

上海轨道交通 6 号线信号系统大修改造方案*

吴敏¹ 许琰¹ 张郁²

(1. 上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海; 2. 上海申通地铁集团有限公司, 201100, 上海)

摘要 [目的] 上海轨道交通 6 号线运行多年, 其信号系统出现设备老化、故障频发问题。为提升系统的可靠性、适配性和运营效率, 有必要探讨上海轨道交通 6 号线信号系统大修改造方案。[方法] 基于对信号系统现状和运营情况分析, 提出了基于设备更新的 CBTC(基于通信的列车控制) 系统功能恢复改造方案(方案一)、采用全新的 TACS(列车自主运行系统) 方案(方案二)、基于 DTO(有人值守的列车自动运行) 模式的 CBTC 系统全面升级改造方案(方案三)。分析了各方案的信号系统架构及改造主要存在的问题。经综合比选, 最终确定了方案三为最优改造方案。采用仿真分析验证的方法, 以线路实际改造情况为依托, 分析比较了改造前后的旅行速度、旅行时间、正线追踪间隔及停站时间。[结果及结论] 方案三能缩短追踪间隔、延长停站时间, 有效提升上海轨道交通 6 号线的运营安全性和服务水平, 改善信号系统的可靠性和运营效率。

关键词 城市轨道交通; 信号系统; 大修改造; 设备老化

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.20250077

Overhaul and Renovation Plan for Signaling System of Shanghai Rail Transit Line 6

WU Min¹, XU Yan¹, ZHANG Yu²

(1. Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China; 2. Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201100, Shanghai, China)

Abstract [Objective] After years of operation, Shanghai Rail Transit Line 6 signaling system faces equipment aging and frequent failures. To enhance this system reliability, adaptability, and operational efficiency, it is imperative to develop an overhaul plan for the signaling system of Shanghai Rail Transit Line 6. [Method] Based on an analysis of current signaling system status and operational performance, three solutions are proposed: functional restoration of the CBTC (communication-based train control) system through equipment renewal (option 1); implementation of a new TACS (train autonomous circumnavigation system) plan (option 2); comprehensive upgrade of the CBTC system based on DTO (driverless train op-

eration with attendant) mode (option 3). The signaling system architecture and primary challenges for each option are examined. After comprehensive comparison, option 3 is identified as optimal. Using simulation analysis verification method, based on the actual line upgrading conditions, the travel speed, journey time, mainline tracking interval, and dwell time before and after upgrade are analyzed and compared. [Result & Conclusion] Option 3 effectively shortens train tracking intervals, extends dwell time, and significantly enhances operational safety and service quality on Shanghai Rail Transit Line 6, improving both the reliability and operational efficiency of signaling system.

Key words urban rail transit; signaling system; overhaul and renovation; equipment aging

目前, 上海轨道交通 6 号线(以下简称“6 号线”), 自 2007 年 12 月开通以来, 已运营多年。数据显示, 2019 年 6 号线发生信号设备故障 129 起, 占全网信号设备故障总数的 5%; 2020 年 1—9 月, 6 号线发生信号设备故障 26 起, 占比升至 6%。可见, 6 号线设备近年来不断老化, 故障率逐年攀升, 存在安全隐患。为保障列车高密度运行并消除故障隐患, 提升信号系统可靠性、可用性和适配性, 实现长期优质服务, 对其进行大修改造十分必要。

我国关于信号系统大修改造方案已有诸多研究。文献[1]提出了上海轨道交通 2 号线 CBTC(基于通信的列车控制) 系统改造难点及策略; 文献[2]提出了 CBTC 系统更新改造技术方案; 文献[3]以上海轨道交通 3、4 号线为例, 推荐基于车-车通信的列车自主控制系统作为改造方案。

从 6 号线实际情况来看, 信号系统局部的简单改造已经无法满足目前运营维护等各方面的需求。对此, 有必要结合 6 号线运营现状, 从全局考虑符合实际运营需求的改造方案。本文聚焦 6 号线信号系统, 提出 3 个大修改造方案并进行分析比较, 以期为

* 2023 年上海领军人才培养计划项目

类似工程提供参考。

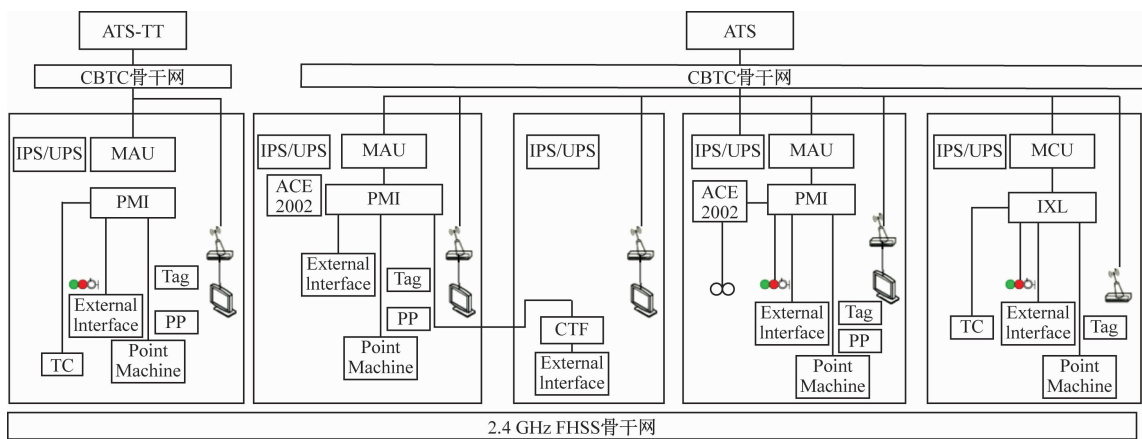
1 信号系统大修改造方案

针对6号线的设备老化问题,本文提出基于设备更新的CBTC系统功能恢复改造方案作为方案一。方案一基于用旧如旧的思路,仅将老化设备替换为新设备,以恢复信号系统功能,而不进行额外创新。一方面,方案一可恢复系统初始性能,并验证设备更新能否提升信号系统功能;另一方面,方案一可为后续方案提供对比基准。方案二为采用全新的TACS(列车自主运行系统)方案,以期突破

传统CBTC系统的局限。方案三为基于DTO(有人值守的列车自动运行)模式的CBTC系统全面升级改造方案,即在现有CBTC系统基础上进行全面升级,既能提升其可靠性、可用性和可维护性,又能实现GoA3(自动化等级3级)水平,采用全自动运行模式,增强其整体冗余性和自动化水平。

1.1 方案一

方案一中,6号线信号系统仍使用上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司SelTrac型CBTC系统^[4],保持信号系统既有设备架构不变。方案一的信号系统架构如图1所示。



注:ATTS-TT—列车自动监控系统用于培训和测试^[5];IPS/UPS—集成电源系统/不间断电源系统^[6];MAU—移动授权单元^[7];PMI—正向列车管理;External Interface—外部接口;Tag—电子标签;PP—转辙机保护器;TC—列车控制器;Point Machine—转辙机^[8];ACE 2002—自动控制设备 2022;CTF—通信与列车功能;MCU—主控单元^[9];IXL—联锁;FHSS—跳频扩频^[10]。

图1 方案一的信号系统架构示意图

Fig. 1 Diagram of signaling system architecture in option 1

经分析,方案一仍存在以下问题:

1) 方案一虽然能解决因信号设备老化引起的故障问题,但无法改变既有信号系统的技术服务现状。

2) 部分设备供应商已停止技术支持,故技术更新困难;部分设备停产,使备件采购渠道变窄,价格上涨,影响了设备的维护和更换。

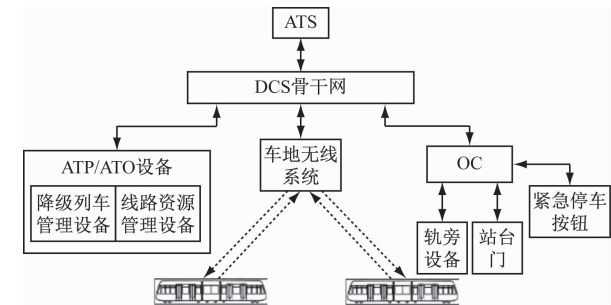
3) 原建设标准与现行标准存在差异,给信号系统的维护和升级带来不便。

由此可见,方案一虽能恢复信号系统功能,但受技术服务、备件采购和建设标准限制,难以满足6号线未来的运营需求。

1.2 方案二

方案二中,6号线全线新设一整套TACS^[11]信号设备,其系统结构如图2所示。

TACS摒弃了传统基于车地通信的CBTC系统



注:DCS—数据通信系统^[12];OC—目标控制器。

图2 方案二的信号系统架构示意图

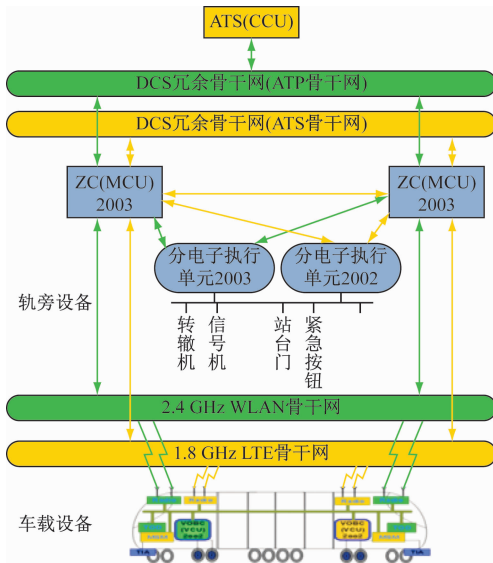
Fig. 2 Diagram of signaling system architecture in option 2

的ZC(区域控制)^[13]、联锁双核心架构,将轨旁联锁及ZC功能集成在车载子系统中,轨旁仅保留OC(目标控制器)^[14]及必要的基础地面设备。同时,对信号系统功能进行再分配,由车载子系统实现移动授权计算、线路资源管理和进路控制。由于TACS在实际地铁工程中应用较少,且尚未有使用

TACS 的全新线路开通,故技术尚未成熟。

1.3 方案三

方案三的信号系统架构如图 3 所示。



注: ZC (MCU) 2003—区域控制器 (移动控制单元) 2003; ATSCCU—中央列车自动监督子系统, 其中 CCU^[15] (中央控制单元) 为 ATSCCU 的设备; WLAN—无线局域网; LTE—长期演进。

图 3 方案三的信号系统架构示意图

Fig. 3 Diagram of signaling system architecture in option 3

方案三的信号系统设置了集中化轨旁 MCU 设备、下一代车载平台、全电子联锁平台及智能维保系统,能精确定位板卡级故障。方案三信号系统的全方位更新提升了信号系统整体架构的可用性和可维护性。

改造后,6 号线列车采用 DTO 模式^[16]运行,信号系统的整体冗余性增强,确保了准全自动运行的可用性,全线能实现 GoA3 水平^[17],提升了信号系统整体自动化水平。

1.4 方案比选

从方案一的分析来看,方案一仅能使信号系统的可靠性和可用性恢复至原设计要求的水平,不能提升线路运营能力。

方案二基于车车通信的 TACS 目前尚处于研究试验阶段,工程实例少。

方案三在技术上较为成熟,基于现有的 CBTC 系统进行升级,能够有效解决既有信号系统存在的问题,提升运营能力和服务质量。经测算,改造工期为 5 年,可以优化运能,缩短运营间隔至小于 90 s,能匹配 40 对/h 行车能力。综合来看,方案三虽投资大、工期长,但技术成熟,能显著提升信号系统

性能,满足未来运营需求,故选择方案三作为最优方案。

2 6 号线改造实际情况

6 号线^[18]全长 33.09 km,北起港城路站,南至东方体育中心站,共 28 座车站。其信号系统改造工程分为供电改造工程、信号系统更新改造工程、车控室一体化及相应配套工程改造三部分。该工程已于 2022 年 1 月开工,其计划施工工期为 60 个月。至 2024 年 10 月,已完成供电专业改造,计划于 2026 年 12 月完成全部改造。

2.1 改造工程难点及解决措施

工程建设面临机房空间紧张、装修影响大、交叉施工统筹困难及车辆改造复杂等难点。

解决措施为:优化机柜布局与施工工序,循环拆旧装新;统筹布线与设备安装,降低装修影响;合理安排施工顺序,减少交叉干扰;统筹规划车辆改造,优化流程以节省时间和成本。

2.2 改造效果

本节基于 RAILSIM[®] Software Suite 平台开展列车运行能力仿真。仿真参数设置如下:接车站台防护在道岔定位,过岔速度为 27 km/h;列车虚拟站换端时间设定为 10 s,实体站台停站时间为 30 s;道岔转动时间为 9 s,移动授权延伸时间为 1 s;列车性能采用 SHL6 型车辆参数。轨道附着条件方面,港城路站与巨峰路站采用湿轨参数 (GEBR (可保证紧急制动率)取 0.63),济阳路站与高青路站采用干轨参数 (GEBR 取 0.77)。上述参数用于构建仿真模型,为后续运营能力评估提供基础数据支持。

2.2.1 旅行速度

根据 T/CAMET 04015—2019《城市轨道交通列车运行速度限制与匹配技术规范》^[19],6 号线信号系统改造后直线段的 ATP (列车自动保护) 子系统命令速度将达到 80 km/h,同时优化速度曲线。

改造前旅行速度^[20]是基于合同规定的停站时间计算的,其中上行方向 (港城路站至东方体育中心站方向) 全部车站 (28 座车站) 的停站时间之和 t_s 为 695 s,下行方向 (东方体育中心站至港城路站方向) t_s 为 700 s。改造后固定停站旅行速度是基于所有站的单站台停站均为 30 s 计算的。改造后旅行速度基于改造后实际停站时间计算,上、下行 t_s 均为 782 s。改造前和改造后的 6 号线列车旅行速度如表 1 所示。

表 1 改造前和改造后的 6 号线列车旅行速度

Tab. 1 Train travel speeds before and after upgrade of Line 6

运行方向	改造前旅行速度/(km/h)	改造后固定停站旅行速度/(km/h)	改造后旅行速度/(km/h)
上行	34.21	33.24	33.53
下行	34.08	33.22	33.51

改造后,上、下行的 t_s 统一延长至 782 s,较改造前的 t_s 显著增加。然而,旅行速度仅小幅下降,上行方向列车旅行速度从 34.21 km/h 降至 33.53 km/h,下行方向列车旅行速度从 34.08 km/h 降至 33.51 km/h。这表明,尽管停站时间延长,列车运行效率并未降低。相反,信号系统的优化提升了列车在区间内的运行速度,有效弥补了因停站时间增

加导致的旅行速度下降。

2.2.2 旅行时间

改造前后的旅行时间如图 4 所示。

由图 4 可见,改造后的旅行时间较改造前旅行时间略有减少。总体来说,6 号线信号系统的改造有效提升了列车的整体运行效率。

2.2.3 正线追踪间隔

改造前的正线追踪间隔^[21]基于合同规定的停站时间计算,改造后的正线追踪间隔基于改造后实际停站时间计算。改造前后正线追踪间隔对比如图 5 所示。

由图 5 可见,改造后的追踪间隔相较于改造前的追踪间隔更短。缩短的追踪间隔意味着列车的运行效率得到了提升,线路的运输能力得到了提高。

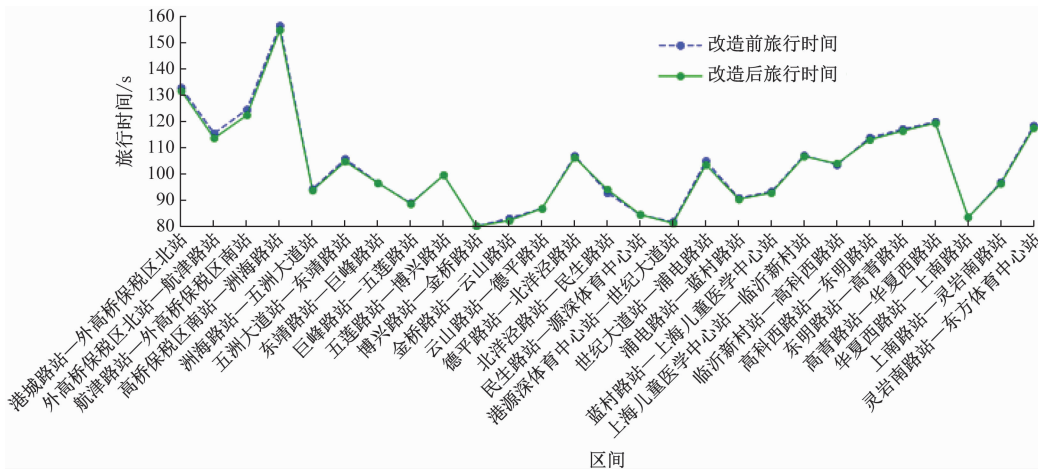


图 4 改造前后的旅行时间

Fig. 4 Travel time before and after upgrade

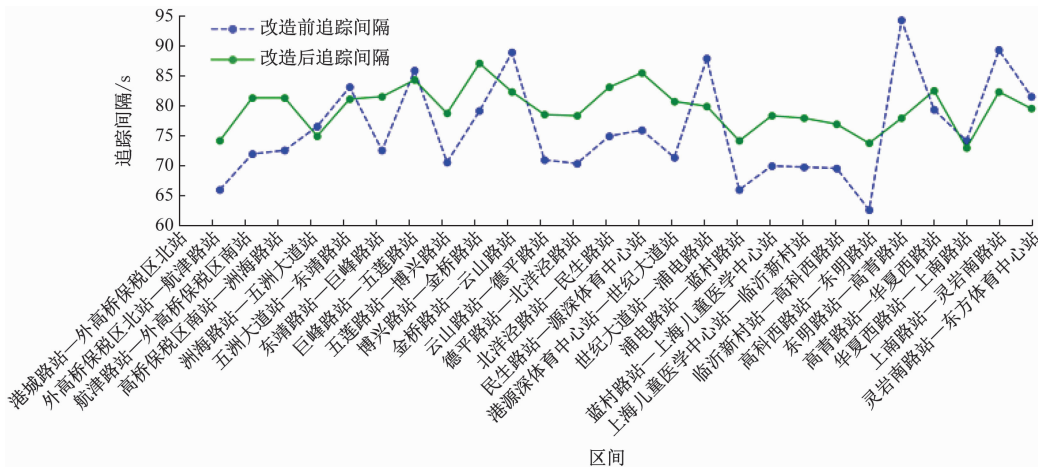


图 5 改造前后的追踪间隔

Fig. 5 Tracking interval before and after upgrade

2.2.4 停站时间

停站时间的优化是通过减少不必要的延误和提高列车服务的准时性来实现的。改造前后的停站时间的对比如图 6 所示。由图 6 可见,改造后的停站时间在不同站点根据实际客流量进行了差异化调整。在上客流量较少的站点,改造后的停站时间

有所减少。这使得列车能够更快地通过这些站点,减少了不必要的延误,提高了整体运营效率。在上客流量较多的站点,改造后的停站时间适当增加。这确保了乘客有足够的时间上下车,避免了因时间不足导致的拥挤和安全隐患,提升了服务质量和乘客体验。

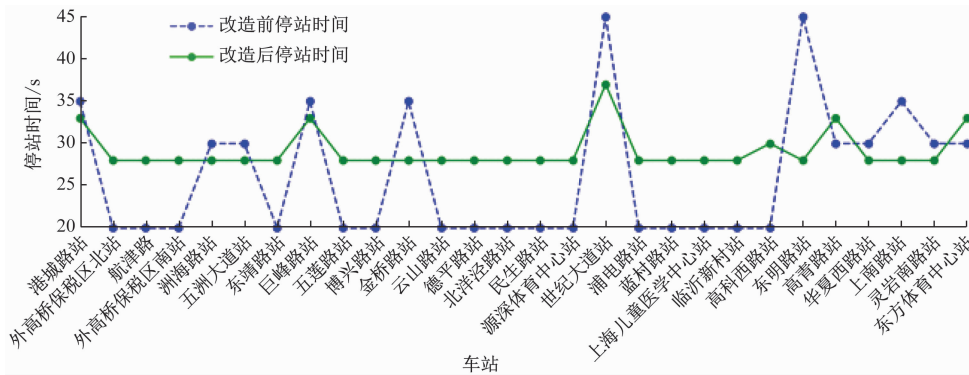


图 6 改造前后的停站时间

Fig. 6 Station dwell time before and after upgrade

3 结语

信号系统升级对确保地铁的安全和高效运行至关重要。本方案针对 6 号线信号系统设备老化、故障频发的问题,提出了 3 个改造方案,并进行了分析对比。经综合考虑后,基于 DTO 模式的 CBTC 系统全面升级改造方案为最优方案。以 6 号线信号系统改造工程为实例,比较了改造前后的旅行速度、旅行时间、正线追踪间隔及停站时间。比较结果表明,6 号线信号系统改造成功提升了线路的运营效率和服务质量。

参考文献

[1] 韩奕玮. 上海轨道交通 2 号线信号系统改造的难点及应对策略[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 100.
HAN Yiwei. Difficulties and coping strategy of signaling system transformation of Shanghai Rail Transit Line 2[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 100.

[2] 吴杰. 上海轨道交通既有有线 CBTC 信号系统大修更新改造技术方案[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(11): 207.
WU Jie. Technical plan for overhaul and renovation of CBTC signal system in Shanghai rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(11): 207.

[3] 陈思维. 上海轨道交通 3、4 号线信号系统改造方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(7): 148.
CHEN Siwei. Research on signaling system transformation scheme of Shanghai Urban Rail Transit Line 3/4[J]. Urban Mass Tran-

sit, 2021, 24(7): 148.

[4] 方飞. SelTrac CBTC 信号系统中自动列车调整功能设计[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(增刊 2): 65.
FANG Fei. Automatic train regulation function in SelTrac CBTC system[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(S2): 65.

[5] 张莹. 线网 ATS 架构与功能优化[J]. 铁路通信信号工程技术, 2025, 22(6): 98.
ZHANG Ying. Multi-line ATS architecture and function optimization[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2025, 22(6): 98.

[6] 廖剑辉. 高性能 UPS 电源在公共建筑电气的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(增刊 1): 195.
LIAO Jianhui. Application of high performance UPS power supply in public building electricity[J]. Intelligent Building & Smart City, 2025(S1): 195.

[7] 周晓伟. 区域控制器关键时序仿真分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(11): 171.
ZHOU Xiaowei. Simulation analysis of zone controller based on critical timing sequence[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(11): 171.

[8] 令小宁, 吴芳. ZD6E/J 转辙机电气故障设置软件设计研究[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2025, 42(2): 20.
LING Xiaoning, WU Fang. Research on the design of electrical fault setting software for ZD6E/J switch machine[J]. Journal of Changjiang Institute of Technology, 2025, 42(2): 20.

[9] 常君, 叶丹, 鞠峰. 车载 MCU 复位电路设计[J]. 汽车电器, 2025(6): 87.
CHANG Jun, YE Dan, JU Feng. Reset circuit design of automotive MCUs[J]. Auto Electric Parts, 2025(6): 87.

[10] 朱寅锴. FHSS 制式车地无线通信系统维护检测平台设计构

- 想[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(11): 197.
- ZHU Yinkai. Design scheme of FHSS vehicle-ground wireless communication system maintenance and examination platform [J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(11): 197.
- [11] 谢伟. 列车自主运行系统(TACS)探讨[J]. 交通与运输, 2023, 39(2): 44.
- XIE Wei. Discussion on train autonomous circumambulation system (TACS) in urban rail transit[J]. Traffic & Transportation, 2023, 39(2): 44.
- [12] 顾佳樑. 城市轨道交通数据通信系统设备状态评价方法研究[J]. 铁道通信信号, 2025, 61(6): 78.
- GU Jialiang. Research on equipment status evaluation method for data communication system of urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2025, 61(6): 78.
- [13] 刘循, 楚彭子. 城市轨道交通 ZC 故障场景下列车运行全过程调整方法[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(8): 12.
- LIU Xun, CHU Pengzi. Adjustment method for urban rail transit train operation entire process in ZC fault scenarios[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(8): 12.
- [14] 许婧, 杨硕, 李志均. 目标控制器数字孪生系统的研究与设计[J]. 铁路计算机应用, 2023, 32(10): 36.
- XU Jing, YANG Shuo, LI Zhijun. Research and design of digital twin system for object controller[J]. Railway Computer Application, 2023, 32(10): 36.
- [15] 周月忠, 傅双波, 王永刚, 等. 高速动车组中央控制单元抗电磁干扰能力研究分析[J]. 现代城市轨道交通, 2023(9): 34.
- ZHOU Yuezhong, FU Shuangbo, WANG Yonggang, et al. Research and analysis on the anti-EMI ability of the central control unit of EMUs[J]. Modern Urban Transit, 2023(9): 34.
- [16] 李春宇. 既有城轨信号系统改造为 DTO 系统技术分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(10): 90.
- LI Chunyu. Technical analysis of reconstruction from existing urban rail signal system into DTO system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(10): 90.
- [17] 莫志松. 高铁智能驾驶技术及应用[J]. 中国铁路, 2024(7): 95.
- MO Zhisong. Intelligent HSR train operation technology and its application[J]. China Railway, 2024(7): 95.
- [18] 陈建滨, 沈辉辉, 王生华. 上海轨道交通 6 号线车辆阻尼车轮降噪措施及效果[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011, 34(6): 59.
- CHEN Jianbin, SHEN Huihui, WANG Shenghua. Noise reduction measurement and effect of damped wheels for Shanghai Rail Transit Line 6 vehicles[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2011, 34(6): 59.
- [19] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通列车运行速度限制与匹配技术规范: T/CAMET 04015—2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.
- China Association of Metros. Technical specification for train operation speed restriction and its matching of urban rail transit: T/CAMET 04015—2019[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019.
- [20] 高国飞, 杨运泽, 闫亚娜, 等. 我国城市轨道交通运营线路旅行速度和速度效率分析[J]. 都市快轨交通, 2024, 37(4): 38.
- GAO Guofei, YANG Yunze, YAN Yana, et al. Travel speed and speed efficiency of existing urban rail transit lines in China[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2024, 37(4): 38.
- [21] 何明明. 新型列控系统列车通信协同运行追踪间隔和控制方法研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.
- HE Mingming. Research on tracking interval and control method of train communication cooperative operation in new train control system[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiatong University, 2023.

· 收稿日期:2025-01-15 修回日期:2025-04-29 出版日期:2025-09-10
 Received:2025-01-15 Revised:2025-04-29 Published:2025-09-10
 · 第一作者:吴敏,高级工程师,31769473@qq.com
 通信作者:张郁,正高级工程师,2408297031@qq.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 219 页)

LIU Weihui. Application of BIM technology in urban rail transit construction[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2025, 23(2): 83.

· 收稿日期:2025-05-16 修回日期:2025-06-09 出版日期:2025-09-10
 Received:2025-05-16 Revised:2025-06-09 Published:2025-09-10

· 第一作者:董屹毅,工程师,446719110@qq.com
 通信作者:殷世松,工程师,yinshisong@casco.com.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