

多网融合下的市域铁路列车控制系统方案研究

王珮瑶

(中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都//高级工程师)

摘要 目前能够兼容 CTCS(中国列车运行控制系统)和 CBTC(基于通信的列车控制)的信号系统正在研发中。信号系统能否实现互联互通,已成为多网融合下列车在不同信号制式轨道交通线路上混跑的重中之重。以 CTCS 和 CBTC 为研究对象,分析两者的技术特点和兼容可行性,研究了市域铁路列车控制系统选型的各种可能性方案。针对 CBTC 和 CTCS 两种信号制式,提出了双车载设备方案和一体化车载设备方案,并对两个车载设备方案进行了优缺点分析,以期多网融合下市域铁路信号系统的互联互通性设计提供参考。

关键词 市域铁路;列车控制系统;兼容性信号系统;互联互通;多网融合

中图分类号 U239.57

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.012

Scheme of City Railway Train Control System under Multi-network Integration

WANG Peiyao

Abstract At present, the signaling system that accommodates both CTCS (China train control system) and CBTC (communication based train control) is under development. Whether the signaling system can realize interoperability has become the top priority for train mixed operation on rail transit lines with different signal systems under multi-network integration. Taking CTCS and CBTC as the research objects, the technical characteristics and compatible feasibility of both are analyzed, the possibilities of various selection schemes for city railway train control signaling system are studied. Targeting the signaling formats of CBTC and CTCS, the double on-board equipment and the integrated on-board equipment are recommended, the advantages and disadvantages of the two schemes are analyzed respectively, so as to provide reference for the interoperability design of city railway signaling system under multi-network integration.

Key words city railway; train control system; compatible signaling system; interoperability; multi-network integration

Author's address China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China

1 不同信号制式轨道交通线路间互联互通的必要性

从宏观层面看,市域铁路既不是国家铁路(以下简称“国铁”)高速客运专线,也有别于城市轨道交通,其自成体系、独立运营。建设市域铁路是推进我国城镇化发展大背景下产生的刚性需求,市域铁路重点为城镇居民的日常出行提供服务,并辅以相应的功能配套,承担“内聚外联”的重要功能。即:在城市外部与国铁相连,在城市内部与城市轨道交通连接,使城市轨道交通、市域铁路、国铁之间能互联互通或便捷换乘。

实现轨道交通线路间的互联互通运营是轨道交通建设最理想的模式,可提高运输组织的灵活性,节约大量的人力、物力,符合国铁干线、城际铁路、市域铁路及城市轨道交通“四网融合”模式的发展要求。信号系统是保障轨道交通线路安全运行和高效运营的重要系统,本文针对当前轨道交通建设中互联互通的实际需求,提出市域铁路信号系统下一步应重点研究的内容,以期多网融合下市域铁路信号系统互联互通性设计提供参考,为不同信号制式轨道交通的互通性发展提供思路。

2 市域铁路列车控制系统选型方案

公交化运营是我国市域铁路建设与运营的首要需求,因此市域铁路对线路折返能力的要求较高。目前,在我国市域铁路列车控制(以下简称“列控”)系统中,应用较多的是国铁 CTCS(中国列车运行控制系统)和城市轨道交通 ATC(列车自动控制)系统。

2.1 国铁 CTCS-2(中国列车运行控制系统 2 级) + ATO(列车自动运行)系统

由中国铁路总公司建设管理的国铁线路一般都采用 CTCS 系统。CTCS-2 + ATO 系统是指在

CTCS-2 基础上,根据线路的功能需求,新增了地面精确定位应答器、通信控制服务器、车载安全计算机 ATO 单元及车辆牵引制动接口等设备,以满足列车以 250 km/h 的最高速度运行的要求,线路的列车最短追踪间隔可达到 3 min,并具备站间自动运行、车站定点停车、车站通过及列车运行自动调整等功能。因此,CTCS-2 + ATO 系统综合了高速铁路和城市轨道交通的列控技术特点,可实现与采用 CTCS-2、CTCS-3 (中国列车运行控制系统 3 级) 的国铁线路互联互通。

CTCS-2 + ATO 系统主要由 CTC (调度集中) 系统、CTCS-2、车站联锁系统、信号集中监测系统及 ATO 等构成。

2.2 城市轨道交通 ATC 系统

由城市轨道交通部门建设管理的城市轨道交通线路一般采用 ATC 系统,现在应用较多的是 CBTC (基于通信的列车控制) 系统。CBTC 系统主要由 ATS (列车自动监控)、ATP (列车自动防护)、ATO、联锁、DCS (数据通信子系统) 等子系统构成,车辆基地一般采用计算机联锁和微机监测系统,车地通信多采用 LTE (长期演进) 技术方案。CBTC 系统可车地双向通信,在正线区间一般可实现 90 s 的列车最短追踪间隔,在车站及折返站可实现 2 min 的行车间隔,线路的运营调整能力强。

但是,CBTC 系统也存在以下问题:① 技术标准和技术体系与国铁 CTCS 制式不一致,无法实现与既有国铁/城际铁路的互联互通;② 与 CRH6 系列车辆的接口配合不够成熟;③ ATS 子系统适合单线路调度指挥,如要实现跨线调度指挥,需在 ATS 系统上层开发设置线网调度指挥系统。

2.3 CTCS-2 和 CBTC 双车载设备方案

2.3.1 方案描述

基于市域铁路与国铁、城市轨道交通跨线运行的需求,结合国外轨道交通的发展经验,可以认为各轨道交通网络间的互联互通运营是不可避免的发展趋势,这也是影响列控系统技术发展的重要因素。本文以 CBTC 线路单向跨线运行至 CTCS 线路为例,对不同制式信号系统间互联互通方案的可行性进行分析。

CTCS-2 和 CBTC 双车载设备方案 (以下简称“双车载方案”) 是指为同时满足市域铁路折返能力 (一般约为 3 min) 和互联互通的需求,在市域铁路采用 CBTC 系统,并在跨线运营的列车上同时加装 CBTC 和 CTCS-2 两套车载系统,通过人工操作方式实现 CBTC 制式市域线路与 CTCS 制式国铁线路的互联互通。双车载方案在列车的车头及车尾各安装一套 CTCS-2 车载设备和 CBTC 车载设备,其系统结构如图 1 所示。

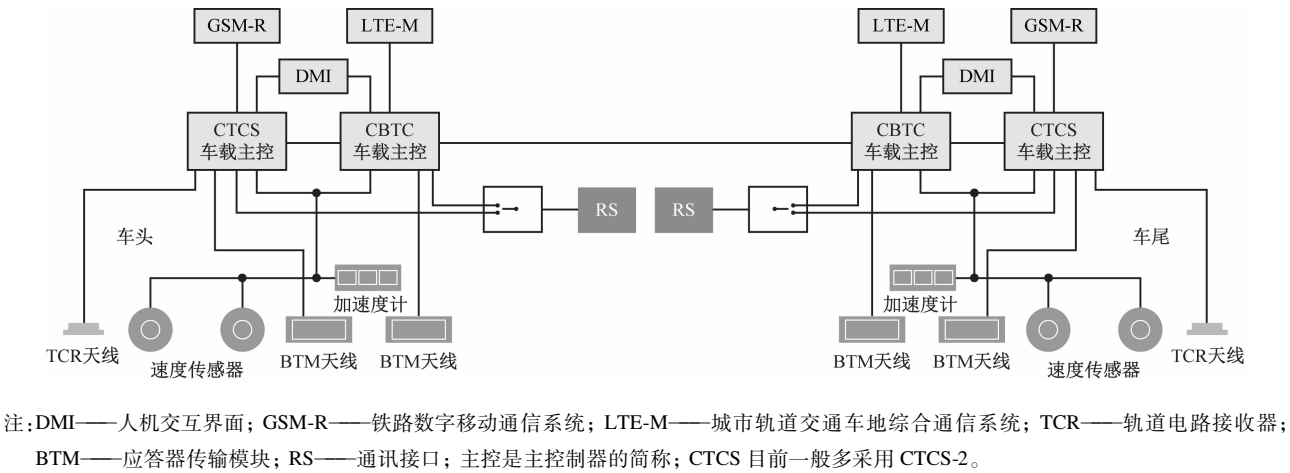


图 1 双车载方案系统结构示意图
Fig. 1 Diagram of double on-board system structure

基于双车载方案,采用了 CBTC 制式的市域线路,其轨旁只需设置 CBTC 系统设备,列车在本线采用 CBTC 制式,按照移动闭塞方式运行。列车运行至采用 CTCS 制式的国铁线路后,其信号系统将

切换为 CTCS-2 列控制制式。该方案可同时满足 CBTC 线路单向跨线运行至 CTCS 线路的互联互通需求,并可在市域铁路上实现公交化运营。但是,该方案不支持 CTCS 制式的国铁列车跨线运行至

CBTC 制式的市域铁路。

2.3.2 双车载方案存在问题

双车载方案在 CTCS-2 + ATO 系统、CBTC 系统基础上进行了一定程度上的整合,但仍存在以下问题:

1) CBTC 系统对 CTCS-2 + ATO 系统的干扰问题。为实现 CBTC 线路与 CTCS 线路的互联互通,双车载设备方案需共用车载天线、HMI(人机接口)、测速设备、车辆接口等部分外围设备,因此,两线的车地设备存在互相干扰的可能性。需对 CBTC 系统与 CTCS-2 + ATO 系统的兼容性作进一步研究,证明 CBTC 系统对既有 CTCS-2 + ATO 系统无任何干扰后,方可在既有国铁/城际铁路上应用双车载设备方案。为此,待信号厂商明确设计方案后,应将实施方案提交既有国铁/城际铁路部门审核,以判断能否可以实现互联互通。

2) 安装空间问题。车载系统机柜、HMI、天线、速度传感器及加速度仪等设备在安装空间上可能存在不足,需进一步与车辆厂商进行沟通,协商具体解决措施。

2.4 CBTC 和 CTCS-2 一体化车载设备方案

2.4.1 方案描述

信号系统已开始向不同制式多网融合的技术方向发展,兼容 CBTC 和 CTCS 的信号系统已经成为信号系统技术发展的方向。CTCS-2 和 CBTC 一体化车载设备方案(以下简称“一体化车载方案”)是指只使用一套车载设备,该设备可以兼容 CBTC 和 CTCS-2 + ATO 两种信号制式。

与双车载方案相比,一体化车载方案有如下优点:① 可支持城市轨道交通公交化运营,线路可双向运行,列车追踪间隔短,线路折返效率高;② 可兼容不同的信号制式,支持采用 CTCS-2、CTCS-2 + ATO、CBTC 等列控系统的列车在线路上混跑;③ 高度自动化,可实现移动闭塞 CBTC 运营;④ 支持跨线互通,可实现市域内各轨道交通线路间列车的互联互通。一体化车载方案在列车的车头及车尾各安装一套一体化车载设备,其系统结构如图 2 所示。

中国铁路总公司在 2019—2020 年立项的科研课题《基于海南东环 CTCS-2 叠加 CBTC 实现高速铁路能力提升的方案研究》目前已完成理论研究且结题,相关结论认为研究方案可行。信号厂商也在

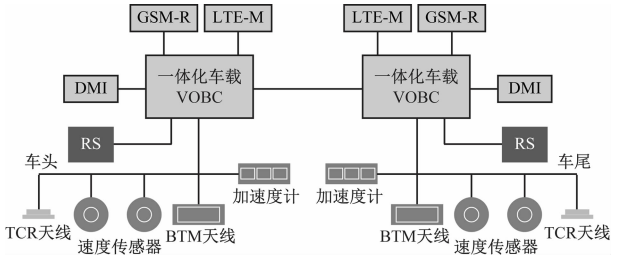


图 2 一体化车载方案系统结构示意图

Fig. 2 Diagram of integrated on-board system structure

积极研究一体化车载方案的可行性。但是,一体化车载方案至今尚无实际的工程应用。此外,一体化车载方案与双车载设备方案类似,均存在相应的行政审批问题。

2.4.1.1 信号系统车载兼容方案

为了同时兼容 CTCS-2 系统和 CBTC 系统,减少科研开发的难度,一体化车载系统方案要尽可能利用既有 CTCS-2、CBTC 系统的成熟经验,复用既有信号系统设备,如 CTCS-2 系统的列控中心、临时限速服务器、ZPW2000 设备,以及 CBTC 系统的区域控制器等。此外,联锁设备、CTC 设备、车载设备均属于通用产品,在 CTCS-2、CBTC 中均有应用,可以考虑在既有产品上进行升级、改造。

2.4.1.2 行车调度指挥系统方案

行车调度指挥上,CBTC 制式线路采用 ATS 系统,CTCS 制式线路采用 CTC 系统。为实现不同制式线路运输组织的无缝衔接,需考虑 ATS 系统与 CTC 系统的协调指挥。综合考虑管理权限等因素,建议 CBTC 制式线路与 CTCS 制式线路采用由各自线路 OCC(运营控制中心)分别进行调度指挥的方案,即:CBTC 制式线路的 OCC 对在本线运行的列车进行实时监控和调度指挥;当 CBTC 列车进入 CTCS 制式线路共线段运行后,车载设备采用 CTCS-2 系统制式,改由 CTCS 制式线路的 CTC 系统统一调度指挥。

不同信号制式线路的调度需根据客流情况,定期协商列车开行计划,编制无缝衔接的列车运行图。每日运营开始前,ATS 和 CTC 应互传并确认当日互联互通列车运行图。ATS 和 CTC 按照各自的规则在各自线路上遵照列车运行图监控列车运行,并将各自的实际运行图(至少包含互联互通区域的列车运行图)互传对方,以方便接轨站进行运行冲

突检查及列车运行调整。

上述行车调度指挥方案尚未在实际线路上应用。为此,一方面需加快技术研究,解决 ATS 与 CTC 间的接口问题;另一方面,两个运营管理主体需互认相关标准,需针对运营衔接和协调指挥等方面制定配套的规章制度。

2.4.2 一体化车载方案存在问题

对于列车自动防护功能,CTCS 线路是由联锁和 TCC(列控中心)来保证,CBTC 线路是由 ZC(区域控制器)来保证。TCC 和 ZC 均是通过安全认证且有大量现场应用业绩的产品,但其列车追踪安全防护的有效性仅是在单一的 CBTC 或 CTCS-2 模式下得以验证的。因此,对于 CBTC 和 CTCS-2 两种信号制式下列车混跑的情况,需对各种不同的列车运行场景进行分析,并应在工程试验过程中结合具体的试验进展作进一步的讨论与功能验证,如遇问题还应给出解决方案。

3 市域铁路兼容性车载信号系统的展望

目前能够兼容 CTCS 和 CBTC 的信号系统正在研发当中,但该系统的研发进程及与车辆接口、具体应用场景等相关的工程应用接口仍需实际的项目予以支撑。因此,目前多数城际铁路车站仍通过线间换乘来实现客流的交换运输。此外,CTCS-4(中国列车运行控制系统 4 级)已基本研发完成并投入试验,该系统采用移动闭塞方式,能够提供更好的系统能力,且可与 CTCS-2 或 CTCS-3 级线路互联互通。

从技术角度看,国铁采用的 CTCS 系统具有完整的技术体系,针对列车最高运行速度的不同等级需求有着相应级别的 CTCS 系统,且系统间可实现互联互通,因此从功能需求、工程应用、市场开放及性价比等方面分析,CTCS 系统优势较为明显,但 CTCS 系统仍缺乏列车最小行车间隔可达 3 min 的实例应用;城市轨道交通采用的 ATC 系统可为列车最高运行速度为 160 km/h 的线路提供服务,但 ATC 的系统接口较为复杂。与此同时,ATC 系统与 CTCS 系统之间的互联互通还需要新技术的支撑。

从经济效益看,城市轨道交通线路的工程造价约为 1 000 万元/km~1 300 万元/km,与国铁线路相比工程造价较高。CBTC 系统在地面设置区域控制中心,铺设计轴、应答器及信号机等设备,其维护难度和运营成本也较高。

在实际的工程运用中,选择市域铁路信号列控系统时,需综合考虑建设主体、互联互通需求和经济效益等具体条件。此外,市域铁路的建设还需突破体制、机制的阻碍,推行顶层设计,形成自上而下的合作协调机构与机制,在规划定位、技术体系、建设及监管等方面确立明确的标准及政策,以支撑市域铁路的规范化发展。

同时建议在工程进展中,时刻关注兼容性车载信号系统的发展情况,利用既有信号厂商的技术储备,研发满足互联互通及公交化运营需求的新型车载信号系统。在条件具备时,应适时引入新技术,共享线路资源,以期用最少的工程投资实现相对最好的运营功能,使市域铁路更安全、更高效、更经济、更便捷。

参考文献

- [1] 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,2021:1.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for Design of Suburban Railway: TB 10624—2020[S]. Beijing:China Railway Publishing House,2021:1.
- [2] 中国土木工程学会. 市域快速轨道交通设计规范:T/CCES 2—2017[S]. 北京:中国土木工程学会,2017:1.
China Civil Engineering Society. Code for Design of Metropolitan Rapid Rail Transit System: T/CCES 2—2017[S]. Beijing:China Civil Engineering Society,2017:1.
- [3] 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(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(6):23.
- [4] 徐洋. 市域铁路信号系统互联互通方案研究[J]. 铁道通信信号,2018(6):69.
XU Yang. Research on interoperation scheme of urban railway signaling system[J]. Railway Signalling & Communication, 2018(6):69.
- [5] 李乾社. 市域铁路信号列控制式的研究[J]. 铁路通信信号工程技术,2020(2):10.
LI Qianshe. Research on signal train control system for regional railways[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2020(2):10.
- [6] 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(12):76.
ZHANG Minhui. Exploration on the difference and interoperation between national railway and urban signaling systems[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2019(12):76.

(收稿日期:2022-03-14)