

某地铁站扩大楼扶梯公共区特殊消防设计研究^{*}

郭娇杰 崔奇杰

(中国铁路设计集团有限公司华南分公司, 518054, 深圳)

摘 要 [目的] 随着社会经济形势的持续向好, 特色地铁项目日益增多, 传统的防火规范和标准已难以满足部分具有特殊设计的地铁站的需求。因此, 亟须采用更具针对性的新型设计方法以应对这些挑战。[方法] 结合深圳市某地铁站设计过程中遇到的具体技术问题, 进行了深入的分析与总结, 并在此基础上提出了相应的特殊消防设计方案。通过运用火灾动力学模拟软件 FDS 和疏散模拟软件 Pathfinder 对设计方案进行验证。[结果及结论] 该地铁站的特殊消防设计方案在消防安全性方面表现出色, 并顺利通过了住房和城乡建设部门的审批, 验证了其科学性和可行性。

关键词 地铁站; 楼扶梯; 消防设计

中图分类号 U231.4; TU998.14

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.10.028

Special Fire Protection Design for the Enlarged Stair and Escalator Public Area of a Subway Station

GUO Jiaojie, CUI Qijie

(China Railway Design Corporation Southern China Branch, 518054, Shenzhen, China)

Abstract [Objective] With the continuous improvement of socio-economic situation, there are more and more special subway projects. Traditional fire protection codes and standards are difficult to meet the needs of some subway stations with special designs. Therefore, it is urgent to adopt more targeted new design methods to meet these challenges. [Method] Combined with the specific technical problems encountered in the design process of a subway station in Shenzhen, an in-depth analysis and summary is carried out. On this basis, a corresponding special fire protection design scheme is proposed. By using the fire dynamics simulation software FDS and the evacuation simulation software Pathfinder, the design scheme is validated. [Result & Conclusion] The special fire protection design scheme of this station excels in fire safety and successfully passes the approval of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development, verifying its scientific validity and feasibility.

Key words subway station; stair and escalator; fire protection design

地铁运营管理中对火灾的应对受到高度重视。地铁站与外部的连接口相对较少, 一旦发生大面积火灾, 浓烟难以自然排出。据国内外大量资料统计, 地铁站火灾事故造成的人员伤亡, 大多是由烟气熏倒、中毒、窒息导致^[1]。如 1969 年北京地铁火灾造成 200 多人中毒受伤, 2003 年韩国大邱地铁火灾更是导致 198 人死亡, 146 人受伤, 289 人失踪^[2]。这些惨剧足以引起政府和消防部门的高度重视, 促使设计人员在车站消防性能设计上更认真严谨。

地下车站很难达到自然排烟的条件, 因此, 较好的消防设计方案, 应可使人和烟气的流动方向错开, 乘客沿一个方向疏散, 同时启用排烟设备将烟气从另一个方向抽离并排出地面, 以保障乘客安全。根据 GB 51298—2018《地铁设计防火标准》第 8.2.4 条规定: “按各防烟分区的建筑面积不小于 $60 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 分别计算; 保证站厅到站台的楼梯或扶梯口处具有不小于 1.5 m/s 的向下气流”^[3]。风速与楼扶梯洞口面积呈反比, 为实现有效的排烟效果, 需特别考虑楼扶梯洞口的设计与排烟量的匹配问题。

本文以深圳市 8 号线某地铁站为例, 创新性地提出了特殊消防设计方案, 并通过数值模拟验证了其可行性。该方案已顺利通过了住房和城乡建设主管部门消防设计审查验收。本研究不仅为该地铁站提供了有效的解决方案, 也为未来类似地铁站的消防设计提供了参考。

1 工程概况

该车站为东西方向布置, 建筑面积为 $25\,511 \text{ m}^2$, 其中主体建筑面积为 $12\,046.4 \text{ m}^2$, 附属建筑面积为 $13\,464.6 \text{ m}^2$ 。车站总长为 240 m , 标准段外包

^{*} 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(2020KF250301)

总宽为 23.7 m。

该车站站厅到站台形成了扩大的开放式楼梯扶梯孔洞,站厅层北侧净高为 8.05 m,南侧净高为 10.85 m,站台层净高为 5.05 m,站厅层扩大楼梯扶梯孔洞示意图见图 1。

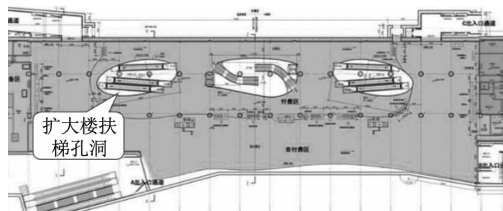


图 1 站厅层扩大楼梯扶梯孔洞示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the enlarged stair and escalator hole on the concourse level

2 特殊消防设计方案

地铁站的现行国家标准与规范普遍将站厅层视为疏散的安全区,并据此进行防火设计。保证站厅到站台 1.5 m/s 的向下气流的主要目的是为了防止站台或轨行区发生火灾时产生的烟气蔓延至站厅公共区,同时,当人员从站台撤离至站厅时,这股向下气流还能形成迎面风速,有利于人员的安全撤离。

然而,该车站在设计中形成了扩大的楼梯扶梯孔洞,这使得站厅层不再适宜作为疏散的安全区。因此,车站的排烟及疏散模式难以完全按照常规地铁站的设计原则。为此,需考虑对车站公共区进行特殊消防设计,特别是在站厅通向地面出入口处创造一定的迎面风速,以确保人员安全。同时,对于站厅至站台的楼梯扶梯洞口,虽然不再强制要求保持 1.5 m/s 的向下气流,但仍需综合考虑其他因素,确保整体防火与疏散设计的安全性与有效性。

为保证公共区的防排烟效果,该车站公共区的防排烟系统设计方案如下:

1) GB 51298—2018《地铁设计防火标准》第 8.1.5 条规定:站厅公共区内每个防烟分区的最大建筑面积不应大于 2 000 m²。该车站的站厅层面积为 5 171 m²,站台层面积为 1 188 m²,因此将站厅层划分为 4 个防烟分区,站台层 1 个防烟分区(见图 2),每个防烟分区按建筑面积 × 60 m³/(m² · h) 计算排烟量;

2) 站厅 4 个防烟分区之间采用挡烟垂壁分隔。每个楼梯扶梯孔洞区域开孔下方四周均设置挡烟垂

壁,以避免烟气从站台向站厅蔓延;

3) 排烟风机 PYF-A1 负担防烟分区 1 和防烟分区 5 的左端(通过全电动排烟防火阀(以下简称“AP 阀”)切换防烟分区 1 或防烟分区 5 排烟模式),排烟风机 PYF-A2 负担防烟分区 3,排烟风机 PYF-B1 负担防烟分区 2 和防烟分区 5 的右端(通过 AP 阀切换防烟分区 2 或防烟分区 5 排烟模式),排烟风机 PYF-B2 负担防烟分区 4,由车站出入口进行自然补风。各防烟分区计算及选型排烟量如表 1 所示。

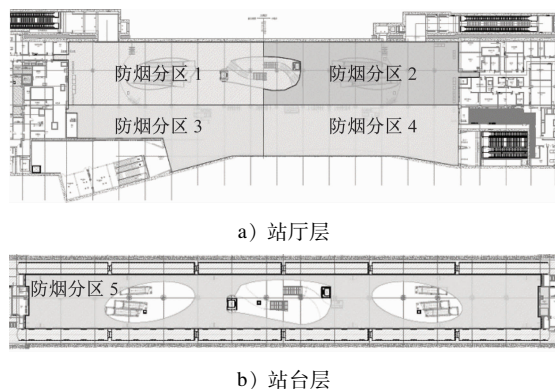


图 2 站厅和站台层公共区防烟分区示意图

Fig. 2 Schematic diagram of smoke bays in public areas on the concourse and platform levels

表 1 各防烟分区计算及选型排烟量

Tab. 1 Calculation and selection of smoke exhaust volume for each smoke bay

位置	防烟分区编号	面积/m ²	排烟量/(m ³ /h)
站厅层	防烟分区 1	1 589	95 340
站厅层	防烟分区 2	1 333	79 980
站厅层	防烟分区 3	1 003	60 180
站厅层	防烟分区 4	1 246	74 760
站台层	防烟分区 5	1 188	71 280

在常规的地铁公共区消防设计中,通常基于一个防烟分区发生火灾的假设进行规划。在火灾发生时,会启动对应防烟分区的排烟风机,以确保及时排除烟气。因此,在公共区内,排烟风机不会同时启动,而是根据火灾发生的具体位置来逐一启动。

本车站的每个防烟分区均独立配备了排烟风机,这种设计增强了系统的灵活性和响应速度。当火灾发生时,如果烟气水平或垂直蔓延至另一个防烟分区并触发烟雾报警系统,该分区的排烟风机将立即启动,与已启动的风机共同工作,形成叠加排烟效果,从而更加迅速地将烟气排出,为乘客提供

更多的疏散时间和安全保障。

此外,由于本车站公共区采用了这种特殊且高效的消防排烟设计,使得在站台火灾工况下,无须再开启 TEF(隧道/站台排烟)风机进行辅助排烟。这一设计优化不仅提高了排烟效率,还减少了排烟管道对站台层顶部空间的占用需求,为车站的整体布局和运营带来了更多的便利。

3 可行性验证

为评估该车站公共区特殊消防设计方案的合理性,采用数值模拟的手段对车站公共区的消防性能进行验证。

3.1 火灾场景设计

火灾场景的选择是否正确、全面与合理,直接决定模拟结果的准确性与可靠性。本文根据车站内不同区域的用途、可燃物的分布情况,考虑某处发生火灾后,可能对人员疏散造成最不利影响的情况^[4],选择火灾风险性较大的 4 种工况作为火灾场景,其火源位置如图 3 所示。

1) 火源位置 A:站台层火灾,为旅客随身携带行李发生火灾;

2) 火源位置 B:站台层火灾,为地铁列车发生火灾;

3) 火源位置 C:站厅层火灾,为旅客随身携带

行李发生火灾;

4) 火源位置 D:站厅层火灾,为安检区及服务台发生火灾。

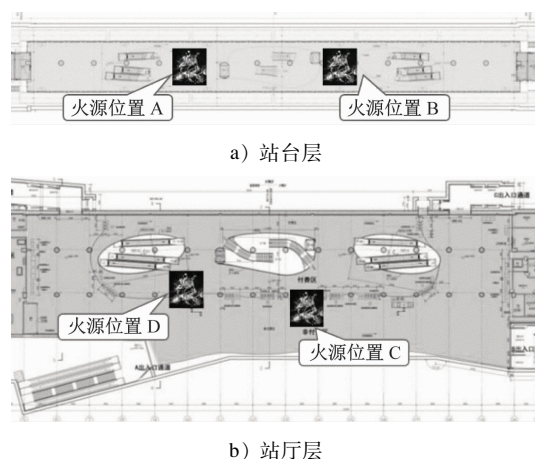


图 3 站台和站厅层火源位置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fire source positions on the platform and concourse levels

各火灾场景的火灾增长系数与最大火灾热释放速率因可燃物材质的不同而存在差异^[5],根据其他研究调查结果^[6],将安全区火灾、行李火灾及地铁车辆火灾的火灾规模分别设为 1.5 MW、3.6 MW 及 9.0 MW。文中各设定火灾场景下的火灾增长系数与最大火灾热释放速率汇总如表 2 所示。

表 2 设定火灾场景分析汇总表

Tab. 2 Analysis summary table of the set fire scenarios

火灾场景	火源位置	场景描述	火灾增长系数/(kW/s ²)	排烟系统	最大火灾热释放速率/MW
A1 A0	A	站台层	0.011 72	站台排烟有效 站台排烟失效	1.5
B1 B0	B	轨行区	0.046 89	站台、轨顶排烟有效 站台、轨顶排烟失效	9.0
C1 C0	C	站厅层	0.011 72	站厅排烟有效 站厅排烟失效	1.5
D1 D0	D	站厅层	0.046 89	站厅排烟有效 站厅排烟失效	3.6

注:A1 表示火源位置为 A,站台层火灾,火灾增长系数为 0.011 72,最大火灾释放速率为 1.5 MW,站台排烟系统有效可正常工作;A0 表示火源位置为 A,站台层火灾,火灾增长系数为 0.011 72,最大火灾释放速率为 1.5 MW,站台排烟系统失效无法正常工作;余下类同。

3.2 模拟结果分析

影响人员疏散的主要因素有:清晰高度、烟气温度、能见度和 CO 的质量浓度等。烟气层只有保持在人群头部以上一定高度时,才能不对人员造成致命威胁,清晰高度 H_s 应满足下式:

$$H_s \geq H_c = H_p + 0.1H_b \quad (1)$$

式中:

H_c ——危险临界高度,单位 m;

H_p ——人员平均高度,单位 m,一般取 1.6 m;

H_b ——建筑内部高度,单位 m。

根据 SFPE《消防工程手册》^[7],确定该车站清晰高度处的各参数极限值如表 3 所示。

表 3 清晰高度处的各参数极限值

Tab.3 Limit values of each parameter at clear height

参数	清晰高度处的 温度/℃	清晰高度处的 能见度/m	清晰高度处的 CO 的 质量浓度/(mg/m ³)
极限值	≤60	>10	≤625

采用火灾动力学模拟软件 FDS 对该车站在各设定的火灾场景下、排烟系统有效和失效的情况下的火灾蔓延过程进行模拟。网格单元格尺寸根据火源特征直径划分,并在均衡考虑模型精度与计算效率后,在火源附近采用加密网格,尺寸为 0.25 m×0.25 m×0.25 m,远离火源区域网格尺寸为 0.50 m×0.50 m×0.50 m。因 1 800 s 后计算结果基本稳定,因此设置模拟时间为 1 800 s,车站结构模型示意图如图 4 所示。

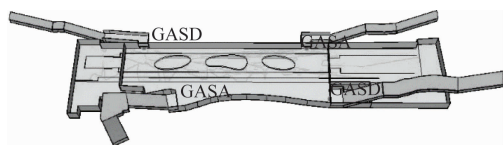


图 4 车站结构模型

Fig.4 Structure model of the subway station

通过模拟各设定火灾场景下的火灾蔓延过程,得到该车站各个安全出口处在各时刻的各项参数表现情况,与表 3 中的极限值进行对比,可得到火灾危险临界时间,即人员可疏散时间 t_{ASET} 。

采用疏散软件 Pathfinder 模拟各设定火灾场景下车站内乘客的疏散情况^[7],得到疏散行走时间 t_M ,再根据式(2)计算得到人员疏散的必须时间 t_{RSET} :

$$t_{RSET} = t_A + t_R + 1.5t_M \quad (2)$$

式中:

t_A ——报警时间;

t_R ——响应时间。

考虑到人员疏散的不确定因素,如人员对建筑的熟悉程度、警惕性、反应能力、行动速度、模型计算准确度等等,有必要对行走时间考虑一定的安全补偿,该车站保守地将人员疏散安全系数取为 1.5。

将人员疏散模拟得到的人员必须疏散时间 t_{RSET} 与各火灾场景下的人员可用疏散时间 t_{ASET} 进行对比,若 $t_{ASET} > t_{RSET}$,则判定为安全;否则,判定为不安全。判定结果如表 4 所示。

表 4 各设定火灾场景下人员疏散安全性判定

Tab.4 Safety determination of personnel evacuation under each set fire scenario

火灾场景	火源位置	排烟系统	疏散场景	区域	t_{ASET}/s	t_{RSET}/s	安全判定
A1	A	站台排烟有效	1	站台层	1 800	387	安全
				站厅层	1 800	530	安全
A0	A	站台排烟失效	1	站台层	1 800	387	安全
				站厅层	1 440	530	安全
B1	B	站台、轨顶排烟有效	2	站台层	1 800	399	安全
				站厅层	1 800	549	安全
B0	B	站台、轨顶排烟失效	2	站台层	1 800	399	安全
				站厅层	1 800	549	安全
C1	C	站厅排烟有效	3	站台层	1 800	402	安全
				站厅层	1 800	557	安全
C0	C	站厅排烟失效	3	站台层	1 800	402	安全
				站厅层	1 300	557	安全
D1	D	站厅排烟有效	4	站台层	1 800	402	安全
				站厅层	1 800	558	安全
D0	D	站厅排烟失效	4	站台层	1 800	402	安全
				站厅层	750	558	安全

通过比较各个场景人员 t_{RSET} 和 t_{ASET} 可知:

1) 排烟系统有效时,在各设定火灾场景下,人员可用疏散时间均大于人员必须疏散时间,车站内乘客能够在危险来临之前通过车站内临近的安全出口疏散至安全区域。

2) 排烟系统有效时,在各设定火灾场景下,模拟时间 1 800 s 车站安全出口处的烟气层高度、烟气温度、能见度、CO 的质量浓度均未超过极限值,车站疏散条件较好。

3) 排烟系统失效时,部分火灾场景的可疏散时

间明显降低,如 A0、C0 和 D0,分别在 1 440 s、1 300 s 和 750 s 的时候达到危险临界点。对比排烟系统有效时的消防表现情况,可见采用此防排烟加强设计方案能够显著延长人员可用疏散时间,提高车站的消防安全性能。

因此,该车站采用上述防排烟设计方案能够满足消防安全要求。

4 结论

1) 针对某车站楼扶梯扩大设计导致无法按常规车站进行消防设计的问题,本文结合车站建筑特点,创新地提出了针对该车站公共区的特殊消防设计方案,加强了车站公共区的排烟能力。

2) 通过火灾动力学模拟软件 FDS 进行数值模拟分析,发生火灾时,在排烟系统有效启动的情况下,烟气能够得到较好的控制,建筑可在较长的时间内维持安全的疏散环境。通过与疏散模拟软件 PathFinder 得到的人员必须疏散时间进行对比,车站内乘客能够在危险来临之前通过车站内临近的安全出口疏散至安全区域。

3) 发生火灾时,在排烟系统失效的情况下,建筑内人员可用疏散时间相对较短,可能影响人员安全疏散。建议加强对地铁站内消防系统设备设施的检测与维护,保证火灾发生时能够正常启动。

建筑的消防安全并非是一成不变的,唯有防排烟设备与建筑设计以及日常运营管理相互协调配合,才能更好更充分地发挥消防设施的作用,提升建筑物整体的消防水平。该车站公共区特殊消防设计方案填补了现行规范的空缺,探讨了该类扩大楼扶梯洞口设计的地铁站公共区的消防设计,通过合理的防排烟设计方案,保证火灾时的人员安全,为类似地铁站的消防设计提供参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [2] 吴振坤. 地铁车站敞开楼梯空气幕防火防烟分隔技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2015.
WU Zhenkun. Study on air curtain separation technology for fire prevention and smoke prevention in open stairs of subway station [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2015.
- [3] 住房和城乡建设部. 地铁设计防火标准: GB 51298—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Fire protection standards for subway design: GB 51298—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [4] 公安部天津消防研究所. 火灾增长分析的原则和方法[R]. 天津: 公安部天津消防研究所, 2004.
Tianjin Fire Research Institute of the Ministry of Public Security. Principles and methods of fire growth analysis [R]. Tianjin: Tianjin Fire Research Institute of the Ministry of Public Security, 2004.
- [5] 王志刚, 倪照鹏, 王宗存, 等. 设计火灾时火灾热释放速率曲线的确定[J]. 安全与环境学报, 2004(增刊1): 50.
WANG Zhigang, NI Zhaopeng, WANG Zongcun, et al. Determination of fire heat release rate curve during fire design [J]. Journal of Safety and Environment, 2004 (S1): 50.
- [6] CHRIS B, GARDINER A, LAW M. Structural fire design of the Oresund tunnel[C]//Proceedings of the international Conference on Fires in Tunnels. Sweden: Boras, 1994: 313.
- [7] 美国消防工程师协会. 消防工程手册[M]. 3 版. 美国: 消防工程师协会, 2022.
NFPA. Handbook of fire protection engineering [M]. 3th ed. Quincy: National Fire Protection Association, 2022.
- [8] 公安部天津消防研究所. 人员安全疏散分析的原则与方法[R]. 天津: 公安部天津消防研究所, 2004.
Tianjin Fire Research Institute of the Ministry of Public Security. Principles and methods of personnel safety evacuation analysis [R]. Tianjin: Tianjin Fire Research Institute of the Ministry of Public Security, 2004.
- [9] 王建军, 黄益良. 某中庭式地铁车站消防性能化设计研究[J]. 消防科学与技术, 2015, 34(12): 1603.
WANG Jianjun, HUANG Yiliang. Fire performance-based design of an atriums subway station[J]. Fire Science and Technology, 2015, 34(12): 1603.
- [10] 梅宁. 地铁车站站台层防排烟设计分析[J]. 建筑热能通风空调, 2009, 28(3): 97.
MEI Ning. Analysis of smoke exhaust of subway station platform [J]. Building Energy & Environment, 2009, 28(3): 97.
- [11] 金鑫, 倪天晓, 彭锦志, 等. 地铁站厅至站台楼扶梯口处烟控方案探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2022(2): 88.
JIN Xin, NI Tianxiao, PENG Jinzhi, et al. Discussion on smoke control scheme at stairs or escalators entrance from station hall to platform in metro station [J]. Modern Urban Transit, 2022 (2): 88.
- [12] 沈宇亮. 地下交通枢纽中地铁站防火优化设计[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(8): 1075.

(下转第 176 页)

综上所述,针对地铁过曲线时车内噪声较大的问题,可以结合钢轨打磨与改善轮轨润滑条件两方面来共同解决。

参考文献

- [1] THOMPSON D J, SQUICCIARINI G, DING B, et al. A state-of-the-art review of curve squeal noise: phenomena, mechanisms, modelling and mitigation[C]//Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. Cham: Springer, 2018: 3.
- [2] 陈卓群. 小半径曲线对地铁车辆客室噪声偏高的影响分析[J]. 机车电传动, 2019(6): 128.
CHEN Zhuoqun. Analysis of excessive noise in passenger rooms of metro vehicles in small radius curves[J]. Electric Drive for Locomotives, 2019(6): 128.
- [3] 周海洋. 基于 BP 神经网络的地铁小半径曲线地段车内噪声预测分析[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
ZHOU Haiyang. Prediction and analysis of in-car noise in metro area with small radius curve based on BP neural network[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021.
- [4] 王金, 杨新文, 练松良. 摩擦因数对轮轨曲线啸叫噪声的影响分析[J]. 机械工程学报, 2018, 54(4): 255.
WANG Jin, YANG Xinwen, LIAN Songliang. Influence of friction coefficient on wheel-rail curve squeal noise[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(4): 255.
- [5] BRUNEL J F, DUFRÉNOY P, NAÏT M, et al. Transient models for curve squeal noise[J]. Journal of Sound and Vibration, 2006, 293(3/4/5): 758.
- [6] DING B, SQUICCIARINI G, THOMPSON D. Effect of rail dynamics on curve squeal under constant friction conditions[J]. Journal of Sound and Vibration, 2019, 442: 183.
- [7] 韩颖. 隧道内钢弹簧浮置板轨道地铁车内噪声特性分析[D]. 上海: 同济大学, 2021.
HAN Ying. Analysis of noise characteristics inside subway vehicles with steel spring floating plate track in tunnels [D]. Shanghai: Tongji University, 2021.
- [8] 迟义浩, 肖宏, 时光明, 等. 80 km/h 速度条件下地铁隧道内轮轨及车内振动噪声关联性研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(12): 32.
CHI Yihao, XIAO Hong, SHI Guangming, et al. Research on the correlation between wheel-rail and interior vibration and noise under 80 km/h condition in subway tunnels[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(12): 32.
- [9] WU T X, THOMPSON D J. An investigation into rail corrugation due to micro-slip under multiple wheel/rail interactions [J]. Wear, 2005, 258(7/8): 1115.
- [10] NIELSEN J. Out-of-round railway wheels [C]//Wheel-Rail Interface Handbook. Amsterdam: Elsevier, 2009: 245.
- [11] 尧辉明, 沈钢, 崔巍. 曲线钢轨波磨打磨方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(8): 1162.
YAO Huiming, SHEN Gang, CUI Wei. Grinding method for rail corrugation in curved track [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(8): 1162.
- [12] 郭建强, 朱雷威, 刘晓龙, 等. 地铁司机室噪声与钢轨波磨关系的试验与仿真研究[J]. 机械工程学报, 2019, 55(16): 141.
GUO Jianqiang, ZHU Leiwei, LIU Xiaolong, et al. Experimental and simulation study on the relationship between interior noise of metro cab and rail corrugation[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(16): 141.
- 收稿日期:2023-06-21 修回日期:2023-08-10 出版日期:2024-10-10
Received:2023-06-21 Revised:2023-08-10 Published:2024-10-10
• 第一作者:付国平,高级工程师,fuguoiping@hzm metro.com
通信作者:潘敏凯,工程师,panminkai@126.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- (上接第 169 页)
- SHEN Yuliang. Fire protection optimization design of subway stations in underground transportation hubs [J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(8): 1075.
- [13] 侯团增. 某地铁地下岛式车站防排烟系统设计[J]. 消防科学与技术, 2014, 33(10): 1125.
HOU Tuanzeng. A smoke control system design of a subway station of underground island type[J]. Fire Science and Technology, 2014, 33(10): 1125.
- [14] 李德辉. 西安地铁二号线特殊车站公共区防排烟设计[J]. 暖通空调, 2012, 42(6): 84.
LI Dehui. Public space smoke control and extraction design for special stations of Xi'an underground railway line 2[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 42(6): 84.
- 收稿日期:2022-10-31 修回日期:2023-01-17 出版日期:2024-10-10
Received:2022-10-31 Revised:2023-01-17 Published:2024-10-10
• 通信作者:郭娇杰,工程师,guojiaojie@tju.edu.cn
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license