

# 地铁区间隧道火灾状况下人员应急疏散效率研究

陈火炬 韩柯柯 曹松 柳鹏鹏

(武汉地铁运营有限公司, 430064, 武汉//第一作者, 工程师)

**摘要** 为提高地铁隧道火灾下人员应急疏散的安全性,对地铁区间隧道的疏散方式进行分析。基于武汉地铁实际工程,通过 Pathfinder 软件,对单洞单线、单洞双线及公铁两用单洞单线等3种隧道的疏散方式进行火灾应急疏散数值模拟后得到公铁两用单洞单线隧道疏散效率最高的结论。在此基础上对影响人员疏散的主要因素(疏散人数、疏散出口间距、疏散出口宽度、列车迫停位置等)进行模拟研究,以获得各影响因素与疏散时间、疏散速度的关系。研究表明:缩短疏散出口间距最有利于人员的疏散;只有在疏散出口位于列车长度范围的疏散平台内时,增大疏散出口宽度才能提高人员疏散效率;列车迫停区域距离疏散出口较近时疏散效率较高。

**关键词** 地铁;隧道区间;火灾疏散;疏散效率;数值模拟  
**中图分类号** U231.96

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.030

## Research on Personnel Evacuation Efficiency in Metro Interval Tunnel Fire Emergency

CHEN Huoju, HAN Keke, CAO Song, LIU Peng-peng

**Abstract** In order to improve the personnel evacuation safety in metro tunnel fire emergency. The evacuation modes of metro interval tunnel are analyzed. According to the actual project of Wuhan Metro, numerical simulation of fire emergency evacuation is carried out for evacuation modes of 3 types of tunnels that are single-hole single-track, single-hole double-track and highway-railway double-duty single-hole single-track tunnels. The results show that evacuation efficiency of highway-railway double-duty single-hole single-track tunnel is the highest. On this basis, the main factors affecting personnel evacuation are simulated and analyzed (number of evacuees, distance between evacuation exits, width of evacuation exit and forced stop position of train) to obtain the relationship between various influencing factors and evacuation time and evacuation speed. The research shows that shortening the spacing distance between evacuation exits is the best for personnel evacuation. Only when the exit is within the train length on the evacuation platform, increasing the width of evacuation exit can improve the evacua-

tion efficiency. When the train forced stop area is close to the evacuation exit, the evacuation efficiency is higher.

**Key words** metro; tunnel interval; fire evacuation; evacuation efficiency; numerical simulation

**Author's address** Wuhan Metro Operation Co., Ltd., 430064, Wuhan, China

地铁地下区间隧道(以下简称“地铁隧道”)内部空间狭小,一旦发生火灾,会放大高温、有毒气体的毒害作用,给人员的生命安全带来极大威胁<sup>[1]</sup>。国外学者通过隧道逃生试验,对人员在列车出口、隧道出口、隧道内行走速度进行统计研究<sup>[2]</sup>。国内学者通过经验公式和数值模拟等方式,对几种联络通道间距及宽度参数进行了研究<sup>[3-4]</sup>。因地铁隧道结构特殊,国内外对不同隧道结构的火灾疏散方式、火灾疏散效率的主要影响因素以及各影响因素间的关系仍缺乏系统性的研究。本文根据武汉地铁实际工程,对地铁隧道在火灾状况下的疏散方式及影响隧道人员疏散的主要因素进行研究。

## 1 地铁隧道火灾下的人员疏散方式

根据地铁隧道的结构及长短等特征,地铁隧道在火灾情况下有多种疏散方式,主要包括通过疏散平台、道床直接疏散、通过横向联络通道疏散至其他隧道或专用疏散隧道、通过疏散门或纵向疏散楼梯进入隧道内疏散通道等。本文对单洞单线隧道、单洞双线隧道及公铁两用隧道3种不同的地铁隧道进行分析,对不同隧道类型下发生火灾时的人员疏散方式进行数值模拟,以研究分析常见地铁隧道不同疏散方式的疏散效率。

## 2 不同类型地铁隧道火灾下的人员疏散模拟

### 2.1 建立地铁隧道火灾下的人员疏散模型

乘客在区间内的疏散时间受众多因素影响,目

前暂无相关规范及标准对区间疏散时间的具体数值作出明确要求。本文基于实际案例通过 pathfinder 软件建立 3 种类型的地铁隧道疏散模型,其中,地铁列车为 6 节编组,总长为 132 m。虽然在火灾状况下人员疏散的方向(车头或车尾)可能有所不同,但疏散的过程是相同的,所以本文模拟人员疏散时,均考虑在车头位置发生火灾,且不考虑采用道床疏散。模拟计算列车因火灾迫停于距离地铁隧道疏散出口最远的位置,将乘客通过联络通道或疏散门抵达安全区域的时间定义为火灾疏散时间。选取疏散速度和疏散时间作为参数,用以评价各影响因素对疏散效率的影响程度。

## 2.2 单洞单线地铁隧道火灾下的人员疏散

武汉轨道交通 2 号线的江汉路站—积玉桥站区间为典型的单洞单线隧道,设有 2 个过江风井及 3 个区间联络通道。模拟计算列车车头火灾后迫停区间情况下乘客需走联络通道到达其他隧道的疏

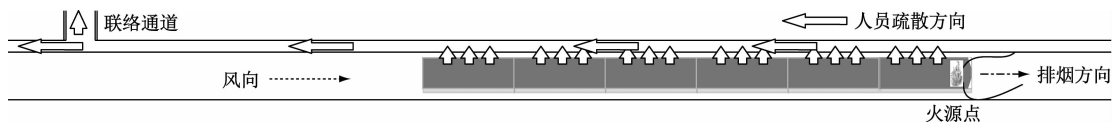


图1 单洞双线地铁隧道火灾下的排烟及人员疏散示意图

Fig. 1 Schematic diagram of smoke exhaust and personnel evacuation of fire in single-hole double-track metro tunnel

## 2.4 公铁两用单洞单线地铁隧道火灾下的人员疏散

武汉轨道交通 7 号线三阳路站—徐家棚站区间的公铁两用越江隧道是世界上首条已建成的公铁合建地铁隧道。隧道内共设有 2 座风井,其中,隧道中部设有 34 处疏散口,各疏散口间的距离为 75 m,

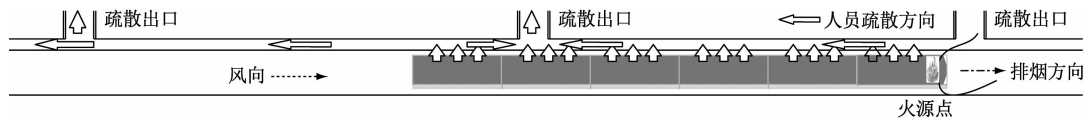


图2 公铁两用单洞单线地铁隧道火灾下排烟及人员疏散示意图

Fig. 2 Schematic diagram of smoke exhaust and personnel evacuation of fire in highway-railway double-duty single-hole single-track metro tunnel

综上所述,通过对 3 种不同类型的地铁隧道在列车车头处发生火灾的最不利人员疏散工况进行数值模拟可知,公铁两用地铁隧道的结构更有利于火灾状况下的人员紧急疏散,其疏散效率明显高于其他隧道形式的疏散效率。

## 3 地铁隧道火灾下人员疏散影响因素分析

对整个疏散过程进行分析发现,疏散人数、疏

散情况。乘客数量及列车数量取目前该线运营早高峰的实际值,列车的运行间隔为 3.6 min,每列车的乘客约为 1 296 人。

经模拟计算,列车上乘客全部通过联络通道到达另 1 条隧道共计耗时 2 940 s。

### 2.3 单洞双线地铁隧道火灾下的人员疏散

武汉轨道交通 8 号线的黄浦路站—徐家棚站区间为典型的单洞双线隧道,该隧道内共设有 5 个联络通道。模拟计算列车车头发火灾后迫停于隧道中部(距黄浦路站 1 600 m 处)时的乘客疏散情况。根据列车停车及火灾发生的位置,开启对应的排烟模式,人员疏散时迎着新风,朝最近的联络通道逃生,如图 1 所示。根据乘客信息系统的断面客流统计数据,该线工作日早高峰时段的行车间隔为 6.1 min,每列车的乘客约为 820 人。

经模拟计算,列车上乘客全部通过联络通道到达另 1 条隧道共计耗时 2 130 s。

火灾发生时区间排烟方式及人员疏散方案如图 2 所示。取该线早高峰实际值的指标进行计算,列车运行间隔为 4.0 min,每列车乘客约为 1 367 人。以乘客通过疏散门到达疏散通道的耗时作为疏散时间。

经模拟计算,列车上乘客全部疏散完毕共计耗时 917 s。

散出口间距、疏散出口宽度、列车迫停位置等是造成火灾状况下人员疏散效率不同的主要因素。本文以单洞双线地铁隧道疏散模型为例,拟定各工况下发生火灾位置均为车头,在此基础上设定不同的工况,进一步对这些因素进行分析。

### 3.1 疏散人数

疏散人数是影响疏散效率的重要因素。疏散人数越多,越容易产生拥挤,进而降低疏散效率。

疏散人数  $x$  与疏散速度  $y$  的拟合方程为:

$$y = -4.112\,53 \times 10^{-7}x^2 + 9.081\,05 \times 10^{-4}x + 0.036\,51 \tag{1}$$

如表 1 所示,按不同疏散人数设定了 10 个不同的工况,以研究火灾下疏散人数对疏散效率的影响程度。根据式(1)及数值模拟结果可知:当疏散人数较少( $x \leq 820$ )时,随着疏散人数的增加,疏散时间、疏散速度快速增加;但当疏散人数较大( $x > 820$ )时,随着疏散人数的进一步增加,疏散时间缓慢增加,疏散速度趋于稳定。

表 1 不同疏散人数下的人员疏散时间及疏散速度

Tab.1 Personnel evacuation time and speed in case of different numbers of evacuees

工况编号	疏散人数 $x$ /人	疏散时间/s	疏散速度 $y$ /(人/s)
3-1	20	387	0.051 68
3-2	50	676	0.073 96
3-3	120	891	0.134 70
3-4	220	952	0.231 10
3-5	320	1 069	0.299 30
3-6	520	1 320	0.394 00
3-7	620	1 446	0.428 80
3-8	820	1 642	0.499 40
3-9	920	1 754	0.524 50
3-10	1 020	1 884	0.541 40

注:联络通道间距均为 300 m。

3.2 疏散出口间距

国内外规范对疏散出口间距要求不同,国外规范的要求普遍高于国内规范的要求<sup>[5]</sup>。疏散出口间距  $d$  与疏散速度  $y$  的拟合方程为:

$$y = 10.281\,04 \exp\left(-\frac{d}{39.703\,45}\right) - 0.494\,75 \tag{2}$$

疏散出口间距与疏散速度的关系曲线如图 3 所示。

如表 2 所示,对不同  $d$  下的工况进行模拟计算。由表 2 可知,人员疏散速度随  $d$  的增加而降低。从疏散过程看,随  $d$  的增加,疏散路径数减少,疏散速度快速降低。

3.3 疏散出口宽度

如表 3 所示,对不同疏散出口宽度、疏散出口间距的组合工况进行模拟计算。分析疏散过程,疏散

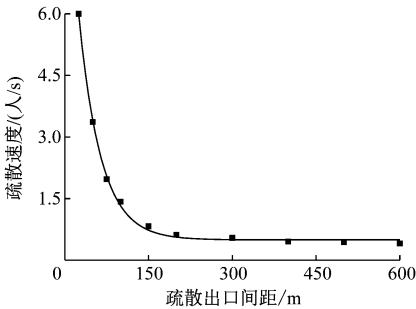


图 3 疏散出口间距与疏散速度的关系曲线

Fig.3 Curve of relation between evacuation exit spacing distance and evacuation speed

表 2 不同疏散出口间距下的人员疏散时间及疏散速度

Tab.2 Personnel evacuation time and speed in case of different evacuation exit spacing distances

工况编号	疏散出口间距 $d$ /m	疏散时间/s	疏散速度 $y$ /(人/s)
3-11	25	170	6.000 0
3-12	50	303	3.366 3
3-13	75	518	1.969 1
3-14	100	717	1.422 6
3-15	150	1 237	0.824 6
3-16	200	1 658	0.615 2
3-17	300	1 884	0.541 4
3-18	400	2 253	0.452 7
3-19	500	2 319	0.439 8
3-20	600	2 537	0.402 1

注:疏散人数均按 1 020 人计。

出口处只有 1 条疏散路径,人员只能排队进入。由表 3 可知,当  $d$  为 300 m 时,其人员疏散时间不受疏散出口宽度的影响;当  $d$  为 100 m 时,沿着列车长度范围的疏散平台内有疏散出口,该出口处附近聚集了疏散平台 2 个方向汇集的客流以及从列车车门涌出的客流,因而在疏散出口处有大量等待疏散的乘客,其人员疏散时间随疏散出口宽度的增加而明显减少。因此,在疏散出口位于列车长度范围的疏散平台内的情况下增加疏散出口宽度,可提高疏散效率,其余情况下疏散效率基本不受  $d$  的影响。

3.4 列车迫停位置

当现有地铁隧道疏散出口间距确定时,停车位置将直接影响人员的疏散效率。如表 4 所示,对不同列车迫停位置的工况进行模拟计算。由表 4 可知,列车迫停位置与疏散出口的距离越近,疏散时间越短,疏散速度越大。

表 3 不同疏散出口宽度、疏散出口间距组合下的人员疏散时间

Tab.3 Personnel evacuation time under different combination of evacuation exit width and evacuation exit spacing distance

工况 编号	疏散出口 宽度/m	疏散时间/s	
		d = 300 m	d = 100 m
3-21	1.0	1 863	759
3-22	1.5	1 878	716
3-23	3.0	1 881	462

注:疏散人数均按 1 020 人计。

表 4 不同列车迫停位置下的人员疏散时间及疏散速度

Tab.4 Evacuation time and speed in case of different train forced stop positions

工况 编号	车尾距疏散出口的距离/m	疏散时间/ s	疏散速度/ (人/s)
3-24	-66	604	1.688 7
3-25	0	1 226	0.832 0
3-26	100	1 464	0.696 7
3-27	300	1 884	0.541 4
3-28	600	2 537	0.402 1

注:疏散人数均按 1 020 人计。

4 结语

本文对 3 种不同类型地铁隧道进行了火灾状况下的应急疏散模拟研究,得出了不同疏散方式的疏散效率及影响人员疏散的主要因素;对各影响因素作进一步研究发现,疏散出口间距对人员疏散影响最大,此时疏散人数增加、疏散出口间距降低;选择

靠近疏散出口停车位置及在疏散出口位于列车长度范围的疏散平台内时,增大疏散出口宽度能提高人员疏散效率。后续将进一步对地铁隧道火灾下的实际应急处置方案进行调整、优化。

参考文献

[1] 贾巍,袁东升. 地铁隧道火灾消防现状对策研究[J]. 建筑安全,2019(12):69.  
JIA Wei, YUAN Dongsheng. Study on current situation and countermeasures of fire control in subway tunnel[J]. Construction Safety, 2019(12):69.

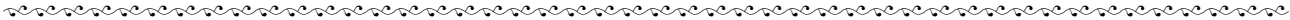
[2] FRIDOLF K, NILSSON D, FRANTZICH H. Evacuation of a metro train in an underground rail transportation system: flow rate capacity of train exits, tunnel walking speeds and exit choice[J]. Fire Technology, 2016,52:1481.

[3] 孙安实. 地铁区间隧道列车火灾人员逃生及联络通道设置参数研究[D]. 西安:长安大学,2018.  
SUN Anshi. Study on the escape of personnel from fire and the setting parameters communication channels in subway tunnel fire[D]. Xi'an: Chang'an University, 2018.

[4] 吴凤山,袁烨,牟宏霖. 地铁隧道火灾人员疏散模拟分析及结构优化措施研究[J]. 现代交通技术,2017(5):77.  
WU Fengshan, YUAN Ye, MU Honglin. Simulation analysis for pedestrian evacuation in subway tunnel fires and structure optimization[J]. Modern Transportation Technology, 2017(5):77.

[5] 王琛琛. 城市轨道交通长大隧道区间火灾安全疏散问题研究[D]. 北京:北京交通大学,2017.  
WANG Chenchen. Research on the fire evacuation in long-tunnel-intervals of urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.

(收稿日期:2020-03-05)



泰国将建设新桥对接中老铁路

越通社曼谷 1 月 14 日报道,泰国内阁已要求泰国国家铁路公司迅速设计、建造第二座连接廊开府与老挝的大桥,以对接新开通的中国-老挝铁路。

据泰国《曼谷邮报》报道,泰国副总理阿努廷·参威拉恭 1 月 14 日主持召开泰国泰老中铁路委员会会议。会议要求泰国国家铁路公司迅速建成新桥。报道称,这座新桥将横跨湄公河,连接廊开与老挝,使中泰老三国跨境铁路货运更为便捷。委员会批准泰国国家铁路公司为建桥项目申请预算。阿努廷表示,中老铁路从 2021 年 12 月投入全线运营,待铁路延伸至泰国后将带动从中国西部经老挝到泰国的经济发展。中泰老铁路将使中国经老挝至泰国的货运成本降低 30% 到 50%。

报道指出,随着中老铁路开通,中泰跨境货运已经比过去的传统运输方式缩短了一天时间,成本下降 25%。阿努廷表示,蔬菜水果、日用品、机械、计算机设备、电器、汽车、天然橡胶和加工木料都可以经由铁路运输。

泰国政府上个月成立了一个工作组,以更好地同老挝运输当局就一条连接两国的铁路建设问题进行协调。这条铁路是连接泰国铁路与中老铁路项目的一部分。

(摘自 2022 年 1 月 15 日《参考消息》)