

## CBTC 与 ATP/TD 融合车载系统设计\*

徐 旦<sup>1</sup> 黄雪兰<sup>1</sup> 陈先宽<sup>2</sup> 章丽萍<sup>1</sup>

(1. 绍兴职业技术学院机电工程与交通学院, 312085, 绍兴; 2. 浙江众合科技股份有限公司, 310051, 杭州)

**摘 要** [目的] 重庆轨道交通 2 号线为应对不断增长的客流需求, 需要对先期开通的较场口—新山村段信号系统进行升级改造, 根据业内专家建议, 推荐采用 CBTC (基于通信的列车控制) 系统与 ATP (列车自动防护)/TD (列车位置检测) 两种通信制式共存并实现贯通运营。[方法] 将独立车载系统与融合车载系统两套方案进行技术参数比选, 提出兼容 CBTC 及 ATP/TD 两种制式的融合车载系统设计方案。考虑既有车辆车载设备安装空间并尽可能控制车载设备改造规模, 保留位置检测机柜和 ATP 单元接收柜, 新增 VOBC (车载控制器) 机柜代替原 ATP 单元控制柜, 并对车载设备系统功能进行重新分配; 对 ATP/TD 制式段驾驶模式重新设计, 取消原有无地面 ATP 信号模式和限制人工驾驶模式; 结合系统功能设计对融合车载系统与车辆接口进行重点改造; 同时在 CBTC 制式段与 ATP/TD 制式段交接区改造一座车站作为驾驶模式切换站, 在后期开通的新山村至鱼洞段采用 ATP/TD 制式, 较场口至新山村段则采用 CBTC 制式。[结果及结论] 融合车载系统方案可实现列车在 CBTC 和 ATP/TD 两种通信制式间平滑过渡, 贯通运营, 且方案实施的技术风险较低、改造工程投资较低。

**关键词** 重庆轨道交通 2 号线; 融合车载系统; 方案设计  
**中图分类号** U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.08.051

## Design of CBTC and ATP/TD Integrated On-board System

XU Dan<sup>1</sup>, HUANG Xuelan<sup>1</sup>, CHEN Xiankuan<sup>2</sup>, ZHANG Liping<sup>1</sup>

(1. School of Electromechanical Engineering and Transportation, Shaoxing Vocational & Technical College, 312085, Shaoxing, China; 2. UniTTEC Co., Ltd., 310051, Hangzhou, China)

**Abstract** [Objective] In response to the continuously increasing passenger demands, Chongqing Rail Transit Line 2 requires signaling system upgrading and renovation for the previously launched Jiaochangkou-Xinshancun Interval. Based on recommendations from industry experts, it is proposed to implement a coexisting through-operation of CBTC (communica-

tion-based train control system) with ATP (automatic train protection) / TD (train position detection) systems. [Method] A technical parameter comparison is conducted between the two schemes with independent and integrated on-board systems. A design scheme for an integrated on-board system compatible with both CBTC and ATP/TD systems is presented. Consideration is given to the installation space of existing vehicle on-board equipment, and efforts are made to control the scale of on-board equipment modification. This includes retaining the position detection cabinet and ATP unit receiving cabinet, introducing a new VOBC (vehicle on-board controller) cabinet to replace the original ATP unit control cabinet, and redistributing on-board equipment system functionalities. The driving modes of ATP/TD systems are redesigned, eliminating the original ground ATP signal availability mode and restricted manual operation mode. The design of the integrated on-board system and vehicle interface is emphasized considering system functionality. Additionally, a station is renovated as a driving mode switching station in the transition area between CBTC and ATP/TD system segments. The ATP/TD system is adopted for the later launched Xinshancun-Yudong Interval, while the CBTC system is employed for Jiaochangkou-Xinshancun Interval. [Result & Conclusion] Research results show that, the integrated on-board system scheme facilitates smooth signaling system transition between CBTC and ATP/TD for trains, enabling through-operation with relatively low technical risks and investment costs for implementation.

**Key words** Chongqing Rail Transit Line 2; integrated on-board system; scheme design

重庆轨道交通 2 号线, 是国内首条跨坐式单轨线路, 也是西部地区首条城市轨道交通线路, 其较场口站至新山村站段 (以下简称“较新段”) 于 2006 年开通运营, 共设 18 座车站。较新段信号系统采用 ATP (列车自动防护)/TD (列车位置检测) 的固定闭塞的信号系统制式且无 ATO (列车自动驾驶) 功

\* 浙江省重点研发计划项目 (2019C01144); 浙江省教育厅科研项目 (Y202250363)

能,设计最小追踪间隔为 120 s,设计最大行车密度为 24 对/h。但受停站时间的影响及部分固定闭塞区间设置的限制,实际可实现的最大行车密度为 20 对/h,按全 6 辆编组的编组方案,最大运输能力仅为 1.92 万人次/h,小于目前的客流需求 2.06 万人次/h。产品升级或更新换代也导致信号系统的备品、备件无法保障,存在系统可能无法正常运行的运营风险。同时,信号系统运行至今已达原设计 15 年寿命周期。因此,为确保较新段的运营安全,急需对信号系统进行更新改造。

## 1 车载系统改造方案比选

较新段使用的基于 ATP/TD 环线的固定闭塞信号制式,为高频连续感应式信号系统,由日本信号株式会社提供,属于 20 世纪六七十年代产品,追踪间隔长(120 s)且无 ATO 功能。而 CBTC(基于通信的列车控制)系统作为当前主流信号系统,可缩短追踪间隔至 90 s,具备 ATO 驾驶功能,先进可靠<sup>[1]</sup>。为此重庆市轨道交通集团组织专家评审,专家意见为推荐较新段改造为 CBTC 制式。

为满足较新段与后期开通的新山村站至鱼洞站段(以下简称“新鱼段”)(2014 年 12 月开通运营)贯通运行,需对全线列车车载设备进行改造,使

其能在 CBTC 移动闭塞区段(较新段)运行又能在 ATP/TD 固定闭塞区段(新鱼段)运行。参考国内既有线路改造方案,结合重庆轨道交通 2 号线实际情况综合考量,对表 1 两种方案的技术参数进行比较,独立车载系统(即两种车载系统独立安装)方案在技术上可行,但造价、安装、调试、维护、可实施性等方面均不占优势。鉴于此,选择融合车载方案作为该线路较新段改造方案。

## 2 融合车载系统方案

### 2.1 融合车载系统方案总体设计

融合车载方案设计了能够兼容 CBTC 及 ATP/TD 两种制式的融合型车载设备,除了实现 CBTC 模式下的 ATP/ATO 功能之外,还能够实现基于 TD 环线的位置检测、超速防护等全部功能。融合车载系统在 CBTC 常规驾驶模式外,增设“CM(人工)-TD”驾驶模式。在 CBTC 制式段和 ATP/TD 制式段交接区改造一座车站作为驾驶模式切换站,当列车运行到驾驶模式切换站时,小交路列车利用线路切换站站后折返线进行 ATO 自动折返;大交路列车可停车或不停车进行 CBTC 与 ATP/TD 的制式切换,列车可在两种制式间平滑过渡,实现在全线的贯通运营。改造完成后运营方式如图 1 所示。

表 1 两种车载系统方案技术参数比较

Tab. 1 Comparison and selection of technical parameters between two on-board system schemes

技术参数	独立车载系统方案	融合车载系统方案
车辆接口	2 套接口,接口复杂	1 套接口,接口简化
车载机柜	2 套独立的车载机柜	无须新增独立机柜
系统结构	独立系统,结构复杂	融合系统,结构简单
司机室改造程度	改造程度大	改造程度小,仅需改造信号电路
不同制式切换	司机物理切换	系统自动切换,需要司机确认
对司机的要求	需要司机判断切换条件,要求高	无须司机判断,要求低
国产化及实际应用案例	国产化率较高,但无单轨应用案例	暂不具备国产化,国外有 2 个案例
技术成熟度	北京地铁 1、2 号线改造过渡期有类似应用 <sup>[2-3]</sup>	日本有 CBTC 与轨道电路的融合方案,中国高铁 CTCS2 与 CTCS3 有类似应用 <sup>[4-6]</sup>
工程投资	高	相对低

注:CTCS 为中国列车控制系统。

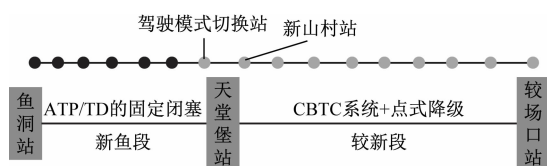
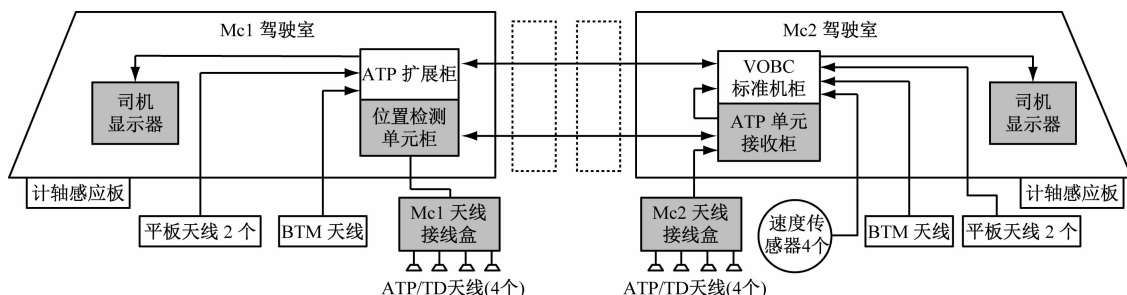


图 1 CBTC 与 ATP/TD 融合车载系统运营示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CBTC and ATP/TD fusion on-board system operation

结合既有车辆的车载机柜安装空间,融合车载系统设备将分别部署在车辆 Mc1(带司机室的动力车 1)车头和 Mc2(带司机室的动力车 2)车尾两端,具体结构如图 2 所示。车载设备 VOBC(车载控制器)可兼容 CBTC 和 ATP/TD 两种制式。每列车在 Mc2 车尾端设置一套二乘二取二冗余架构的核心



注:ATP扩展柜中安装有TAU(车载接入终端)主机、合路器、交换机、重载连接器及BTM(查询应答器)主机;■既有设备;□改造新增设备。

图2 融合车载系统结构示意图

Fig.2 Diagram of integrated on-board system structure

控制器,负责实现列车运行自动防护和自动驾驶的全部功能。

## 2.2 融合车载系统功能设计

融合车载系统需同时具备CBTC和ATP/TD两种制式的全部功能,融合车载系统方案保留原ATP/TD系统位置检测机柜与ATP单元接收柜,但对其功能分别做如下调整。

融合车载系统位置检测柜功能调整如下:

- 1) 负责向地面发送f1/f2位置检查信号。
- 2) ATP/TD设备发生重故障时,负责输出严重故障信号到VOBC机柜。
- 3) 负责ATP/TD设备故障告警,并输出给TCMS(列车监控管理系统);负责ATP放大设备故障告警,并输出至TCMS。

融合车载系统对ATP单元接收柜功能调整如下:

- 1) 负责接收地面ATP码信号,负责给VOBC机柜输出ATP码的编码信号。
- 2) 负责接收地面开门方向信号并输出开门方向接口给VOBC机柜。
- 3) 负责ATP接收柜故障告警,并输出给VOBC机柜。

融合车载系统方案将原ATP单元控制柜替换为VOBC机柜,由VOBC机柜负责ATP/TD制式的控制功能,同时兼具CBTC制式的全部功能。

融合车载系统对VOBC机柜功能调整如下:

- 1) 负责速度信号检测,负责测速设备的有效性检测;负责零速信号及后退检测紧急输出。
- 2) 负责解析ATP单元接收柜输入的ATP码编码信号,并根据ATP码和速度信号负责输出最大常用制动或紧急制动到车辆。
- 3) 负责自身工作状态诊断,并输出紧急制动;

负责与司机交互及驾驶模式转换;同时,负责车门防护与ATP/TD设备故障防护。

- 4) 当收到02码,负责输出紧急制动信号到车辆;当收到01码,负责输出常用制动信号到车辆。

- 5) 负责CBTC及ATP功能的实现。

## 2.3 融合车载系统驾驶模式设计

融合车载系统驾驶模式涉及两部分:CBTC制式段和ATP/TD制式段。CBTC制式段驾驶模式采用通用CBTC系统设计,对于ATP/TD制式段驾驶模式更改如下。

- 1) ATP模式:当模式开关选择在“ATP”位置,列车处于ATP防护状态下,按照ATP信号限定速度,由司机人工驾驶列车运行。融合车载系统在CBTC制式段采用CBTC通用驾驶模式设计;在ATP/TD制式段采用CM-TD模式运行,由司机在切换区域按压确认按钮进入CM-TD模式。

- 2) 调车模式:含S25、S15码,正线运行时,列车不得超出限定速度25 km/h或15 km/h行车。

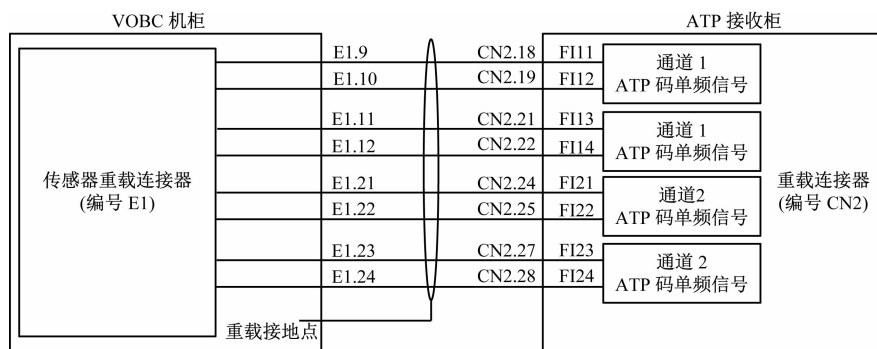
- 3) RM(限制人工驾驶模式):融合车载系统取消原有无地面ATP信号模式与限制人工驾驶模式,由RM代替,限速15 km/h,并且随时准备停车。

- 4) ATP切除模式:当模式开关选择在“ATP切除”位置时,系统转换为ATP切除模式,该模式为非正常驾驶模式,该模式下信号系统ATP功能无效,由司机确保列车运行安全。

## 2.4 接口设计

### 2.4.1 VOBC机柜与ATP单元接收柜接口

原ATP单元接收柜对应的输出接口不变,作为VOBC机柜的安全输入进行采集,该接口信号频率编码定义保持不变。VOBC机柜与ATP单元接收柜的接口如图3所示。



注: E1.9 为编号 E1 传感器重载连接器的 9 号脚位; CN2.18 为编号 CN2 的重载连接器的 18 号脚位; FI11 为 ATP 单元接收柜输出信号编号。

图3 VOBC 机柜与 ATP 单元接收柜接口

Fig. 3 Interface between VOBC cabinet and ATP unit receiving cabinet

#### 2.4.2 与车辆接口

融合车载系统取消原 ATP/TD 设备与车辆的接口,信号系统与车辆的接口由 VOBC 机柜负责。

车辆→信号的输入信号如图4所示。信号(ATP)→车辆的输出信号如图5所示。



注: PHI 为端子排输入; EB 为紧急制动。

图4 车辆→信号的输入信号

Fig. 4 Vehicle→Signal input signal

由于 ATP/TD 制式车辆不具备网络控车接口,因此 ATO(列车自动控制)与车辆接口通过硬线连接。ATO 制动共 14 个级位,具体级位对应关系如表 2 所示,14 级为车辆输出最大制动力,其中全部为 0 或 1 时,车辆不输出制动。有效 ATO 牵引共有 8 个级位,具体级位对应关系如表 3 所示,7 级为车辆输出最大牵引力,当全部为 0 时车辆不输出牵

引力。

### 3 结语

随着时间的推移,我国 2000 年至 2005 年开通的城市轨道交通线路信号系统逐步进入大修期和改造期。为此,提出一种工程造价低、系统结构简单的融合车载系统方案,以重庆市轨道交通 2 号线



车辆接口		VOBC 机柜				车辆接口	
		输出重载 E4					
LDR_EN 1	E4.1	DO1X1	左车门使能	DO1Y1	E4.4	LDR_EN 2	
RDR_EN 1	E4.5	DO1X2	右车门使能	DO1Y2	E4.8	RDR_EN2	
EB+ 1	E4.9	DO1X3	紧急制动正环路	DO1Y3	E4.10	EB+ 2	
EB- 1	E4.11	DO1X4	紧急制动负环路	DO1Y4	E4.12	EB- 2	
CAB1_VIRTUAL_KEY 1	E4.13	DO1X5	Mc1 车头端虚拟钥匙激活	DO1Y5	E4.14	CAB1_VIRTUAL_KEY 2	
PropulsionEN1	E4.15	DO1X6	牵引使能	DO1Y6	E4.16	PropulsionEN2	
FSB 1	E4.17	DO2X1	全常用制动输出	DO2Y1	E4.18	FSB2	
CMD_OLDR 1	E4.19	DO2X2	开左车门	DO2Y2	E4.20	CMD_OLDR2	
CMD_CLDR 1	E4.21	DO2X3	关左车门	DO2Y3	E4.22	CMD_OLDR2	
CMD_ORDR 1	E4.25	DO3X1	开右车门	DO3Y1	E4.26	CMD_OLDR2	
CMD_CRDR 1	E4.27	DO3X2	关右车门	DO3Y2	E4.28	CMD_OLDR2	
ATO_ACT 1	E4.29	DO3X3	ATO 控车授权	DO3Y3	E4.30	ATO_ACT 2	
DPT_LAMP 1	E4.31	DO3X4	ATO 指示灯	DO3Y4	E4.32	DPT_LAMP 2	
ZVI1	E4.35	DO3X6	零速	DO3Y6	E4.36	ZVI2	
ATB_LAMP 1	E4.45	DO4X5	ATB 指示灯	DO4Y5	E4.46	ATB_LAMP 2	
CAB2_VIRTUAL_KEY 1	E4.47	DO4X6	Mc2 车尾端虚拟钥匙激活	DO4Y6	E4.48	CAB2_VIRTUAL_KEY 2	
RAMP_B 1	E4.33	DO3X5	保持制动	DO3Y5	E4.34	RAMP_B 2	
ATO_BRAKE_B3 1	E4.49	ATOIX1	ATO B3 制动位	ATOIY1	E4.50	ATO_BRAKE_B3 2	
ATO_BRAKE_B2 1	E4.51	ATOIX2	ATO B2 制动位	ATOIY2	E4.52	ATO_BRAKE_B2 2	
ATO_BRAKE_B1 1	E4.53	ATOIX3	ATO B1 制动位	ATOIY3	E4.54	ATO_BRAKE_B1 2	
ATO_BRAKE_B0 1	E4.55	ATOIX4	ATO B0 制动位	ATOIY4	E4.56	ATO_BRAKE_B0 2	
ATO_TRAC_B 2 1	E4.57	ATOIX5	ATO B2 制动位	ATOIY5	E4.58	ATO_TRAC_B2 2	
ATO_TRAC_B 1 1	E4.59	ATOIX6	ATO B1 制动位	ATOIY6	E4.60	ATO_TRAC_B1 2	
ATO_TRAC_B 0 1	E4.61	ATOIX7	ATO B0 制动位	ATOIY7	E4.62	ATO_TRAC_B0 2	

注:ATB 为无人自动折返。

图 5 信号(ATP)→车辆的输出信号

Fig. 5 Signal(ATP)→Vehicle output signal

表 2 ATO 制动级位和制动信号的关系

Tab. 2 Relationship between ATO brake levels and brake control signals

ATO 制动信号	ATO 制动级位													
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级	10 级	11 级	12 级	13 级	14 级
ATO_BRAKE_B0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
ATO_BRAKE_B1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
ATO_BRAKE_B2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
ATO_BRAKE_B3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

注:0 为未输出此信号,1 为输出此信号;表 3 类同。

表 3 ATO 牵引级位和牵引控制信号的关系

Tab. 3 Relationship between ATO traction levels and traction control signals

ATO 牵引控制信号				ATO 牵引级位
ATO_TRAC	ATO_TRAC_B0	ATO_TRAC_B1	ATO_TRAC_B2	
1	0	0	0	0 级
1	1	0	0	1 级
1	0	1	0	2 级
1	1	1	0	3 级
1	0	0	1	4 级
1	1	0	1	5 级
1	0	1	1	6 级
1	1	1	1	7 级

(下转第 303 页)

加载要求;动态加载系统的响应时间和加载精度满足 EN 12082:2017《铁路应用轴箱性能测试》标准要求。本研究可为高性能轴箱轴承可靠性试验台的设计开发提供参考,为高速动车组轴箱轴承国产化和性能提升提供可靠的试验技术支持。

## 参考文献

- [1] 张铁志. 机车 JK430 走行部监测装置数据深度分析[J]. 中国铁路, 2021(3): 118.  
ZHANG Tiezhi. In-depth data analysis of JK430 running gear monitoring device of locomotives [J]. China Railway, 2021(3): 118.
- [2] 刘志刚. 铁路轴箱轴承故障微弱特征信息提取及性能退化评估研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2023.  
LIU Zhigang. Research on weak fault feature extraction and performance degradation evaluation of railway axle box bearing[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2023.
- [3] MATHIAS S, 李德领. 日本 NSK 公司高速列车轴承研发历程[J]. 国外铁道车辆, 2020, 57(2): 17.  
MATHIAS S, LI Deling. Development process of bearing of high-speed train of NSK [J]. Foreign Rolling Stock, 2020, 57(2): 17.
- [4] 陈之恒, 王诗航, 仲继生, 等. HXD1B 型机车轴箱轴承故障试验分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2023, 46(6): 93.  
CHEN Zhiheng, WANG Shihang, ZHONG Jisheng, et al. Test a-

nalys of axle box bearing fault of HXD1B locomotive[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2023, 46(6): 93.

- [5] 李峥, 卢文秀, 褚福磊. 滚动轴承试验台动载荷加载装置[J]. 科技创新与应用, 2020(12): 24.  
LI Zheng, LU Wenxiu, CHU Fulei. Device for loading dynamic load of rolling bearing test bench[J]. Technology Innovation and Application, 2020(12): 24.
- [6] 王野牧, 李奇, 张阳. 大推力轴承试验台液压加载力控制系统研究[J]. 机械工程与自动化, 2021(5): 88.  
WANG Yemu, LI Qi, ZHANG Yang. Research on hydraulic loading force control system of large thrust bearing test-bed[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2021(5): 88.
- [7] 侯定邦, 王建梅, 王宁, 等. 基于模糊-PID 的油膜轴承试验台调速系统设计[J]. 太原科技大学学报, 2019, 40(5): 348.  
HOU Dingbang, WANG Jianmei, WANG Ning, et al. Simulation model on fuzzy-PID speed control system of journal bearing test rig [J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2019, 40(5): 348.

• 收稿日期:2024-03-12 修回日期:2024-04-20 出版日期:2024-08-10  
Received:2024-03-12 Revised:2024-04-20 Published:2024-08-10  
• 第一作者:杜洪军,高级工程师,duhongjun123@163.com  
通信作者:刘冠男,工程师,446765333@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 298 页)

为例,通过调整车载系统架构,在原系统设备基础上新增 VOBC 设备,同时调整设备间接口,以实现 CBTC 与 ATP/TD 两套系统制式兼容,为信号系统升级改造、互联互通提供参考。

## 参考文献

- [1] 臧一佩, 梁志国, 冯浩楠, 等. 普速铁路信号系统控车优化方案研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(12): 109.  
ZANG Yipei, LIANG Zhiguo, FENG Haonan, et al. Optimization scheme of train control for the signal system of conventional railway [J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(12): 109.
- [2] 刘鑫, 罗运真. 深圳地铁 3 号线既有信号系统更新改造方案研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(增刊 1): 96.  
LIU Xin, LUO Yunzhen. Research on renovation program for existing signal system of Shenzhen Metro Line 3 [J]. Modern Urban Transit, 2021(S1): 96.
- [3] 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.
- [4] 石卫师, 赖治平. 南宁轨道交通 2 号线信号系统贯通技术方

案[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(11): 86.

- SHI Weishi, LAI Zhiping. Research on interconnection scheme of signal system in Nanning Rail Transit's Line 2 [J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(11): 86.
- [5] 赵博. 京张铁路 CTCS-3 + ATO 信号系统工程方案设计研究[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(10): 79.  
ZHAO Bo. Research on the engineering scheme design of CTCS-3 + ATO signal system for Beijing-Zhangjiakou railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(10): 79.
- [6] 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.

• 收稿日期:2022-04-16 修回日期:2022-05-26 出版日期:2024-08-10  
Received:2022-04-16 Revised:2022-05-26 Published:2024-08-10  
• 通信作者:徐旦,讲师,1069642147@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