

Analogy Analysis of Fixed Automatic Fire Extinguishing System Type Selection for Power Cabin of Comprehensive Pipe Rack

Guangzheng Wang

Zhuhai Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong, 519000, China

【Abstract】The underground comprehensive pipe gallery not only solves the problem of urban traffic congestion and land occupation from the source; It greatly facilitates the operation and maintenance of power, communication, water supply and drainage and other municipal facilities; It plays a positive role in natural earthquake prevention and disaster reduction; It also plays an important and positive role in meeting people's basic living needs and improving the comprehensive carrying capacity of the city. Therefore, in recent years, the construction mode of comprehensive pipe gallery in the field of municipal engineering has been highly recognized.

【Keywords】 power grid; Underground comprehensive pipe gallery; fire

综合管廊电力舱固定式消防自动灭火系统选型类比分析研究

王广政

广东电网有限责任公司珠海供电局, 中国·广东 珠海 519000

【摘要】地下综合管廊不仅从源头上解决了城市交通拥堵占地的问题; 极大地方便了电力、通讯、给排水等市政设施的运营和维护; 在自然防震减灾方面具有一定的正面作用; 在满足人们的基本生活需求和改善城市的综合承载能力方面也发挥着重要和积极的作用。因此, 近年来在市政工程领域综合管廊建设模式获得了极高的认可度。

【关键词】 电网; 地下综合管廊; 火灾

DOI: 10.12349/edc.v4i2.770

1 引言

电力舱是综合管廊中火灾危险性最高的舱室之一, 高压电力电缆存在电缆运行故障、相间短路、绝缘发热老化、接触不良、对的电流损耗和线路长期过载运行等火灾因素。按照现行规范 GB50838-2015《城市综合管廊工程技术规范》规定 7.1.9 条文要求: 干线综合管廊中容纳电力电缆的舱室, 支线综合管廊中容纳 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^[1]。

2 综合管廊电力舱火灾特点

2.1 早期火灾发现难度大

管廊建设在地面以下, 空间相对封闭、狭窄, 且均为细长空间。火灾发生初期为“闷烧”状态, 难以被察觉。待人员发现火灾时, 往往已过了“轰然”期, 进入剧烈燃烧阶段。

2.2 外部力量施救困难大

管廊环境相对密闭, 舱室内氧含量相对较低, 发生火灾后, 电缆燃烧产生的一氧化碳、氯化氢等高温有毒烟雾物质积聚迅速充满整个空间, 救援人员很难进入舱室进行灭火。

2.3 火灾发生后内部环境恶劣, 无人工再次干预的可能

随着进入管廊内的线路种类越来越多, 导致不同种类的管线设置于同一管廊。为节省工程造价, 管廊内的检修通道通常较小, 一旦发生火灾, 人工再次干预灭火的难度很大。

2.4 火灾易复燃

地下电缆隧道发生火灾后, 由于燃烧过后的电缆余温较高, 所以明火扑灭后, 地下隧道内室温仍然较高, 当通过通风设备降低环境温度时, 空气进入, 又极易造成复燃。

2.5 社会影响严重

如果电力舱室和综合舱室内发生火灾, 则会存在大面积供电、通讯、给排水中断的风险, 极大地影响人民的生活和的生产, 给社会带来难以估量的损失。

综上, 选择合理有效的自动灭火系统对于预防和控制管廊内的电缆火灾具有十分重要的意义。结合电力舱火灾特点, 在遵循安全、合理、可靠、有效、经济原则进行选型的同时, 还应考虑固定式自动灭火系统具备以下条件:

适应于扑灭电气火灾;

对初期火灾响应时间短;

适应于隧道内的狭长且相对封闭的空间(非完全

【作者简介】王广政 (1983-), 男, 中国广东湛江人, 本科, 中级工程师, 从事智慧电力工程建设管理研究。

密闭空间)；

- 能处理火情复燃的情况；
- 灾后处理容易，方便快速恢复供电；
- 对人员、环境绿色友好。

3 应用于综合管廊电力舱的固定式自动灭火系统

近年来，经各地、各行业和领域的探索及实践，已证明适宜应用于综合管廊电力舱的固定式自动灭火系统主要有两种：悬挂式超细干粉灭火装置（分为非贮压式和贮压式，非贮压式市场接受度高）和细水雾灭火系统（分为中低压细水雾和高压细水雾，高压细水雾市场认可度明显优于中低压细水雾，中低压细水雾除了成本高，其他跟水喷雾无明显优势）。

3.1 悬挂式超细干粉灭火装置

超细干粉灭火装置由壳体、超细干粉灭火剂、启动器组成。启动器包含热敏线和产气试剂。

超细干粉灭火装置优势：

不生成有毒气体、有害物质、无刺激作用、无腐蚀性；

良好的气体流动性和电绝缘性，灭火效率是普通干粉的6至10倍；

烟温复合探测灵敏度高、准确性好、灭火速度快；
项目前期投资少，5年以内的短期内经济性好；

(1) 适应范围

广泛适用于工业、国防等领域新建、扩建、改建工程中的电缆设施、储物仓库和机电设备间。

(2) 产品特点

①使用温度范围-40℃~50℃，须符合中国公共安全行业标准；

②灭火速度快，灭火效率高，产品可靠性好；

③灭火装置遇到高温和烟雾同时报警时自动启动，扑灭火灾；

④灭火剂喷射时间小于1秒；

⑤不破坏大气臭氧层、无毒、无腐蚀，符合环保要求。

(3) 性能参数

指标名称	技术参数
使用工作电压 (DC)	24V±5V
使用工作电流	≤2A
使用工作环境温度	-40~50℃
使用工作环境湿度	≤95%
灭火剂种类	超细干粉灭火剂
火情探测方式	烟温复合探测
喷射时间	<1s

(4) 启动方式

自动启动方式：

当温度达到设定温度值时，铺设在保护区内的感应器将火焰、温度信号迅速传递给灭火装置内的启动器，启动器迅速产气将灭火剂推出送入火场，灭火剂以全淹没方式覆盖整个保护区。

手动启动方式：

手动启动控制面板固定安装在监控室，当保护区内烟雾和温度达到设定温度值时（根据场所设定），控制系统发出声光报警信号，此时应打开防护罩，按下里面的灭火按钮，启动器迅速将灭火剂推出送入火场，全淹没方式覆盖整个保护区。

(5) 维护保养

维护管理人员应经常对灭火装置及其组件进行外观检查，灭火装置喷口铝膜应无损伤，灭火装置与墙体的连接应无松动，与灭火装置的连线无断开、松动；

现场进行其他施工时，不得将水、油或其他液体沾到灭火装置及其连线上，造成积累，严重影响灭火装置的正常工作；

现场进行其他施工时，应注意不要损伤灭火装置的喷口铝膜，需要将灭火装置或其配置组件拆下时，应在懂得灭火装置工作原理及安装的人员指导下进行，严禁使用明火及高温操作；

维护保养完成后，立即将灭火装置及其配置组件恢复原状。

(6) 其他注意事项

灭火装置应系统配套安装，安装人员必须经过专业培训，安装时严禁使用避免明火及高温操作；

运输时要轻装轻放，严禁抛掷，防止碰撞，避免暴晒、淋雨；

储存库房要求通风、干燥、清洁、码放不超过六层；

开箱时根据发货清单检查灭火装置及配件是否齐全，检查灭火系统及配件有无破损；

灭火系统有效期为五年，有效期过后，不得自行处理应与生产厂家联系统一处理。

(7) 某案例综合管廊超细干粉灭火装置综合管廊断面布置图

某案例综合管廊超细干粉灭火装置综合管廊断面布置图如图1所示。

(8) 某案例超细干粉灭火装置综合管廊平面布置图

某案例超细干粉灭火装置综合管廊平面布置图如图2所示。

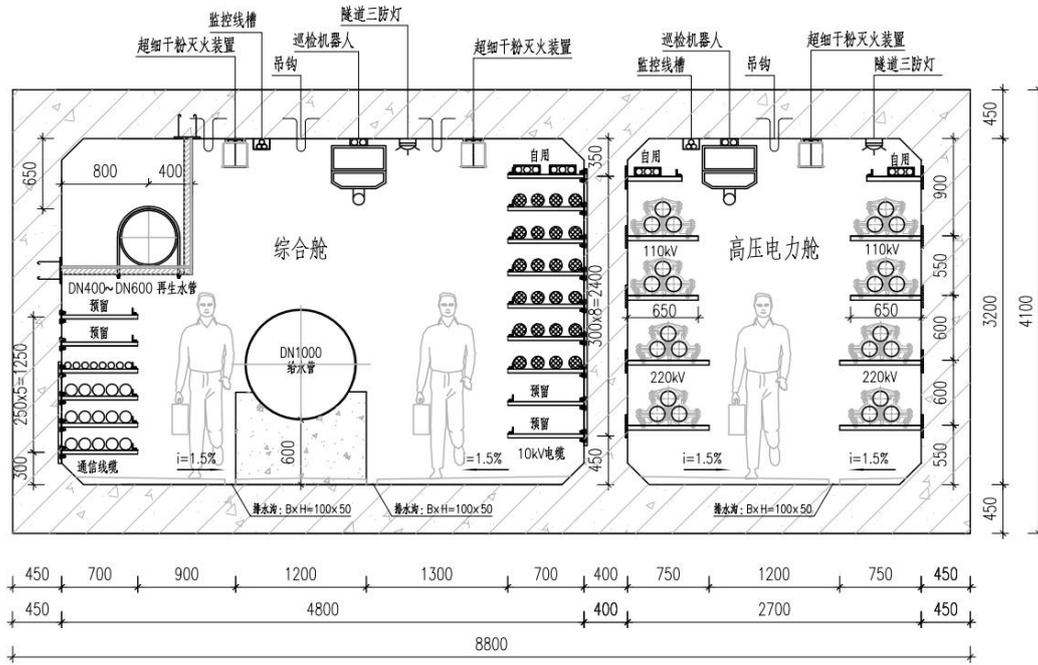


图1 某案例综合管廊超细干粉灭火装置综合管廊断面布置图

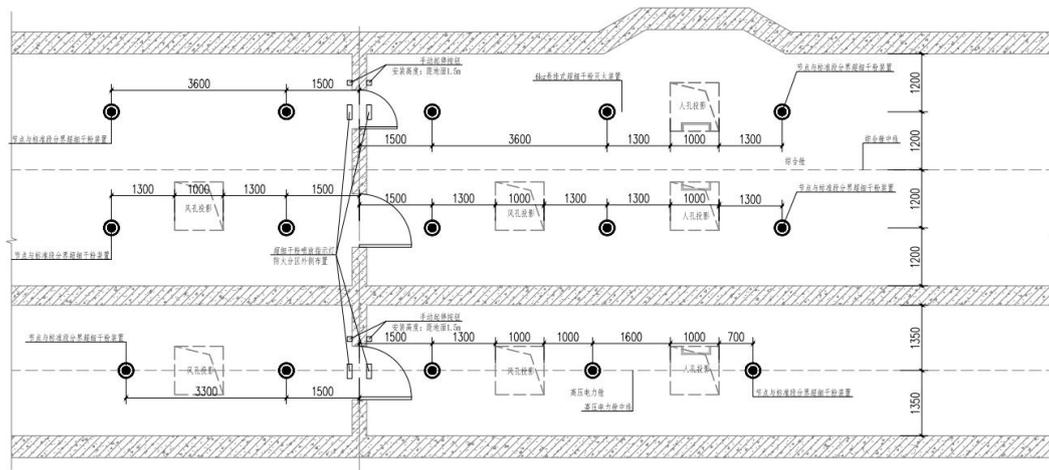


图2 某案例超细干粉灭火装置综合管廊平面布置图

3.2 细水雾灭火系统（高压细水雾）

高压细水雾是指末端喷头工作压力不低于10MPa，通过高压柱塞泵产生的高压破坏水分子之间的应力、结合特殊喷嘴从而产生粒径为50um~200um的水雾，来实现自动灭火的水灭火消防系统^[2]。

系统由不锈钢自备水箱、过滤装置、高压泵组、区域阀组、系统管道网络和末端喷头组成。

核心主要设备包括：高压泵组、区域阀组、系统管道网络和末端喷头，其中高压泵组的高压柱塞泵是系统的“发动机和心脏”，能够输出额定且稳定的高压，13MPa的高压破坏水分子之间的应力是细水雾形成的基础。

区域阀组负责截断水流、接受火灾报警系统的控制、同时进行常压保压密封。

系统管道网络由不锈钢管网及各种阀门组成，区域阀前后的管道网络的耐压及密封性能是工程应用

质量关键环节，耐压和保压效果不满足的话，系统亦不能可靠形成超细水雾。



真正的高压水雾灭火系统：
更高的保护高度
更远的保护距离



高压细水雾系统优势：

灭火效率高：细小的水雾颗粒汽化快速吸收大量热量进行降温、汽化的同时还能在火焰表面形成窒息层，达到同时高效降温窒息的灭火效果。细小的水雾颗粒还具有类似气体扩散的特性，在无须完全密闭的空间内亦能保持较好的灭火效果。

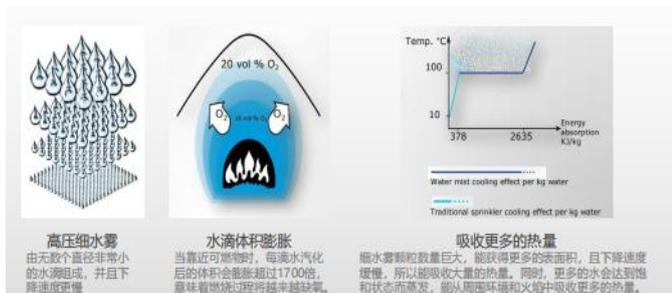
安全环保、本身对环境无污染、灭火同时能够辅助进行降烟雾颗粒除尘作用；采用水作为灭火剂，对环境和人员友好；且灭火的同时吸收火灾产生的烟雾和毒气，黑色烟雾瞬间变成白色，达到净化火灾现场环境的目的，有助于人员逃生和减少财产损失。

适用于电气 E 类火灾、固体 A 类、液体 B 类火灾的灭火：细小颗粒的水雾具有优良的绝缘性能，不会对电气设备产生危害。

用水量少：是同等条件下水喷雾用水量的 10%，水喷淋的 20%；灭火现场水渍灾害少，工程应用配置的水箱占地面积小，设备管网布置占用空间小，安装更轻松。

占地空间小：泵组结构紧凑，包括自备水箱在内高压细水雾泵房占地面积最小；管网干管一般最大采用 DN65 尺寸、支管路和末端管道一般采用 DN32 和 DN10 尺寸，占用运行空间少；

输送距离远，受扬程高差影响小，可根据高压泵的额定输出压力以及系统配管数据核算的压损计算保护距离，按照输送距离的设置泵房，一套系统可以保护双向 2000m，合计 4km 电力舱范围；



(1) 适应范围：

扑救相对封闭空间内的 A 类可燃固体表面火灾，B 类可燃液体火灾和 E 类带电设备的火灾。不适用于扑救可燃固体的深位火灾；不适用于能与水发生剧烈反应或产生大量有害物质的活泼金属及其化合物的火灾；不适用于可燃气体火灾^[3]；

(2) 性能参数：

额定输出压力：12Mpa、13Mpa、14Mpa

颗粒直径：50um~200um，吸热瞬间汽化，体积膨胀 1700 倍，形成窒息包裹面

水箱容积：10%水喷淋和消火栓的水池容量，一般为 8m³~60m³

不锈钢管网配管：材质—AISI316L 不锈钢管；正常使用条件下，设计使用寿命不低于 70 年；干管配管—DN65~DN32、支管配管—DN32~DN20、末端管道—DN20~DN10

分区控制阀：AC220V/DC24V 电动球阀、DC24V 电磁阀、DN24V 气动阀、液动阀门

泵房（自备水箱+高压泵组+补水泵组）占地面

积：20m²~60m²

喷头选型：K=0.5/10 100bar 额定工作压力下 5L/min；K=1.19/10 100bar 额定工作压力下 11.9L/min；K=1.87/10 100bar 额定工作压力下 18.7L/min；K=1.86/6 60bar 额定工作压力下 18.6L/min；K=0.238/10 100bar 额定工作压力下 2.38L/min；多款防风型、垂直高大空间型喷头可选择；

高压泵：不锈钢 304 材质水润滑终身免维护九柱塞泵，13Mpa 额定输出；铜合金油润滑降温三柱塞泵 12~14Mpa 额定输出；

稳压泵：一用一备，10~12kg/cm²，流量 11.7L/min，功率 0.45kw，材质：不锈钢 AISI303 材质；自动启停；

安全阀：工作压力 137bar；不锈钢 CF8M 铸造 316L；流量 120L/min；

系统控制器：根据主管道内压力反馈结果，采用 PLC 逐级缓慢加压开启高压泵；双电源自动切换；过载、超压、故障、短路、缺水保护措施；

稳压泵动作频率：不大于 15 次/h，部分项目系统泵组设计良好，管网施工严控质量把关，各种阀门质量达标合格，可实现稳定保压，且 90 天内稳压泵无动作记录；

自备水箱水位监测：细水雾消防水箱水位实时监测，低水位报警反馈到消防报警控制中心；

高压泵组中间调节水箱：系统控制器实时监测水位信号，自动控制并可循环开启补水泵组抽水补水，达到标准液位后自动停泵；

增压补水泵组：一用一备，功率：4kW~7.5kW，不锈钢立式泵组，重量 150kg~300kg；扬程 24m~30m 可满足使用；

(3) 启动控制方式

自动启动：

火灾探测器及火灾报警控制器联动分区控制阀，管网降压致稳压泵不能保压条件下，系统自动启动高压泵组；

手动启动：

现场人员确认火灾，且自动启动控制未动作时候，按现场阀组箱内的启动按钮打开分区控制阀，或者通过分区控制阀的手柄，打开控制阀，管网降压致稳压泵不能保压，系统自动启动高压泵组^[4]；

远程启动：

值班人员发现火灾或者接到现场报警，在消防控制室或细水雾泵房均可直接启动分区控制阀和高压细水雾泵组。

(4) 某案例灭火原理图

某案例灭火原理图如图 3 所示。

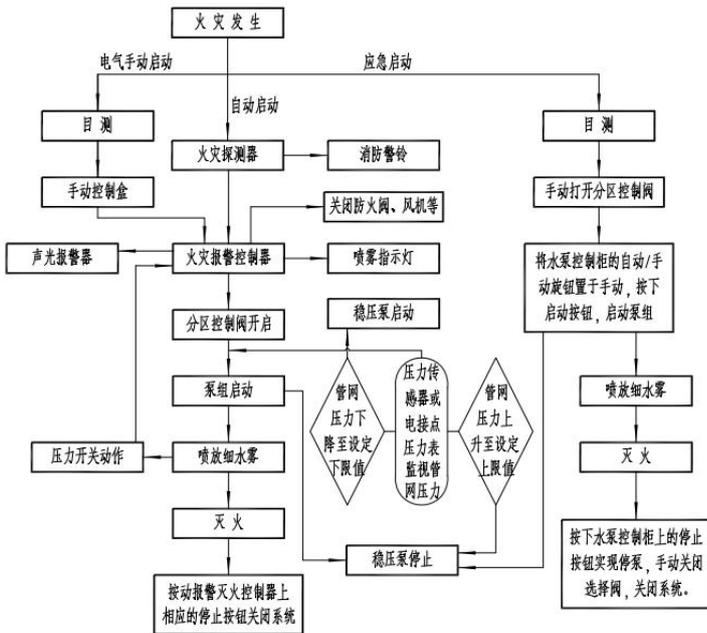


图3 某案例灭火原理图

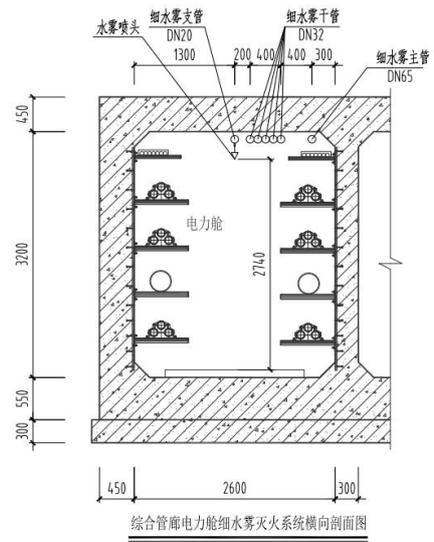


图4 某案例管路横向剖面布置图

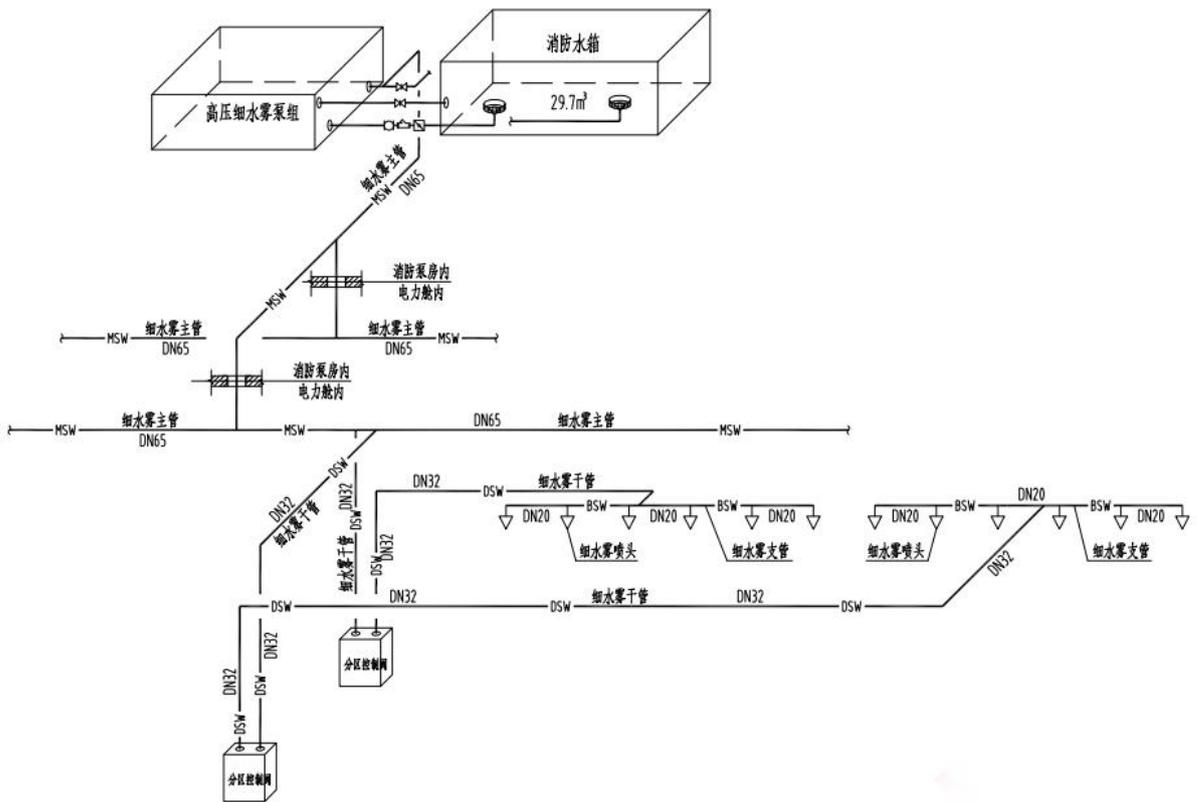


图5 某案例示意图

- (5) 某案例管路横向剖面布置图
某案例管路横向剖面布置图如图4所示。
- (6) 某案例示意图
某案例示意图如图5所示。

综上所述，悬挂式超细干粉和高压细水雾灭火系统均适应用于综合管廊电力舱作为消防固定式自动灭火系统被采用，但在系统性能和产品特点方面有如下差异，类比分析表如表1所示。

表1 类比分析表

比较项目	悬挂式超细干粉灭火装置	高压细水雾灭火系统
经济性 (20a 为基准)	150 万/km, 20 年需要更换 3 次, 每公里投入 600 万; 早期建设费用低, 长期投入成本更高。	350 万/km, 20 年基本免维护, 按照系统造价的 5% 计算年度维护费用, 公里投入 402.5 万; 早期建设费用高, 长期成本低;
灭火响应时间	1s (自动或手动启动后的灭火时间) 系统响应时间短	10~30s (自动或手动启动后高压到达最不利点喷头的压力) 响应时间较长
对空间封闭性要求	无须封闭空间	无须封闭空间
灭火机理	化学灭火为主, 物理灭火为辅。瞬间产生的灭火游离基团迅速消除燃烧化学反应中的燃烧游离基团, 切断燃烧反应链。吸附有焰燃烧、隔离表面燃烧、遮隔热辐射、同时具有一定的冷却和稀释氧气的效能。	物理灭火。雾滴颗粒包裹燃烧面, 瞬间汽化体积膨胀 1700 倍, 高效吸热降温, 同时形成窒息层。
灭火效率	超细干粉颗粒 40~125um, 增大粉体表面积, 大大提高了灭火能力, 是普通干粉灭火能力的 8~10 倍。	雾滴颗粒 50~200um, 大大地增加了吸热作用面积, 增加了分布密集度、滞空作用和覆盖范围, 汽化吸热效果是普通水灭火系统的 500 倍。
工程安装	分立式, 相对简单, 可满足快速工期响应要求。	管网连续, 成系统网络型, 要求承受较高的压力, 系统相对复杂, 对不锈钢管道密封和防腐两方面工艺要求较高, 相对复杂。管道、管件、阀门、均为高压不锈钢材质且为非标准件, 为满足工期响应要求, 需要提前组织和合理计划。
灭火后期次生影响	灭火后现场遗留粉尘, 需要对未烧坏设备进行一定的清理扫除工作, 空气中会继续悬浮干粉颗粒, 通风设备亦不能及时开启, 现场清理比较困难, 不利于快速抢修。	灭火同时具有降烟降尘的作用, 不会对未烧坏设备带来任何次生灾害和多余清理工作; 因灭火所用水量极少, 基本可以不用考虑后期排水的需求, 各方面都可保障快速抢修的条件。
系统可靠性	装置分立, 设计简单, 稳定性和可靠性高。	系统相对复杂, 主管路和泵组设备状态一旦发生一处故障, 将影响整条隧道的灭火性能, 对于泵组、管路及管网配件保压能力要求较高, 需要定期巡检管网压力和水泵性能, 确保系统运行的基本性能。
占用空间	悬挂在管廊顶部或侧墙, 无须管网和泵房, 水平所需空间少, 垂直占用空间需要合理布置, 否则会影响巡检通道的同行高度。	管网和配件尺寸大大小于水喷雾和消火栓, 泵房空间大大小于普通水灭火系统, 对于管廊空间的占用可忽略不计。
灭火持续性及防复燃措施	仅能动作一次, 无法应对复燃, 没有应对电缆隧道火灾复燃的措施。	管网坚固耐用抗燃烧性能好, 所需水量少, 普通市政供水能力即可保障水量需求, 是目前唯一一种可持续灭火降温除尘洗刷燃烧环境的灭火系统, 可以 100% 的设计灭火效能应对电缆隧道火灾复燃的情况。
误动作的灾害影响	误动作影响较大, 特别是对巡检人员的人身安全存在很大的威胁和隐患。	误动作对设备运行现场人员和设备无任何影响: 不会降低环境氧气含量、喷射的超细水雾颗粒不会对人身造成伤害。
维护便利性	1 年 1 检, 5 年须对灭火装置进行全面更换, 维护费用投资巨大, 同时对于已投运的电力管廊存在较大的生产全隐患。	仅仅需要进行日常巡检, 保障供水和水箱水量、管网保压状态、高压水泵及控制系统的运行性能巡检, 定期更换灭火水源, 过滤器滤芯, 20 年内正常使用情况下无重大设备材料大修更新需求, 可做到基本免维护。
长距离隧道运行管理便利性	1 米~3 米配置一个灭火装置, 根据项目不同, 管廊全线均设置或仅仅在电缆接头区域设置, 数量较庞大, 运行管理检查工作比较繁琐。	根据项目设计及压损, 配管和进行泵组选型, 每 3~4km 配置一个高压细水雾泵房、一套泵组, 运行管理过程中可集中对泵房、阀组箱点位进行检查, 后期运行管理工作相对简单, 即可保障系统的长期有效。
长期有效性保障措施影响因素	铝膜不能有破损, 运输、安装、存储有较高的要求, 干粉基质易受环境潮湿影响而失效 ^[5] 。	仅须日常巡检, 检查供水、供电、管网保压设备运行状态正常, 完全不受环境天气时间的影响。

4 结语

综上所述,结合产品性能特点、技术条件、工程应用、运维过程、投资经济性多方面分析考虑,综合管廊电力舱在早期建设阶段,经费充足、施工周期允许的情况下,消防固定式自动灭火系统采用高压细水雾相比较悬挂式超细干粉灭火装置在灭火效果、抢修便利性、系统运行维护安全和简便性、长期投资回报比、长期可靠有效方面具有明显的优势,建议选择高压细水雾作为固定式自动灭火系统。

参考文献

- [1] 王恒栋.《城市综合管廊工程技术规范》GB50838-2015修编解读[C]//中国城市规划协会地下管线专业委员会.中国城市规划协会地下管线专业委员会,2015.GB50898-2013 细水雾灭火系统技术规范[S].
- [2] 陈喆.某长距离专用电力电缆隧道工程消防灭火系统设计与分析[J].上海建设科技,2021(06):5.
- [3] 中华人民共和国建设部.GB50217—2007 电力工程电缆设计规范[M].北京:中国电力出版社,2013.
- [4] 陈宏山,曾冲.悬挂式超细干粉自动灭火装置在铁路长大隧道设备洞室中的应用[J].河南科技,2021(22):81-84.