

市域铁路 CBTC 与 CTCS-2 贯通运行方案研究*

唐凯林^{1,2} 姜庆阳^{1,2} 冯浩楠¹ 黄长鹏²

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所, 100081, 北京;

2. 广州铁科智控有限公司北京技术分公司, 100081, 北京)

摘要 [目的] 为了满足市域铁路 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统与铁路 CTCS-2(中国列车控制系统 2 级)信号系统互联互通的运行需求,特开展本研究。[方法] 在现有 CBTC 和 CTCS-2 信号系统的架构基础上,提出该两种信号系统的融合方案。对两种融合方案在成本投入、影响范围、改造难度和适用范围这 4 个方面进行比较,最终选用车载设备同时满足两种不同信号制式地面设备的融合方案。其中,地面设备秉持“CTCS 设备尽量少变,增加或修改 CBTC 设备”的设计原则,车载设备秉持“ATP(列车自动保护)核心设备独立,外围部件尽量共用”的设计原则;在保证系统运营效率、满足 CTCS-2 相关标准的前提下,提出“列车从 CTCS-2 线路转换至 CBTC 线路的转换方案”和“列车从 CBTC 线路转换至 CTCS-2 线路的转换方案”,以实现市域铁路 CBTC 与 CTCS-2 双向互联互通贯通运行。[结果及结论] 研究表明,该选用方案的实现能够提升市域铁路运输效率,优化运输组织与管理,完善轨道交通网络化功能,促进中心城市与周边城市的协调发展。

关键词 市域铁路; 基于通信的列车控制; 中国列车控制系统 2 级; 互联互通

中图分类号 U239.5; U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.10.034

Interoperation Plan for City Railway CBTC and CTCS-2

TANG Kailin^{1,2}, JIANG Qingyang^{1,2}, FENG Haonan¹, HUANG Changpeng^{1,2}

(1. Signal and Communication Research Institute of China Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd., 100081, Beijing, China; 2. Beijing Technology Branch of Guangzhou Railway Sciences Intelligent Controls Co., Ltd., 100081, Beijing, China)

Abstract [Objective] The research is specially carried out aiming to meet the operational requirements for interoperability between city railway CBTC (communication-based train control) and railway CTCS-2 (China train control system level 2) signaling systems. [Method] Based on the existing architec-

tures of CBTC and CTCS-2 signaling systems, a fusion plan for these two is proposed. Two fusion plans are compared in terms of cost investment, impact scope, renovation difficulty, and applicable range. Ultimately, the fusion plan with on-board equipment that accommodates ground equipment of both signaling systems is chosen. The ground equipment design follows the principle of 'minimizing changes to CTCS equipment while adding or modifying CBTC equipment', and the on-board equipment design follows the principle of 'keeping ATP (automatic train protection) core equipment independent while maximizing the reuse of peripheral components'. Under the premises of ensuring system operational efficiency and compliance with CTCS-2 standards, two conversion plans are proposed, 'train conversion from CTCS-2 line to CBTC line' and 'train conversion from CBTC line to CTCS-2 line', aiming to achieve bidirectional interoperability between city railway CBTC and CTCS-2 systems. [Result & Conclusion] The research results indicate that the implementation of the chosen plan can enhance city railway transportation efficiency, optimize transportation organization and management, improve the network functionality of rail transit, and promote coordinated development between central cities and surrounding areas.

Key words city railway; CBTC; CTCS-2; interoperation

0 引言

随着中国的城镇化进程加快,正在快速发展的市域铁路已成为城市综合交通系统的重要组成部分^[1]。连接着中心城市城区和周边城镇的市域铁路,是为通勤客流提供大运量、快速、公交化运输服务的轨道交通系统^[2],发展市域铁路,是促进城市都市圈协调发展、发挥中心城镇辐射带动作用的重要手段^[3]。但其作为我国轨道交通方面的新事物,由于各个城市特点的不同,对线路功能要求的不同,各工程建设实践中因为技术背景的不同导致市

* 中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2151THU)

域铁路信号系统的选择需根据具体功能定位来决定。从 2010 年开始,国内按不同实际运营场景划分,轨道交通大规模使用的主流信号系统主要分为铁路 CTCS(中国列车控制系统)和 CBTC(基于通信的列车控制)^[4]。根据《市域铁路设计规范》^[5],市域铁路信号系统应与其运营需求和线路特点相匹配。例如,采用 CTCS-2 信号系统的有广东省主导建设的莞惠、广佛肇等市域铁路;采用了 CBTC 信号系统的有北京市主导建设的北京地铁大兴机场线^[6]。

近些年随着市域铁路引入城市中心,既要实现城市轨道交通快速换乘,又要实现与国家铁路网的联通,其承担着衔接城市内外交通的功能。因此,采用不同制式信号系统的两条线路互联互通的需求逐年在增加,以实现列车在不同信号系统间的跨线运行。目前,国内已针对城市轨道交通和国家铁路信号系统互联互通开展了相关研究,文献[4]研究铁路 CTCS 与城市轨道交通 CBTC 系统的多网融合方案,提出了车载兼容、地面兼容两种方案及解决办法;文献[7]提出 CBTC 和 CTCS-2 双套车载控制模式切换方案;文献[8]于 2022 年实现了 CBTC 和 ETCS-2(欧洲列车控制系统 2 级)列控切换,并投入运营。

在此大趋势下,从实现 CBTC 和 CTCS-2 贯通运行的用户需求出发,本文对 CBTC、CTCS-2 信号系统地面设备和车载设备的系统组成等进行详细分析,提出系统融合方案,并详细描述 CBTC 与 CTCS-2 贯通运行方案。

1 CBTC 与 CTCS-2 融合方案

综合考虑 CBTC 信号系统和 CTCS-2 信号系统的系统差异,实现列车在 CBTC 与 CTCS-2 之间的双向制式转换,总体实现方案只有 2 种:

方案 1 是两种不同信号制式车载设备同时被地面设备所兼容。但由于两种地面设备在设备组成、技术标准和功能实现上都有较大区别,想要进行设备融合,难度很大;若同时配备两套独立的地面设备,对场地要求很高,成本投入也较大,且若在既有线路上具备两套同时满足 CBTC 和 CTCS-2 两种制式列车线上运营的设备,需对既有设备进行较大改动,会对运营造成很大影响,很难实现升级改造。所以,该方案如果不考虑成本投入,也只能应用在新建线路上。

方案 2 是车载设备同时满足两种不同信号制式地面设备,由于两种制式车载设备在系统构成上十分相似,有些设备可以实现共用,成本投入较小,且无论是在既有线路还是在新建线路上,都只需要对车载设备进行升级改造,地面设备相对变动较少,升级改造相对容易,实施起来更具可行性。方案 1 与方案 2 对比如表 1 所示,方案 2 成本投入更少,设备改造影响更小,更易改造,应用范围更广。下面基于方案 2,对地面设备和车载设备的融合进行详细分析描述。

表 1 方案 1 与方案 2 对比

Tab. 1 Comparison between plan 1 and plan 2

方案名称	成本投入	影响范围	升级改造难度	适用范围
方案 1	大	大	难	新线
方案 2	小	小	易	新线、既有线

1.1 地面设备构成

CBTC 信号系统对应的地面设备主要包括 ATS(列车自动监督)、CI(计算机联锁)、ZC(区域控制器)、应答器等^[9]。CTCS-2/3 信号系统地面设备主要包括 CTC(列车调度集中)、TCC(列控中心)、CI、TC(轨道电路)、RBC(无线闭塞中心)、TSRS(临时限速服务器)和应答器^[10]等。由于铁路信号系统标准统一,各条线路设备以及实现方式一致,所以秉持“CTCS 设备尽量少变,增加或修改 CBTC 设备”的原则配置控制中心、衔接车站及区间制式转换区域的地面设备,会更加合理可行。

CBTC 与 CTCS-2 线路实现贯通运行,轨旁控制设备在 CBTC 与 CTCS-2 地面控制设备原有基础上,在衔接车站增加 TCU(转换控制单元)。具体地面系统所需设备配置如下:

1) CBTC 线路衔接车站的地面设备按 CBTC 线路要求进行配置,主要包括 ZC 设备、CBTC 联锁设备、ATS 站机设备及 LTE(长期演进)设备,增加 1 套 TCU 设备。

2) CTCS-2 线路衔接车站的地面设备按 CTCS-2 线路要求进行配置,主要包括列控中心、CTCS 联锁、CTC 站机、轨道电路室内设备及 LEU(轨旁电子单元)设备等,修改或扩充与 CBTC 设备接口的相关设备。

3) CBTC 线路控制中心按 CBTC 线路要求进行配置,主要包括中央 ATS 设备。

4) CTCS-2 调度中心设备按 CTCS-2 级线路要

求进行 CTC 设备配置,主要包括调度中心、临时限速服务器、CCS(控制集中系统)及 GSM-R(铁路数字移动通信系统)网络设备。

5) 区间制式转换区域的轨旁设备按照 CTCS-2

的要求进行布置,增加制式转换应答器,并按照 CBTC 制式的要求增加无链接的定位应答器。

CBTC 与 CTCS-2 线路实现贯通运行的地面设备结构如图 1 所示。

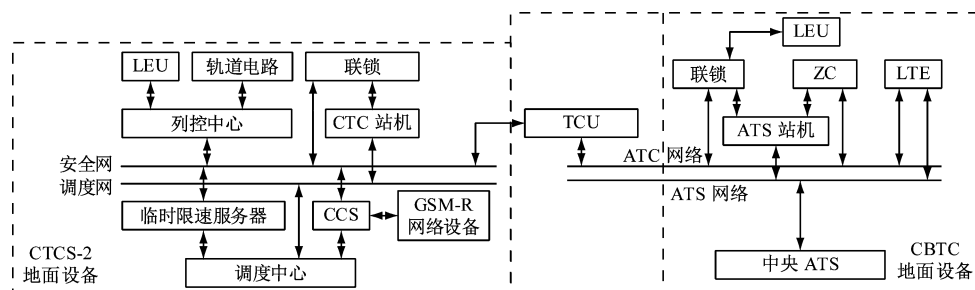


图 1 CBTC 与 CTCS-2 线路实现贯通运行的地面设备结构

Fig. 1 Ground equipment structure for realizing the run-through operation between CBTC and CTCS-2 lines

在 CTCS-2 地面设备间采用 CTCS-2 接口规范, CBTC 地面设备间采用中国城市轨道交通协会 T/CAMET 04010—2017 系列团体标准的基础上,需增加 TCU 与 ZC 接口、TCU 与 CTC 联锁接口、TCU 与 TSRS(临时限速服务器)接口、TCU 与 CTC 接口、ATS 与 CTC 接口和 CBTC 联锁与 TCC 接口。

地面设备新增接口如图 2 所示。

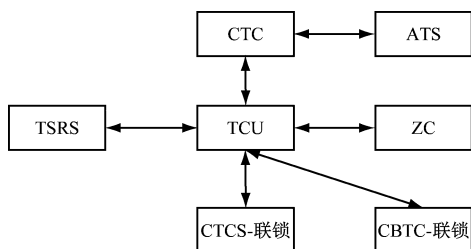


图 2 地面设备新增接口

Fig. 2 Newly added ground equipment interfaces

1.2 车载设备构成

CBTC 和 CTCS-2 车载设备组成类似,为了减少研发周期和难度,减少对现有设备的修改,尽量使用既有成熟的 CBTC、CTCS-2 车载系统,秉持“ATP(列车自动防护)核心设备独立,外围部件尽量共用”的原则配置 CBTC 和 CTCS-2 双车载设备,二者之间增加接口进行切换信息交互,来满足同时适应 CBTC 和 CTCS-2 地面设备的需求。车载设备结构见图 3 所示,具体车载系统所需设备配置如下:

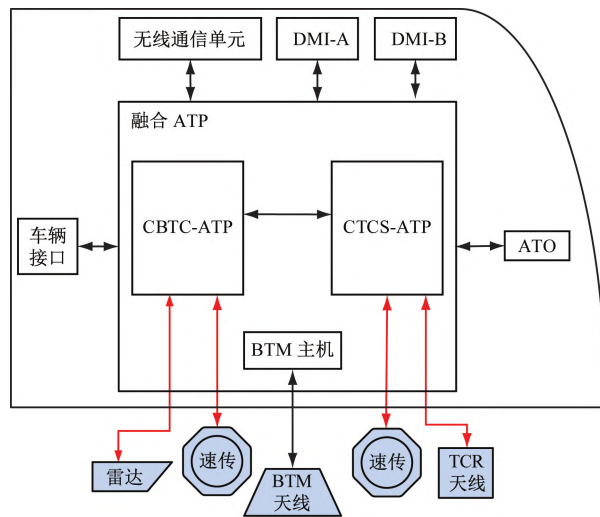
1) 列车每端配置 1 套 CBTC 车载 ATP 设备和 1 套 CTCS-2 车载 ATP 设备。

2) 列车每端配置 1 套双机热备冗余的 ATO(列车自动运行)设备。

3) 列车每端设置 4 个速度传感器;每端设置 2 台 BTM(应答器传输模块)主机及天线。

4) 列车每端配置 2 台 CTCS 的 DMI(车载人机界面)显示屏,CBTC 车载设备共用该设备。

5) 列车单端设备共用无线通信单元和多模天线,无线通信单元既能满足 LTE-M(城市轨道交通专用长期演进)要求,又能满足 GSM-R 要求。



注:TCR 为轨道电路读取器。

图 3 车载设备结构

Fig. 3 On-board equipment structure

2 CBTC 与 CTCS-2 贯通运行方案

2.1 区间制式转换方案

2.1.1 CTCS-2 线路转换至 CBTC 线路

列车从 CTCS-2 线路区间转换至 CBTC 线路区间的转换方案如图 4 所示,其转换过程如下。

1) 制式转换前,列车在 CTCS-2 车载设备控制下依据轨道电路提供的行车许可运行;列车根据经过连续 2 个可用于 CBTC 车载定位的应答器后,确定列车在电子地图中的位置和运行方向,并向对应 TCU 设备注册并发送列车位置。

2) 当 TCU 设备允许列车注册并收到列车位置报告后,对列车信息进行处理,处理完成后,根据列车位置报告和闭塞分区信息向车载设备提供行车许可,CBTC 车载 ATP 实时计算 CBTC 制式下的列

车运行曲线。

3) 司机在列车等级转换预告点处收到 CBTC 车载 ATP 设备发送的转换预告提示,然后自动或人工确认在等级转换执行点处转入 CBTC 制式运行。

4) 车载系统切换至 CBTC 制式后且行车许可到达线路边界时,TCU 启动列车移交过程,按照 ZC 间列车的移交方式将移动授权延伸至 CBTC 线路范围内,列车根据 CBTC 的行车许可继续运行。

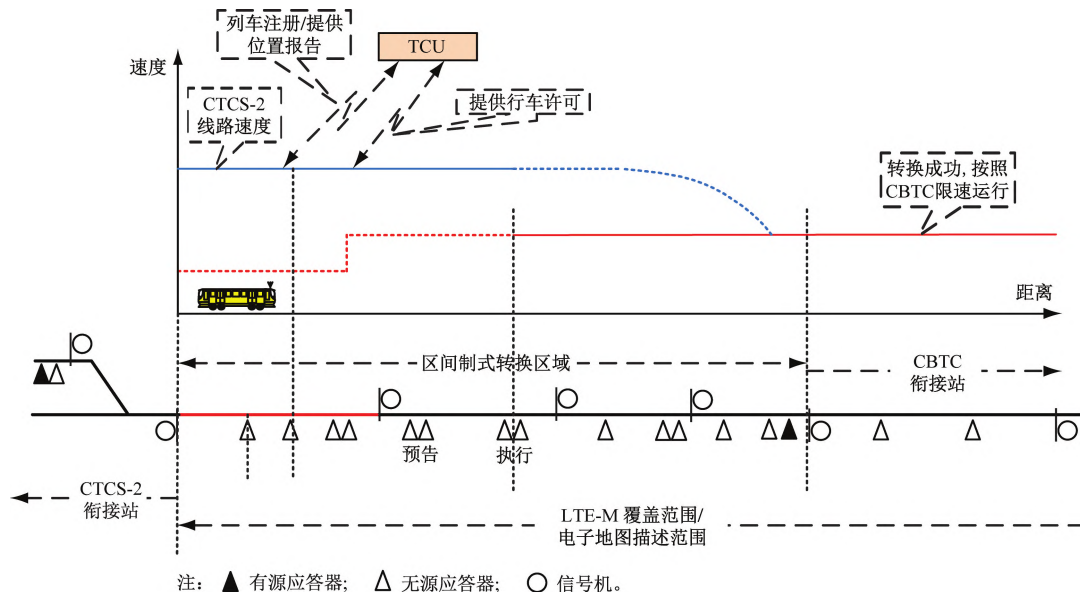


图 4 列车从 CTCS-2 线路区间转换至 CBTC 线路区间的转换方案

Fig. 4 Conversion plan for trains from CTCS-2 line intervals to CBTC line intervals

2.1.2 CBTC 线路转换至 CTCS-2 线路

列车从 CBTC 线路区间转换至 CTCS-2 线路区间的转换方案如图 5 所示。列车在 CBTC 制式下,按照 TCU 设备提供的行车许可信息运行,车载 CTCS-2 控制单元根据地面应答器提供的线路数据、临时限速及轨道电路提供的行车许可信息,实时计算 CTCS-2 下的列车运行曲线。根据呼叫应答器信息建立 GSM-R 连接,司机在等级转换预告点处收到 CTCS-2 车载 ATP 设备发送的转换预告提示,然后自动或人工确认在等级转换执行点处转入 CTCS-2 运行。

2.2 车站制式转换方案

2.2.1 CTCS-2 线路转换至 CBTC 线路

列车从 CTCS-2 线路站台转换至 CBTC 线路站台的转换方案如图 6 所示。列车根据 CTCS-2 制式行车许可进站,在进站过程中,CBTC 车载设备根据

站台应答器实现列车定位后,向地面 TCU 设备完成列车注册并发送位置报告。TCU 设备对该列车完成处理后,向 CBTC 车载提供行车许可信息,CBTC 车载实时计算 CBTC 制式下的列车运行曲线。列车以 CTCS-2 制式的驾驶模式打开站台门和车门,等待停站时间的结束,并将站台门和车门关闭后,列车自动或司机根据 DMI 提示手动切换为 CBTC 制式并驾驶列车出站。

2.2.2 CBTC 线路转换至 CTCS-2 线路

列车从 CBTC 线路站台转换至 CTCS-2 线路站台的转换方案如图 7 所示。列车根据 TCU 设备提供的可进入站台精确停车的行车许可控制列车运行,当列车经过呼叫应答器时,CTCS-2 车载设备根据应答器信息注册 GSM-R 网络,并与 CCS 通信获取行车计划,当列车经过进站有源应答器时,CTCS-2 车载设备获取前方临时限速信息。

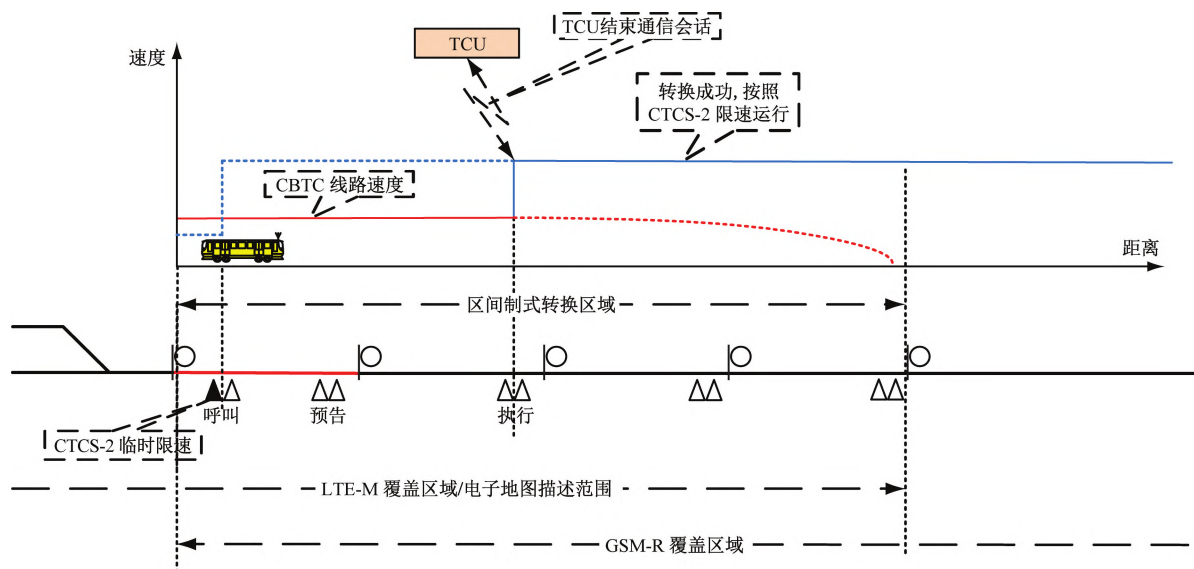


图 5 列车从 CBTC 线路区间转换至 CTCS-2 线路区间的转换方案

Fig. 5 Conversion plan for trains from CBTC line intervals to CTCS-2 line intervals

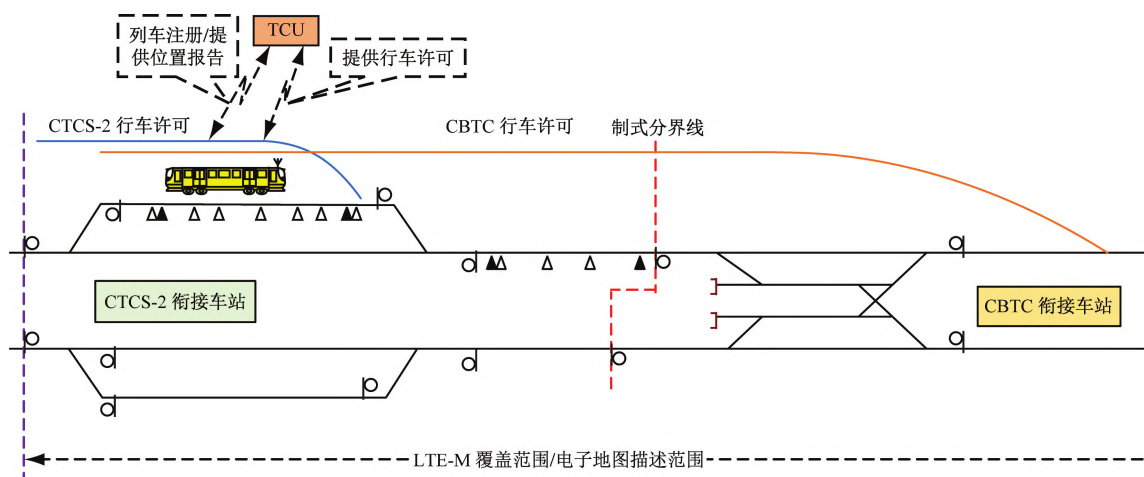


图 6 列车从 CTCS-2 线路站台转换至 CBTC 线路站台的转换方案

Fig. 6 Conversion plan for trains from CTCS-2 line platform to CBTC line platform

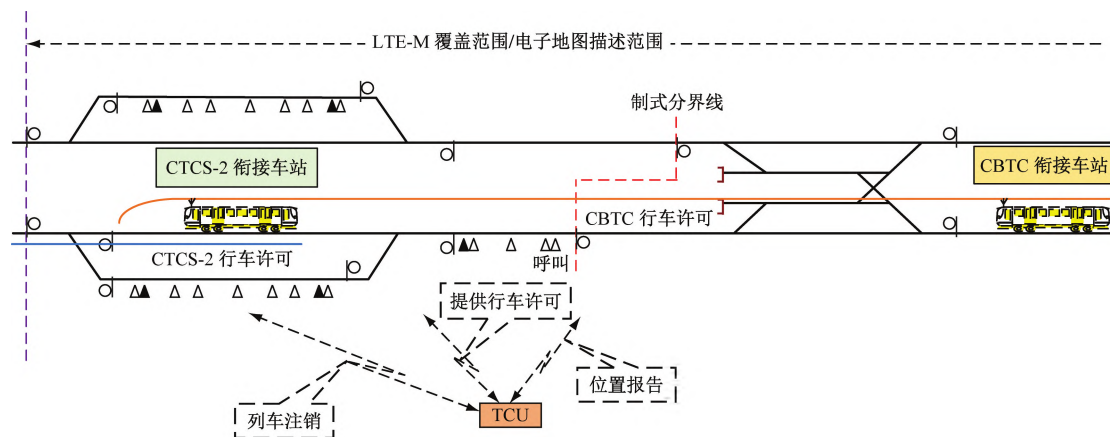


图 7 列车从 CBTC 线路站台转换至 CTCS-2 线路站台的转换方案

Fig. 7 Conversion plan for trains from CBTC line platform to CTCS-2 line platform

CBTC 车载设备根据 TCU 设备提供的行车许可控制列车运行至站台停车,列车停车后,自动或司机根据 DMI 提示手动切换为 CTCS-2 制式,由 CTCS-2 车载进行车门/站台门的开关,停站时间结束后,再以 CTCS-2 制式出站。

3 结语

随着市域铁路的快速建设、发展,实现 CBTC 信号系统与 CTCS-2 信号系统的互联互通将是必然的要求。本文提出的 CBTC 和 CTCS-2 贯通运行方案,在列车上装备双车载系统,实现列车能够兼容两种信号制式地面设备,实现列车不降级双向制式转换贯通运行。本研究结果为推动实现 CBTC 和 CTCS-2 贯通运行以及系统研发提供支撑,完善轨道交通网络化功能,以优化整体线路布局,提升轨道交通总体服务水平。

参考文献

- [1] 周宇冠. 关于市域快速轨道交通的思考[J]. 铁道标准设计, 2012, 56(9): 22.
ZHOU Yuguan. Thinking about regional rail rapid transit[J]. Railway Standard Design, 2012, 56(9): 22.
- [2] 滕靖, 丁子璐, 杨阳, 等. 市域(郊)铁路运营管理模式适用性研究[J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(3): 129.
TENG Jing, DING Zilu, YANG Yang, et al. Research on applicability of urban(suburban) railway operation and management mode[J]. Railway Transport and Economy, 2023, 45(3): 129.
- [3] 杨智轩, 韩宝明, 赵鹏. 市域铁路列车运行组织探讨[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(4): 14.
YANG Zhixuan, HAN Baoming, ZHAO Peng. Discussion on train operation and organization of suburban railway[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(4): 14.
- [4] 席武夷. 国铁 CTCS 与城轨 CBTC 列控系统的多网融合方案研究[J]. 铁道通信信号, 2021, 57(10): 81.
XI Wuyi. Research on solution to multi-network integration of CTCS for national railway and CBTC for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(10): 81.
- [5] 中华人民共和国国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范: TB 10624—2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
State Railway Administration of the People's Republic of China. Design specification for urban(suburban) railways: TB 10624—2020[S]. Beijing: China Railway Press, 2020.
- [6] 赵岩. 市域轨道交通列控系统选型研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(7): 179.
ZHAO Yan. Type selection of train control system for regional express railway[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(7): 179.
- [7] 蔡昌俊, 陈搏, 陈壁东, 等. 面向多网融合的列控系统双套车载控制模式切换方案探讨[J]. 铁道通信信号, 2022, 58(3): 78.
CAI Changjun, CHEN Bo, CHEN Bidong, et al. Control mode switching of dual onboard train control equipment for multi-network integration[J]. Railway Signalling & Communication, 2022, 58(3): 78.
- [8] ARPACI M, EICHHORN M. Case study: coexistence of CBTC and ETCS on crossrail project in London[EB/OL]. <http://api.semanticscholar.org/CorpusID:116712194>.
- [9] 国家铁路局. CTCS-2 级列控系统总体技术要求: TB/T 3516—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
National Railway Administration. General technical specification for CTCS-2 train control system: TB/T 3516—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018.
- [10] 郭进, 张亚东, 王长海, 等. 我国下一代列车控制系统的展望与思考[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(6): 23.
GUO Jin, ZHANG Yadong, WANG Changhai, et al. Outlook and thoughts on next generation train control system in China[J]. Railway Transport and Economy, 2016, 38(6): 23.
- 收稿日期:2023-09-20 修回日期:2023-10-27 出版日期:2024-10-10
Received:2023-09-20 Revised:2023-10-27 Published:2024-10-10
• 第一作者:唐凯林,副研究员,18511520636@163.com
通信作者:姜庆阳,副研究员,tklsjqy@163.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

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com