

文章编号: 1674—8247(2022)02—0006—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.02.002

铁路及地铁隧道内列车火灾疏散模式调研与分析

陈国栋¹ 赵航²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西安市轨道交通集团有限公司, 西安 710016)

摘要:本文调研分析了干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路和地铁隧道列车火灾疏散模式的相关规范、标准和工程案例,研究了定点疏散与随机疏散模式的差异,系统梳理并对比分析了铁路和地铁隧道列车火灾疏散模式的异同。研究表明:(1)不同的列车火灾疏散模式对设计的需求不同,应根据相关规范和工程特征尽早、慎重确定疏散模式,以便开展设计工作;(2)干线铁路隧道及城际铁路隧道列车火灾主要采用定点疏散模式,地铁及地铁快线列车火灾主要采用随机疏散模式,市域铁路隧道列车火灾优先采用定点疏散模式,但要求区间隧道设置防灾通风排烟系统;(3)城际铁路、市域铁路的火灾规模是地铁区间的2倍,采用随机疏散模式时区间隧道火灾排烟较地铁更困难。

关键词:铁路隧道; 地铁隧道; 列车火灾; 定点疏散; 随机疏散

中图分类号:U456.3⁺3 文献标志码:A

6

Investigation and Analysis of Train Fire Evacuation Mode for Railway and Metro Tunnels

CHEN Guodong¹ ZHAO Hang²

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Xi'an Rail Transit Group Company Limited, Xi'an 710016, China)

Abstract: In this paper, the relevant regulations, standards, and project cases of train fire evacuation modes for tunnels of mainline railways, intercity railways, suburban railways, and metros are investigated and analyzed, the difference between fixed-point evacuation and random evacuation is studied, and the difference and similarity between the train fire evacuation modes for tunnels of railways and metros are analyzed and compared. The findings suggest: (1) Different train fire evacuation modes have different requirements for design. The evacuation mode shall be determined as early and carefully as possible according to relevant specifications and engineering characteristics to facilitate design. (2) The fixed-point evacuation mode is mainly adopted for train fires in tunnels of mainline railways and intercity railways, the random evacuation mode is mainly adopted for train fires in metro and metro express lines, and the fixed-point evacuation mode is preferred for train fires in tunnels of suburban railways, but the tunnels in the section are required to be equipped with disaster prevention, ventilation and smoke exhaust system. (3) The fire scale of intercity railways and suburban railways is twice as large as that of metro sections. When the random evacuation mode is adopted, it is more difficult to exhaust smoke from tunnels in the section than in the metro.

Key words: railway tunnel; metro tunnel; train fire; fixed-point evacuation; random evacuation

收稿日期:2022-02-17

作者简介:陈国栋(1973-),男,高级工程师。

引文格式:陈国栋,赵航. 铁路及地铁隧道内列车火灾疏散模式调研与分析[J]. 高速铁路技术,2022,13(2):6-10.

CHEN Guodong, ZHAO Hang. Investigation and Analysis of Train Fire Evacuation Mode for Railway and Metro Tunnels[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2):6-10.

《交通强国建设纲要》提出,建设城市群一体化交通网,推进干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通融合发展,提高交通防灾抗灾能力,强化交通应急救援能力。受城市建成区建构筑物较多、生态环境保护等因素影响,长大隧道方案在新建城际铁路的设计过程中更受地方政府及设计单位的青睐,如位于粤港澳大湾区的深惠城际大鹏支线,便采用全线地下敷设的建设方案。

由于隧道内环境封闭,隧道火灾烟气大、温度高,疏散、灭火及救援较为困难^[1-2]。李奎^[3]等基于公开文献对国内外铁路隧道运营期事故进行了统计,其中列车火灾事故占统计事故总数的50%;陈佳乐^[4]等统计了国内外地铁火灾及人员的伤亡情况,发现2000-2020年间发生的地铁火灾事故最多,将近120起,其中国外84起,国内34起,累计伤亡2563人。因此可见,隧道内火灾具有概率相对较高、危害大的特点,针对列车火灾的疏散救援设计十分重要。

隧道内列车火灾的防灾疏散救援可分为定点疏散模式和随机疏散模式^[5]。干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、地铁对此已有相应的规定和工程案例,但尚未见系统的梳理和对比分析。此外,随着城际铁路地下化的发展趋势,城际铁路长大隧道大量出现,部分地区的城际铁路在功能定位方面属于城际铁路,但其运量大、行车间隔短、服务水平高的特征又具有市域铁路或地铁的特点,故而此类长大铁路隧道的防灾救援标准在工程建设过程中存在一定争议。基于此有必要对铁路及地铁隧道列车火灾防灾疏散救援的技术标准及工程案例进行调研,系统梳理并进行对比分析。

1 列车火灾疏散模式分析

1.1 定点疏散

当列车在隧道内发生火灾时,控制列车驶出隧道

进行疏散;当列车不能驶出隧道时,控制列车停靠在紧急救援站或车站进行疏散和救援。定点疏散^[6]模式不考虑带火列车在隧道洞内停靠,因此洞内通风设计不考虑火灾排烟,但要求列车具备足够的带火运行能力,在残余运行时间内应驶出隧道或停靠在车站、紧急救援站,同时,着火车厢与安全车厢应有效隔离,隔断措施在列车带火运行期间应保持足够的耐火性能。此外,带火列车停靠后,紧急救援站或车站内的排烟系统应及时抽排火灾烟气,保障人员在安全时间内全部撤离。

1.2 随机疏散

若火灾列车在铁路隧道内无条件驶出洞外或停靠车站、紧急救援站,则只能选择就地停车进行随机疏散^[7]。但当采用随机疏散模式设计的工程发生列车火灾时,若火灾列车可驶入车站或列车在站内发生火灾,也会要求火灾列车优先在车站内疏散^[8],该工况实际也属于随机疏散。显然,随机疏散可在区间隧道任意位置紧急停靠疏散救援,也可停靠在车站地段进行疏散救援。因此,广义上随机疏散可认为列车在隧道内发生火灾时,首先考虑行驶至洞外或车站进行疏散,无条件时在区间隧道内就地停车疏散。该模式未强制要求列车带火运行至车站或紧急救援站,对列车带火运行、车厢隔断耐火性能要求相对较低,但由于火灾列车仍有可能在车站停靠,车站内排烟系统性能要求应与定点疏散模式一致。当带火列车在洞内停靠并疏散人员时,需设计合理的洞内通风排烟方式实现人烟分离,疏散人员应在可用安全疏散时间内到达安全地点。为避免影响追踪列车的安全,长大区间隧道应根据行车间隔增设中间风井,使追踪列车位于无烟区,理论上达到每个通风区段仅有一列车。

1.3 定点疏散与随机疏散对比

定点疏散与随机疏散对比如表1所示。

表1 定点疏散与随机疏散对比表

对比项	定点疏散模式	随机疏散模式	对比结论
设计理念	列车在隧道内发生火灾时,控制列车驶出隧道进行疏散;当列车不能驶出隧道,控制列车停靠在紧急救援站或车站进行疏散和救援。	列车在隧道内发生火灾时,首先考虑行驶至洞外或车站进行疏散,无条件时在区间隧道内就地停车疏散。	随机救援考虑了火灾列车无法驶入车站或紧急救援站的工况
区间隧道通风系统	车站两端设置区间隧道通风系统含隧道风机、风阀、消声器等相关附件,满足正常工况列车活塞通风,阻塞及事故工况机械通风	车站两端设置区间隧道通风系统含隧道风机、风阀、消声器等相关附件,满足正常工况列车活塞通风,阻塞及事故工况、火灾工况机械通风	随机救援模式需增设区间隧道火灾工况通风排烟系统
车站或紧急救援站内列车火灾排烟系统	作为定点救援模式下隧道救援点设置列车火灾排烟系统	设置列车火灾排烟系统,满足列车区间火灾驶入车站、列车轨行区火灾工况排烟	无区别
区间风井隧道通风系统	定点救援模式列车火灾均在车站考虑防灾救援,不需设置区间中间风井	随机救援模式考虑列车火灾停靠区间工况,需根据行车间隔增设中间风井	随机疏散模式需根据情况增设中间风井

由表 1 可知,应根据相关规范和工程特征尽早、慎重确定疏散模式,以便于开展设计工作。需要指出的是,随机疏散会导致工程投资明显增加,但带来的防灾疏散救援能力增益却不一定显著。有研究^[9]表明,对于双洞分修的城际铁路隧道(火灾规模 15 MW),带火列车在隧道内随机停车的危险性较大,较难实现人烟分离,与定点疏散相比,人员安全疏散时间大大增加。

因此,若有工程采用此种模式修建铁路隧道,应对其安全性进行详细论证。

2 主要技术标准对比分析

对于干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路及地铁的防灾救援相关规范标准及适用条件进行调研,系统梳理并对比分析如表 2 所示^[10-13]。

表 2 不同规范列车火灾疏散模式对比表

序号	规范	定点救援	随机救援	适用条件
1	TB 10020-2017 《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》	√		适用于高速铁路、城际铁路、客货共线铁路隧道;火灾工况不考虑列车在区间停车,将失火列车拉至洞外明线段或在隧道内紧急救援站“定点”疏散;非火灾事故列车可利用单洞隧道设置的紧急出口、避难所或双洞隧道的横通道作为疏散通道进行疏散乘客
2	TB 10623-2014 《城际铁路设计规范》	√		适用于城际铁路;与铁路隧道防灾救援设计规范一致
3	TB 10624-2020 《市域(郊)铁路设计规范》	√	√	适用单相工频 25 kV 牵引供电制式、速度 100~160 km/h 的市域铁路;采用铁路隧道救援模式,对于连接地下车站的区间接地铁工程考虑排烟。
4	GB 50157-2013 《地铁设计规范》		√	适用于速度不超过 100 km/h、采用常规电机驱动列车的地下铁道;考虑区间列车火灾工况,对于存在超过一列车追踪的区间,设置中间风井满足非故障列车处于无烟区
5	CJJ/T 298-2019 《地铁快线设计标准》		√	适用于地下铁道;与地铁设计规范要求一致

由表 2 可知,干线铁路隧道及城际铁路隧道列车火灾均采用定点疏散模式,将火灾列车驶出隧道外或在隧道内紧急救援站处定点停车疏散人员和消防救援;地铁及地铁快线列车火灾主要采用随机疏散模式;市域铁路列车火灾疏散救援优先采用定点疏散模式,

但要求区间隧道设置防灾通风排烟系统。

针对城际铁路隧道与地铁、市域铁路隧道在防灾救援技术标准上存在的不同,从车辆性能、列车车厢内疏散安全性、残余运行能力等方面对产生理念分歧的原因进行了深入分析,结果如表 3 所示。

表 3 城际铁路隧道与地铁、市域铁路隧道防灾救援技术标准差异对比表

项目	城际铁路	地铁及快线	市域铁路	对比分析
车辆差异	大多采用 CRH6F 动车组列车,4、8 编组混跑,设计速度 200 km/h	大多为 A、B 型车,6 辆编组,设计速度 80 km/h	大多为市域 D 型车,4、8 编组,设计速度 160 km/h	编组与地铁不同,且速度高于地铁
车厢封闭性	车厢连接处可设置隔断车门,可封闭且阻燃性较高	车厢间通常无隔离车门	车厢间通常无隔离车门	车厢密闭性能较地铁高
列车定员	4 编组定员 244 人,考虑超员后为 875 人;8 编组人数为 4 编组两倍	无定员概念,拥挤程度较高	无定员概念,拥挤程度较高	列车内人员密度总体比地铁低
动力配置	4 辆编组为 2M+2T;8 辆编组为 4M+4T	6 辆编组为 4M+2T	4 辆编组为 2M+2T;8 辆编组为 4M+4T	动拖比较地铁低
最小行车间隔时间	3 min	2 min	2 min	行车间隔较地铁、市域铁路略大
灾后运行速度	动车组损失 50% 动力牵引能力后平直道工况最高可运行 160 km/h;30‰坡道工况最高可运行至 50 km/h	火灾后一般能够维持较高运行速度,但考虑失去全部动力的情况	一般情况灾后运行时间与大铁差异不大,但考虑失去全部动力后无法运行的情况	城际铁路不考虑失去全部动力,灾后运行速度较高
灾后运行时间	由接触网及隔断车门烧损综合确定,按最不利考虑为 15 min	一般情况灾后运行时间与大铁差异不大,但考虑失去全部动力后无法运行的情况	一般情况灾后运行时间与大铁差异不大,但考虑失去全部动力后无法运行的情况	城际铁路不考虑失去全部动力,灾后运行速度较高
火灾规模	15 MW	一般取 7.5 MW	15 MW	城际铁路隧道火灾规模大于地铁

由表 3 对比分析可知:

(1) 城际铁路隧道、市域铁路隧道及地铁隧道列

车火灾时均存在列车拉出洞外或停靠于紧急救援站(邻近车站)疏散救援的情况。

(2)地铁、市域铁路和快速轨道交通隧道考虑到着火列车可能无法驶入临近车站,规定区间应设置防排烟系统;而城际铁路仅要求隧道区间段停靠非火灾事故列车,故区间隧道设置非火灾事故的通风系统。

(3)从车辆性能来看,城际铁路车厢间可设置防火隔断门,以隔绝火灾烟气对临近车厢的影响,保证列车灾后运行时间,将列车驶入车站进行疏散救援;而地铁考虑到车内火灾规模小、站间距小、正常灾后运行能力强,优先将列车驶入车站进行疏散救援,但考虑了列车无法驶入车站时就地停车疏散救援的情况。

(4)从残余运行能力来看,二者均能够保证在短时间内驶入车站,但地铁考虑了火灾与接触网断电两

个小概率事件同时发生的情况,因此规定了随机疏散救援的工况,更为保守。

(5)列车火灾规模地铁一般习惯取 5 MW 为偏于安全设计,考虑 1.5 倍的安全系数,即按 7.5 MW 开展防灾疏散救援设计;城际铁路和市域铁路火灾规模一般取 15 MW,火灾规模是地铁的 2 倍,产烟量较地铁大,若采用随机疏散模式,区间隧道内火灾排烟较地铁更为困难。

3 铁路及地铁隧道疏散模式调研分析

对于线铁路、城际铁路、市域铁路及地铁隧道的疏散模式设计进行调研,结果如表 4 所示。

表 4 各类铁路及地铁隧道的疏散模式设计调研表

序号	工程类型	名称	年份	设计速度 (km/h)	长度 (km)	疏散模式
1	干线铁路	日本青函隧道	1971	160	53.85	定点疏散,设有 2 个紧急救援站,站内设半横向排烟
2		瑞士圣哥达隧道	1999	250	57	定点疏散,设有 2 个紧急救援站,站内设半横向排烟
3		奥地利-意大利布伦纳基线隧道	2011	250	55	定点疏散,设有 3 个紧急救援站,站内设半横向排烟
4		石太客运专线太行山隧道	2005	250	27.85	定点疏散,设有 2 个紧急救援站,站内设半横向排烟
5		兰新铁路乌鞘岭隧道	2003	160	20.05	定点疏散,设有 1 个紧急救援站,站内设半横向排烟
6		成兰铁路平安隧道	2013	200	28.4	定点疏散,设有 1 个紧急救援站,站内设半横向排烟
7	城际铁路	佛莞城际铁路狮子洋隧道	2016	200	6.15	随机疏散,利用隧底富余空间作为疏散救援廊道
8		莞惠城际铁路	2009	200	99	随机疏散,设洞内纵向排烟,并在长大区间设中间风井
9		穗莞深城际铁路琶洲支线	2018	160	17.6	定点疏散,利用地下车站作为紧急救援站
10	市域铁路	温州市域铁路 S1 线龙湾隧道	2013	120	0.7	定点疏散,列车驶出洞外
11		温州市域铁路 S2 线隧道段	2015	140	4.8	随机疏散,利用隧底富余空间作为疏散救援廊道,通过隧顶排烟道及两个风井排出火灾烟气
12		上海机场联络线	2019	160	55.9	城际列车和城市轨道交通列车共同运营。城际列车采用定点疏散;城市轨道交通火灾列车优先考虑开行到车站,无条件则在隧道内随机疏散
13	地铁及 地铁快线	深圳地铁 11 号线车红区间	2012	120	5.5	随机疏散,设中间风井
14		广州地铁 3 号线汉市区间	2001	120	6.2	随机疏散,利用隧底富余空间作为疏散救援廊道
15		重庆地铁 6 号线铜锣湾隧道	2009	90	5.6	随机疏散,设 3 个区间风井

由表 4 可知:

(1)国内外铁路隧道列车火灾工况均主要采用定点疏散模式,按间距不大于 20 km 设置紧急救援站,救援站采用半横向排烟系统及时抽排火灾烟气,实现“人烟分离”;紧急救援站之外的一般地段,基本不考虑火灾列车的随机疏散。

(2)我国新建城际铁路隧道列车火灾主要利用地下车站作定点疏散点,组织人员疏散和消防救援。但在《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》颁布前,也有部分城际铁路隧道参照《地铁设计规范》采用随机疏散的模式,并于区间设置中间风井。

(3)市域铁路隧道防灾设计主要采用随机疏散模式,除利用地下车站进行紧急疏散外,区间隧道一般采用火灾纵向通风排烟方式。此外,部分水下圆形盾构隧道,也利用拱部富余空间设置排烟道,实施半横向

排烟。

(4)地铁及地铁快线发生火灾事故时,都尽可能将列车驶入前方车站,在前方车站疏散乘客,利用前方车站的消防设施灭火和排烟。区间隧道一般设置纵向通风排烟系统,以适应火灾列车随机停车疏散;对于长大区间且存在列车追踪的情况,通过增设中间风井来保证追踪列车乘客的安全疏散。

4 结论

本文通过调研铁路及地铁隧道防灾疏散救援的相关规范及工程案例,对列车火灾的疏散模式进行系统梳理和对比分析,得出主要结论如下:

(1)不同的列车火灾疏散模式对设计的需求不同:定点疏散模式下列车带火运行、车厢隔断耐火性能等应满足防灾疏散救援需求,随机疏散模式下洞内火

灾通风应满足防灾疏散救援需求,且应在长大区间内设中间风井以保障追踪列车的安全。应根据相关规范和工程特征尽早、慎重选择疏散模式,以便于开展设计工作。

(2)干线铁路隧道及城际铁路隧道列车火灾疏散救援均采用定点疏散模式;地铁及地铁快线列车火灾疏散救援主要采用随机疏散模式;市域铁路列车火灾疏散救援优先采用定点疏散模式,但要求区间隧道设置防灾通风排烟系统。

(3)城际、市域铁路火灾规模是地铁区间的2倍,采用随机疏散模式时区间隧道火灾排烟较地铁更为困难。

(4)从工程案例来看,各类工程采用的疏散模式与规范基本匹配,但在《铁路隧道防灾疏散救援工程设计规范》颁布之前,部分城际铁路隧道也有参照《地铁设计规范》采用随机疏散模式的,于区间设置中间风井。此外,部分水下圆形盾构隧道也有利用拱部富余空间设置排烟道、隧底富余空间作为疏散廊道、实施半横向排烟的工程案例。

参考文献:

- [1] 李洪. 特长铁路隧道火灾烟气蔓延特性及危害性研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
LI Hong. Study on Fire Smoke Spread Characteristics and Harmfulness of Extra Long Railway Tunnel[D]. Changsha: Central South University, 2010.
- [2] 李静婧. 地铁隧道火灾烟气特性与人员疏散策略研究[D]. 北京:北京交通大学,2018.
LI Jingjing. Smoke Characteristics and Passenger Evacuation Strategy on Fire in Metro Tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.
- [3] 李奎,王志强. 基于统计原理的铁路隧道运营期灾害类型及防灾对策研究[J]. 隧道建设,2017,37(2):150-159.
LI Kui, WANG Zhiqiang. Study of Disaster Types and Prevention Methods of Railway Tunnel during Operation Period Based on Statistical Theory[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(2): 150 - 159.
- [4] 陈佳乐,张秀敏,徐强,等. 国内外地铁火灾事故统计分析对策[J]. 建筑安全,2021,36(11):46-51.
CHEN Jiale, ZHANG Xiumin, XU Qiang, et al. Statistical Analysis and Countermeasures of Subway Fire Accidents at Home and Abroad[J]. Construction Safety, 2021, 36(11): 46 - 51.
- [5] 茅为中,张念. 铁路隧道火灾预防及救援探讨[J]. 隧道建设,2010,30(1):20-23.
MAO Weizhong, ZHANG Nian. Study on Fire-Prevention and Passenger-Rescue of Railway Tunnels[J]. Tunnel Construction, 2010, 30(1): 20 - 23.
- [6] 张念,毛军,谭忠盛,等. 特长隧道定点安全疏散问题研究[J]. 北京交通大学学报,2010,34(1):20-24.
ZHANG Nian, MAO Jun, TAN Zhongsheng, et al. Research on the Problem of Emergency Station Safe Evacuation in Super-Long Tunnel[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(1): 20 - 24.
- [7] 谭妍. 城市轨道交通隧道火灾安全疏散研究[D]. 湘潭:湖南科技大学,2016.
TAN Yan. Study on Safety Evacuation of Urban Rail Transit during Fire[D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology, 2016.
- [8] GB 50157-2013 地铁设计规范[S].
GB 50157-2013 Code for Design of Metro[S].
- [9] 黎旭. 城际轨道交通隧道疏散与防灾研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
LI Xu. Study on Regional Rail Transit Tunnel Evacuation and Disaster Prevention[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.
- [10] 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].
- [11] TB 10623-2014 城际铁路设计规范[S].
TB 10623-2014 Code for Design of Intercity Railway[S].
- [12] TB 10624-2020 市域(郊)铁路设计规范[S].
TB 10624-2020 Code for Design of Suburban Railway[S].
- [13] CJJ/T 298-2019 地铁快线设计标准[S].
CJJ/T 298-2019 Standard for Design of Metro Express[S].