

西安地铁2号线一、二期工程信号系统兼容 实施方案研究^{*}

孙 慧¹ 任雅萍² 梁 波³

(1. 西安市轨道交通集团有限公司, 710016, 西安; 2. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710021, 西安;
3. 浙江众合科技股份有限公司, 310051, 杭州)

摘 要 [目的] 西安地铁2号线(以下简称“2号线”)一期工程信号系统采用国外进口系统,二期工程信号系统采用国产系统。二期工程作为一期工程的延伸线路,信号系统需与一期实现互联互通、贯通运营,并在一期工程基础上提升功能与性能,因此有必要针对性地探究该线一、二期工程信号系统的兼容实施方案。[方法] 在概述2号线一、二期工程信号系统兼容实施方案的基础上,分别对ATS(列车自动监控)子系统、联锁子系统、轨旁ATP(列车自动防护)子系统、车载ATP/ATO(列车自动运行)子系统、DCS(数据通信子系统)的兼容实施方案进行了设计。在2号线试车线、正线搭建兼容系统环境,并将1列列车改装为国产车载设备,以验证2号线信号系统兼容方案实施后的应用效果。[结果及结论] 2号线信号系统兼容实施方案不但实现了一、二期工程信号系统安全可靠贯通运营,还实现了信号系统性能全面提升。兼容方案实施后,2号线的运行效率显著提高。

关键词 地铁; 信号系统; 接口适配; 系统兼容

中图分类号 U284.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.20241486

Compatibility Implementation Plan for Xi'an Metro Line 2 Phase I and Phase II Project Signaling Systems

SUN Hui¹, REN Yaping², LIANG Bo³

(1. Xi'an Rail Transit Group Co., Ltd., 710016, Xi'an, China; 2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710021, Xi'an, China; 3. Zhejiang Zhonghe Technology Co., Ltd., 310051, Hangzhou, China)

Abstract [Objective] The signaling system for Xi'an Metro Line 2 Phase I project (hereinafter referred to as Line 2) utilizes an imported system, while Phase II adopts a domestically developed system. The Phase II project is an extension line of Phase I, and the signaling systems of both must be fully interoperable to enable seamless operations. Additionally, Phase II must enhance the functionality and performance based

on the existing Phase I project. Therefore, it is necessary to conduct a targeted study on the compatibility implementation plan for the signaling systems across the two phases. [Method] Based on an overview of the compatibility implementation strategy, specific compatibility solutions are designed for key subsystems, including the ATS (automatic train supervision) subsystem, interlocking subsystem, wayside ATP (automatic train protection) subsystem, on-board ATP/ATO (automatic train protection/operation) subsystem, and DCS (data communication subsystem). A compatibility test environment is constructed on the test track and the main line of Line 2, and one train is retrofitted with domestically developed on-board equipment to verify the compatibility solution effectiveness for the proposed Line 2 signaling system after implementation. [Result & Conclusion] The compatible implementation plan successfully enables the safe and reliable interoperation between phase I and II project signaling systems, while significantly enhancing the signaling system overall performance. Following the implementation, the operational efficiency of Line 2 is significantly improved.

Key words metro; signaling system; interface adaptation; system compatibility

西安地铁2号线(以下简称“2号线”)是西安市轨道交通线网中南北客流运输的骨干线路。该线的一期工程全长26.30 km,北段(西安北站至电视塔站)于2011年9月16日开通运营,南段(电视塔站至韦曲南站)于2014年6月16日开通运营;二期工程在一期工程基础上向南北各延伸两站,线路总长6.85 km,于2023年6月27日开通运营。

随着西安市轨道交通线网的逐步成型,2号线的客流强度已位居西安市轨道交通线网之首。信号系统作为保证行车安全和运输效率的关键系统,

^{*} 陕西省重点研发项目(2024GX-YBXM-239)

其可靠性和稳定性是备受关注的问题^[19]。2 号线一期工程信号系统采用国外进口的基于 WLAN(无线局域网)技术的移动闭塞的 CBTC(基于通信的列车控制)系统。该系统已运行十多年,其系统功能不足、设备老化、维护成本高等问题日益突出,对 2 号线的日常运营造成了很大影响,其性能指标已无法与 2 号线在西安市轨道交通线网中的重要地位相匹配。在 2 号线二期工程建设阶段,研究最适用的信号系统实施方案是一项重要课题。

文献[10]基于不同线路改造需求,得出各类改造方案与不同改造需求之间的匹配关系,以获得针对不同改造需求的适应性最佳的改造方案。文献[11-12]研究了上海轨道交通 2 号线信号系统采用的“TBTC(基于轨道电路的列车控制)系统+CBTC 系统”双信号异型冗余系统改造方案。文献[13-14]研究了基于车车通信的列车自主控制系统作为上海轨道交通 3、4 号线信号系统的改造方案。以上文献研究的均为替换或整体兼容既有系统制式的改造方案,未研究二期工程与一期工程贯通运营采用不同厂家信号系统的兼容实施方案。

2 号线结合二期工程建设的工期要求,以及国产系统的成熟度、安全性、稳定性、可靠性、可维护性等因素,经过系统研究及评估,确定了二期工程信号系统采用浙江众合科技股份有限公司自主研发的国产系统。该系统可以与一期工程进口系统组成兼容系统,实现一、二期工程信号系统的无缝衔接及贯通运行。此外,利用二期工程建设时机,采用信号兼容系统提升完善一期工程建设时信号系统性能的不足,以有效提升 2 号线信号系统的技术水平。

1 2 号线信号系统兼容实施方案

1.1 方案概述

2 号线信号系统兼容实施方案含二期工程建设和一期工程兼容改造两部分,实施要点是国产各子系统与既有进口系统之间的接口适配。为保证一、二期工程互联互通运行,国产子系统从通信协议、系统参数及轨道数据库等方面进行适配性开发,以确保能与进口系统接口相匹配^[15-20]。前述建设过程遵循以下原则:① 一、二期工程信号系统制式统一,各子系统须完全兼容并接口;② 一期工程改造和二期工程接入不得影响一期工程线路的正常运营;③ 建设后的系统能力、可扩展性、性能指标等要

优于一期工程;④ 控制建设成本,不可高于同类项目建设费用指标。为此,经多方研究并结合一期工程实际情况,确定了二期工程信号系统车地通信继续采用 WLAN 技术,除轨旁 ZC(区域控制器)沿用进口信号系统设备外,ATS(列车自动监控)子系统、车载子系统及联锁子系统全部采用国产的兼容信号系统设备,并在二期工程开通前将一期工程 ATS 子系统替换为可兼容一、二期工程信号系统的 ATS 子系统。一、二期工程完全贯通后,全线将形成国产与进口两种车载子系统制式列车混跑、国产与进口联锁子系统兼容共存的场景。同时,对 MSS(维护支持系统)进行升级,采集更多设备运行维护数据,如车载子系统设备、ZC 设备、ATS 子系统设备、联锁子系统设备的状态监测等,提高了信号系统的可维护性。2 号线一、二期工程信号系统兼容方案系统架构如图 1 所示。

1.2 ATS 子系统兼容方案

2 号线全线(含一、二期工程)采用一套兼容的 ATS 子系统对全线列车进行集中监控。由于 ATS 子系统要匹配进口联锁子系统和国产联锁子系统两种接口,因此须对 ATS 子系统进行软件兼容性匹配开发,并在二期工程接入前完成一期工程 ATS 子系统的升级改造和建设。根据此需求,对一期工程 ATS 子系统的服务器进行扩容,二期工程车站新增 ATS 子系统站级服务器及工作站,并安装国产的 ATS 子系统软件。一期工程 ATS 子系统在二期工程试运行前,现场搭建了临时国产 ATS 子系统进行接口测试。经测试各接口工作正常后,对一期工程的 ATS 子系统进行国产软件升级。待二期工程 ATS 子系统调试完成,接入一期工程的 ATS 子系统,即可完成全线的 ATS 子系统建设。

采用国产的 ATS 子系统后,在一期工程基础上,对全线 ATS 子系统功能进行以下 3 个方面的提升和优化:

1) 增加设置区间最大列车数、区段跟踪切除、列车冲突检查、列车控制(包括设置下一站停站时间、运行等级、临时停车、多站跳停、多站扣车等)、时刻表跳停(即时刻表中设置不停站的列车,ATS 子系统界面上显示列车为跳停列车,ATO(列车自动运行)模式下列车自动跳停)、ATS 子系统界面调整、扣车/跳停总状态查看、窗口留言及操作堆栈等操作功能。

2) 增加 ATS 子系统维护功能界面显示、ATS

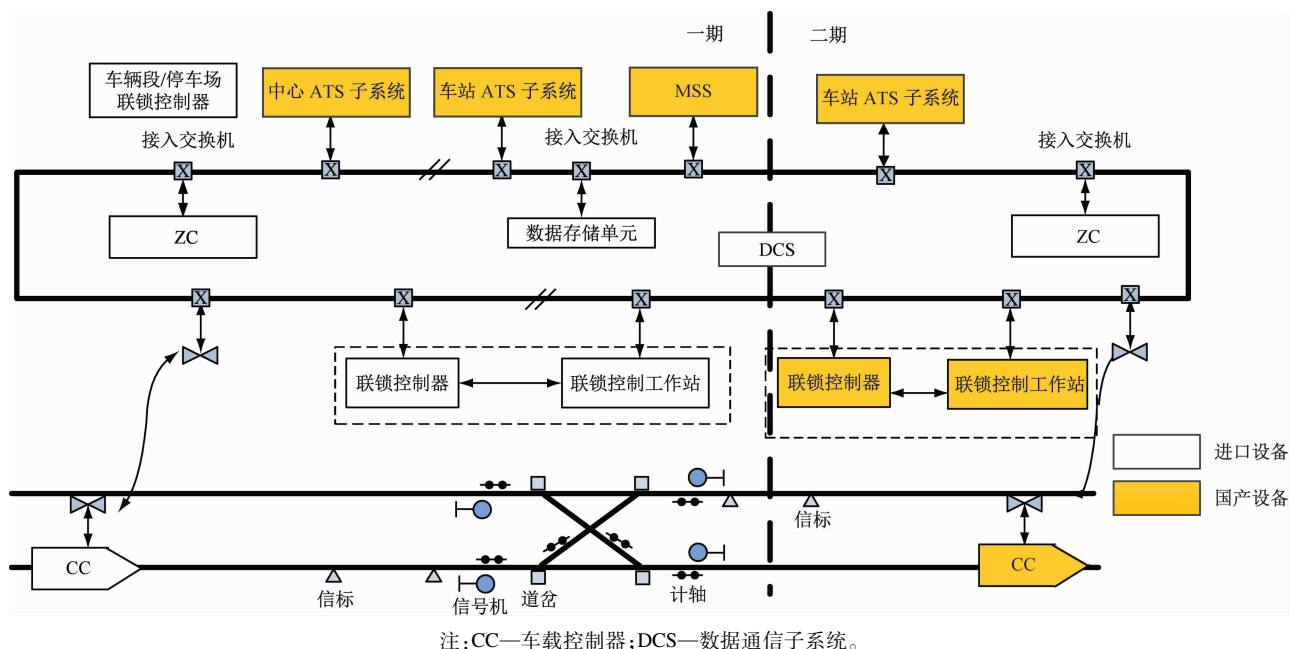


图 1 西安地铁 2 号线一、二期工程信号系统兼容方案系统架构图

Fig. 1 System architecture diagram of signaling system compatibility plan for Xi'an Metro Line 2 phase I and phase II projects

子系统报表及设备状态界面显示等功能。

3) 优化运行图编辑及显示功能,完善进路控制方式、临时限速设置方式、安全操作的二次确认方式及车次窗显示方式等。

1.3 联锁子系统兼容方案

一期工程沿用原进口联锁子系统,二期工程采用国产联锁子系统。在二期工程南北段各增设两套联锁机柜、接口柜、组合柜及分线柜等。二期工程接入时,须对一期工程接口站进行联锁接口及轨旁设备改造,拆除原一期工程终端信号机及线缆,安装一、二期工程交接区信号机、计轴,以及动态、静态信标,并敷设室内外线缆。

为满足两套联锁子系统在同一架构下兼容、协同工作,两套联锁子系统之间需增加站联接口设备,这样既可保证原有联锁子系统的完整性和独立性,又可减少二期工程建设对一期工程联锁子系统的影响。一、二期工程联锁子系统站联及信息传递如图 2 所示。一期工程与二期工程联锁子系统之间的通信,采用一期工程联锁与邻站之间完全相同的安全通信协议来交换数据,传输信息主要包括敌对检查、信号机状态、区段状态等安全信息。排列相应进路时,须满足相邻站间的相互敌对检查等条件。

二期工程联锁子系统采用国产系统后,新增了全站封锁、区段封锁、道岔封锁、强制点灯、区段故障解锁等功能,提升了特殊场景下对线路封锁操作

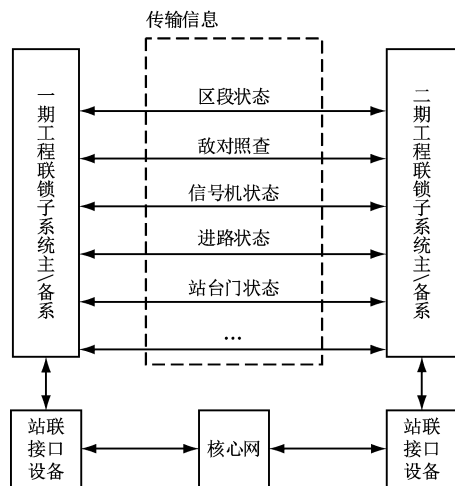


图 2 一、二期工程联锁子系统站联及信息传递图

Fig. 2 Station connection and information transfer diagram of interlocking subsystems in phase I and phase II projects

的灵活性。

1.4 轨旁 ATP(列车自动防护)子系统兼容方案

二期工程轨旁 ATP 子系统 ZC 设备仍沿用原一期工程的进口设备和数据存储单元,在二期工程北段新增设 1 套 ZC 设备。对于一期工程南段,原 ZC 设备经容量计算,确认可以满足接入两个新站的设计要求(即管辖列车不大于 40 列,管辖范围不大于 10 km),因此不用新增 ZC 设备,新增的两个站纳入南段既有的 ZC 设备管理。

在二期工程接入一期工程时,为确保一、二期工程不同装备下列车均能够可靠安全地与地面设备通信,须对原 ZC 设备进行升级,优化其性能和兼容性,并加入二期工程范围的线路数据;同时须对数据存储单元进行升级,以提升数据处理和存储能力。

1.5 车载 ATP/ATO 子系统兼容方案

二期工程列车采用国产的车载子系统,包含车载控制器和外围设备。每列车在头尾两端各设置一套采用了“二乘二取二 ATP + 双系热备 ATO”冗余架构的车载控制器。通过冗余车载交换机和网线互联,实现列车折返和换端时的数据交互功能。外围设备包括速度传感器、雷达、应答器主机和天线、司机操作显示单元、车载电台和天线等。

二期工程接入一期工程后,一期工程进口设备装备列车须与二期工程范围的 ZC 设备通信,应升级更新一期工程列车在二期工程范围的线路数据,以实现进口设备装备列车在一、二期工程的贯通运行。因二期工程装备列车安装国产的车载设备并全线运营,需对二期工程车载子系统做接口开发,以适配进口 ZC 设备。二期工程车载子系统与 ZC 设备的接口采用和一期工程车载子系统一样的接口协议,包括通信周期、通信协议、通信内容和功能处理逻辑等,以确保二期工程车载子系统可与原 ZC 设备、数据存储单元可靠接口。同时,ZC 设备针对一、二期工程列车的车辆及车载控制系统关键参数进行兼容性分析,确保列车数据、系统参数不影响轨旁设备布置原则也不影响进口 ZC 设备和 CC 设备原来的配置。依据不同列车,配置出适合国产和进口两套车载子系统安全运行的参数,从而针对每列列车,信号兼容系统可以计算出安全的移动授权,实现线路上搭载不同车载设备的列车在全线混跑运行。2 号线车辆及车载控制系统关键参数兼容性分析如下:

1) 为实现 ZC 设备对一、二期列车及车载设备的适配与兼容,须对关键参数进行兼容处理。涉及的参数包括列车两端车钩面距离、车端到本端信标天线的距离、列车紧急制动减速率、列车不可能达到的最大加速度值。具体参数如下:① 一、二期工程列车两端车钩面距离分别为 118.36 mm、119.14 mm;② 一、二期工程列车车端到本端信标天线的距离分别为 2 379 mm、2 769 mm;③ 一、二期工程能

保证的列车紧急制动减速率分别为 0.86 m/s²、0.88 m/s²;④ 一、二期列车不可能达到的最大加速度值分别为 1.140 0 m/s²、1.186 7 m/s²。

2) 在平面布置图设计中,对计轴设置位置进行兼容处理,以适应一、二期列车车钩面到第 1 根轴的距离(一期工程列车车钩面到第 1 根轴的距离为 2 980 mm;二期工程列车车钩面到第 1 根轴的距离为 3 370 mm),确保列车能够安全通过道岔和警冲标。

3) 通过对二期工程列车的 CC 设备与 ZC 设备间失去通信的时间、临时限速信息的有效时间,以及 CC 设备收到 ZC 设备的道岔信息、移动授权信息等进行参数适配,保证二期工程列车与 ZC 设备通信的可靠性。

二期工程列车采用国产的车载子系统后,与一期工程列车相比,优化了以下 6 项内容:

1) 车门故障时的开门机制。列车到站后,若车门未自动开启或部分开启,对于一期工程列车,司机需将开门模式转换为门旁路状态,司机确认列车停稳状态和对标情况后手动二次开门。对于二期工程列车,司机不用将开门模式转换为门旁路状态,而是转换为人工开门状态后手动二次开门。该改进措施保证司机在可以人工处理车门故障时,不对车门进行旁路,仍然在信号系统的安全防护下开门,提高了该场景的安全性。

2) 列车跳停设置机制。对设置列车跳停的时机进行了优化,一期工程列车的设置时机为列车跳停站的前一站停车前,二期工程为列车进入跳停站站台区域前。

3) 列车定位系统冗余配置。一期工程列车的定位系统首尾不冗余,二期工程列车的定位系统首尾冗余,提高了列车定位系统的可靠性。

4) 空转打滑时的速度计算。列车发生空转打滑时,一期工程使用加速度计计算列车速度,加速度计不可用时导向测速故障;二期工程使用雷达补偿,雷达不可用时按照列车最大、最小加速度计算列车速度。

5) 列车控制运行速度曲线。对列车控制运行速度曲线进行优化,采用一次列车控制运行速度曲线,提升乘客乘坐舒适度,减少列车运行的供电能耗。

6) 读标系统。对读标系统的信息处理及对比机制进行了优化,优化后 1 h 内的丢标数量明显下降,由原来的 2.1 个下降为 0.2 个,提高了读标系统的稳定性。

1.6 DCS 兼容方案

DCS 的无线网络继续沿用原 WLAN 技术方案,对一期工程 DCS 的网络配置进行修改并扩容升级,增设二期工程相关站级的 DCS 设备。对于新增的各子系统设备,分配与既有子系统同一网段的 IP (互联网协议)地址;在 ATS 子系统通信服务器中,增加与国产车载设备通信的网段及相关配置。

二期工程有线网络接入一期工程时,二期工程北段两站分别接入一期工程北段的 DCS 骨干网接入点,二期工程南段两站分别接入一期工程南段的 DCS 骨干网接入点。

为满足一、二期工程信息安全等级保护三级的

要求,在正线运营控制中心和设备集中站内设置信息安全系统和入侵防护系统。

2 2 号线信号系统兼容测试及应用情况

为确保兼容方案顺利实施,开展了充分的测试验证工作,分别在 2 号线试车线、正线搭建兼容系统环境,并改装了一列装载了国产车载设备的列车。在此环境下,模拟兼容方案在 2 号线的应用场景,测试国产和进口两种车载装备列车分别在一期工程和二期工程不同轨旁系统环境下的混跑运行情况。通过对系统不断优化完善,最终的 2 号线信号系统主要性能和运行能力测试情况如表 1 所示。

表 1 西安地铁 2 号线信号系统主要性能和运行能力测试情况

Tab. 1 Testing conditions of main system performance and operation capacity for Xi'an Metro Line 2 signaling systems

阶段	站台停车精度 (± 0.3 m) 正确率/%	站台停车精度 (± 0.5 m) 正确率/%	时刻表兑现率/%	非期望的列车 紧急制动 发生率/%	折返站列车 自动折返 正确率/%	最小追踪 间隔/s	最小折返 间隔/s	平均旅行 速度/ (km/h)
兼容方案实施前	99.995 0	99.999 8	99.0	0.005	99.999	89	108	36.0
兼容方案实施后	99.998 0(新车)	99.999 9(新车)	99.5	0.045	99.999	87	107	37.2

由表 1 可知:2 号线信号系统的主要性能和运行能力均达到了预期效果,实现了兼容系统的各项功能。目前 2 号线二期工程已顺利开通运营,信号系统的功能、稳定性、可靠性和可维护性均比一期工程有所提升。但由于车地无线通信继续沿用原 WLAN 技术,无线干扰问题频发,这是 2 号线信号系统未来升级改造的重点。

3 结语

2 号线通过对国产信号系统产品进行增量开发,对进口信号系统产品进行针对性的接口适配,创新性地提出了两者融合的兼容系统解决方案,这是一种全新的建设模式。该兼容方案的成功实施,实现了信号系统功能的全面提升,摆脱了对国外设备生产、采购和技术的依赖。改造完成后,可以大大提升全线的运行效率。

该兼容系统可扩展性强,具备分步实施的能力,可提供更多的信号系统设备运行维护数据,后期可通过综合运维平台实现智能运维,提高信号系统维护质量。该兼容系统运行等级最高可支持 GOA4(无人干预列车运行),具备升级至全自动运行系统的能力,同时支持联锁子系统改造为全电子联锁子系统。该方案的成功实施,为后续西安地铁

2 号线一期工程信号改造提供了有力的技术保障和技术储备,也为我国既有城市轨道交通信号系统大修改造和互联互通提供了新的思路,对我国其他城市轨道交通线路的信号改造工程有一定借鉴意义。

参考文献

- [1] 刘卓,陈传新. 信号系统制式的统一或兼容是城市轨道交通线网的互联互通基础[J]. 现代城市轨道交通, 2006(3): 12.
LIU Zhuo, CHEN Chuanxin. Unified and compatible signaling system: foundation for interlinked lines and network of urban rail transit[J]. Modern Urban Transit, 2006(3): 12.
- [2] 宋瑞. 地铁信号设备在列车运行安全中的保障策略研究[J]. 人民公交, 2024(18): 93.
SONG Rui. Research on the guarantee strategy of metro signal equipment in train operation safety[J]. People's Public Transportation, 2024(18): 93.
- [3] 申樟虹,李名淦,刘潇洋,等. 跨线网互联互通运营信号系统技术方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 66.
SHEN Zhanghong, LI Minggan, LIU Xiaoyang, et al. Research on technical scheme of cross-line interoperation signaling system[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 66.
- [4] 戴翌清. 城市轨道交通信号系统更新改造需求分析[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 14.
DAI Yiqing. Demand analysis of urban rail transit signal system renovation[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(11): 14.

- [5] 翟阿南. 探究地铁信号系统的维护方法与维修技术[J]. 通讯世界, 2024, 31(6): 139.
ZHAI A'nan. Probe into the maintenance method and technology of subway signal system[J]. Telecom World, 2024, 31(6): 139.
- [6] 杜广林, 魏家浩. 一种地铁信号智慧运维系统的研究与设计[J]. 设备管理与维修, 2024(12): 36.
DU Guanglin, WEI Jiahao. Research and design of an intelligent operation and maintenance system for metro signals[J]. Plant Maintenance Engineering, 2024(12): 36.
- [7] 孙瑶, 李新, 沈丙耐. 苏州轨道交通3号线与11号线贯通运营信号系统改造方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(10): 322.
SUN Yao, LI Xin, SHEN Bingnai. Signaling system renovation plan for Suzhou Rail Transit Line 3 and Line 11 through train operation[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(10): 322.
- [8] 刘冬冬, 周祎, 施宇锋, 等. 苏州轨道交通11号线与3号线贯通运营信号系统改造关键技术方案[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(12): 356.
LIU Dongdong, ZHOU Yi, SHI Yufeng, et al. Signaling system renovation key technology solutions of Suzhou Rail Transit Line 11 and Line 3 for through train operation[J]. Urban Mass Transit, 2024, 27(12): 356.
- [9] 韩臻, 姜磊, 李硕. 北京地铁既有有线列车跨线信号系统的方案研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2024, 21(11): 108.
HAN Zhen, JIANG Lei, LI Shuo. Research on signalling system scheme for cross-line operation on existing lines in Beijing Subway[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2024, 21(11): 108.
- [10] 朱莉. 城市轨道交通信号系统改造方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4): 118.
ZHU Li. Retrofit solution research of urban rail transit signaling system[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4): 118.
- [11] 张郁. 上海轨道交通2号线信号系统的更新改造[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(6): 126.
ZHANG Yu. Signal system renewal and transformation of Shanghai Urban Transit Line 2[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(6): 126.
- [12] 孙磊. 上海轨道交通2号线信号系统改造实施方案[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 138.
SUN Lei. Signaling system transformation scheme of Shanghai Rail Transit Line 2[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): 138.
- [13] 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 Transit, 2021, 24(7): 148.
- [14] 杨洋. 上海轨道交通4号线信号系统改造应用方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(增刊1): 78.
YANG Yang. Modification and application plan for Shanghai Rail Transit Line 4 signaling system[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(S1): 78.
- [15] 王冠文. 地铁联络线的信号系统接口设计方案探讨[J]. 通讯世界, 2019, 26(6): 5.
WANG Guanwen. Discussion on signaling system interface design scheme of metro link line[J]. Telecom World, 2019, 26(6): 5.
- [16] 张建林. 地铁信号系统正线与车辆段接口方案分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(1): 67.
ZHANG Jianlin. Interface scheme of subway signal systems between main line and depot[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(1): 67.
- [17] 邹海平. 地铁联络线信号系统接口设计[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(6): 27.
ZOU Haiping. Interface design of signaling system for subway connection line[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(6): 27.
- [18] 潘潼, 俞军燕, 魏秀琨, 等. 地铁信号系统车载设备维保策略优化[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(1): 27.
PAN Tong, YU Junyan, WEI Xiukun, et al. Optimization of metro signaling system on-board equipment maintenance strategy[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(1): 27.
- [19] 孙静. 西安机场线与十四号线贯通运营相关问题研究[J]. 铁道勘察, 2018, 44(2): 83.
SUN Jing. Research on related problems of break through operation between airport rail transit and Metro Line 14 in Xi'an[J]. Railway Investigation and Surveying, 2018, 44(2): 83.
- [20] 张小磊. 兼容轨道电路制式CBTC车载系统的研究[J]. 电子世界, 2020(1): 172.
ZHANG Xiaolei. Research on CBTC vehicle-mounted system compatible with track circuit system[J]. Electronics World, 2020(1): 172.

· 收稿日期:2024-08-24 修回日期:2024-12-14 出版日期:2025-07-10
Received:2024-08-24 Revised:2024-12-14 Published:2025-07-10
· 通信作者:孙慧,高级工程师,346604396@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

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn