

基于车车通信的列车控制系统架构与功能探讨

孙 东^{1,2} 张溢斌³

(1. 贵州大学机械工程学院, 550025, 贵阳; 2. 贵阳市公共交通投资运营集团有限公司, 550081, 贵阳;

3. 青岛海信微联信号有限公司, 266104, 青岛//第一作者, 工程师)

摘 要 目的: 基于车车通信的列车控制系统是城市轨道交通信号系统的发展方向, 因存在多种系统设计方案, 因此需研究各种系统设计方案的系统架构及功能特点, 以为该系统的深层研究厘清方向。方法: 介绍了三种基于车车通信的列车控制系统的系统架构、系统控制流程和系统功能, 从系统架构、系统控制流程、系统功能和设备维护 4 个方面对比分析了三种设计方案的优缺点。结果及结论: 基于车车通信的列车控制系统精简了轨旁设备、减少了系统间接口、降低了成本、增加了系统间通信的实时性, 是新一代列车控制系统的发展方向; 三种设计方案各有优缺点, 需因地制宜、根据具体需求选用最合理的设计方案; 基于车车通信的列车控制系统的未来重点研究和发展方向是, 进一步精简轨旁设备, 进一步探讨降级后备模式, 以进一步降低建设和运营成本、提高系统安全性和可靠性。

关键词 城市轨道交通; 列车控制系统; 车车通信; 方案研究

中图分类号 U284.48

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2023.12.036

Discussion on Architecture and Functionality of Train Control System Based on V2V Communication

SUN Dong, ZHANG Yibin

Abstract Objective: Train control systems based on V2V (vehicle-to-vehicle) communication is a development direction for urban rail transit signaling systems. Given the existence of various system design schemes, it is essential to explore the system architecture and functional characteristics of these different system design schemes, aiming to provide a clear direction for future in-depth research. Method: Three train control system architectures based on V2V communication are introduced, outlining their system architecture, control process, and functionality. Comparative analysis of the advantages and disadvantages of these three design schemes is conducted from four aspects: system architecture, control process, system functionality, and equipment maintenance. Result & Conclusion: The train control system based on V2V communication

streamlines wayside equipment, reduces system interfaces, lowers costs, and enhances real-time performance of communication between systems, making it the development direction for the next generation train control systems. Each of the three design schemes has pros and cons, necessitating a context-specific and rational selection based on specific requirements. The future focus of research and development for train control systems based on V2V communication should aim to further simplify wayside equipment, explore downgrade backup modes, and consequently reduce construction and operation costs while improving system safety and reliability.

Key words urban rail transit; train control system; vehicle-to-vehicle communication; scheme research

First-author's address School of Mechanical Engineering, Guizhou University, 550025, Guiyang, China

列车控制系统(以下简称“列控系统”)是保障城市轨道交通运营效率和运行安全的核心设备。得益于计算机、信息和通信技术的不断发展,列控系统已由人工控制、继电控制进入计算机和网络化控制时代,城市轨道交通的安全性和运营效率也由此得以不断提升^[1]。目前,CBTC(基于通信的列车控制)系统已经得到行业内的普遍认可,已成为新建城市轨道交通信号系统的标配,但其庞大的轨旁设备布置也制约着 CBTC 系统的发展。

随着新一轮产业升级,下一代列控系统成为全球行业新的竞争点,基于车车通信的列控系统应运而生。阿尔斯通的基于车车通信的列控系统已在法国里尔线上应用。国内车车通信技术在国外技术基础上也取得了一定发展,卡斯柯早在 2010 年就与上海申通地铁集团有限公司一起开展了 TACS(基于车车通信的列车自主运行系统)的前置研究。文献[2]以阿尔斯通在法国里尔地铁 1 号线上实施的 CBTC 系统为原型,提出了一种基于车车通信的新型 CBTC 系统;文献[3-6]也对基于车车通信的

新型 CBTC 信号系统进行了研究;文献[7-15]也分别对车车通信的资源分配、安全策略、资源管理、车地控制机理、后备模式等进行了研究。随着交控科技股份有限公司自主研发的 VBTC(基于车车通信列车控制)系统在北京地铁 11 号线取得试运行授权,以及卡斯柯 TACS 在深圳地铁 20 号线上的应用,标志着我国下一代基于车车通信的列控系统发展将正式拉开序幕。

但不同的基于车车通信的列控系统架构实现的系统功能不尽相同。本文针对基于车车通信的列控系统架构以及对应的功能进行探讨,对不同的设计方案进行比较分析。

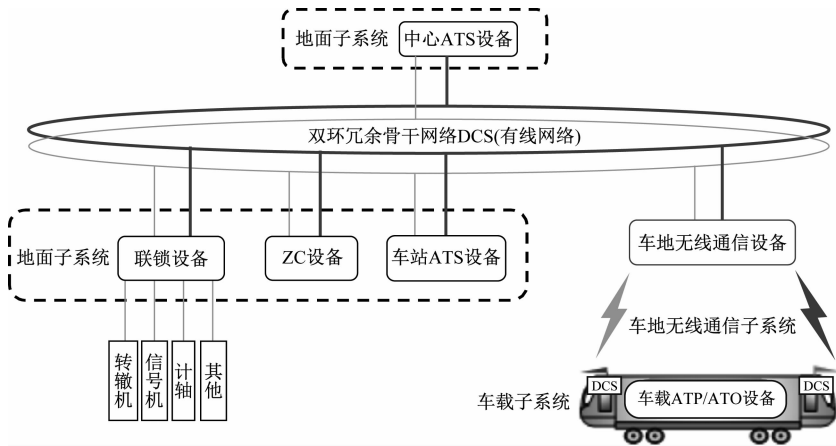


图 1 CBTC 系统架构图
Fig. 1 CBTC system architecture diagram

CBTC 系统通过 ATS 对线路上列车进行运行组织和控制,根据运行图/时刻表自动下发进路办理命令,具有接发列车、自动记录列车运行轨迹等功能。CI 根据 ATS 的命令完成联锁条件检查后锁闭进路、开放信号。ZC 根据列车位置和 CI 发送的信息进行移动授权计算并发送给车载 ATP,保证列车在安全间隔下运行;车载 ATP/ATO 负责列车安全监控和超速防护、自动驾驶列车进站停稳及车门和站台门的联动等功能。各子系统之间通过冗余的安全数据网进行通信。

2 基于车车通信的列控系统方案

虽然 CBTC 系统在城市轨道交通已经成熟应用,但也暴露了一些缺点,主要包括:①各个子系统之间的接口太多,增加了系统复杂性;②轨旁设备比较多,系统建设、维护成本比较高;③列车无法直接获知前方运行列车的信息,需要通过区域控制器

1 CBTC 系统

CBTC 系统以地面设备为列车运行的控制核心,通过采用“列车-地面-列车”双向通信方式对列车运行进行防护、控制和监督^[16]。列车与地面系统之间需要通过 ZC(区域控制器)进行来回多次信号交互,信息周转周期较长。

CBTC 系统主要由地面子系统(ATS(列车自动监控)、ZC、CI(计算机联锁))、车载子系统(车载 ATP/ATO(列车自动保护/列车自动运行))和 DCS(数据通信系统)组成。CBTC 系统架构如图 1 所示。

中转,从而增加了系统反应时间,降低了性能^[2]。针对上述缺陷,国内外系统供应商都进行了深入研究,在既有 CBTC 系统基础上,通过优化系统架构,提出了“以列车为核心”和“车车通信”的关键技术。如“以列车为核心”,则需深入分析 CBTC 系统中 ZC 和 CI 的功能,需对两个子系统的功能进行重新分配;列车的移动授权也不再由轨旁 ZC 计算后发给列车,而是由列车自身完成。“车车通信”是前车根据后车请求,实时向后车发送本车位置及速度信息^[16]。在基于车车通信的列控系统中,每列列车在获得前车的位置、速度和运行方向,以及从轨旁控制设备获取资源后为自身计算移动授权。基于车车通信的列控系统的核心功能由轨旁控制设备转移到了列车上,这样可以减少轨旁设备,进而能够优化系统架构。

轨旁控制设备功能发生转移后,系统之间控制信息流也随之变化。CBTC 系统之间的信息流如图

2 a)所示,基于车车通信的列控系统的信息流如图 2 b)所示。由图 2 可以看出,基于车车通信的列控系统对轨旁控制器的依赖度减小了,信息流也更加清晰简洁。因此也产生了多种基于车车通信的列

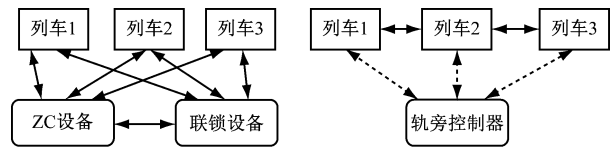


图 2 CBTC 系统和基于车车通信的列控系统的信息流图
Fig. 2 Information flow diagram of CBTC system and train control system based on vehicle-to-vehicle communication

控系统的设计方案。

2.1 方案 1

文献[2]以阿尔斯通在法国里尔地铁 1 号线上实施的 CBTC 系统为原型,提出了一种基于车车通信的新型 CBTC 系统,文献[3,5]对该系统的系统结构、功能原理、系统特点及车车通信方式进行了进一步阐述。

2.1.1 系统架构

基于车车通信的列控系统取消了 CBTC 系统中的地面设备 ZC 和 CI,增设了 OC(目标控制器),将 ZC 和 CI 的部分功能移植到车载设备,其他功能移植到 OC 设备。系统架构如图 3 所示。

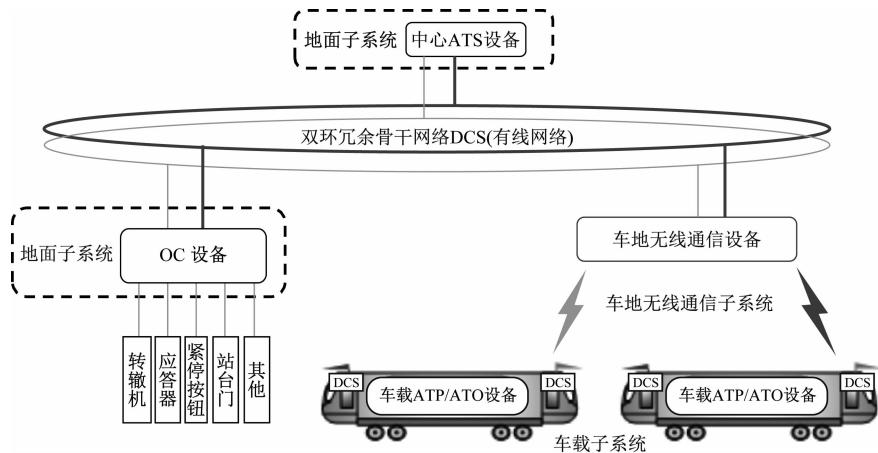


图 3 基于车车通信的列控系统架构图(方案 1)
Fig. 3 Diagram of train control system architecture based on vehicle-to-vehicle communication (scheme I)

2.1.2 系统控制流程

方案 1 下的系统控制流程如图 4 所示。中心 ATS 下发运行计划给车载 ATP;车载 ATP 根据电子地图进行路径规划和延伸,与 OC 交互信息;与前车进行直接通信,获取前车的位置、速度和运行方向等信息;车载 ATP 从 OC 获取资源后,对道岔进行控制,计算自身移动授权和安全防护曲线;车载 ATO 计算推荐速度曲线,自动驾驶列车运行。

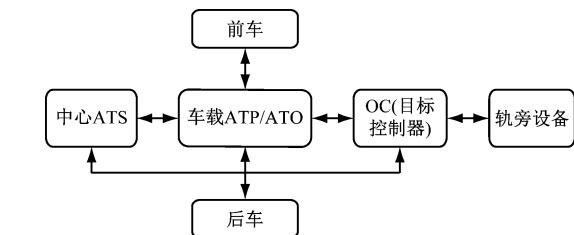


图 4 基于车车通信的列控系统控制流程图(方案 1)
Fig. 4 Control flowchart of train control system based on vehicle-to-vehicle communication (scheme I)

2.1.3 系统功能

根据图 3 的系统架构和图 4 的控制流程,车载设备新增的功能包括列车筛选、根据运行图进行行车路径规划和延伸、轨旁设备监控、获取前车 ID(身份证标志号)并建立通信、计算列车移动授权、资源的管理和释放。

OC 设备除了承接了原 CI 的轨旁设备监控功能外,还新增了列车的注册和注销、列车排序、资源管理、临时限速管理等功能。

对降级列车的管理方法分为两种:①在线路上设置一定数量的管理员车对应不同的 OC 控区,当 OC 控区内出现降级列车时,管理员车为该降级列车办理后备进路,即管理员车实现了原 CI 的联锁逻辑功能。②OC 设备具备后备联锁功能,当列车降级后,通过 ATS 人工办理进路命令并下发给 OC,OC 为降级列车锁闭进路、开放信号,实现完整的联锁功能,也可以采用资源管理的方式实现轨旁设备

的安全防护。因方法 1 的设计比较复杂,车载设备需要新增的功能偏多,并且管理员车故障后还需要再选择新的管理员车,对车地无线通信系统的可靠性要求极高。因此,在方案 1 的系统架构下,通过方法 2 对降级列车进行管理。

2.2 方案 2

因在方案 1 中轨旁 OC 设备既负责列车管理和资源管理,又要实现后备联锁功能,涉及的功能项比较多,且 OC 设备有布署在轨旁的需求。在卡斯柯的专利^[17]中,通过增设 WSIC(轨旁资源管理器)和 WSTC(轨旁列车管理器)(在《城市轨道交通 列车自主运行系统(TACS) 系统规范》中,轨旁资源

管理器的英文为 Wayside Resource Controller, 缩略词为 WRC; 轨旁列车管理器的英文为 Wayside Train Controller, 缩略词为 WTC, 本文以下采用该规范中的缩略词), 对 OC 的功能进行分解, 因此形成了与之对应的系统架构设计方案。

2.2.1 系统架构

在方案 1 的基础上增加了 WRC 和 WTC(可布署在控制中心或设备集中站)。WRC 负责列车排序和线路资源的管理,WTC 负责降级列车的位置跟踪管理,OC 负责轨旁信号基础设备的监控,以及站台门和紧急停车按钮等零散信息的采集。系统架构见图 5。

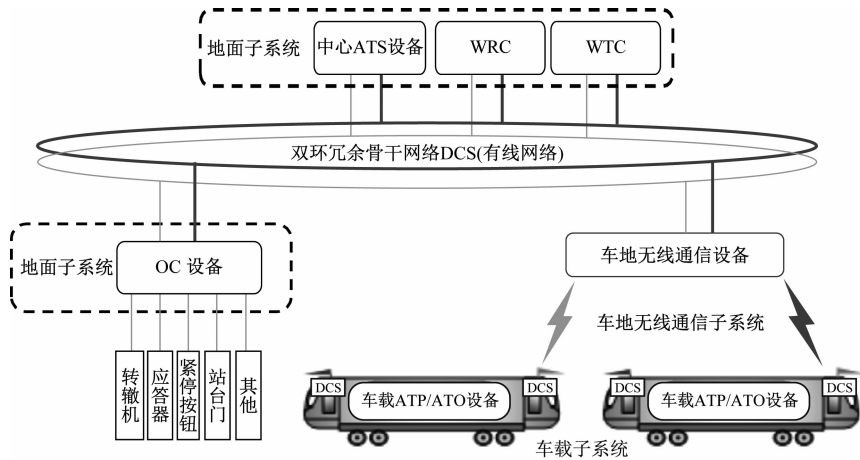


图 5 基于车车通信的列控系统架构图(方案 2)

Fig. 5 Architecture diagram of train control system based on vehicle-to-vehicle communication (scheme II)

2.2.2 系统控制流程

方案 2 下的系统控制流程如图 6 所示。中心 ATS 下发运行计划给车载 ATP; 车载 ATP 根据电子地图进行路径规划和延伸, 与 WRC 交互资源申请和释放信息, 与前车进行直接通信, 获取前车的位置、速度和运行方向等信息; WRC 与 OC 交互轨旁设备状态和控制命令, 与 WTC 交互降级列车的

资源申请和释放命令; ATS 与 WRC 交互线路资源状态和控制命令, 与 WTC 交互降级列车的状态和运行目的; WTC 为降级列车进行申请和释放道岔等资源管理。

2.2.3 系统功能

对方案 1 中 OC 设备的功能进行了细化分解, 增加了 WRC 和 WTC 两套硬件设备。WRC 功能为列车排序和轨旁资源管理, WTC 功能为对降级列车进行管理。其他系统功能与方案 1 一致, 因此不再赘述。

2.3 方案 3

文献[18]提出了 CI 与 ZC 一体化系统设计方案, 以简化传统 CBTC 系统结构、接口及优化性能。文献[19-20]也基于这一方案, 通过对比研究指出, 基于 CI 与 ZC 一体化系统设计方案的系统结构及数据流较传统 CBTC 系统简单、建设成本及维护成本低, 是下一代信号系统发展的方向。

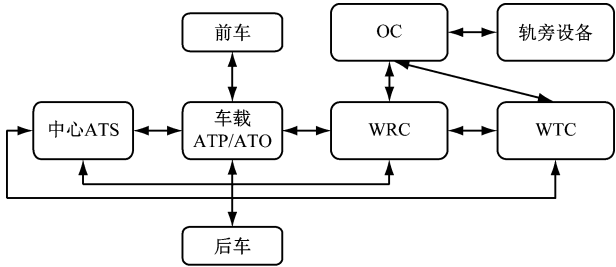


图 6 基于车车通信的列控系统控制流程图(方案 2)

Fig. 6 Control flowchart of train control system based on vehicle-to-vehicle communication (scheme II)

2.3.1 系统架构

因早期受安全计算机平台的性能限制,CBTC系统中 ZC 和 CI 分别使用不同的平台完成不同的功能,随着硬件技术的不断进步,平台的性能也在

不断地提高,因此将 ZC 和 CI 的硬件设备和软件功能相融合,打造 CI 与 ZC 一体化系统也是一种思路。系统架构如图 7 所示。

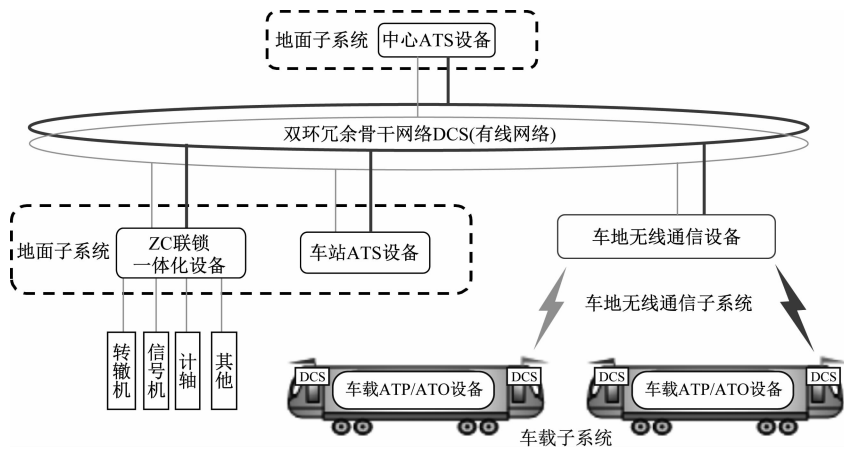


图 7 基于车车通信的列控系统架构图(方案 3)

Fig. 7 Architecture diagram of train control system based on vehicle-to-vehicle communication (scheme III)

2.3.2 系统控制流程

本方案下的系统控制流程与 CBTC 系统的基本相同,区别在于 ZC 与 CI 之间的通信接口改为由软件内部实现,并增加了车车之间的通信,因此不再展开描述。

2.3.3 系统功能

CI 与 ZC 一体化系统对传统 CBTC 系统的联锁进路进行了精细化分割。进路以逻辑区段为单位,基于资源预留设计原则将进路与列车相关联,在可靠、安全、有效的资源上进行列车移动授权计算。车车之间实现直接通信、直接交互相关信息。

方案较为复杂问题,方案 3 则保留了传统 CBTC 的降级模式。③ 在结构设计方面,方案 2 的结构比较复杂,研发工作量比方案 1 和方案 3 都多;方案 3 是在 CBTC 系统基础上进行的优化,与方案 1 和方案 2 相比其所遵循的设计原则不是完整的资源管理设计原则,开拓性不足,但胜在成熟。

通过对比发现三种设计方案各有优缺点,不能简单地认为某个方案具有最好的优势,需要因时设计、因人设计、因地制宜,根据业主需求设计出最合适、最合理的方案。

3 方案对比分析

基于上述分析,对三种基于车车通信的列控系统方案从系统架构(设备配置)、系统控制流程、系统功能、设施维护等方面进行比较分析,如表 1 所示。

从表 1 可知:① 在硬件组成方面,方案 2 较方案 1 增加了 WRC 和 WTC,相应的硬件成本略高,但方案 1 和方案 2 的优势是 OC 设备可以布署在车站,也可以布署在轨旁,给系统的后续升级及更优化的设计提供了基础;方案 3 总体上延续了传统 CBTC 系统组成,仅通过优化实现了 ZC 与 CI 一体化设计,硬件组成均较方案 1 和方案 2 多。② 在系统功能方面,方案 1 与方案 2 均面临降级列车管理

4 其他说明

4.1 点式功能

CBTC 系统控制等级包含连续式(移动闭塞)、点式和联锁级。在城市轨道交通领域经过长时间的广泛实践验证发现,连续式控车方式已经非常稳定可靠,点式功能很少使用,并且个别城市的轨道交通信号招标文件明确提出不使用点式功能。因此本文介绍的基于车车通信的列控系统的三种设计方案均未提到点式功能,这是从设备进一步精简、系统成本进一步降低的角度考虑的,但该功能也可以作为选配使用。

4.2 主动预警防护功能

为提高降级列车在后备级别下的运营效率以及未安装车载设备的工程车的安全防护,在列车上

表 1 基于车车通信的列控系统方案对比表

Tab.1 Comparison of train control system schemes based on vehicle-to-vehicle communication			
比较项	方案 1	方案 2	方案 3
系统架构	中心设置 ATS 设备;OC 设备可以设置在车站或轨旁;轨旁设置转辙机、应答器、紧停按钮和车地无线通信设备;列车上设置车载设备	中心设置 ATS 设备、WRC 设备和 WTC 设备;OC 设备可以设置在车站或轨旁;轨旁设置转辙机、应答器、紧停按钮和车地无线通信设备;列车上设置车载设备	中心设置 ATS 设备;车站设置 ATS 设备、CI 与 ZC 一体化设备;轨旁设置信号机、计轴、转辙机和车地无线通信设备;列车上设置车载设备
系统控制流程	较简单,减少了“车-地-车”之间的信息来回交互	中等复杂,增加了 WRC 和 WTC 设备,系统之间的信息交互及设备增多	较复杂,依旧使用“车-地-车”方式进行信息交互
系统功能	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车的管理方案较复杂,OC 设备实现功能偏多	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车由单独的 WTC 设备管理,系统整体的复杂度降低	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车由 CI 与 ZC 一体化设备管理,精细化进路管理,与 CBTC 系统相似程度高
设施维护	减少了 ZC 及车站 ATS 设备,从而减少了大量轨旁及车站设备安装及调试工作	虽然减少了 ZC 及车站 ATS 设备,但增加了 WRC 和 WTC 设备,整体上工作量比方案 1 和方案 3 都多	CI 与 ZC 设备合并在一起,整体工作量都有所减少,与方案 1 相当
系统功能	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车的管理方案较复杂,OC 设备实现功能偏多	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车由单独的 WTC 设备管理,系统整体的复杂度降低	满足连续式移动闭塞的要求,降级列车由 CI 与 ZC 一体化设备管理,精细化进路管理,与 CBTC 系统相似程度高

安装基于环境感知的主动式运行预警防护设备,基于视觉传感器、激光雷达等多种传感器的数据采集、处理及融合技术实现对轨道线路上的障碍物、行人等的智能识别,从而实现对列车安全运行进行防护^[19]。

5 结语

基于车车通信的列控系统在 CBTC 系统基础上,优化了架构和重新分配了系统功能,衍生出了不同的设计方案。从建设、维护、改造等城市轨道交通全生命周期总体来看不但降低了成本,而且还解决了 CBTC 系统的一些缺陷,是列控系统的一个发展方向。但由于缺乏实际工程应用数据,因此对相应系统复杂度、维护工作量无法进行全面分析,这也是后期的重点研究方向。后续研究可结合更多工程应用案例,充分结合物联网、5G(第五代移动通信技术)技术、云计算、“城轨云”、人工智能和大数据等新技术,进一步研究精简轨旁设备,进一步探讨降级后备模式。以便进一步降低建设和运营成本,提高系统安全性和可靠性,提升乘客服务质量,降低改造线路的复杂度。

参考文献

[1] 汪小勇. 城市轨道交通基于车车通信的列车自主运行系统探讨[J]. 中国铁路, 2020(9):77.
WANG Xiaoyong. Discussion on train autonomous circumambu-

late system based on vehicle-to-vehicle communication in urban rail transit[J]. Chinese Railways, 2020(9):77.
[2] 徐纪康. 基于车-车通信的新型 CBTC 系统分析[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(6):78.
XU Jikang. Analysis of new CBTC system based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Railway Signalling & Communication, 2014, 50(6):78.
[3] 李雷, 林云志, 王丽丽. 基于车车通信的新型 CBTC 信号系统研究[J]. 机车电传动, 2018(4): 50.
LI Lei, LIN Yunzhi, WANG Lili. Research on new CBTC signal system based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Electric Drive for Locomotives, 2018(4): 50.
[4] 罗情平, 吴昊, 陈丽君. 基于车-车通信的列车自主运行系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7):46.
LUO Qingping, WU Hao, CHEN Lijun. Train autonomous circumambulate system based on train to train communication[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(7):46.
[5] 柴明东, 祝陶美, 王涛. 基于车-车通信的 CBTC 系统方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5):80.
CHAI Mingdong, ZHU Taomei, WANG Tao. Research on the train-to-train communication based train control system[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(5):80.
[6] 徐启禄. 基于车车通信的 CBTC 系统关键技术研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(5):110.
XU Qilu. Key technology research on CBTC system based on vehicle-vehicle communication[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(5):110.
[7] 冯浩楠, 范楷, 滕达, 等. 车车通信的列控系统动静结合安全策略[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(4):1555.
FENG Haonan, FAN Kai, TENG Da, et al. Dynamic and static

- safety strategy of vehicle-based train control system[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(4):1555.
- [8] 刘振宇, 李晶. 车车通信列控系统资源管理单元安全性分析[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(2): 143.
- LIU Zhenyu, LI Jing. Security analysis of resource management unit of vehicle-vehicle communication train control system[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(2): 143.
- [9] 冯浩楠. 车车通信系统中车地控制机理分析及验证[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(13):5345.
- FENG Haonan. Analysis and verification of control mechanism between train and wayside equipment in CBTC system[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(13):5345.
- [10] 陈垚, 赵军辉, 张青苗, 等. 车车通信中通信模式选择与资源分配算法[J]. 计算机工程与应用, 2022, 58(10): 93.
- CHEN Yao, ZHAO Junhui, ZHANG Qingmiao, et al. Communication mode selection and resource allocation algorithm for train-to-train communication[J]. Computer Engineering and Applications, 2022, 58(10): 93.
- [11] 吴殿华, 范永华, 李聪. 基于车车通信的城市轨道交通列车控制系统折返能力分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(4):50.
- WU Dianhua, FAN Yonghua, LI Cong. Turn-back performance analysis of train-to-train based urban rail transit train control system[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(4):50.
- [12] 朱志伟, 李聪. 基于车车通信的地铁列车自主运行系统线路资源管理方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(10):137.
- ZHU Zhiwei, LI Cong. Research on wayside infrastructure management scheme in metro train autonomous control system based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(10):137.
- [13] WANG X, LIU L, ZHU L, et al. Train-centric CBTC meets age of information in train-to-train communications[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 21(10): 4072.
- [14] ZHAO J, ZHANG Y, NIE Y, et al. Intelligent resource allocation for train-to-train communication: a multi-agent deep reinforcement learning approach[J]. IEEE Access, 2020, 8: 8032.
- [15] 李强, 陈子健. 基于车车通信的列控系统后备模式研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(11): 3407.
- LI Qiang, CHEN Zhijian. Research on backup mode of train control system based on train-to-train communication[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(11): 3407.
- [16] 代继龙, 李晓刚, 李兆龄, 等. 新一代 CBTC 系统方案研究与关键技术探索[J]. 铁路通信信号工程技术, 2016, 13(6):41.
- DAI Jilong, LI Xiaogang, LI Zhaoling, et al. Scheme research and key technology exploration of new generation CBTC system[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2016, 13(6):41.
- [17] 徐海贵, 冯玮, 陆怡然, 等. 一种用于 TACS 系统的资源管理方法: CN113044082A[P]. 2021-06-29.
- XU Haigui, Feng Wei, LU Yiran, et al. A resource management method for TACS system: CN113044082A[P]. 2021-06-29.
- [18] 任颖, 吕浩炯, 宋瑞霞, 等. CBTC 系统中联锁与区域控制器的一体化设计[J]. 机车电传动, 2015(6): 49.
- REN Ying, LYU Haojiong, SONG Ruixia, et al. Integrated design of interlocking and area controller in CBTC system[J]. Electric Drive for Locomotives, 2015(6): 49.
- [19] 杜恒, 孙军国, 张强, 等. 基于地面无线锁及区域控制器的新一代 CBTC 系统方案[J]. 都市快轨交通, 2017, 30(4): 91.
- DU Heng, SUN Junguo, ZHANG Qiang, et al. A new generation of CBTC system without CI and ZC[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2017, 30(4): 91.
- [20] 张溢斌, 万里绢, 徐纪康. 城轨 CBTC 系统改进方案的分析探讨[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(4): 82.
- ZHANG Yibin, WAN Lijuan, XU Jikang. Analysis and discussion on the improvement scheme of CBTC system for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(4): 82.

(收稿日期:2022-08-12)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

