

文章编号: 1674—8247(2023)01—0020—06

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2023.01.004

## 铁路隧道及隧道群火灾防治研究

姬昌荣<sup>1</sup> 张建超<sup>1,2</sup> 万鹏<sup>3</sup>

(1. 石家庄铁道大学, 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学省部共建交通工程结构力学行为与系统安全国家重点实验室, 石家庄 050043;

3. 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

**摘要:** 铁路隧道火灾是隧道灾害防治的重点。文章通过对国内外铁路隧道及隧道群火灾疏散救援相关规范及最新研究状况的梳理, 分析了铁路隧道火灾防治的重要原则和必要措施, 提出了降低隧道火灾危害的相关建议, 总结了铁路隧道火灾防治的第一要义: 疏散。要降低火灾造成的危害, 首先要保证隧道应急土建设施建设符合规范要求, 为人员疏散提供必要的物理条件; 其次要配备必要的通风措施和应急设备以减少人员疏散时间; 最后要利用好智能探测技术对火灾进行预防, 对已发生的火灾采用科学方法及时扑救。研究可为铁路隧道防灾疏散救援设计提供参考。

**关键词:** 高速铁路; 综述; 理论分析; 隧道; 火灾

中图分类号: U458

文献标志码: A

## Research on Fire Prevention and Control of Railway Tunnels and Tunnel Groups

JI Changrong<sup>1</sup> ZHANG Jianchao<sup>1,2</sup> WAN Peng<sup>3</sup>

(1. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. State Key Laboratory of Structural Mechanical Behavior and System Safety in Traffic Engineering,  
Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

3. China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 102600, China)

**Abstract:** Railway tunnel fire is the focus of tunnel disaster prevention and control. This paper sorts out the relevant codes and latest research status of fire evacuation and rescue of railway tunnels and tunnel groups at home and abroad, analyzes the important principles and necessary measures of fire prevention and control of railway tunnels, puts forward relevant suggestions to reduce the hazards of tunnel fires, and summarizes the first essential of fire prevention and control of railway tunnels: evacuation. To reduce the hazard caused by fire, first of all, it is necessary to ensure that the construction of emergency civil engineering facilities of the tunnel meets the specification requirements and provides necessary physical conditions for personnel evacuation. Secondly, necessary ventilation measures and emergency equipment shall be provided to reduce the evacuation time. Finally, it is necessary to make good use of intelligent detection technology to prevent fires and adopt scientific methods to put out existing fires in time. The study can provide a reference for the design of disaster prevention, evacuation, and rescue of railway tunnels.

收稿日期: 2021-12-10

作者简介: 姬昌荣(1995-), 男, 硕士研究生。

基金项目: 国家自然科学基金(11872256)

引文格式: 姬昌荣, 张建超, 万鹏. 铁路隧道及隧道群火灾防治研究综述[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 20-25.

JI Changrong, ZHANG Jianchao, WAN Peng. Research on Fire Prevention and Control of Railway Tunnels and Tunnel Groups[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 20-25.

**Key words:** high-speed railway; summary; theoretical analysis; tunnel; fire

火灾的预防治理始终都是铁路隧道安全防灾治理的重点任务,铁路隧道火灾的灾难性在长大隧道和隧道群表现更为突出。针对铁路隧道火灾,我国进行了相应的防治技术研究<sup>[1-2]</sup>。1987-1991年,对“长隧道火灾报警与消防方法”进行了模型试验,开展了“长隧道救援列车”的调查研究和项目论证,确定了长隧道救援列车应有的技术功能及所需配套的相应设备;1992-2003年,针对防止旅客列车火灾和消防开展了“长隧道消防常备技术措施的设计研究”、“隧道油类火灾封堵现场快速检测及防范措施”、“火灾隧道洞口的简易封堵灭火方法及设备的研究设计”和“隧道衬砌结构火灾损伤评定方法及加固措施的研究”等课题研究。2004-2013年,进行了“特长隧道防灾疏散救援、安全疏散及通风技术研究”和“铁路隧道防灾疏散救援有关技术标准的研究”等课题研究,确立了防灾疏散救援工程的设计原则,明确了防灾疏散救援工程的设计标准。近年来,通过国内多座长大铁路隧道及隧道群在设计、通风技术、救援技术等方面的建设实践与科学研究,我国长大铁路隧道及隧道群的防灾疏散救援工程基本确立了“一隧一议、统筹设计、分项实施、专门管控”的建设思路,形成了适应我国隧道发展并具有我国铁路特色的技术体系<sup>[3]</sup>。

本文从铁路隧道火灾防治救援原则出发,从火灾防治土建工程、火灾高温及烟气、火灾救援及人员疏散、消防设备及技术等角度对铁路隧道及隧道群火灾防治的相关研究进行梳理与分析。

## 1 火灾防治救援原则

铁路隧道及隧道群火灾防灾救援设计基本原则为“以人为本、安全疏散、自救为主、方便救援”<sup>[4]</sup>。要做到监控有效、措施有力,疏散有序,早发现、早扑灭、自救与助就相结合<sup>[5]</sup>。长隧道及隧道群防灾疏散救援要考虑到火灾燃烧特性与致灾机制、土建结构设计与优化、机电设备设施优化、监控系统开发以及应急疏散救援。

## 2 火灾防治土建工程

### 2.1 紧急救援站

紧急救援站是设置在隧道内或隧道口的疏散工程,可以控制烟雾扩散,方便人员安全疏散<sup>[6]</sup>,通常由疏散平台、疏散门、横通道及安全隧道组成,如图1所

示。紧急救援站的类型有隧道口紧急救援站和隧道内紧急救援站,分别针对隧道群和长隧道设置。隧道群可将紧急救援站设置在明线段,列车在隧道口紧急救援站进行停靠后进行人员疏散。长隧道将紧急救援站设置在隧道内部,列车无法驶出隧道时停靠在隧道内紧急救援站后进行人员疏散。

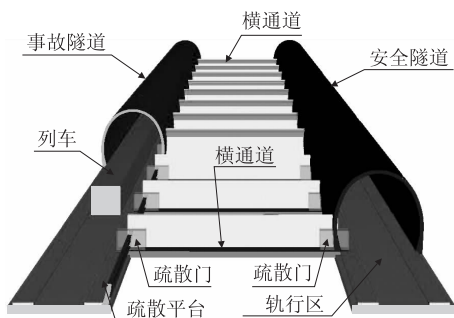


图1 紧急救援站示意图

#### 2.1.1 救援站设计

紧急救援站的设置距离取决于列车着火后可运行的距离。铁路隧道区间正线坡度不大于20‰<sup>[7]</sup>,即使丧失25%动力的情况下,动车速度也可维持在100 km/h以上。瑞士的新圣哥达铁路隧道(长57 km)对着火列车残余运行能力进行了模拟研究,结果表明列车火灾后残余运行时间大多数在1 000~1 400 s之间。因此,即使将列车时速按照80 km/h考虑,残余运行时间也有15 min,行驶距离约20 km。当紧急救援站间距为30 km时,不能到达紧急救援站的几率约30%;当紧急救援站的距离为20 km时,着火列车不能到达紧急救援站的几率约0.01%。因此,紧急救援站的距离宜控制在20 km以下。

紧急救援站的长度通常是在列车长度的基础上加上一定的余量。国内的高速铁路紧急救援站长度通常是450 m;城际铁路在8辆编组的情况下紧急救援站长度约为250 m;客货共线铁路紧急救援站长度约为550 m<sup>[8]</sup>。

#### 2.1.2 隧道口紧急救援站

隧道口紧急救援站针对隧道群设置,一般设置在隧道口处。各个国家和地区对隧道群的定义标准不同,我国对隧道群的定义是相邻两隧道明线段距离小于一辆列车长度为同一个隧道群;欧洲隧道群明线段距离尺度为列车长加上50 m的余量<sup>[9]</sup>;日本规定明线段小于400 m为一个隧道群。

此外,隧道口紧急救援站的类型受明线段长度的制约。当列车着火时,火灾向相邻车厢扩散,同时车厢燃烧会产生烟气。火灾蔓延总长度通常在3节车厢(约80 m)以内,而火灾产生的烟气影响范围最大约55 m,因此当火源与隧道口距离大于55 m时,隧道几乎不受烟气影响。根据明线段的长度不同,常见的隧道口紧急救援站有洞口疏散型、洞口辅助坑道型、洞口加密横通道型,如图2所示。

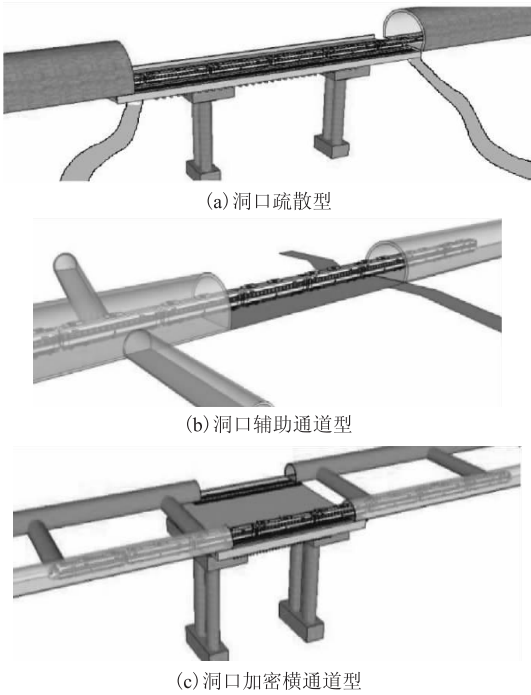


图2 紧急救援站图

2.1.3 隧道内紧急救援站

隧道内紧急救援站通常设置在长隧道内。双洞单线长隧道设置含避难空间横通道加密型紧急救援站或无避难空间横通道加密型紧急救援站,如图3所示;单洞双线长隧道设置两侧平导型紧急救援站,如图4所示;单洞单线隧道设置单侧平导型紧急救援站,如图5所示。

2.2 紧急出口

紧急出口是可以使列车人员直接疏散到隧道外的坑道,通常设置在单洞隧道内。紧急出口有斜井型、横洞型、平导型以及竖井型,如图6所示。斜井型及横洞型紧急出口的断面尺寸不宜小于3.0 m×2.2 m(宽×高);平导型紧急出口的断面净空不宜小于4.0 m×5.0 m(宽×高);竖井型紧急出口的竖井高度不宜大于30 m。国内规定长度大于5 km且小于10 km的单洞隧道宜结合施工辅助坑道,在隧道洞身段至少设置

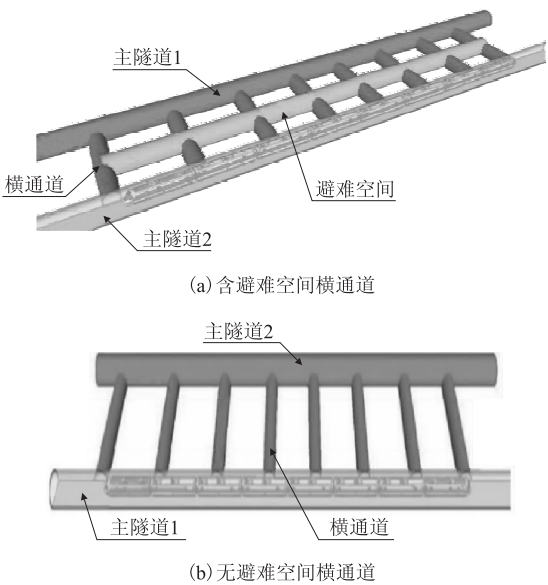


图3 双洞单线加密型紧急救援站图

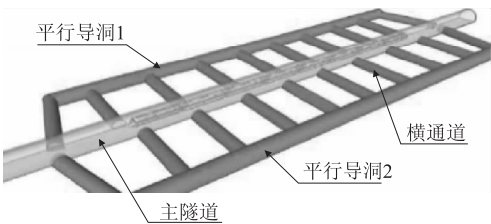


图4 两侧平导型紧急救援站图

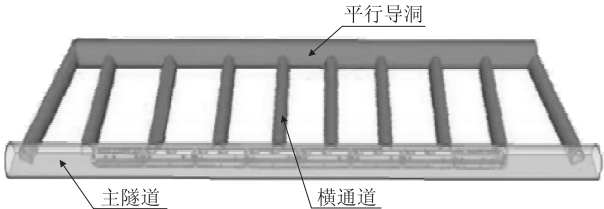


图5 单侧平导型紧急救援站图

1处紧急出口,欧洲规定长度大于1 km的隧道内应设置紧急出口。

2.3 避难所

避难所是供事故列车人员临时避难且可疏散至坑道外的坑道。避难所按照其结构形式可分为斜井型、横洞型以及竖井型,如图7所示。利用长度过长或者坡度过大的施工辅助坑道作为救援通道,在救援通道中通常要设置避难空间,用以防止人员疏散过程中受到体力等因素的制约。

2.4 疏散廊道

疏散廊道适用于盾构法施工的隧道,将隧道底部的区域加以利用作为疏散廊道,如图8所示。通常情

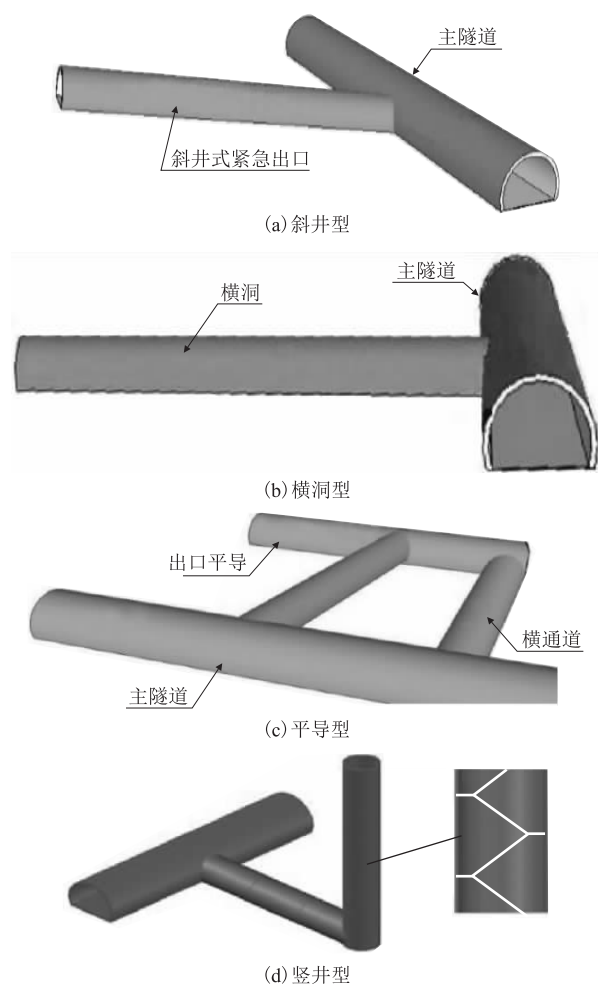


图6 紧急出口图

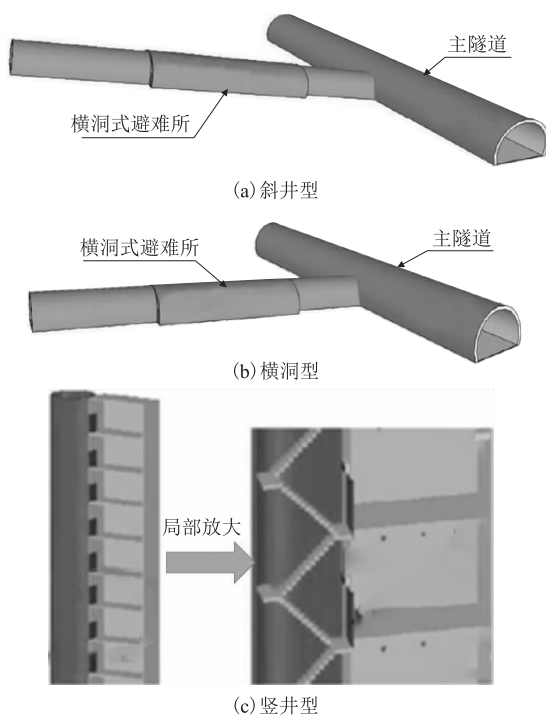


图7 避难所图

况下疏散廊道入口间距 200 m,其断面净空尺寸不小于  $0.75\text{ m} \times 2.00\text{ m}$  (宽 $\times$ 高)。

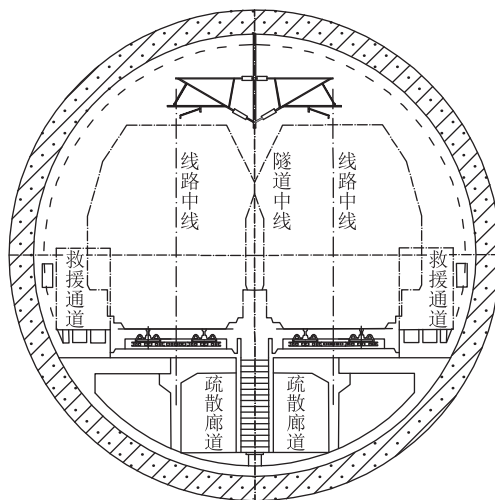


图8 疏散廊道图

### 3 火灾高温及烟气

#### 3.1 火灾规模

据统计,已发生铁路隧道火灾规模大致在 5 ~ 30 MW 的范围内。我国的高速铁路列车在设计制造的过程中考虑到了火灾的影响,优先在列车上采用了阻燃材料,在降低火灾规模方面起到了很大的作用<sup>[10]</sup>。在铁路隧道通风设计及人员疏散计算时,动车组铁路隧道火灾规模按照 15 MW 计算,普通旅客列车火灾规模按照 20 MW 计算<sup>[11]</sup>。

#### 3.2 火灾高温

隧道内火源温度最高,其他位置的温度与火源距离成反比,火源下游的温度高于上游温度,隧道拱顶处温度高于隧道中心线附近温度<sup>[12]</sup>。隧道在发生火灾时,受热部位主要是在隧道的顶部,最高温度约  $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[13]</sup>。

火灾造成的温度受到火灾规模、隧道海拔高度、隧道坡度等因素的影响。火灾规模越大拱顶温度越高,20 MW 的火灾规模拱顶温度比 15 MW 火灾规模高  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。火灾规模越大,沿隧道下行时烟气温度衰减越快,随着与火源纵向距离的增加,拱顶最大烟气温度呈指数规律降低。隧道海拔较高时,隧道拱顶处温度也会有所升高。主隧道拱顶的最高温度随隧道坡面的坡度增大而增大。此外,烟囱效应会导致温度场向上坡方向倾斜。烟气温度分布存在“阻隔效应”,在“障碍物”前,测得的烟气温度上游高于下游,在“障碍物”后,烟气温度沿隧道拱顶方向明显降低,且下降速度更



快。发生火灾时,下游车厢内的温度和烟气随时间而增加,火灾发生48 h以后,热量会逐渐扩散至山体。

### 3.3 烟气扩散

据统计,火灾产生的有毒热烟气是成人员伤亡的主要因素,大多数受害者由于烟气窒息而亡。烟气影响人员安全的因素有热辐射、能见度、CO 体积分数、氧气体积分数4种。

隧道内发生火灾时产生的烟气具有较快的蔓延速率,而高海拔隧道救援站火灾烟气的蔓延速率更快,大约快6%。隧道内CO浓度和能见度均会随火灾发生而增加,烟气距离火源较远时烟气沉降明显。如果隧道内设立了紧急救援站,CO可能经横通道涌入非事故隧道。有研究表明在最不利工况下,烟气经过横通道内人眼特征高度处最高温度为41.79℃,最低可视度为13.15 m,并未超过规范给定范围,人员可通过横通道进行疏散。

火灾发生时,隧道内烟气运动可分为羽流自由上升、径向蔓延、过渡阶段、一维水平蔓延4个阶段。一维水平蔓延阶段是最长的阶段,也是烟气控制和人员疏散的重要阶段。

### 3.4 隧道通风

隧道通风可起到降温 and 排烟的作用。高海拔隧道相较于低海拔隧道会产生较多的有毒气体CO。海拔3 000 m时隧道火灾产生CO浓度较低海拔增加30%~50%。隧道内外温度差会产生烟囱效应,烟气蔓延最大后会产生回流。因此,紧急救援站和避难所在设计时必须制定相应的通风方案。隧道长度超过3 km时,需在隧道内设置横向或半横向通风及纵向通风。控制铁路隧道排烟情况,就需考虑通风计算、排烟方式、排烟阀选用以及风机配置等。自然风压力、沿程阻力、局部阻力、风机压力应按照文献的规定计算。安全隧道辅助送风有利于救援站避难所防烟,特长隧道集中防烟模式下安全隧道加压送风量大于140 m<sup>3</sup>/s即可。

纵向风对隧道内烟气分布有较大影响,风速是关键因素;不通风的情况下隧道沿线温度分布较为稳定,纵向风会促进隧道内火源的燃烧,使隧道温度升高,对下游烟气温度影响相较上游更大。斜井向主隧道送横向风,可有效降低拱顶温度。相较无风,主隧道横向风速2.5 m/s时,可使隧道拱顶温度降低约140℃,风速达到3 m/s时,拱顶最高温度继续降低约80℃。

斜井向主隧道送风可影响主隧道向斜井的烟气扩散;斜井风速1 m/s时退散烟气长度约74 m,风速

2 m/s时斜井不受主隧道的烟气侵入。相较纵向通风,半横向通风使烟气分层明显,提供了良好的疏散环境,这对确保人员安全具有重要意义。铁路隧道紧急救援站采用半横向通风方式时,防护门处风速不宜过大,采用临界风速防止烟气进入横通道即可。在各火灾位置,横通道内临界风速随防护门高度的增加而增加,与防护门宽度无关。在通风设计中,依据模拟排烟效果选用排烟阀的尺寸和距离,有工程实例排烟阀尺寸在1.6~6.0 m<sup>2</sup>时,布置间距为15~30 m。

## 4 火灾救援及人员疏散

### 4.1 人员疏散理念

人员能够安全疏散的条件是必需安全疏散时间小于可用安全疏散时间。人员疏散速度受车厢乘客数量、疏散出口宽度、车厢开门方式、人员体力等因素的影响;疏散通道宽度与疏散用时的关系为幂指数关系。在铁路隧道内青壮年男性、女性的疏散速度可分别定为1.2 m/s和1.0 m/s,此速度可作为确定其他人群(老年人、儿童等)疏散速度的折减基数。高海拔特长铁路隧道可将420 s作为人员疏散的参考值,可将480 s作为疏散时间的上限参考值。火源25 m以内,以2 m的特征高度处温度60℃为界限,可用安全疏散时间261 s左右,25 m以外可用安全疏散时间在1 900 s以上。人员疏散安全评价中如果依据能见度作为可用安全疏散时间的评级标准,则会增加降低可用安全疏散时间;如果将CO<sub>2</sub>浓度作为评级标准(1 400 ppm),则有可能夸大计算可用安全疏散时间。

导向标志可对隧道人员疏散起到指示性作用,设置明显疏散指示标志可减少人员疏散所用时间;隧道内的疏散通道及紧急救援站等设施应设置疏散指示牌指示疏散的方向,起到引导疏散的作用。导向标志不应太复杂,同时可视性要好,便于观察。指示标志的设计和布设要满足文献[4]的规定。隧道内应急照明、防灾救援设备的电线、电缆及其防护材料应符合有关规定。

### 4.2 人员疏散时间

铁路隧道紧急救援必需安全疏散时间采用行为模型方法时,按式(1)进行计算。

$$T_{\text{REST}} = 1 + \frac{Q_2}{0.9AB} \quad (1)$$

采用水力模型方法时,按式(2)进行计算。

$$t_{\text{action}} = t_{\text{travel}} + t_{\text{queue}} = t_1 + t_2 \quad (2)$$

紧急救援站必需安全疏散时间计算按照式(3)进

行计算。

$$T_{\text{REST}} = \frac{Q_1}{80V_1} + \frac{Q_2}{0.9AB} \quad (3)$$

式中:  $T_{\text{REST}}$ ——紧急救援站必须安全疏散时间(min);

$Q_1$ ——定员数量最多车厢内的人数(人);

$Q_2$ ——列车的乘客数(人);

$V_1$ ——人员下车速度(人/s);

$A$ ——横通道通过能力(人·min<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>);

$B$ ——横通道防护门处宽度(m);

$t_{\text{travel}}$ ——步行通行时间(s);

$t_{\text{queue}}$ ——出口通过时间(s);

$t_1$ ——下车时间(s);

$t_2$ ——步行时间(s)。

## 5 消防设备及技术

### 5.1 隧道消防设施

固定消防系统通常被应用于公路隧道中,而在铁路隧道中应用相对不足。隧道内火灾约在10~15 min发展为大型火灾,设置轨道消防车可有效缩短营救时间,降低火灾规模。快速、准确地识别火源的位置和大小对指导火灾救援和隧道火灾的扑救具有重要的科学实用价值。利用人工智能可以探测火灾位置、大小和通风风速。

隧道内可以设置火灾探测器,能有效实现火灾目标探测,火灾探测器有感温火灾探测器、感烟火灾探测器、感光火灾探测器等,各类传感器的反应时间约在15 s以内,烟雾报警器在隧道火灾中应用更为敏感。现在建筑自动灭火系统主要有两种类型:水喷淋灭火系统和水喷雾灭火系统。水喷淋水灭火系统主要通过冷却燃料表面来灭火,而细水雾灭火系统主要通过表面冷却和窒息来灭火。细水雾灭火系统在隧道降温、人员保护和结构保护方面有许多优势,但值得注意的是,纵向通风风速过高和低水流率会导致自动喷水灭火系统失效。因此,纵向通风速度和水流量要相匹配。发生火灾时,火源探测器定位火源位置与水喷雾灭火系统有效联动,可实现对隧道内火灾有效抑制。

### 5.2 隧道火灾扑救

对于隧道已发生火灾的情况,可科学运用封堵战术进行扑救。当火灾规模不大于10 MW时,由于隧道内部的热积累,拱顶温度随洞口封堵率的增大而增大;当火灾规模介于20~50 MW时,由于供氧量较少,拱顶温度在初始阶段随洞口封堵率的增大而减小;火灾规模大于50 MW时,拱顶温度在火源处上下游沿隧道

呈对称分布,随着封堵率的增大,隧道拱顶温度呈指数规律衰减。当隧道两个入口采用不同封堵比时,火灾会向封堵比较低的入口转移,且封堵比低的入口附近烟气温度远高于另一个入口,在实际的隧道火灾扑救中,这将给消防人员带来极大的危险。

## 6 结论

本文通过对隧道火灾疏散救援相关规范及最新研究情况流程,得出以下结论:

(1)火灾是铁路隧道防灾治理体系中的重点任务。列车在长隧道及隧道群发生火灾时,疏散是第一要义。土建设施、火灾高温烟气及人员疏散的研究,均在“以人为本,预防为主,防消结合”的理念下进行的。

(2)合理的土建结构、良好的通风设施是人员安全疏散的必要条件,智能的检测技术、科学的消防手段是预防火灾发生和快速扑灭火灾的有效措施。

(3)关于隧道火灾的研究可从不同类型和规模隧道的消防安全设计基准;预测火灾场景、火灾发展、火灾温度、火灾持续时间、烟气运动的方法和技术;隧道结构在特定火灾场景下的耐火性及试验标准、防火措施;隧道内驾驶人和火灾疏散人员的行为;隧道火灾预防和科学扑救的技术手段等方面开展进行。

## 参考文献:

- [1] 安玉红. 铁路隧道防灾救援疏散工程设计研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2013, 26(S2): 99-104.  
AN Yuhong. Study on Disaster Prevention, Rescue and Evacuation Engineering Design of Railway Tunnel[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science), 2013, 26(S2): 99-104.
- [2] 高菊如,徐辰丁,涂文轩. 隧道防灾救援技术研究[C]//中国交通土建工程学术论文集,2006:573-577.  
GAO Juru, XU Chending, TU Wenxuan. Research on Disaster Prevention and Rescue Technology of Tunnel [C]//China Transportation Civil Engineering Symposium. 2006:573-577.
- [3] 马伟斌,王志伟,韩自力. 长大铁路隧道防灾疏散救援体系现状综述及研究展望[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(8): 1113-1122.  
MA Weibin, WANG Zhiwei, HAN Zili. Overview and Research Prospect of Disaster Prevention and Evacuation Rescue System for Long and Large Railway Tunnels[J]. Tunnel Construction, 2020, 40(8): 1113-1122.
- [4] TB 10020-2017 铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范[S].  
TB 10020-2017 Code for Design on Rescue Engineering for Disaster Prevention and Evacuation of Railway Tunnel[S].
- [5] 郭春,王明年,赵海东. 铁路特长隧道火灾应急救援问题研究[J]. 中国安全科学学报,2007, 17(9): 153-158, 181.

(下转第31页)

较可知双铁联动的物流分拨体系成本优势明显。

#### 5.4 双铁联动分拨体系的收益分析

随着物流业的快速发展,快件运输领域的需求将会逐年增长。2020年我国快递服务企业业务量完成833.6亿件,同比增长31.2%;快递业务收入完成8795.4亿元,同比增长17.3%<sup>[6-7]</sup>。若不考虑个别不适合于铁路及地铁分拨的快运货物,仅按15%的市场占有额来计算,双铁联动的快运货物收益总额也将高达1319.31亿元,将成为高速铁路货运和地铁物流的重要获利点,而且根据趋势分析,这一数值还将逐年上升。

## 6 结束语

综上所述,建立双铁联动的快运货物城市分拨体系从社会的角度可缓解城市交通拥堵及配送车辆污染问题,降低物流社会成本;从企业的角度可拓宽高速铁路企业和地铁企业的产品品类,增加企业盈利渠道,提高企业收益;从物流的角度可打通铁路物流环节,延长铁路物流业务深度,缩短快运物资配送时间,提高高速铁路物流分拨配送效率;从消费者的角度来看,双铁联动分拨体系能够更快的完成快运货物的分拨配送,真正体现快运产品的快速配送特点。

## 参考文献:

- [1] 于雪娇. 基于竞争力分析的高铁货运列车组织方案优化研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
- YU Xueqiao. Transportation Organization Plan Optimization of High-

speed Railway Freight Train based on Competitiveness Analysis[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.

- [2] 《隧道建设中英文》编辑部. 中国城市轨道交通2019年度数据统计[J]. 隧道建设(中英文), 2020(5): 762-767, I0033.
- Tunnel Construction Editorial Department. Statistics on Annual Data of Urban Rail Transit in China in 2019[J]. Tunnel Construction, 2020(5): 762-767, I0033.
- [3] GBT 7928-2003 地铁车辆通用技术条件[S].
- GBT 7928-2003 General Technical Specification for Metro Vehicles[S].
- [4] 杨帅,王伟,庞学苗,等. 高速货运动车组技术经济分析[J]. 中国科技纵横, 2015(11): 248-249.
- Yang Shuai, Wang Wei, Pang Xuemiao, et al. Technical and Economic Analysis of High-Speed Freight EMU[J]. China Science & Technology Panorama Magazine, 2015(11): 248-249.
- [5] 贾连志,汪侃. 城市轨道交通的车辆选型和列车编组方案选择[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(5): 77-79.
- JIA Lianzhi, WANG Kan. On the Selection of Subway Vehicles and Marshalling in Metro Construction[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(5): 77-79.
- [6] 王小林,赵瀚. 基于地铁的城市地下物流系统探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(5): 1273-1282.
- WANG Xiaolin, ZHAO Han. Discussion on Urban Underground Logistics System Based on Metro[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(5): 1273-1282.
- [7] 高金俊,张家发,吴朝荣. 高速铁路开展快运物流有关问题的探讨[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 60-64.
- GAO Jinjun, ZHANG Jiafa, WU Chaorong. On Related Problems of Express Delivery with High-Speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 60-64.

(上接第25页)

- GUO Chun, WANG Mingnian, ZHAO Haidong. Research on the Emergency Rescue of Fire in Super-Long Railway Tunnel[J]. China Safety Science Journal (CSSJ), 2007, 17(9): 153-158, 181.
- [6] 王明年,于丽,李琦,等. 高速铁路隧道防灾疏散救援技术研究综述[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2019, 1(2): 13-23.
- WANG Mingnian, YU Li, LI Qi, et al. A Summary of Research on Disaster Prevention, Evacuation and Evacuation in High-speed Railway Tunnels[J]. Hazard Control in Tunnelling and Underground Engineering, 2019, 1(2): 13-23.
- [7] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
- TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [8] 李国良,陈绍华. 关角特长隧道防灾救援技术研究[J]. 现代隧道技术, 2015, 52(6): 14-19.
- LI Guoliang, CHEN Shaohua. Research on Disaster Prevention and Rescue Techniques for the Extra-Long Guanjiiao Tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2015, 52(6): 14-19.

- [9] 马志富,安玉红. 对《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》主要技术标准的解析[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(9): 187-192.
- MA Zhifu, AN Yuhong. Analysis of the Main Technical Standards in Code for Design of Rescue Engineering for Disaster Prevention and Evacuation of Railway Tunnel[J]. Railway Standard Design, 2018, 62(9): 187-192.
- [10] 赵东平,王峰,余颜丽,等. 铁路隧道火灾事故及其规模研究综述[J]. 隧道建设, 2015, 35(3): 227-231.
- ZHAO Dongping, WANG Feng, YU Yanli, et al. A Review of Fire Accidents in Railway Tunnels and Study on Their Scale[J]. Tunnel Construction, 2015, 35(3): 227-231.
- [11] 霍建勋. 高速公路隧道火灾温度场分布规律及安全性研究[D]. 成都:西南交通大学,2016.
- HUO Jianxun. Study on the Temperature Distribution and the Safety of Structure in Highway Tunnel under Fire Cases[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.