。而高压细水雾自动灭火系统较为稳定,一次性安装后可以使用 $30\sim 50$ 年,可以节省大量人力物力。且高压细水雾自动灭火系统可实现远程监控功能,便于集中统一管理。故在后期运营管理中,高压细水雾自动灭火系统更具有优势。

从造价费用上比较,高压细水雾灭火系统单次造价成本较超细干粉消防系统高,但如果统筹考虑整个区域,在综合管廊全生命周期内进行计算,则高压细水雾灭火系统在经济性上优于超细干粉灭火消防系统(未计算独立占地所产生的成本以及电费)。

综合以上分析,高压细水雾自动灭火系统更具有优势,因此建议在前海区域内综合管廊采用高压细水雾灭火系统,并统筹考虑前海全域综合管廊消防泵房设置位置。

### 4 结语

综合管廊自动灭火系统可以选用细水雾灭火系统和超细干粉灭火系统等消防系统,经统筹考虑,采用细水雾灭火系统更具有经济和运营管理优势。

未来几年是深圳市综合管廊的高速发展期,到 $2035$ 年,深圳市规划建设综合管廊近 $500\text{ km}$ 。虽然综合管廊国标已经出台,但该标准对综合管廊内消防系统的设置内容不清晰,建议国家针对综合管廊内消防系统的设计尽快出台相关技术标准。

### 参考文献:

[1] 王建,王恒栋,祁峰. 综合管沟消防设计研究[J]. 城市道桥与防洪,2008,(1):73-76.

Wang Jian, Wang Hengdong, Qi Feng. Research on fire

- fighting design of integrated pipe ditch[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2008, (1): 73 - 76 (in Chinese).
- [2] 孙磊,刘澄波. 综合管廊的消防灭火系统比较与分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(3): 616 - 620.  
Sun Lei, Liu Chengbo. Fire control analysis on the multi-utility tunnel construction[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(3): 616 - 620 (in Chinese).
- [3] 胡国春. 化学制药加氢反应装置生产厂房的消防设计[J]. 给水排水, 1999, 25(9): 41 - 44.  
Hu Guochun. Fire system design of hydrogenation unit in pharmaceutical factory[J]. Water & Wastewater Engineering, 1999, 25(9): 41 - 44 (in Chinese).
- [4] 崔景立. 高压细水雾技术用于既有建筑消防改造研究[J]. 给水排水, 2013, 39(1): 80 - 83.  
Cui Jingli. Modification of existing fire-prevention system by high pressure water mist technology[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(1): 80 - 83 (in Chinese).
- [5] 顾向兵. 气溶胶灭火技术及存在的主要问题和对策[J]. 消防科学与技术, 2005, 24(6): 730 - 732.  
Gu Xiangbing. Discussion on aerosol fire extinguishing technology and the problems at present[J]. Fire Science and Technology, 2005, 24(6): 730 - 732 (in Chinese).
- [6] 李云浩,黄晓家,张兆宪. 自动灭火系统的选择与应用技术探讨[J]. 消防科学与技术, 2011, 30(11): 1026 - 1029.
- Li Yunhao, Huang Xiaojia, Zhang Zhaoxian. Selection and application technology of automatic fire extinguishing system[J]. Fire Science and Technology, 2011, 30(11): 1026 - 1029 (in Chinese).
- [7] 袁野,朱安邦,刘应明,等. 高强度开发地区综合管廊规划设计探讨——以深圳前海合作区为例[J]. 城乡建设, 2017, (19): 12 - 15.  
Yuan Ye, Zhu Anbang, Liu Yingming, et al. Discussion on the planning and design of comprehensive pipeline gallery in high-strength development areas: A case study of Shenzhen Qianhai Cooperation District[J]. Urban and Rural Development, 2017, (19): 12 - 15 (in Chinese).



作者简介:朱安邦(1987 - ), 男, 湖南郴州人, 硕士, 工程师, 主要从事市政工程规划与设计研究。

E-mail: zhuab@upr.cn

收稿日期: 2018 - 03 - 26

像保护眼睛一样保护生态环境,  
像对待生命一样对待生态环境