

特长城市隧道消防系统设计及参数选择

黄光宇

(深圳市市政设计研究院有限公司, 广东 深圳 518031)

摘要: 深圳市马峦山隧道为单洞 7.9 km 长的特长城市隧道,其灭火、疏散、救援等问题十分复杂,消防系统的设计目前也没有十分全面的规范支撑与实例参考。该工程消防系统采用了消防栓系统、泡沫-水喷雾联用灭火系统、固定式水成膜泡沫灭火系统、灭火器配置。系统的设置组合考虑了初期小火自救、初期火灾自动控火及灭火、消防员人工灭火的多种手段,保证火情有效控制,赢得疏散及救援时间。详述了特长城市隧道消防系统的选择方法及设计要点、重要设计参数,为类似工程提供了参考。

关键词: 特长城市隧道; 消防系统; 泡沫-水喷雾联用火系统; 常高压系统

中图分类号: TU998.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)24-0079-05

Design and Parameters Selection of Fire Fighting System in Super Long Urban Tunnel

HUANG Guang-yu

(Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Shenzhen 518031, China)

Abstract: The Maluan Mountain Tunnel in Shenzhen is a super long urban tunnel with the distance of single hole as 7.9 km. Its fire extinguishing, evacuation, rescue and other problems are very complicated. The design of fire control system had not been fully supported by specifications and reference. The fire hydrant system, foam water spray combined with fire extinguishing system, fixed water film forming fire extinguishing system and fire extinguisher were adopted in the project. In order to ensure the effective control of fire, to win the evacuation and rescue time, the system set up the combination of measures as the initial small fire self-rescue, early fire automatic fire control and fire extinguishing, fire-fighters artificial fire extinguishing. This paper summarized the characteristics of the long city tunnel, the selection method of the fire control system and the main design points, and expounded how to determine the important design parameters of each system, and provided some reference for the similar projects.

Key words: super long urban tunnel; fire fighting system; foam water spray combined with fire extinguishing system; high-pressure system

相比常规隧道,城市交通隧道的主要特点体现在每天均有固定的交通高峰时段,交通量峰值较大,并可通行更多的公交车。特长城市隧道因其长度过长,由驾驶员视觉疲劳等原因引起的交通事故概率会成倍增加,火灾救援的难度较大。因此,选择并设计一套可靠的消防系统对特长隧道的安全运营十分

重要^[1]。深圳市盐坪通道工程马峦山隧道即为特长城市隧道,笔者对其设计进行总结。

1 工程概况

深圳市坪盐通道工程跨越坪山、盐田两区,北起坪山新区锦龙大道——中山大道交叉口,南至盐田区盐坝高速,全长约 11.25 km,全线共设 2 座大型

互通立交、1座特长隧道、15座桥梁。其中,马峦山隧道(见图1)为城市快速路,设计速度为80 km/h,采用分离式独立双洞,单洞隧道总长约7.9 km。

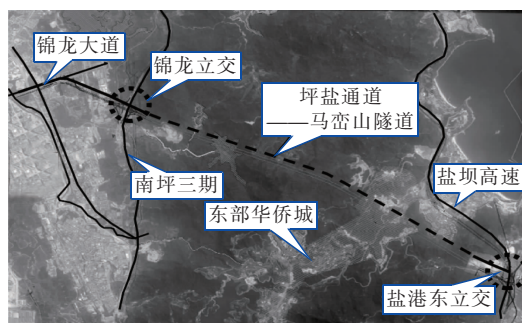


图1 隧道位置示意

Fig. 1 Schematic diagram of tunnel location

2 消防系统选择

特长城市交通隧道的消防设计国内尚无专门的规范进行针对性指导,目前主要以《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)^[2]、《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)^[3]、《建筑灭火器配置设计规范》(GB 50140—2005)作为主要依据,并参考《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D 70/2—2014)及《泡沫灭火系统设计规范》(GB 50151—2010)。

马峦山隧道总长约7.9 km,属一类隧道,按规范需要设置隧道内、外消火栓系统,固定式水成膜灭火系统以及配置灭火器。而本工程在立项时已成为全国隧道单洞长度最长的城市交通隧道,隧道内外的交通组织、火灾事故工况下的疏散及救援比一般

长度的隧道更加复杂,且隧道内会长期通行公交车、货运车,一旦发生火灾,控火、灭火的难度会非常大,能够在第一时间发现火灾并在火势初期将其扑灭是本工程消防系统设计的重点及难点。在项目初期,笔者与市交委、消防部门的专家进行了多次探讨,并最终决定在本工程采用自动灭火系统。泡沫-水喷雾联用灭火系统可有效控制及扑灭A类、B类火灾,其冷却隔热、消烟释毒的作用也为隧道内逃生创造了良好的条件,将在深圳地区首次尝试应用。

3 消防系统设计

本工程设置隧道外消火栓系统、隧道内消火栓系统、固定式水成膜泡沫灭火系统、泡沫-水喷雾联用灭火系统及配置灭火器。

3.1 水源、水压及消防供水

隧道北侧为坪山端,洞口地面绝对标高约71 m,南侧为盐田端,洞口地面绝对标高约45 m,隧道最高点设置在其中部略靠近坪山端一侧,地面绝对标高约85 m,纵断面为入字坡。坪山端有现状DN300市政给水管,盐田端有现状DN800市政给水管,水压均无法满足隧道消防设施所需压力。考虑到隧道消防供水可靠性,隧道内、外各消防给水系统均采用常高压系统,设置山顶高位消防水池,各水池储存一次火灾延续时间内所需的所有水量。在南、北洞口外分别设置二次加压泵房,将市政水提升至高位消防水池。

3.2 消火栓系统

隧道消防给水系统示意图见图2。

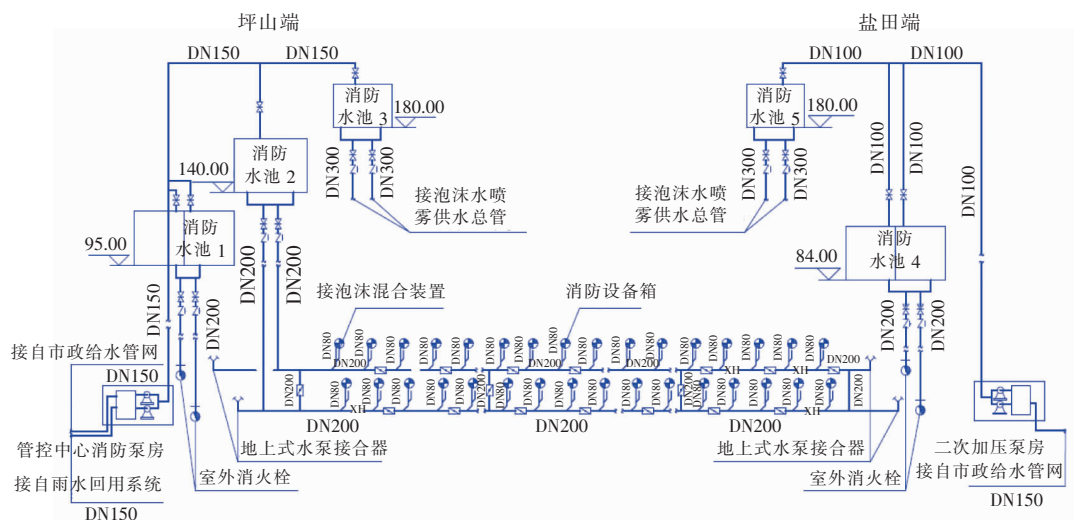


图2 隧道消防给水系统原理

Fig. 2 Schematic diagram of tunnel fire water supply system

3.2.1 系统参数确定

根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)第12.2.2条,一类隧道外的消火栓用水量不小于30 L/s,隧道内的消火栓用水量不小于20 L/s,火灾延续时间不小于3 h。

根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)第3.4.13、3.5.5、3.6.5条,一类城市轨道交通隧道外的消火栓用水量为30 L/s,隧道内的消火栓用水量为20 L/s,火灾延续时间根据火灾危险性分析确定,确有困难时,可按不小于3 h计。

根据《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D 70/2—2014)第10.2.6条,长度 $\geq 3\,000$ m的公路隧道内的消火栓用水量为20 L/s,火灾延续时间为4 h。

以上三种规范均对消火栓用水量有着几乎相同的规定,而一类公路隧道因考虑其距城市较远,消防人员不能及时赶到、灭火难度大等因素,将火灾延续时间规定为4 h。马峦山隧道虽定义为城市交通隧道,但其与一类公路隧道火灾救援条件十分相似,故本工程按照室外消火栓用水量为30 L/s、室内消火栓用水量为20 L/s、火灾延续时间为4 h进行设计。根据以上所选定参数,可计算出隧道高位消防水池有效容积。

3.2.2 隧道外消火栓系统

在隧道南、北洞口附近山上分别设置高位消防水池(1#高位消防水池有效容积为700 m³,池底绝对标高为100 m;4#高位消防水池有效容积为700 m³,池底绝对标高为88.4 m),水池补水分别由隧道两端二次加压泵房内补水泵进行提升供水,补水时间不超过48 h。分别从1#、4#高位消防水池接出2根DN200给水管沿管养步道明敷至两侧洞口,与隧道外室外消火栓相接并供水,每个室外消火栓流量按15 L/s计算,南、北洞口各设置2座。同时,北侧洞口2根DN200给水管预留管控中心室外消火栓用水接口。

3.2.3 隧道内消火栓系统

在隧道北侧坪山端洞口山上设置高位消防水池(2#消防水池,有效容积为457 m³,池底绝对标高为150 m),供隧道内消火栓系统用水,水池由隧道北侧二次加压泵房内补水泵补水。从2#消防水池接出2根DN200给水管沿管养步道明敷至隧道坪山端洞口,与隧道内消火栓给水管网相接并供水。

沿隧道左、右线车行方向右侧管沟中各敷设一路DN200消防干管;为保证供水可靠性,并减少系统计算水头损失,在隧道洞口外及人行横通道敷设DN200管道与消防干管相连,形成环状供水管网。

沿隧道左、右线车行方向右侧壁每隔40 m设置消防设备箱。箱内配备DN65、长为25 m内衬胶麻质水龙带2组,Ø19 mm水枪2支,DN65消火栓2个(为单管双口双阀消火栓),灭火器MF/ABC5四具。为方便消防人员取水,消火栓的栓口距离检修道高度为1.10 m,而非与路面距离。

对纵断面高差较大、长度较长的隧道应进行系统超压计算,防止因管道超压引起漏水、爆管以及灭火时无法控制水龙带的情况发生。根据规范要求,管道内的消防供水压力应保证用水量达到最大时,最低压力不应小于0.30 MPa,但当消火栓栓口处的出水压力超过0.50 MPa时,应设置减压设施(坪山端洞口至隧道内2 420 m处的消火栓需减压,其中双栓消火栓为122个,单栓消火栓为4个)。

隧道内消防管道系统中每隔不超过2个消防设备箱设置一处阀门,为减小管沟尺寸,减少整体土建造价,阀门选择软密封蝶阀。隧道内消防干管每隔1~2 km及最高点设置自动排气阀,最低点设置泄水阀。

在隧道每个洞口外车行道右侧适当位置各设置1座DN100消防水泵接合器,共4座;距每座接合器15~40 m内,设置1座DN150室外消火栓,共4座。

3.3 固定式水成膜泡沫灭火系统

固定式水成膜泡沫灭火系统可作为泡沫-水喷雾联用灭火系统的前置补充。火灾发生初期,往往明火在车体内部或车底,暂无法被监控系统感应到,此时司乘人员可根据自身情况,利用固定式水成膜泡沫灭火系统进行更加早期的火灾扑救,可大幅降低火灾发展的几率。

3.3.1 系统参数确定

根据《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》(JTG D 70/2—2014)规定,并结合消防器材市场实际情况,隧道内设置固定式水成膜泡沫灭火系统,用水量为1 L/s,泡沫混合液的混合比不应小于3%,喷射时间不应小于22 min,最不利点的供水压力不应小于0.35 MPa。

3.3.2 系统设计

固定式水成膜泡沫设备与隧道内消火栓设备共

用箱体,在隧道左、右线车行方向右侧的消防设备箱中配备可供大于 22 min 灭火的水成膜泡沫液不锈钢罐(40 L)1 个和 DN20、长 25 m 胶管 1 组,泡沫喷枪 1 支,胶管置于消火栓箱的 90°可转向自救盘。

3.4 泡沫-水喷雾联用灭火系统

隧道泡沫-水喷雾联用灭火系统见图 3。

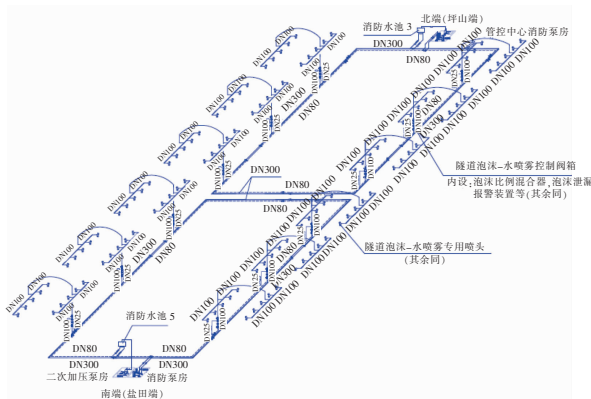


图3 隧道泡沫-水喷雾联用灭火系统

Fig. 3 Tunnel foam water spray combined with fire extinguishing system

3.4.1 系统参数确定

根据《泡沫灭火系统设计规范》(GB 50151—2010),隧道内设置泡沫-水喷雾联用灭火系统,泡沫强度 $\geq 6.5 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$,最不利点处喷头的工作压力不应小于 0.35 MPa,泡沫混合液的混合比不应小于 3%,持续喷射时间不应小于 20 min,喷雾时间不应小于 60 min,系统的作用面积不宜大于 600 m^2 。经计算,系统用水量为 79.5 L/s,响应时间不应大于 45 s。

3.4.2 系统设计

因本工程隧道长度较长,且泡沫-水喷雾联用灭火系统的用水量大,导致系统管道损失巨大。若采用一套系统,必将增大管径,增加隧道横断面尺寸,不利于降低总体造价,故将隧道内泡沫-水喷雾联用灭火系统分为南、北两段的独立系统。其中,泡沫系统的设计方案关系到消防可靠性、造价、后期维护等多方面问题,需要进行方案比选:

方案一,泡沫干管平时充满泡沫原液(湿式系统)。优点:消防工况快速响应,可靠性高;泵房内泡沫原液罐有效容积较小,节省占地面积。缺点:泡沫干管平时充满泡沫原液,存在日常泄漏的风险。

方案二,泡沫干管平时为空管,管道系统设置快速排气阀(干式系统)。优点:泡沫干管平时为空

管,减少泡沫原液泄漏的风险。缺点:消防工况需进行快速排气,因隧道长度过大,泡沫原液到达火点时间较长,且存在快速排气阀故障的风险;泵房内泡沫原液罐的有效容积需考虑到达最不利点处所有管道内的泡沫原液体积,导致罐体巨大,浪费占地面积;日常消防测试需耗费过多泡沫原液。

经以上分析,考虑消防可靠性、系统设置合理性,本工程采用泡沫干管平时充满泡沫原液的方案,且泡沫比例混合装置内有泡沫液泄漏报警装置,可及时发现泡沫液泄漏事故,大大降低日常维护费用。

在隧道南、北洞口附近山上分别设置高位消防水池(3#高位消防水池有效容积为 336 m^3 ,池底绝对标高为 185 m;5#高位消防水池有效容积为 336 m^3 ,池底绝对标高为 185 m),水池补水分别由隧道两端二次加压泵房内补水泵进行提升供水,补水时间不超过 48 h。分别从 3#、5#高位消防水池接出 2 根 DN300 给水管沿管养步道明敷至两侧洞口,与隧道内泡沫-水喷雾给水干管相接并供水。在隧道两侧洞口附近的消防泵房内各设置一套泡沫加压泵组($Q=2.5 \text{ L/s}$, $H=1.15 \text{ MPa}$, $P=7.5 \text{ kW}$),1 用 1 备,一台 3.5 m^3 不锈钢泡沫原液罐,一台 80 L 不锈钢气压罐,为隧道内泡沫-水喷雾联用灭火系统供给泡沫,隧道内泡沫干管与水喷雾给水干管并列敷设。

除南北两端各洞口 500 m 范围内(考虑到洞口附近消防工况下主要为疏散),隧道内每 25 m 划分为一个泡沫-水喷雾区间,消防时相邻两个区间同时动作,每个区间由一套隧道专用泡沫水喷雾控制阀组控制,并与消防报警系统一一对应;灭火结束后,隧道内应启动通风、除湿的通风系统。控制阀箱沿隧道左、右线行车方向左侧每 25 m 左右设置一处。每个区间在隧道的两侧上方设置 5 个远近射程的隧道专用水成膜泡沫喷头,喷头间距为 5 m,安装高度为 4.0 m。

隧道泡沫水喷雾管道系统中每隔不超过 250 m 设置一处检修阀,并按规范要求设置排气阀、泄空阀等阀门附件。

3.5 灭火器配置

除隧道行车方向右侧壁消防设备箱内设置灭火器外,需按照规范要求,在隧道行车方向左侧壁设置灭火器箱,箱内配备 4 具灭火器(MF/ABC5),灭火器箱设置点的纵向间距不应大于 50 m。

隧道变电所内根据《建筑灭火器配置设计规范》(GB 50140—2005)设置磷酸铵盐干粉灭火器,危险等级为严重危险级,每50 m²设置2具MF/ABC5,每个变电所设置10具。

3.6 消防系统控制要求

因本工程消防给水系统均为常高压系统,减小了常规消防给水系统的控制复杂性,其主要为山顶消防水池液位与二次加压泵房补水泵的联动。而泡沫-水喷雾联用灭火系统的控制可靠性直接关系到整个隧道内火灾初期自动灭火系统的作用成败,需要此系统在火灾初期快速反应并扑灭火情,且在平时不发生误喷故障。故在此仅针对隧道内泡沫-水喷雾联用系统的控制系统进行详细介绍。

工作原理:泡沫-水喷雾联用系统报警控制器在接收到火灾报警信号后,延时5~30 s(人员确认火灾)自动发出控制信号联动打开两个防护区的泡沫/喷雾控制阀组中的雨淋阀电磁阀,同时联动打开泡沫电磁阀启动泡沫泵,经比例混合器混合后进入专用泡沫喷头进行灭火;系统入口水压设置应保证泡沫液的扬程比水的扬程大100 kPa以上,以满足控制阀组正常工作要求;阀组内有平衡阀解决压力变化的问题,保证混合比例不变,通过比例混合装置进行控制,控制浓度为3%~3.9%。防护分区与火灾报警系统探测分区一一对应;灭火结束后,隧道内启动通风、除湿的通风系统。系统管网压力由高位消防水池维持,采用自动、手动控制及应急操作。

自动控制:隧道内泡沫喷雾系统平时处于战备状态,即系统供水为常高压系统,由山顶消防水池维持系统工作压力;系统泡沫为临时高压系统,泡沫泵与泡沫稳压罐将充满泡沫原液的泡沫管道维持工作压力状态。发生火灾时,由两路探测器确认火灾并发出火警信号,消防联动控制系统打开相应火灾区和相邻区(沿车行方向后方紧邻火灾区的第一个区)两个区泡沫/喷雾控制阀中的雨淋阀电磁阀和泡沫电磁阀(雨淋阀电磁阀和泡沫电磁阀开启反馈信号传回消防控制中心),供水管道直接给系统压力供水;同时泡沫原液管道压力下降,泡沫泵工作。泡沫原液经比例混合器混合后,向灭火分区供泡沫混合液,经专用泡沫喷头进行灭火。

手动控制:当人员发现现场出现火灾时,可按下手动报警按钮,向消防联动控制系统发出火灾信号并联动打开火灾区(两个区)泡沫/喷雾控制阀中的

雨淋阀电磁阀和泡沫电磁阀。系统开始上述运行方式进行灭火。

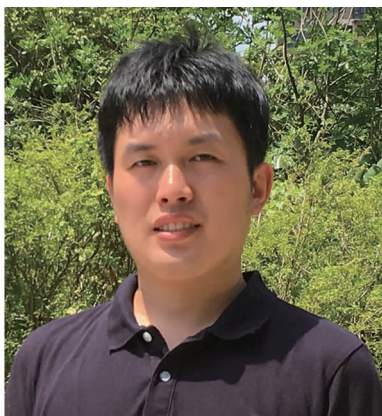
应急操作:当监控系统和手动控制出现故障时,可由值班人员现场操作开启雨淋阀和泡沫控制阀,使系统运行。

4 结语

消火栓系统、固定式水成膜泡沫灭火系统、泡沫-水喷雾联用灭火系统及灭火器配置的组合应用,在现有的技术条件下可做到城市特长隧道消防安全的最大化。

参考文献:

- [1] 康华刚. 西康高速公路秦岭终南山特长隧道消防设计方案比选[J]. 给水排水, 2007, 33(9): 74-77.
Kang Huagang. Plan sorting of fire control system design for very long tunnel through the Qinling Mountain in Xi'an-Ankang Highway[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(9): 74-77 (in Chinese).
- [2] GB 50016—2014, 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
GB 50016 - 2014, Code for Fire Protection Design of Buildings[S]. Beijing: China Planning Press, 2015 (in Chinese).
- [3] GB 50974—2014, 消防给水及消火栓系统技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
GB 50974 - 2014, Technical Code for Fire Protection Water Supply and Hydrant System[S]. Beijing: China Planning Press, 2014 (in Chinese).



作者简介:黄光宇(1986—),男,吉林省吉林市人,大学本科,工程师,给排水室主任,从事建筑给排水、市政给排水等方面的设计和研究工作。

E-mail: 411698234@qq.com

收稿日期: 2018-06-12