**C E C S CECS ××× ∶ 202X**

中国工程建设协会标准

城市隧道细水雾灭火系统应用技术规程

Technical specification for application of water mist fire extinguishing system in city road tunnel

（征求意见稿）

2020年11月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]014号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分为4章和1附录，主要技术内容包括：总则，术语和符号，系统设计，施工、验收和维护管理。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会防火防爆专业委员会归口管理，由应急管理部四川消防研究所负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送应急管理部四川消防研究所（地址：四川省成都市金科南路69号，邮编：610036）。

主编单位： 应急管理部四川消防研究所

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc2350)

[2 术语和符号 2](#_Toc15566)

[2.1 术语 2](#_Toc13508)

[2.2 符号 4](#_Toc27086)

[3 系统设计 5](#_Toc13212)

[3.1 一般规定 5](#_Toc7264)

[3.2 设计参数与水力计算 5](#_Toc19642)

[3.3 系统组件和管道及其布置 9](#_Toc1062)

[3.4 控制 10](#_Toc11046)

[4 施工、验收和维护管理 12](#_Toc6736)

[附录A 城市隧道细水雾灭火系统实体火灾模拟试验 13](#_Toc31876)

[本规程用词说明 15](#_Toc29244)

[引用标准名录 16](#_Toc31176)

**Contents**

**[1 General principles 1](#_Toc2350)**

**[2 Terms and symbols 2](#_Toc15566)**

[2.1 Terms 2](#_Toc13508)

[2.2 Symbols 4](#_Toc27086)

**[3 System design 5](#_Toc13212)**

[3.1 General requirements 5](#_Toc7264)

[3.2 Design parameters and hydraulic calculations 5](#_Toc19642)

[3.3 System componets and layout 9](#_Toc1062)

[3.4 Control 10](#_Toc11046)

**[4 Construction, acceptance and maintenance management 12](#_Toc6736)**

**[Appendix A Simulation fire test using water mist fire extinguishing system in urban tunnel 13](#_Toc31876)**

**[Explanation of wording in this specification 15](#_Toc29244)**

**List of quoted standards........................................................................ 16**

**Addition：Explanation of provisions................................................... 17**

# 1 总 则

* + 1. 为合理设计应用于城市隧道内的细水雾灭火系统，保证其施工质量，规范其验收和维护管理，减少火灾危害，保障人身和财产安全，制定本规程。
    2. 本规程适用于新建、改建、扩建的城市隧道中设置的细水雾灭火系统的设计、施工、验收及维护管理。
    3. 城市隧道内设置细水雾灭火系统目的是抑制或控制火灾。系统的设计应密切结合城市隧道的功能和火灾特点，采用有效的技术措施，做到安全可靠、技术先进、经济合理。
    4. 设计采用的系统组件，必须符合国家现行有关标准和规定，并应符合消防产品市场准入制度的要求。
    5. 城市隧道细水雾灭火系统的设计、施工、验收及维护管理，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

2.1 术语

1. 城市隧道　city road tunnel

在城市建成区内建设的供行人、非机动车辆和机动车辆通行的公路隧道，是相对于山岭隧道，表示修建场所不同的名称，一般包括城市交通隧道和城市地下联系隧道等。

1. 城市地下联系隧道 city road underground linked tunnel

设置与城市地面以下，联系地面道路与地下停车设施的道路交通工程。

1. 细水雾　water mist

水在最小设计工作压力下，经喷头喷出并在喷头轴线下方1.0m处的平面上形成的直径Dv0.99小于400μm的水雾滴。

1. 防护分区 protection compartment

由一套分区控制阀组控制的所有喷头发挥作用的区域。

1. 分区应用方式 zoning application mode

将隧道沿纵向按一定长度划分为若干个防护分区，灭火时一个或若干个防护分区同时喷雾的应用方式。

1. 分区控制阀组 selector valves

能接收控制信号并自动开启，使细水雾喷头向防护分区喷放细水雾以抑制和控制火灾的控制阀组。

2.1.7 高压细水雾消火栓系统 high pressure water mist hydrant sys-

tem

由高压细水雾消火栓箱(含喷射装置、卷盘、高压软管、快速接头等)、高压细水雾泵组、贮水箱、泵组控制柜、供水管网等组成。能在发生火灾时通过人工操作向保护对象喷放细水雾进行灭火的灭火系统。

2.1.8 灭火添加剂 fire extinguishing additives

本身具备一定的灭火性能，可加入细水雾灭火系统中用以提高系统灭火性能的化学物质。

2.1.9 含灭火添加剂细水雾灭火系统 water mist system with fire extinguishing additives

使用了灭火添加剂的细水雾灭火系统。

2.1.10 添加剂注入方式 additive injection method

按照添加剂的使用比例将其加入细水雾灭火系统的方法，包括预混法、计量法或平衡压力法等。

2.1.11添加剂自动注入装置 automatic pumping device for additives

由添加剂贮存箱、注入泵、流量计、控制柜等组成，能按设定比例自动将添加剂注入细水雾灭火系统的装置。

2.2 符号

1. 流量、流速

|  |  |
| --- | --- |
| *q* | ——喷头的设计流量； |
| *qi* | ——计算喷头的设计流量； |
| *Qs* | ——系统的设计流量； |
| *Q* | ——管道的流量； |
| *Re* | ——雷诺数； |
| *ƒ* | ——摩阻系数； |
| *K* | ——喷头的流量系数； |
| *ρ* | ——流体密度； |
| *μ* | ——动力粘度； |
| *Δ* | ——管道相对粗糙度； |
| *ε* | ——管道粗糙度； |
| *C* | ——海澄-威廉系数。 |

1. 压力

|  |  |
| --- | --- |
| *P* | ——喷头的设计工作压力； |
| *Pe* | ——最不利点处喷头与储水箱或储水容器最低水位的高程差； |
| *Pf* | ——管道的水头损失； |
| *Ps* | ——最不利点处喷头的工作压力； |
| *Pt* | ——系统的设计供水压力。 |

1. 几何特征等

|  |  |
| --- | --- |
| *d* | ——管道内径； |
| *L* | ——管道计算长度； |
| *n* | ——计算喷头数； |
| *t* | ——系统的设计喷雾时间； |
| *V* | ——储水箱或储水容器的设计所需有效容积。 |

# 3 系统设计

3.1 一般规定

1. 城市隧道细水雾灭火系统的选型与设计应综合考虑隧道的特征及环境条件、火灾危险性及火灾特性、设计防火目标、喷头的喷雾特性及管道、喷头的布置方式等因素。
2. 下列隧道内的场所可设置细水雾灭火系统进行保护：

1 行车主隧道（城市地下交通联系隧道和城市道路隧道）；

2 变配电室、发电机房、电缆隧道或电缆夹层等附属用房。

1. 城市隧道细水雾灭火系统的选型应符合下列规定：

1 行车主隧道应采分区应用方式的开式系统；

2 变配电室、发电机房、电缆隧道或电缆夹层等附属用房细水雾灭火系统的选型应符合现行国家标准《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898的要求；

3 城市道路隧道行车主隧道应采用含灭火添加剂细水雾灭火系统。

1. 城市隧道行车主隧道所采用细水雾灭火系统应选用泵组系统。
2. 城市隧道设置高压细水雾灭火系统进行保护时，可同时采用高压细水雾消火栓系统进行联动保护，与高压细水雾灭火系统共用一套泵组系统。

3.2 设计参数与水力计算

1. 城市隧道细水雾系统的喷雾强度、喷头布置间距、安装高度和工作压力等设计参数应按照附录A经实体火灾模拟试验确定，并应符合表3.2.1的规定。当喷头的设计工作压力小于10MPa时，应经试验确定。

表3.2.1 系统的喷雾强度、喷头的布置间距、安装高度和工作压力

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 应用场所 | 喷头的工作压力（MPa） | 喷头的安装高度（m） | 系统的最小喷雾强度（L/min·m2） | 喷头的最大布置间距（m） |
| 城市地下交通联系隧道 | ≥10 | ≤3.0 | 1.1 | 3.0 |
| 城市道路隧道 | ＞4.0且≤5.0 | 2.0 | 4.0 |

1. 采用分区应用方式的系统，发生火灾时，至少应同时启动2个防护分区，且每个防护分区长度不宜小于25m。
2. 系统宜同时启动火源所在防护分区、火源上游防护分区及火源下游防护分区。
3. 系统的设计响应时间不应大于30s。
4. 系统的设计持续喷雾时间应符合下列规定：

1 用于保护行车主隧道时，系统的设计持续喷雾时间不应小于60min；

2 用于保护变配电室、电缆隧道或电缆夹层等场所时，系统的设计持续喷雾时间不应小于30min；

3 用于保护发电机房等场所时，系统的设计持续喷雾时间不应小于20min。

1. 系统管道的水头损失应按现行国家标准《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898第3.4.11和3.4.12条的规定计算。
2. 管件和阀门的局部水头损失宜根据其当量长度计算。
3. 防护分区的面积应按下式计算：

式中：

*S*—防护分区面积（m2）；

*L*—防护分区沿隧道纵向的长度（m）；

*W*—隧道的宽度（m）。

1. 系统的设计供水压力应按下式计算：

式中：——系统的设计供水压力（MPa）；

——系统管道的水头损失（MPa）；

——最不利点喷头与储水容器最低水位的高程差（MPa）；

——最不利点处喷头的工作压力（MPa）。

1. 细水雾喷头的设计流量应按下式计算：

式中：

*q*—喷头的设计流量（L/min）；

*K*—喷头的流量系数[L/min/(MPa)1/2]；

*P*—喷头的设计工作压力（MPa）。

1. 系统的设计流量应按下式计算：

式中：

—系统的设计流量（L/min）；

*n*— 计算喷头数；

— 计算喷头的设计流量（L/min）。

1. 系统的设计流量应为计算同时启动的防护分区内所有喷头同时开放时的流量之和，取其中可能出现的最大值，并考虑1.05的安全系数。与高压细水雾消火栓系统联用时尚应考虑其流量。
2. 系统设计流量的计算，应确保任意计算面积内4只喷头围合范围内的平均喷雾强度不低于本规程表3.2.1的规定值或实体火灾试验确定的喷雾强度。
3. 系统储水容器的设计所需有效容积应按下式计算：

式中：——储水容器的设计所需有效容积（L）；

*t*——系统的设计持续喷雾时间（min）。

1. 至少有一路满足系统设计要求的可靠补水水源时，可适当减小储水容器容积。
2. 隧道内高压细水雾消火栓的间距不应大于50m，栓口距地面的高度宜为1.1m。
3. 高压细水雾消火栓用水量应根据同时使用高压细水雾水枪数量和单支水枪的喷雾量经计算确定，且其用水量不应低于60L/min。
4. 细水雾灭火添加剂自动注入装置的注入泵工作压力应至少比细水雾灭火系统的泵组出口管道压力高1.0MPa。
5. 含灭火添加剂细水雾灭火系统的灭火添加剂持续喷射时间不应小于20min。

3.3 系统组件和管道及其布置

1. 城市隧道细水雾灭火系统由供水装置、过滤装置、分区控制阀组、细水雾喷头等组件和供水管道组成，含灭火添加剂细水雾灭火系统尚应包括添加剂注入装置组件。
2. 含灭火添加剂细水雾灭火系统的添加剂注入方式宜采用计量法。
3. 城市隧道所采用的细水雾灭火系统及其部件应符合现行行业标准《细水雾灭火装置》XF 1149等的有关规定。
4. 系统组件直接暴露于隧道环境或直接与水接触时应采用不锈钢材料，并应具有耐腐蚀性能。系统管道及连接件应采用不锈钢材料，且应符合现行国家标准《细水雾灭火系统设计规范》GB 50898的有关规定。
5. 系统管道应采用防晃金属支、吊架固定在隧道主体结构上，支、吊架应能承受管道充满水时的重量及冲击。
6. 系统应沿隧道纵向划分防护分区对隧道实施保护，并按防护分区设置分区控制阀组。每个分区控制阀组应设置泄放试验阀。
7. 每个防护分区设置若干根配水支管，并通过分区控制阀组与供水主管连通，每根配水支管设置若干个细水雾喷头。
8. 系统组件应设置在能避免交通车辆碰撞等损伤的位置，当不能避免时应采取防撞措施。
9. 分区控制阀组应设置于隧道侧壁消防洞室，并应符合国家标准《细水雾灭火系统设计规范》GB 50898-2013第3.6.6和3.6.7条的有关规定。
10. 细水雾喷头宜安装于隧道顶棚下方或侧壁上部，并指向隧道下方或中心，确保系统正常工作情况下细水雾可覆盖整个防护分区。
11. 细水雾喷头应选用具有防堵塞措施且不影响细水雾喷放效果的喷头。
12. 设置高压细水雾消火栓时宜与分区控制阀组同址设置。
13. 泵组系统应确保可在最低设计压力下同时向至少2个防护分区供水。同时启动的防护分区数目及防护分区长度应通过火灾实验并结合工程实际确定。
14. 系统的水质除应符合制造商的技术要求外，尚应符合下列要求：

1 系统的水质不应低于现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749的有关规定；

2 系统补水水源的水质应与系统的水质要求一致。

1. 细水雾添加剂注入装置的添加剂贮存箱应采用不锈钢材料制作。
2. 添加剂自动注入装置采用的灭火添加剂应符合国家相关标准的要求，并应按供应商提供的使用比例经实体火灾试验验证。

3.4 控制

1. 城市隧道细水雾灭火系统应具有自动、手动控制方式。
2. 城市隧道细水雾灭火系统的启动时机应结合隧道的排烟、疏散方案统筹考虑，且灭火系统应于火灾发生后3min内启动。
3. 城市隧道细水雾灭火系统应与火灾自动报警和控制系统联动，火灾自动报警系统探测到火灾信号或人工发现火情，可通过自动或手动远程开启火源上下游若干个防护分区的分区控制阀组，相应启动泵组系统，并应能接收泵组的工作状态、分区控制阀的启闭状态及细水雾喷放的反馈信号。
4. 在分区阀组处应设置系统手动启动装置。
5. 防护分区入口处应设置声光报警装置和系统动作指示灯。
6. 与细水雾灭火系统联动的火灾自动报警和控制系统的设计，应符合现行国家标准《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116的有关规定。隧道火灾报警探测区域宜按细水雾灭火系统的防护分区划分，宜为50-100m。

# 4 施工、验收和维护管理

4.0.1 城市隧道细水雾灭火系统系统的施工、验收和维护管理可按现行国家标准《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898的有关规定执行。

4.0.2 城市隧道细水雾灭火系统系统应进行联动试验，应在行车隧道内按设计同时动作的防护分区数目进行实际细水雾喷放试验。

4.0.3 高压细水雾消火栓系统应在最不利处的高压细水雾消火栓进行喷放测试，试验压力不应小于设计的工作压力。

4.0.4 细水雾添加剂自动注入装置应按设定注入比例进行计量测试，流量偏差不应大于10%。

4.0.5 细水雾灭火添加剂应根据其使用有效期定期更换。

# 附录A 城市隧道细水雾灭火系统实体火灾模拟试验

(规范性附录)

A.0.1 本试验的目的是通过隧道全尺寸火灾试验评估细水雾系统的综合性能。

A.0.2 城市隧道模拟试验空间应符合下列要求：

1 试验空间的宽度和高度不应小于受保护隧道的实际尺寸，长度不应小于系统设计的最小保护长度；

2 试验应在强制纵向通风的环境下进行。隧道行车通道正中位置的风速宜为2-3m/s。

A.0.3 试验中的火灾模型应符合下列要求：

1 火灾模型的确定应综合考虑隧道的火灾危险性及火灾特性、防火设计目标等因素；

2 火源可采用B类火和A类火，且火源热释放功率均不应小于于3MW；

3 试验中火源的引燃方式和预燃时间应与可能发生的情况相似，并宜结合隧道火灾探测报警系统、人工报警等的响应时间统筹考虑。

A.0.4 试验中的系统应用方式应与实际隧道工程的系统设计应用方式相同。

A.0.5试验报告宜包含以下内容：

1 试验机构的信息；

2 试验隧道的详细图纸；

3 试验空间内细水雾灭火系统的安装图纸；

4 细水雾灭火系统的主要技术参数；

5 火源模型；

6 点燃方式；

7 火源位置；

8 预燃时间；

9 细水雾灭火系统的启动方式；

10 通风条件（通风类型和风速）；

11 试验前、试验时和试验后火源断面、火源上游、火源下游的温度变化曲线；

12 试验过程中热辐射变化曲线；

13 试验前、试验时和试验后隧道内能见度变化情况。

# 本规程用词说明

**1**　为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1**）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2**）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词用“不应”或“不得”；

**3**）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4**）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2**　条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

1. 《火灾自动报警系统设计规范》GB 50116
2. 《细水雾灭火系统设计规范》 GB 50898
3. 《生活饮用水卫生标准》GB 5749
4. 《细水雾灭火装置》XF 1149

城市隧道细水雾灭火系统应用技术规程

**条文说明**

（征求意见稿）

# 1 总 则

1.0.1 本条规定了制定本规程的目标和依据。社会发展对交通状况需求的不断提高和工程建设技术的不断进步，公路隧道作为公路路线的基本组成部分，与公路建设同步发展。我国交通运输部发布的《2017年交通运输行业发展统计公报》显示，至2017年年末全国公路隧道16229处、1528.51万米，增加1048处、124.54万米，其中特长隧道902处、401.32万米，长隧道3841处、659.93万米。虽然统计数据中并未明确区分山岭公路隧道、城市道路隧道，但可想而知，在城市化建设和高速公路建设快速推进的过程中，城市隧道建设作为满足城市区域交通需求重要手段，是必不可少的。

城市隧道是修建于城市区域内供行人和机动车辆通行的公路隧道，它在城市交通运输中承担着重要的枢纽作用，是众多可燃物的经过场所，并且由于客流量大、人员和车辆集中，一旦发生火灾，极易造成群死群伤、财产损失严重、隧道结构破坏及交通长期中段的严重后果。城市公路隧道属特殊路段和“瓶颈”路段，由于在隧道内行车受空间、视线、光线、驾驶员异常心理和行为等因素的影响，极易诱发各种交通事故，甚至引起火灾，直接危及隧道交通安全。诱发公路隧道火灾的原因主要有发动机自燃、轮胎起火、线路故障、货物自燃及碰撞起火等，并且大多数隧道火灾事故是由货车引起的。

国内现已建成的大量城市隧道：上海外环路隧道、上海翔殷路隧道、上海延安东路隧道、上海人民路隧道、上海复兴东路隧道、上海西藏南路隧道、上海打浦路隧道、上海上中路隧道、上海长江路隧道、杭州紫之隧道、杭州庆春路过江隧道、杭州富春江城市隧道、厦门翔安海底隧道、青岛胶州湾海底隧道、武汉长江隧道、南京长江隧道、南京玄武湖隧道、北京金融街地下车行系统、北京奥林匹克公园地下交通联系通道、北京CBD核心地下输配环工程、天津现代服务产业区地下交通工程、重庆解放碑金融街地下环道、杭州市钱江隧道、成都大源地下环形车道、广州珠江新城地下环道等。

这些城市隧道普遍位于城市交通密集区域，车流量较大，容易因发生车辆碰撞等交通事故而导致火灾，车辆发生故障起火或车载货物自燃的概率也较非交通密集区域要高一些。因此，应根据城市隧道的特点合理设置消防设施。国内现有的标准对公路隧道的结构耐火、火灾探测报警、消防给水等做出了具体的规定，如我国《建筑设计防火规范》（GB 50016-2014）中规定隧道内消火栓用水量不应小于20L/s，出水口压力不大于0.5MPa，但对于公路隧道固定灭火系统的设置与要求并不明确，国家标准《公路隧道消防技术规范》尚未正式颁布，行业标准《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》也仅要求Ａ＋、Ａ级公路隧道必须设置固定式水成膜泡沫灭火装置。国家标准《建筑设计防火规范》中对隧道内设置自动喷水灭火系统也无明确要求。国内最早的消防技术规范是云南省地方标准《公路隧道消防设计施工管理技术规程》也只规定Ⅰ级隧道应设置水成膜泡沫灭火装置，并未提及固定自动灭火系统在隧道中的应用。而上海、湖南、北京的地方标准则对部分公路隧道设置固定自动灭火系统进行了要求，具体如表1.0.1-1所示。

表1.0.1-1 国内外相关标准、规范对公路隧道设置固定灭火系统的要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 国家/机构 | 名称 | 是否设置 | 设置类型和要求 |
| 日本 | 《设计原则 第三卷（隧道） 第四部分：隧道安全设备》 | 是 | AA类隧道（≥10km），长度在3km以上、交通量大于4000辆/天的A类双向隧道需要设置水喷雾系统 |
| 澳大利亚 | 《公路隧道消防安全导则》 | 是 | 优选开式水喷淋系统；灭火系统要有30-60s延迟；如果设置泡沫灭火系统，要基于火灾预期来确定泡沫液和水的持续时间 |
| 奥地利 | 《公路设计导则和规程》 | 是 | 水喷淋系统，采用人工启动 |
| 美国 | NFPA 502 | 推荐 | 对隧道内设置水基固定式灭火系统的安装进行了推荐，并未强制要求采用某一种固定灭火系统 |
| 中国 | 《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》 | 否 | Ａ＋、Ａ级公路隧道必须设置固定式水成膜泡沫灭火系统 |
| 中国 | 《建筑设计防火规范》 | 未要求 |  |
| 中国 | 《公路隧道消防设计施工管理技术规程》（云南） | 否 | Ⅰ级隧道应设置水成膜泡沫灭火装置，泡沫混合液供给强度不应小于5.0 L/（min•m2），连续供水时间不应小于30min，设置间距不应大于50m |
| 中国 | 《道路隧道设计规范》（上海） | 是 | 一级隧道需设置泡沫－水喷雾联用系统；二级隧道需设置水喷雾系统或泡沫－水喷雾联用系统；三级和四级隧道应设泡沫消火栓 |
| 中国 | 《公路隧道消防技术规范》（湖南） | 是 | Ⅰ级隧道行车主隧道应设泡沫喷淋系统或细水雾；Ⅱ级隧道行车主隧道宜设泡沫喷淋系统或细水雾；泡沫–水喷雾联用系统喷雾强度不应小于6.5 L/（min•m2），最不利点喷头工作压力不应小于0.35MPa，泡沫混合液持续时间不应小于20min，喷雾持续时间不应小于60min；细水雾系统最小喷雾强度不应小于3 L/（min•m2），设计喷雾时间不应小于60min，从系统启动到最不利喷头出水的时间不应大于60s |
| 中国 | 城市地下联系隧道防火设计规范（北京） | 是 | 一类、二类隧道及三类隧道中的Ⅰ类隧道宜设置水喷雾灭火系统或泡沫-水喷雾联用灭火系统 |

目前，国内外用于公路隧道的自动灭火系统主要有水喷淋灭火系统、水喷雾灭火系统、细水雾灭火系统、泡沫-水喷雾灭火系统、压缩空气泡沫灭火系统等。这几种灭火系统各有其优势及劣势，如水喷淋灭火系统较为简单、安装维护成本较低，但是用水量大，灭火和降温冷却效果一般。压缩空气泡沫灭火系统和泡沫水-喷雾灭火系统灭火和降温冷却效果都较好，但是系统都比较复杂，安装维护成本很高，并且这两种系统都存在一些比较严重的问题：1）泡沫液腐蚀性能强，隧道消防管道和排水设施易被腐蚀；2）喷射后产生的大量泡沫堆积在废水泵房，影响排水系统的正常功能。而细水雾灭火系统比压缩空气泡沫灭火系统和泡沫水-喷雾灭火系统要简单一些，安装维护成本也相对较低，用水量小且降温冷却效果好，抑火、控火效果好，并且灭火介质为水，腐蚀性要比泡沫液弱得多。因此，细水雾灭火系统用于公路隧道是值得考虑及推荐的。

欧洲部分研究机构开展的关于隧道细水雾灭火系统的研究——UPTUN项目和SOLIT2项目都发布了隧道固定灭火系统工程设计导则，为包括细水雾系统在内的固定灭火系统在公路隧道内的应用提供了设计指导。美国《公路隧道、桥梁和其它有限制性通道公路标准》（NFPA 502，2008年版开始有此规定）规定公路隧道允许使用固定灭火系统，包括泡沫-水喷淋灭火系统、水喷雾灭火系统、泡沫-水喷雾灭火系统和细水雾灭火系统，并建议系统在发生火灾后3min内启动以阻止火势增长。世界道路协会（PIARC）发布的报告《公路隧道固定灭火系统：现状和推荐》（2016R03EN）也推荐在隧道内使用包括细水雾系统在内的固定灭火系统。国外，尤其在一些欧洲国家，许多2005年以后新建的隧道采用的是细水雾灭火系统。国内也有部分隧道应用了细水雾系统，如成都大源商业商务核心区地下环状行车道安装了高压细水雾灭火系统，其目的是消防安全保护。但对于细水雾灭火系统在隧道的应用未有明确的要求与试验方法，现有的细水雾灭火系统设计规范已不能适应此类隧道的需求。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。本规程规定涉及细水雾灭火系统的设计、施工、验收及维护管理等各方面。

1.0.3 本条规定了城市隧道细水雾灭火系统设计的基本原则。细水雾灭火系统可以用于城市隧道火灾的扑灭、抑制或控制。城市隧道所采用的细水雾灭火系统进行设计时要充分考虑城市隧道的实际情况，如火灾特性、火灾设防功率、隧道几何尺寸、隧道风速等，同时也要遵循国家有关方针政策，兼顾安全性与经济性。

《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898中细水雾灭火系统的应用更趋向于针对实际工程的个体特性，通过试验的方式来确定相关设计参数并完成设计的性能化设计方法。本规程中由于城市隧道的自身特点，也倾向于针对实际城市隧道的个体特性，通过实体试验确定相关的设计参数并完成设计。

1.0.5 城市隧道细水雾灭火系统的设置，除本规程中已注明的以外，还要求同时执行下列标准的相关规定：现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016等有关城市交通隧道防火标准，现行国家标准《细水雾灭火系统设计规范》GB 50898等有关设计标准，现行公共安全行业标准《细水雾灭火装置》XF 1149等有关产品标准以及现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235等有关施工验收标准和管道材质等其他相关标准。

# 2 术语和符号

2.1术语

2.1.1 城市隧道，行业标准《公路隧道设计规范》JTG D70对于“公路隧道”的定义是“供汽车和行人通行的隧道，一般分为汽车专用和汽车与行人混用的隧道”，对于“山岭隧道”的定义则为“指贯穿山岭或丘陵的隧道。是相对于城市隧道和水下隧道，表示修建场所不同的名称”。《建筑设计防火规范》GB 50016中对“城市交通隧道工程”的定义是“在城市建成区内建设的机动车和非机动车交通隧道及其辅助建筑”。那么，“城市隧道”可以定义为“在城市建成区内建设的供行人、非机动车辆和机动车辆通行的公路隧道，是相对于山岭隧道，表示修建场所不同的名称”。

而国内现已建成的大量城市隧道：上海外环路隧道、上海翔殷路隧道、上海延安东路隧道、上海人民路隧道、上海复兴东路隧道、上海西藏南路隧道、上海打浦路隧道、上海上中路隧道、上海长江路隧道、杭州紫之隧道、杭州庆春路过江隧道、杭州富春江城市隧道、厦门翔安海底隧道、青岛胶州湾海底隧道、武汉长江隧道、南京长江隧道、南京玄武湖隧道、北京金融街地下车行系统、北京奥林匹克公园地下交通联系通道、北京CBD核心地下输配环工程、天津现代服务产业区地下交通工程、重庆解放碑金融街地下环道、杭州市钱江隧道、成都大源地下环形车道、广州珠江新城地下环道等。这些隧道有用于市政交通的城市道路隧道如上海长江路隧道、厦门翔安海底隧道等，有位于城市中心区域用以市政交通和联系地面道路与地下车库的地下联系隧道如成都大源地下环形车道等。

2.1.2 城市地下联系隧道，主要指修建于城市中心区域，联系地面道路与地下车库的道路工程，此说法引自北京市地方标准《城市地下联系隧道防火设计规范》DB11/T 1246-2015。城市地下联系隧道不同于常规城市交通隧道及过街地下通道，较为明显的区别为：城市交通隧道通常与周边地块的车库无联系，通常仅需满足市政交通需求即可。过街地下通道建设规模小，主要用于行人通行。城市地下联系隧道兼顾市政交通与联系周边地块车库的功能，平面布局更为复杂，城市地下联系隧道发生火灾后的影响范围更大。

2.1.6 防护分区，对于安装了固定灭火系统的隧道而言，发生火灾时一般启动火源区域一定范围内的喷头就可扑灭、抑制或控制火灾，因此设计灭火系统时一般沿隧道纵向划分区域实施保护，并设置相应的控制阀组，阀组启动时，该区域的喷头发生作用。按现行国家标准《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898中“防火区”的定义，即能满足系统应用条件的有限空间，当细水雾灭火系统用于城市隧道行车隧道时，可将整个隧道视为一个防护区，再沿长度方向细分为若干个分区，故称防护分区。

# 3 系统设计

3.1 一般规定

3.1.1 本条规定了城市隧道所采用的细水雾灭火系统在设计时需要考虑的主要因素。隧道的特征及环境条件，主要指隧道的几何尺寸、隧道风速或通风状况、环境温度、洁净度等。火灾危险性与可燃物的数量、种类、位置及分布、受遮挡的情况以及空间特性和火灾蔓延扩大的可能性等因素有关。如行车隧道的火灾危险性要考虑隧道的用途、交通组成情况，电缆隧道要考虑电缆的燃烧性能等。喷头的喷雾特性，主要指喷头的雾滴粒径、流量系数、雾化角、雾动量等。喷头的布置方式主要指喷头的安装高度、安装间距、与隧道侧壁的间距等。

3.1.2本条规定了城市隧道内适宜采用细水雾灭火系统的场所。

城市隧道内的行车主隧道、行车横洞、逃生通道、附属的变配电室、发电机房、电缆隧道或电缆夹层等都可设置细水雾灭火系统进行保护，

3.1.3 本条规定隧道内不同应用场所的系统选型原则。

本条主要参考《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898规定的不同应用场所的系统选型原则。考虑到隧道火灾蔓延快、不易控制、高温有毒烟气容易积聚等特点，若系统无法及时开启，很可能无法有效抑制或控制火灾，再考虑到隧道内高温高湿高风速等环境条件，采用玻璃泡等作为动作元件的闭式喷头受风速影响很难有效启动及长久使用，因此应采用开式细水雾系统。另外，对于一些危险性较大的隧道，可利用细水雾添加剂提高系统的控火灭火效果。

3.1.4 泵组系统应用范围广，可以持续灭火，适合长时间、持续工作的场所，尤其是涉及人员保护或防火冷却的场所。瓶组系统储水量小，难以保证持续供水，容易导致灭火控火失败。而隧道火灾尤其是行车主隧道火灾一般有延烧时间长的特点，且涉及人员和车辆极广，应采用泵组系统，保障持续一定时间的供水。其余应用场所如电缆隧道、发电机房等所采用的细水雾灭火系统参照《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898宜选用泵组系统。

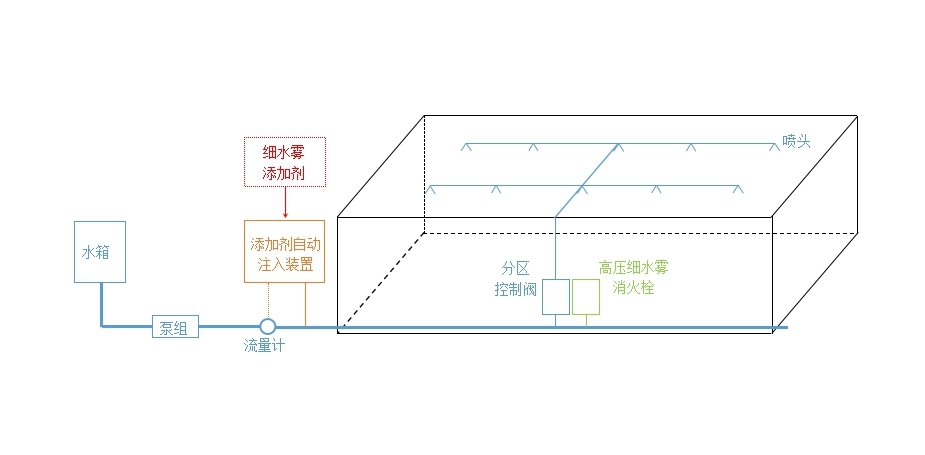
3.1.5 高压细水雾消火栓系统由高压细水雾消火栓箱(含喷射装置、卷盘、高压软管、快速接头等)、高压细水雾泵组、贮水箱、泵组控制柜、供水管网等组成，隧道已配置高压细水雾灭火系统时，仅需再增设高压细水雾消火栓箱，即可利用原有系统提高隧道的火灾防控能力。

图1 高压细水雾系统与高压细水雾消火栓示意图

3.2 设计参数与水力计算

3.2.1-3.2.7 规定了城市隧道细水雾灭火系统的主要设计参数。

美国《公路隧道、桥梁和其它有限制性通道公路标准》（NFPA 502）第9章“固定式水基自动灭火系统”、德国SOLIT2项目的研究报告（Engineering Guidance for a Comprehensive Evaluation of Tunnels with Fixed Fire Fighting Systems using the example of water based Fixed Fire Fighting Systems）对细水雾系统在隧道内的应用做出了指导，但一般要求应用应建立在实体火灾试验或实体火灾模拟试验的基础上。如表3.2.2所示，目前，国外公路隧道安装细水雾系统大多为高压细水雾系统，系统喷雾强度0.5-0.8L/min·m3，分区长度24-40m，同时启动2-3个分区，喷头安装间距为2-3.6m，持续喷射时间为1-5h（多数为1h），主要目的是保护隧道结构、隧道设备和保障生命安全。成都大源商业商务核心区地下行车环道（总长3050m）安装了开式高压细水雾系统，其设计参数如下：系统响应时间不大于30s；系统持续喷雾时间30min；最不利点喷头工作压力不低于10MPa，喷头K系数为1.0，喷头安装间距不大于3.0m，不小于2.0m，距墙不大于1.5m；最小喷雾强度为1.1L/min·m2。

因此，参考上述资料并经综合考虑后确定了系统的最低设计要求，具体应用参数仍要按照本规程附录A的要求经实体火灾模拟试验确定。

表3.2.2部分公路隧道细水雾系统应用案例

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 隧道 | 隧道长度（m） | 通风方式 | 工作压力（bar） | 系统类型  （或厂家） | 喷雾强度（L/min/m3） | 喷雾强度（L/min/m2） | 分区长度（m） | 喷头间距(m) | 动作分区数 | 持续喷射时间（h） | 火灾设防标准（MW） |
| 奥地利Felbertauern | 5300 | 横向 | 30-40 | AQUASYS | 0.78 | 4 | 36 | 2 | 3 | 5 | 200 |
| 奥地利  Mona Lisa | 800 | 纵向 | 30-40 | AQUASYS | 0.70 |  | 40 | 2 | 3 | 2 | 200 |
| 芬兰  Helsinki服务隧道 | 2200 | 纵向 | 80 | HI-FOG  （Marioff） | 0.50 | 2.1 | 25-30 | 3.5 | 2 | 1 | 20 |
| 荷兰  Roertunne | 2015 | 纵向 | 30-40 | AQUASYS | 0.78-0.80 |  | 25 | 2 | 3 | 1 | 200 |
| 荷兰  Swalmen | 429 | 纵向 | 30-40 | AQUASYS | 0.70-0.72 |  | 25 | 2 | 3 | 1 | 200 |
| 西班牙  Calle 30 | 2352 | 半横向 | 50-140 | FOGTEC | 0.70 |  | 24 | 3.2 | 3 | 1 | 30 |
| 英国  Dartford | 1435 | 纵向  半横向 | 45bar（喷头） | FOGTEC | 0.73 |  | 25 | 3.57 | 3 | 1 | - |
| 英国  Tyne-NB | 1650  （高4.87m或4m | 纵向 | 50bar（喷头） | FOGTEC | 0.50 |  | 25 | 2.8-3.6 | 3 | - | 200 |
| 英国  Tyne-SB | 1500  (高5.1m) | 纵向 | 50bar（喷头） | FOGTEC | 0.50 |  | 25 | 2.8-3.6 | 3 | - | 200 |
| 丹麦Nordhavnsvejens | 625×2 | - | 10bar（喷头） | Tunprotec  （VID Fire-kill） | - | 2.5 | 25 |  | 3 | - | - |
| 奥地利  Bregenz City Tunnel | 1311 | 纵向 |  | AQUASYS |  | 4.0 |  |  |  | 1.5 | — |

备注：表格中的数据源自世界道路协会（PIARC）发布的报告《公路隧道固定灭火系统：现状和推荐》（2016R03EN）。

3.2.19 本条参考公路隧道泡沫-水喷雾灭火系统泡沫液的持续喷射时间20min，细水雾灭火添加剂的喷射时间确定为20min。

3.3 系统组件和管道及其布置

3.3.3 本条规定城市隧道所采用的细水雾灭火系统产品和组成部件应符合国家标准。

3.3.4本条规定了系统组件和管道的材质要求。隧道内的工作环境比较复杂，如温度、湿度、粉尘、汽车尾气等均是造成隧道内设备腐蚀的重要影响因素，而且，细水雾灭火系统喷头孔径小，当管道设备、阀组发生锈蚀时，极易堵塞喷头。因此，规定系统组件应采用不锈钢材料。

3.3.11本条规定了细水雾喷头的防堵塞要求。城市隧道通行大量交通车辆，存在大量粉尘、汽车尾气携带的固体颗粒物等污染物，日积月累之下极易堵塞细水雾喷头，因此，喷头细水雾喷头应具有防堵塞措施。

3.3.15-16 细水雾灭火添加剂可选用符合国家标准要求的水系灭火剂、泡沫灭火剂、A类泡沫灭火剂等，而这些药剂往往具有一定的腐蚀性，因此，要求添加剂贮存箱采用不锈钢材料制作。

3.4 控制

3.4.2 隧道细水雾灭火系统启动后会扰动烟气层，影响隧道内的能见度，从而影响人员疏散，所以其启动时间应结合隧道的排烟、疏散方案统筹考虑。另外，PIARC（世界道路协会）的研究，在人工控制的隧道内，火灾探测、报警所需时间约为2-5min，美国《公路隧道、桥梁及其他限行公路标准》（NFPA 502-2017附录E.4.2）建议固定水基灭火系统（包括细水雾系统）在发生火灾后3min 内启动以阻止火势增长，因此，此处规定细水雾灭火系统应在火灾发生后3min内启动，以控制火灾发展。

# 4 施工、验收和维护管理

城市隧道细水雾灭火系统的施工、验收及维护管理大多可按照现行国家标准《细水雾灭火系统技术规范》GB 50898的相关规定执行。国家标准中未规定的如高压细水雾消火栓、添加剂自动注入装置等的施工、验收和维护管理按本章规定执行。

# 附录A 城市隧道细水雾灭火系统实体火灾模拟试验

附录A为参考NFPA 502附录E.6及SOLIT2 项目《安装了固定灭火系统的隧道综合评估工程应用指南 附录7：用于评估固定式灭火系统的火灾试验和火灾场景》作出的规定，主要用于通过实体火灾试验评估细水雾灭火系统的综合性能。