

跨线网互联互通运营信号系统技术方案研究*

申樟虹 李名淦 刘潇洋 郝鹏刚 侯妍君

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 100082, 北京//正高级工程师)

摘要 目的:随着我国城镇化发展,城市轨道交通作为重要的交通手段,逐步呈现出多网融合、网络化发展趋势。“四网融合”发展背景下,存在跨线网互联互通运营的需求。为解决跨线网互联互通的技术壁垒,须分析研究信号系统不同制式之间的兼容解决方案。**方法:**介绍了 CBTC(基于通信的列车控制)系统和 CTCS(中国列车控制系统)的主要功能,对比分析了这 2 种信号系统的差异;介绍了双车载设备方案的系统总体架构,以及人工驾驶转换方案和自动过制式转换区方案的操作流程。指出从技术角度实现跨 CBTC 线路与 CTCS 线路之间的跨线运行并不存在技术壁垒,而针对管理体制以及认证模式的构建是实现“四网融合”发展的关键性因素。**结果及结论:**针对 CBTC 和 CTCS 兼容方案提出了双地面设备和双车载设备两种解决方案,并逐一分析其优缺点;就双车载设备解决方案展开研究,详述其人工过制式转换区和自动过制式转换区的业务流程及配套方案,分析双车载方案的优势和面临急需解决的问题。

关键词 城市轨道交通;多网融合;信号系统;互联互通

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.012

Research on Technical Scheme of Cross-line Interoperation Signaling System

SHEN Zhanghong, LI Minggan, LIU Xiaoyang, HAO Penggang, HOU Yanjun

Abstract Objective: With the development of urbanization in China, urban rail transit becomes an important transportation means, gradually demonstrating a trend of multi-network integration and networking development. In the context of 'four-network integration', there is the demand for cross-line interoperability. To address its technical barriers, it is necessary to analyze and study compatibility solution schemes among different formats of signaling systems. **Method:** The main functions of CBTC (communication-based train control) system and CTCS (China train control system) are introduced, and the difference between these two signaling systems is comparatively analyzed. The overall architecture of the dual on-board equip-

ment scheme is presented, as well as the operational procedures for manual driving conversion scheme and auto-passing neutral zone scheme. It is pointed out that there are no technical barriers to achieve cross-line operation between CBTC and CTCS from the technical perspective, however the key factor for achieving 'four-network integration' lies in the establishment of management systems and certification modes. **Result & Conclusion:** Two solutions of dual ground equipment and dual on-board equipment are proposed for CBTC and CTCS compatibility, and their advantages and disadvantages are analyzed in detail. The study on dual on-board equipment solution is carried out, providing an elaborate explanation of the business process and supporting plans for manual-passing neutral zone and auto-passing neutral zone. The advantages and urgent problems faced by the dual on-board equipment scheme are thoroughly examined.

Key words urban rail transit; multi-network integration; signaling system; interoperability

Author's address Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., 100082, Beijing, China

随着我国城镇化发展,轨道交通作为重要的交通手段,逐步呈现多网融合、网络化发展趋势。2019 年 2 月,国家发展和改革委员会发布的《关于培育发展现代化都市圈的指导意见》中明确提出:“在有条件地区编制都市圈轨道交通规划,推动干线铁路、城际铁路、市域(郊)铁路、城市轨道交通‘四网融合’”^[1]。同时,中国城市轨道交通协会和中国国家铁路集团有限公司分别发布了“四网融合”背景下的轨道交通建设发展纲要和规划纲要^[2-3]。目前,国内仅重庆实现了地铁与地铁之间少量线路的互联互通运营。有关多网融合、互联互通运营的研究和实践在我国才刚刚起步。

跨线网互联互通运营,涉及到运输组织、管理

*北京市科技服务业促进专项课题(Z211100003421071)

体制、信号制式、无线通信、车辆选型、限界标准、载重等级、供电方式、售检票、安检模式及站台门设置等多系统融合。其中互联互通的核心之一是信号系统的技术实现。目前,城市轨道交通信号系统多采用 CBTC(基于通信的列车控制)系统,而干线铁路、城际铁路多采用 CTCS(中国列车控制系统)。本文主要研究 CBTC 线路与 CTCS 线路跨线互联互通运营的信号系统技术方案。

1 CBTC 系统与 CTCS 方案

1.1 CBTC 系统技术方案

CBTC 信号系统基于移动闭塞原理来控制列车间隔,摆脱了物理区段的限制,列车的移动授权终点随着前方列车的移动而移动,真正意义上实现了移动闭塞控制技术,已广泛应用于国内城市轨道交通项目工程。CBTC 系统各子系统和设备的主要功能如下:

1) ZC(区域控制器):通过识别管辖范围内每列列车的位置信息,结合联锁排进路情况和轨旁设备提供的轨道占用信息,最终生成列车的移动授权并通过无线方式发送给车载设备,同时将移动授权范围内的道岔位置、站台门状态、临时限速等信息发送给车载设备。

2) CI(计算机联锁):基于控制技术、计算机技术和通信技术,通过安全的信号逻辑运算实现道岔与进路之间的联锁控制。同时,完成车门与站台门联动以及闯红灯防护功能,控制后备模式应答器发送的报文等。

3) ATS(列车自动监控)系统:管理列车运行计划。根据车载 ATO(列车自动运行)发送的列车状态信息,向列车下达到发站和运营调整等命令。

4) DSU(数据存储单元):管理线路的电子地图版本,提供车载数据的远程下载功能。

5) 应答器:无源应答器仅有固定消息,用于车载 ATP(列车自动保护)识别自身所在线路的位置;有源应答器仅在 BM(后备模式)下使用,根据联锁进路,向车载设备传送到进路终点的距离及道岔状态等信息。

6) ATP 系统:根据收到的应答器在车载电子地图中的位置信息,通过测速测距单元实时计算列车的速度和位置信息;到站控制开门授权;始终确保列车不超过线路限速和 ZC 发送的移动授权,必要时施加紧急制动。

7) ATO 系统:根据 ATS 或默认计划驾驶列车、精确停站、开关门作业,在不超过 ATP 安全限制的前提下满足运营要求。

1.2 CTCS 技术方案

国家干线铁路列车的列车控制系统分很多等级,考虑到目前互联互通线路涉及的铁路线路速度等级较低,主要采用的是 CTCS-2(中国列车运行控制系统 2 级)(以下简称“C2”),因此本文针对 C2 + ATO 系统进行分析。C2 + ATO 各子系统和设备的主要功能如下^[4-5]:

1) CCS(通信控制服务器):与车载设备、CTC(中央调度集中)进行通信,实现对门控信息的管理,并实现 CTC 运行计划的处理和转发功能。同时,CCS 通过 TCC(列车控制中心)实现站台门相关的防护和控制功能。

2) TCC:具有轨道电路编码、应答器报文储存和调用、站间安全信息传输、临时限速等功能,同时,为满足站台门防护和控制、站台紧急关闭等功能,TCC 具有相关的信息采集接口和驱动接口。

3) TSRS(临时限速服务器):具有临时限速设置、取消和管理功能,并通过应答器将相关指令发送给列车。

4) 轨道电路:实现列车占用检查,并连续向车载设备传送空闲闭塞分区数量等信息。

5) 应答器:应答器向车载设备传输定位信息、线路参数和临时限速等信息。同时,为了满足自动运行相关功能,向车载设备传输运营停车点信息、门侧信息、默认停站时间等信息。

6) 车载 ATP 设备:根据地面设备提供的行车许可、线路参数、临时限速等信息和列车参数,按照目标距离连续速度控制模式生成动态速度曲线,监控列车安全运行。

7) 车载 ATO 设备:在 ATP 的行车许可下根据线路条件、运行计划等信息实现列车自动驾驶及车门自动控制等功能。

1.3 两种系统对比分析

以北京市域快线为例。列车运行速度为 140 ~ 200 km/h,行车间隔为 2.5 ~ 4.0 min,满足 1 h 通达要求。C2 + ATO 系统与 CBTC 系统对比分析如表 1 所示^[6]。

由表 1 可知,两种信号系统对于线路的适应性存在一定差异。C2 + ATO 技术本身受限于追踪和折返能力影响,对于市域线路城区段,存在一定的

表 1 C2 + ATO 系统与 CBTC 系统对比分析表

Tab.1 Comparison and analysis of C2 + ATO system and CBTC system

比较项目		C2 + ATO 系统	CBTC 系统
系统能力	20 对/h		30 对/h(160 km/h)
速度匹配性	满足列车运行速度 140 ~ 200 km/h 要求		满足列车运行速度 140 ~ 200 km/h 要求,但 200 km/h 线路尚无工程实践
追踪方式	准移动闭塞		移动闭塞
车载电子地图	无		有全线车载地图
车地通信方案	GSM-R(国际铁路无线通信标准)		WLAN/LTE/EUHT(无线局域网/长期演进/超高速无线通信)
自动折返功能	尚无自动折返功能;按照操作规程,一般情况下折返时间约 10 ~ 15 min;可通过设置平行到发线方式增加折返能力,但土建工程量较大		具备自动折返功能。一般情况下折返时间约 2.5 min(160 km/h 线路);采用站后折返方式,土建工程量相对要小
行车调度	行车调度指挥系统满足网络化调度指挥需求,但缺乏扣车、跳停等行调功能		行车调度指挥系统控制单线时具备完善的行调功能,跨线运行计划调整功能有待开发完善
研发认证	研发均需以 CTCS 为基础,研究成果需进行 CRCC(铁路产品认证中心)认证		城市轨道交通产品的认证为 CURC(城市轨道交通装备认证)

不适配性。对于追求效率的城市轨道交通线路或市域线路城区段而言,更适合于选择 CBTC 系统,由此带来了跨制式线路互联互通运营中信号系统方案的技术讨论。

2 CBTC 系统与 CTCS 多网融合方案

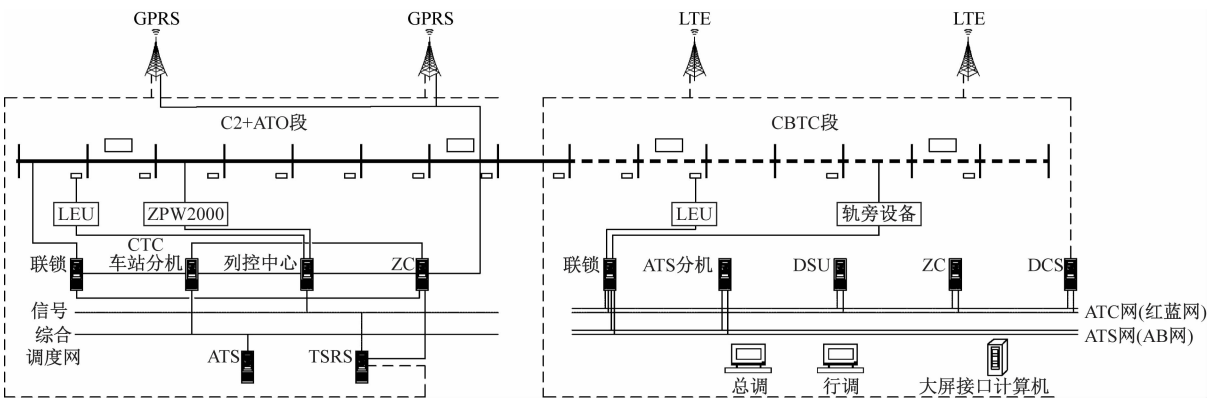
在各信号系统集成商的开发试验下,CBTC 系统与 CTCS 的兼容方案逐步趋于成熟,主要有以下两大方案:方案一是双地面设备方案,方案二是双车载设备方案^[7]。

2.1 双地面设备方案

双地面设备方案相对较好理解,即为在轨旁布设 CTCS 和 CBTC 2 个系统的地面设备,能够实现与不同车载设备的双向通信。但是该方案需敷设两种车地通信网络,存在地面设备建设成本高的问题。

2.2 双车载设备方案

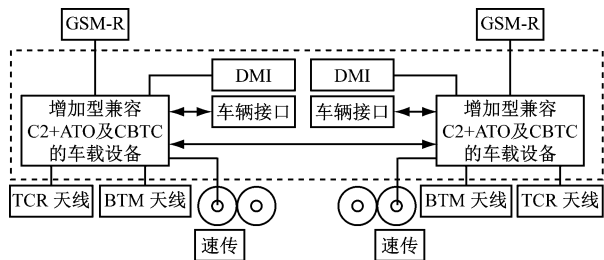
传统的双车载设备方案是分别设置 CTCS 和 CBTC 的车载设备,2 套设备之间做控制切换。通过上述两种列车控制技术的方案描述可以看出:两种信号系统制式从工作原理的本质上是存在相通性的;从构架上看,均是由地面设备和车载设备两部分组成,列车的调度、安全防护等功能由地面设备实现,而速度曲线计算、超速防护等功能均由车载设备实现。信号系统本身可通过车载软件融合,具有实现兼容列车控制系统方案的可行性。目前,各大信号系统集成商均研发单套车载设备兼容两种信号系统制式的兼容性车载方案即双车载设备方案。该方案具有安装空间小,投资成本低的优点。双车载设备方案总体架构示意图和车载部分架构示意图如图 1—图 2 所示。



注:GPRS—通用分组无线业务;LTE—长期演进;LEU—应答器;ZPW—轨道电路;DCS—数据通信系统。

图 1 双车载方案总体架构示意图

Fig. 1 Overall architecture diagram of dual on-board equipment scheme



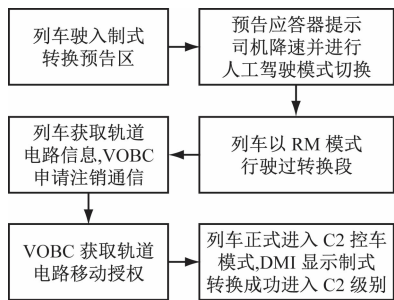
注:DMI—人机界面;TCR—轨道电路读取器。

图2 双车载设备方案车载部分架构示意图

Fig. 2 Architecture diagram of the on-board part of dual on-board equipment scheme

2.2.1 人工驾驶转换方案

人工驾驶转换方案为:在两条不同信号系统制式线路的中间转换区,首先切换到人工驾驶模式,然后进行信号系统制式转换过渡。以CBTC线路至C2线路制式转换流程为例,具体操作流程如图3所示。



注:VOBC—车载控制器;RM—人工驾驶模式。

图3 不同信号系统制式的人工驾驶转换方案操作流程 (CBTC线路至C2线路)

Fig. 3 Operation process of manual-driving transition scheme of different signaling system formats (CBTC line to C2 line)

人工驾驶转换方案的优势为:2种信号系统制式管辖区明确切分,在C2制式区可完全按照铁路总局政策要求实施,不存在授信认证问题;同时地面设备彼此隔离,无相互干扰,管理界面清晰,切换流程简单。但受限于RM模式下限速要求,过制式转换区时行车效率降低。

2.2.2 自动过制式转换区方案

采用自动过制式转换区方案,需在制式转换区设置双地面设备;采用该方案可无需司机操作,由车载信号系统进行2种制式的双识别,并完成有效判断后,实现制式的自动切换。为解决铁路标准认证问题,建议将地面占用检测统一为轨道电路,应答器需遵循C2制式规范要求;共管区需敷设双车

地通信系统,以保证2种制式各自的有效通信;车载VOBC需存储共管区的电子地图,提供给CBTC模式使用。以CBTC线路至C2线路制式转换流程为例,具体操作流程如图4所示。

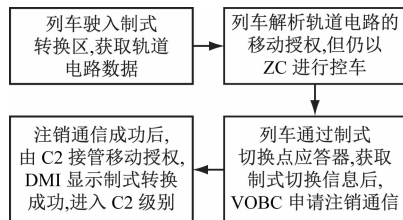


图4 不同信号系统制式的自动过制式转换区方案操作流程 (CBTC线路至C2线路)

Fig. 4 Operation process of auto-driving through transition zone scheme of different signaling system formats (CBTC line to C2 line)

采用该方案优势为:正常转换过程无需司机操作,列车无需降级运行,行车效率较高;但在共管区的制式方案需得到铁路认可。为不影响行车效率,共管区长度需考虑最高速度运行下的系统延时响应时间、系统建立有效通信的确认周期和安全制动距离等因素。

综上分析可知:采用双车载设备方案,需针对VOBC进行2种信号系统制式的兼容性设计,因此存在系统认证问题,在实际工程中可通过采用2套独立车载设备规避认证问题;自动过制式转换区方案的行车效率相对更高,但因相关政策的确认问题,目前尚未有清晰的自动过制式转换区技术认证规则。随着“四网融合”发展,应逐步形成针对“四网融合”线路的管理体系,为系统认证提供可行之路。

3 结语

“四网融合”背景下,突破管理体制、构建融合交通模式是未来发展的方向。各地均开展了互联互通跨线运营的专项研究,如粤港澳大湾区的城际铁路互联互通专项研究。通过本文针对列车控制技术的分析可知,从技术角度实现跨信号系统制式之间的跨线运行,并不存在技术壁垒,而针对管理体制以及认证模式的构建是实现“四网融合”发展的关键性因素,希望在国家政策的指引下,通过相关业内专家的共同努力,能够进一步推进双制式工程的试点应用,实现C2与CBTC技术融合的工程落地。

“四网融合”不仅仅涉及列车控制技术的兼容

问题,也涉及到管理操规、车辆、限界、站台门等多专业标准的统一,在实际工程中要综合多重因素,选择更优方案。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见:发改规划[2019]328号[A]. 北京:中华人民共和国国家发展和改革委员会,2019.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Guiding opinions of National Development and Reform Commission on cultivating and developing modern metropolitan areas: FGGH [2019] No. 328[A]. Beijing: National Development and Reform Commission of the People's Republic of China, 2019.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要:中城城轨[2020]10号[A]. 北京:中国城市轨道交通协会,2020.
China Association of Metros. Outline of smart urban rail development of urban rail transit in China: ZCG [2020] No. 10[A]. Beijing: China Association of Metros, 2020.
- [3] 中国国家铁路集团有限公司. 新时代交通强国铁路先行规划纲要[J]. 交通企业管理, 2020(5): 37.
China State Railway Group Co., Ltd. Outline of railway advance planning for a powerful transportation country in the new era[J]. Transportation Enterprise Management, 2020(5): 37.
- [4] 李亮,史宁娟,孙旺. CBTC 和 CTCS 系统差异性分析及兼容性方案探讨[C]//中国智能交通协会. 第十四届中国智能交

通年会论文集. 北京:电子工业出版社,2019: 89.

- LI Liang, SHI Ningjuan, SUN Wang. Discussion on difference analysis and compatibility scheme of CBTC and CTCS systems[C]//China Intelligent Transportation Systems Association. Proceedings of the 14 th Annual Conference on Intelligent Transportation in China. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2019: 89.
- [5] 智国盛. 轨道交通“三网融合”信号技术研究[D]. 北京:北京交通大学,2020.
ZHI Guosheng. Research on signal technology of 'three networks integration' of rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [6] 李乾社. 市域铁路信号列控制制式的研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020, 17(2): 10.
LI Qianshe. Research on signal train control system for regional railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020, 17(2): 10.
- [7] 张敏慧. 国铁与城轨信号系统差异及互通性探讨[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(12): 76.
ZHANG Minhui. Exploration on the difference and interoperation between national railway and urban signaling systems[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019, 36(12): 76.
- [8] 卿建强,雷成健,梁波. 列车自主运行控制系统研究[J]. 控制与信息技术, 2021(4): 95.
QING Jianqiang, LEI Chengjian, LIANG Bo. Research on train autonomous circumambulation system[J]. Control and Information Technology, 2021(4): 95.

(收稿日期:2022-09-20)

(上接第 65 页)

- [5] 王颖,毕灵云. 新型复式钢管混凝土梁柱节点抗震性能研究[J]. 建筑结构, 2019, 49(14): 42.
WANG Ying, BI Lingyun. Research on seismic behavior of new multiple concrete filled steel tube column-beam joints[J]. Building Structure, 2019, 49(14): 42.
- [6] 王琨,智海祥,曹大富,等. 预应力型钢混凝土梁-钢管混凝土叠合柱框架节点抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39(12): 29.
WANG Kun, ZHI Haixiang, CAO Dafu, et al. Test on hysteretic behavior of prestressed steel reinforced concrete beam to steel-tube reinforced concrete column joints[J]. Journal of Building Structures, 2018, 39(12): 29.
- [7] 姜宝龙,李英民,喻雪纯,等. 圆钢管混凝土相贯斜柱-型钢混凝土梁空间节点抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报,

2019, 40(增刊1): 99.

- JIANG Baolong, LI Yingmin, YU Xuechun, et al. Experimental study on seismic behavior of steel reinforced concrete beams to circular concrete filled steel tubular columns complex connections[J]. Journal of Building Structures, 2019, 40(S1): 99.
- [8] 于建兵,周莉萍,郭正兴,等. 部分高强筋预制混凝土框架节点抗震性能研究[J]. 振动与冲击, 2019, 38(11): 17.
YU Jianbing, ZHOU Liping, GUO Zhengxing, et al. Aseismic behavior of precast concrete frame joints with partial high strength tendons[J]. Journal of Vibration and Shock, 2019, 38(11): 17.
- [9] 韩林海,陶忠,王文达. 现代组合结构和混合结构: 试验、理论和方法[M]. 北京:科学出版社,2009.
HAN Linhai, TAO Zhong, WANG Wenda. Advanced composite and mixed structures[M]. Beijing: Science Press, 2009.

(收稿日期:2021-02-08)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821