

高压细水雾灭火系统在城市电力管廊中的应用

Application of High Pressure Water Mist Fire Extinguishing System in Urban Power Pipe Gallery

田津 李晓洋

Jin Tian Xiaoyang Li

中国市政工程华北设计研究总院有限公司 中国·天津 300074

North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300074, China

摘要: 高压细水雾灭火系统因其具有灭火效率高、持续灭火能力、可防止复燃和水量损失小的特点,适用于扑救相对封闭空间内的可燃固体表面火灾、可燃液体火灾和带电设备的火灾。高压条件下(一般大于10MPa)喷放的微米级雾滴凭借表面冷却、窒息、辐射热阻隔和浸润作用,对于扑灭带电火灾尤为有效,在电力管廊、综合管廊电力舱的消防系统设计中应用愈发广泛。论文以山东省某市电力管廊为例,介绍了工程特点、总体和消防设计,论述了电力管廊的火灾特点及几种常用的电力管廊消防系统,并对技术经济进行了对比。

Abstract: The high-pressure fine water mist fire extinguishing system is suitable for extinguishing fires on combustible solid surfaces, flammable liquids, and live equipment in relatively enclosed spaces due to its high fire extinguishing efficiency, continuous fire extinguishing ability, ability to prevent reignition, and low water loss. Under high-pressure conditions (generally greater than 10MPa), micrometer sized mist droplets are particularly effective in extinguishing live fires due to their surface cooling, suffocation, radiation heat barrier, and infiltration effects. They are increasingly widely used in the design of fire protection systems in power pipe galleries and comprehensive pipe galleries. This paper takes a power pipe gallery in a city in Shandong Province as an example to introduce the engineering characteristics, overall design, and fire protection. It discusses the fire characteristics of the power pipe gallery and several commonly used fire protection systems, and compares the technical and economic aspects.

关键词: 高压细水雾系统; 带电火灾; 电力管廊; 超细干粉; 气溶胶

Keywords: high pressure fine water mist system; live fire; power pipe gallery; ultra fine dry powder; aerosol

DOI: 10.12346/etr.v6i3.9255

1 引言

高压细水雾灭火系统作为一种新型的灭火手段,既能高效灭火,将火灾扼杀在初期状态,又能降解烟雾,减少火灾产生的烟气及电缆绝缘层燃烧产生的有毒气体对环境及人身安全的危害。高压细水雾灭火系统的高效灭火、节能环保、综合费用低的特点使得高压细水灭火系统在城市电力管廊消防领域占有绝对的优势。

2 工程背景

2.1 项目概况

山东省某市新建电力管廊总长度约3.48km,工程起点为电缆终端塔,管廊沿规划道路敷设,其间采用顶管施工的

方式穿越东西侧两条河道,工程终点为电厂变电站。

管廊土建工程采用直埋预制双舱管廊及顶管现浇单舱管廊两种方式。其中预制双舱管廊舱室净高3m,舱室净宽2m×3.2m;过西侧河道顶管现浇单舱管廊舱室净高3m,舱室净宽3m;过东侧河道顶管现浇单舱管廊为直径4m的圆形舱。

管廊沿全线设置通风口兼逃生口一体化节点,中控室、通风口兼逃生口一体化节点,端头引出线口、通风口兼人员出入口一体化节点,盘余兼投料口,人员出入口,管线引出口,集水井等功能性节点。消防设计采用高压细水雾灭火系统并配备磷酸铵盐手提式干粉灭火器。

2.2 消防系统设计思路

【作者简介】田津(1994-),男,中国天津人,硕士,工程师,从事水处理相关研究。

本工程电力管廊入廊缆线数量多,电压高,近期入廊共计13回,包括220kV缆线4回、110kV缆线7回、35kV缆线2回;同时为远期预留220kV缆线4回、110kV缆线5回。

电缆短路、负荷过载、绝缘层破损、外部火源和通风不畅是电力管廊火灾发生的主要原因。

因此,为保证管廊的正常安全运行,应设置可靠的消防灭火系统,将火灾控制在初期并迅速扑灭。

3 电力管廊火灾特点及常用消防系统

3.1 电力管廊火灾特点

根据GB50838—2015《城市综合管廊工程技术规范》,电力管廊舱室火灾危险性类别为丙类,火灾类型属于E类带电火灾。电力电缆室内的主要可燃材料是电缆。当电缆着火时,首先会产生浓烟,然后是明火,温度急剧上升。如果不及控制火灾,产生的有毒高温烟雾不仅会损坏未燃烧的电缆,还会对管廊结构产生不利影响^[1]。

由于管廊空间狭长,缆线布置集中,火灾具有如下特点:

- ①火灾发生初期位于电缆绝缘层内,不易察觉;
- ②火势蔓延迅速,容易复燃,不易控制;
- ③火灾会迅速产生大量高温烟气和有毒气体,严重威胁现场维护管理人员及救援人员的安全;
- ④火灾危害性和破坏性极大,灾后恢复运行时间长,难度大。

3.2 电力管廊常用消防系统比较

①超细干粉灭火系统。

超细干粉灭火系统灭火速度快,灭火剂用量少,省空间;系统及维护简单,价格低;环保无毒,不会产生次生危害,但喷射时能见度低;灭火后形成玻璃状残留物,人体吸入后可能会导致呼吸道系统中毒;当采用全淹没系统时,同一防火分区内所有吊装的超细干粉灭火器同时动作,会造成大面积的污染;喷射结束后,场地需要清理。超细干粉灭火装置只能一次性灭火,喷射失效后需返厂重新充装灭火剂;装置的可靠性相对较低,存在失压或误喷的情况;装置5~6年需要更换一次药剂,后期运营成本高。

②气溶胶灭火系统。

气溶胶灭火系统使用固体化学混合物(气溶胶发生器)通过化学反应产生气溶胶,淹没灭火空间并隔离氧气,从而扑灭火焰。因灭火介质对人员有伤害性,设计时喷射指令除应采用温控控制启动还应结合监控系统,在确保无人状态方可启动灭火。

该系统形式简单,悬挂于管廊中,可节省管廊内空间;无排水压力,平时基本不需要维护费用,但系统安装成本较高,每5~6年需要更换药剂;灭火分解产物和喷雾剂对设备有一定的腐蚀作用;气溶胶灭火系统工程每公里一般造价在80万至100万元之间(不含消防控制中心)。据一些设备制造商称,更换药剂的成本约为新设备成本的30%。

③高压细水雾灭火系统。

高压细水雾灭火系统,通过高压细水雾泵组、细水雾喷头产生更加细密的水雾,系统可以持续冷却,具有更好的电绝缘性、环保安全性和灭火效率。由于灭火剂主要是水,长期运行维护费用较低。但在长距离的管廊中,要设置较多细水雾泵组及消防泵房,导致土建成本和设备成本较高。

4 管廊总体设计

4.1 管廊平面设计

电力管廊以某国道与某公路交叉口为设计起点,沿某国道向北顶管跨越某公路,后沿某公路北侧绿化带布置,其间顶管跨越某国道和老运河,至某运河西岸,继而顶管过某运河,到达某运河东岸后继续沿某公路北侧敷设至设计终点电厂。

4.2 管廊横断面设计

电力管廊根据土建工程形式,可以分为标准段断面、过老运河(西侧河道)顶管段断面、过大运河(东侧河道)顶管段断面。

①标准段断面。

标准段内共设5层电缆支架,底部两层放置220kV电缆,层间距为550mm。第二、三层放置110kV电缆,层间距为400mm。顶层放置管廊自用缆线。电缆支架横向长度为1m,中间人员检修通道1.2m。净尺寸为3.2m×3.0m。

②过老运河(西侧河道)顶管段断面。

过老运河(西侧河道)顶管段内共设5层电缆支架,底部两层放置220kV电缆,层间距为550mm。第二、三层放置110kV电缆,层间距为400mm。顶层放置管廊自用缆线。电缆支架横向长度为1m,中间人员检修通道1.2m。净尺寸为3.0m×3.0m。

③过大运河(东侧河道)顶管段断面。

过大运河(东侧河道)顶管段内共设6层电缆支架,底部三层放置220kV电缆,层间距为600mm,其中中间一层预留专用接头区。第二、三层放置110kV电缆,层间距为500mm。顶层放置管廊自用缆线。电缆支架横向长度为1.2m,中间人员检修通道1.0m。净尺寸为直径4m的圆形断面。

4.3 管廊配套节点设计

为满足电缆安装、更换及引出要求并保证其安全可靠运行,管廊内设有专门的节点供风机、中控室等附属设施使用。

①人员出入口。

人员出入口全线共设置2处,为方便巡检人员进出巡检。

②通风口兼逃生口。

电力管廊通风口主要功能为保障管廊通风风机及其附属设施的安装及运行。通风口设计原则:每个防火分区之间设置一个通风口兼做逃生口。地上部分通风百叶大小在满足风量要求的同时,还应满足风机吊装以及人员进出的空间尺寸要求。

逃生口设计原则:逃生口设计间距不大于200m,逃生口高出道路设计高程1.0m,排风口高出道路设计高程1.5m,

并采取防止地面水倒灌及小动物进入的措施。人员逃生口尺寸不应小于 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，当为圆形时，内径不应小于 1.0m ，逃生口设置爬梯，上覆专用防盗井盖，其功能应满足人员在内部使用时便于人力开启，且在外使用时非专业人员难以开启。

5 管廊高压细水雾消防系统设计

本工程电力管廊全长约 3.48km ，共分为 22 个防火分区，采用双舱断面形式，双舱均为电力舱。按不大于 200m 设一个防火分区，每个分区之间设一防火隔墙，防火墙处采用甲级防火门，缆线穿越防火墙处采用阻火包等防火封堵措施进行严密封堵。

根据 GB50838—2015《城市综合管廊工程技术规范》第 7.1.9 条，“干线综合管廊中容纳电力电缆的舱室应设置自动灭火系统”，同时结合本工程电力管廊的火灾类型及火灾特点，采用开式全淹没高压细水雾自动灭火系统。

5.1 主要设计参数

- ①系统持续喷雾时间 30min 。
- ②开式系统的响应时间不大于 30s 。
- ③最不利点喷头工作压力不低于 10MPa 。
- ④设计喷雾强度不低于 $1.0\text{L}/\text{min} \cdot \text{m}^2$ 。
- ⑤高压泵组泵体材料为不锈钢材质且泵组工作压力不低于 16MPa 。
- ⑥细水雾雾滴粒径 $Dv0.5$ 小于 $200\mu\text{m}$ 、 $Dv0.99$ 小于 $400\mu\text{m}$ 。

5.2 主要设备选型

①喷头选型。

管廊采用 $K=1.0$ ($q=10\text{L}/\text{min}$) 和 $K=0.7$ ($q=7\text{L}/\text{min}$) 的开式喷头，可直接雾化喷射，喷头流量分别为 $7\text{L}/\text{min}$ 和 $10\text{L}/\text{min}$ ，安装间距不大于 3.0m ，不小于 1.5m ，距墙不大于 1.5m ，选用喷头雾滴直径 $Dv0.5$ 应小于 $200\mu\text{m}$ 、 $Dv0.99$ 应小于 $400\mu\text{m}$ 。

②主泵选型。

根据流量和压力计算结果，本工程选用泵组 XSW-BZ600/16（其中主泵六用一备，稳压泵一用一备），泵组流量 $Q=740\text{L}/\text{min}$ ， $H=16\text{MPa}$ ， $N=222\text{kW}$ 。稳压泵流量 $Q=11.8\text{L}/\text{min}$ ， $H=1.4\text{MPa}$ ， $N=0.55\text{kW}$ 。

5.3 系统布置及工作原理

高压细水雾系统处于准工作状态。分区控制阀后面的配电网没有装满水，阀门是空的。供水干管内仅充入加压水（压力稳定在 $1.0\sim 1.2\text{MPa}$ ），当发生火灾时，火灾探测器发出报警信号，并通过火灾报警联动控制器自动开启分区控制阀和泵组，使整个保护区内的所有喷嘴都能同时喷射细水雾灭火；或者，手动打开相应的区域控制阀，自动启动泵以降低管网中的压力，并喷洒细水雾灭火。经人员确认火灾扑灭后，手动关闭主泵和区域控制阀，火灾报警系统复位，管网

恢复、高压细水雾系统复位。

当发生火灾时，该系统具有自动控制、手动控制、机械应急控制三种控制方式。

6 工程特点

6.1 高压细水雾泵房设计

单座高压细水雾泵房的最大服务半径通常在 3.5km 左右，当最不利防护区超出此范围，系统的响应时间延长，贻误初期火灾的扑救时机；同时最不利防护区距离泵房过远，还会导致管路水头损失增加，主泵扬程加大，系统的整体工作压力增大。因此，高压细水雾泵房位置的合理布置，不仅有利于配水均匀，而且对系统投资的降低十分有益^[2]。

本工程高压细水雾泵房位于全线中点，最大服务半径约为 1.75km ，配水干管为 4mm 壁厚 $\text{DN}65$ 的 $\text{SS}304$ 高压不锈钢管，在保证最不利防护区最不利喷头 10MPa 最小工作压力的前提下，管路水头损失约为 4.5MPa （包括管路的沿程水头损失以及管件、阀门、阀组处的局部水头损失）。

6.2 防护区划分

根据 GB50898—2013《细水雾灭火系统设计规范》3.4.5 条“采用全淹没应用方式的开式系统，其防护区数量不应大于 3 个”，且对于泵组系统单个防护区容积不宜超过 3000m^3 ，若据此执行，高压细水雾泵房应至少设置 7 座，将大幅增加泵房的土建、设备及安装投资，提高了运行管理难度的同时，还会造成设备浪费。由于管廊本身狭长的结构型式，此条规范不宜直接套用，因此本工程将容积超过 3000m^3 的防护区继续分隔成若干小于 3000m^3 的防护分区，各防护分区单独设置细水雾阀组实行控制。

6.3 特殊节点喷头布置

为满足电缆安装、更换及引出要求并保证其安全可靠运行，管廊内设有专门的节点供风机、中控室等附属设施使用，各节点结构型式不同，细水雾喷头的布置形式亦因地制宜。

7 结语

论文结合山东省某电力管廊工程案例，论述了其工程特点、总体和消防设计，通过分析电力管廊火灾特点，并对包括高压细水雾、超细干粉、气溶胶在内的三种常见管廊灭火系统进行技术经济比较，最终得出，高压细水雾是目前扑救电力管廊火灾尤为有效的一种消防系统，在运行费用和全生命周期内总费用方面具有显著优势^[3]。

参考文献

- [1] 高艳云,艾封年,千雪峰,等.综合管廊消防设计的探讨[J].市政技术,2021,39(1):109-114.
- [2] 孙建海.高压细水雾自动灭火系统在综合管廊中的设计[J].净水技术,2020,39(S2):161-166.
- [3] 游求焱.碳达峰背景下高压细水雾灭火技术的分析及发展[J].低碳世界,2023,13(6):190-192.