

互联互通信号系统在既有线延伸段工程中的适用性

王 健¹ 文成祥²

(1. 重庆市轨道交通设计研究院有限责任公司, 401122, 重庆; 2. 重庆市轨道交通(集团)有限公司, 401120, 重庆//第一作者, 高级工程师)

摘 要 根据当前互联互通 CBTC(基于通信的列车控制)系统的标准化情况、系统实施方案、延伸线和跨线的需求差异及互联互通信号系统在国内的应用情况,对比分析了延伸线路采用统一信号系统接入既有线,以及采用互联互通信号系统接入既有线在技术方案和工程实施(运营维护、安全认证、投资等)方面的差异。给出了既有信号系统互联互通标准体系用于延伸线接入时的建议方案,并得出当前互联互通信号系统在延伸线适用性结论。

关键词 城市轨道交通; 互联互通; 基于通信的列车控制系统; 既有线与延伸线接口; 长期演进技术

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.015

Applicability of Interconnection Signal System in Extension Line Engineering

WANG Jian, WEN Chengxiang

Abstract According to the standardization status and implementation scheme of interconnection CBTC (communication based train control) system, the demand difference between existing line and extension line, and the application of interconnection signal system in China at present, the technical scheme and project implementation differences between the conventional unified signal system and the interconnection CBTC system in connecting the extension line to existing line are compared and analyzed, including operation maintenance, safety verification, investment and so on. Suggestions for applying the interconnection standard of existing signal system in connecting extension line are put forward. The conclusion of feasible applicability of interconnection signal system on extension line is obtained.

Key words urban rail transit; interoperable; (CBTC) system; interface between existing and extension lines; long-term evolving technology

First-author's address Chongqing Rail Transit Design and Research Institute Co., Ltd., 401122, Chongqing, China

备转变为高国产化率国内设备的过程。2014年起,由中国城市轨道交通协会与重庆市开始编制互联互通信号系统的相关规范,并以重庆轨道交通4、5、10号线和环线作为互联互通信号系统的国家重点示范工程(以下简称“示范工程”)。4线相互间设置5个跨线站及联络线,通过配置4家不同厂家但满足互联互通统一标准的信号系统,实现4线间相互的跨线运营。至今,已形成了信号互联互通的团体标准 T/CAMET 04010~13—2018《互联互通系列规范》、地方标准 DBJ 50/T-250—2016《重庆轨道交通列车控制系统(CQTCS)标准》(主要定义了为满足互联互通所需统一的设计原则、功能需求及系统接口等)及为互联互通提供实施条件的 T/CAMET 04005~9《LTE-M 系列规范》;示范工程4条线均已投入试运营,并通过了共线多车试运营专家评审,跨线运行工作正在稳步推进中。示范工程的信号承包商在既定标准的框架下充分协商,距离最终实现信号系统互联互通已无关键技术壁垒。

互联互通信号系统的实施,意味着线路能为其延伸线及联络线提供互联互通接口。当前,为减轻延伸线的招标难度,示范工程延伸线陆续提出了利用既有无线互联互通接口接入的系统方案。“互联互通”在规范中的名词解释为“指装备不同信号厂家车载设备的列车可以在装备不同信号厂家轨旁设备的一条轨道交通线路内或多条轨道交通线路上无缝互通安全可靠运营”,可见其适用范围包括同线路内的互联互通。但在标准编制的具体环境下,主要致力于解决跨线运营的场景,致力于不同厂家车载信号设备对应于不同厂家地面设备运作及跨线交接的相关接口,主要目的是为城市轨道交通线网的资源共享创造条件,提升技术水平,促成产业升级,因此,在标准化的过程中并未就互联互通方案对延伸线的具体适用作过多着笔。延伸线和跨线在技术本质上有相同之处,但在应用需求上却有

我国城轨信号系统经历了从完全进口国外设

差异,主要为:① 延伸段与既有线通常为一个运行主体,使用统一的中心行车控制设备,而跨线运营使用各自独立的中心行车控制设备。② 跨线交路一般为支线交路,跨线运营中断不影响本线运营,对线网影响也较小;延伸线运营交路通常为主要交路,运营中断后对本线运营影响较大,对线网影响也较大。因此,很有必要就现阶段的信号系统互联互通标准化成果对延伸段的适用性及采用互联互通方案 and 传统方案(指采用和既有线相同厂家,下同)的差异对比进行研究探讨。

1 接口分析

1.1 联锁接口

相同传统方案接入既有线时,既有线和延伸段的联锁接口与正线的站间联锁接口,联锁系统与相邻联锁系统通过联锁专用安全网进行连接。相邻站联锁系统之间采用专用的冗余传输通道协议,一般采用铁路信号安全通信协议。传递的信息包括:进路信息、照查信息、信号显示信息、区段信息等。网络接入方式一般采用正线车站传输网打开环路接入延伸线相邻车站的方式,通信光缆物理分布为沿相邻车站区间轨旁敷设。

采用互联互通方案接入既有线时,遵循互联互通相关标准的规定(T/CAMET 040011.5 或 DBJ 50/T-250—2016),既有线联锁和延伸线联锁采用双路冗余的通信通道以提高系统的可靠性。采用 RSSP-I 铁路信号安全通信协议,接口传递信息除了部分预留信息(用户定义或扩展)外与传统方案基本相同。网络接入方式为正线车站传输网打开环路接入延伸线相邻车站或在控制中心接入的方式,通信光缆物理分布为沿相邻车站区间轨旁敷设。

由以上描述可见,联锁系统采用传统接入方式和采用互联互通接入方式,其接口在功能、网络结构及接口的可靠性、可用性上是相同的,唯一的差异是同一厂家的联锁接口数据形式较为紧凑。互联互通接口由于要适应各厂家设备,报文较为宽泛,该差异不会对接口功能造成影响。

1.2 ATS 接口

采用传统方案接入既有线时,接口分为 ATS(列车自动监控)站间接口及与控制中心的接口。站间接口信息主要包括邻站站场复示信息及必要的 ATP(列车自动防护)和联锁的协调信息。ATS 车站与控制中心的接口信息主要包括列车信息、站

场设备状态信息、时刻表信息、进路控制信息等。ATS 的功能一般情况下由车站与控制中心的接口实现,在控制中心故障时,车站间的接口作为控制中心接口的冗余根据剩余时刻表继续控制列车运行。ATS 车站与控制中心一般采用冗余非安全网进行连接,ATS 网络接入方式与联锁系统相同。

采用互联互通方案接入既有线时,可供遵循的互联互通相关标准规定为 T/CAMET 040011.1、040011.6 或 DBJ 50/T-250—2016。标准主要要求为:ATS 间通过冗余通信网络连接,物理层及数据链路层均采用 IEEE 802.3 标准协议,网络层采用 IPV4 协议,传输层采用 TCP(传输控制)协议;接口传递信息除了部分预留信息(用户定义或扩展)外和传统方案基本相同。

由以上描述可见,互联互通的相关标准仅规定了满足跨线运营的 ATS 系统接口,并未对采用同一中心设备的车站 ATS 与中心 ATS 接口及 ATS 车站间接口进行规定。在网络化跨线运营时,跨线运营的时刻表通过 NATS(网络级调度系统)进行编制和统一协调,各线接至 NATS 的接口暂未进行标准化规定,各线 ATS 通过协商后接入并实现相关功能。延伸线 ATS 理论上有下列几种接入既有线路的方案。

方案一 既有线控制中心预留延伸线路的接入条件(包括接口和控制余量),延伸线配置独立的控制中心设备和延伸线的车站级 ATS 连接。两段的中心设备进行接口和界面集成,中心工作人员只需面对统一的界面对全线进行监控。延伸线控制中心设备接受既有线 ATS 设备的时刻表及其他行车控制命令,并传输给延伸线车站 ATS 执行(内部接口)。延伸线车站 ATS 上传相关列车及轨旁设备信息(内部接口),由控制中心设备传给既有线控制中心,满足全线的界面显示及控制。系统原理如图 1 所示。

方案二 利用既有的互联互通接口,控制中心将既有线和延伸段分为两个调度区分别进行管理,两段的调度人员分别在本段的行车工作站上监控本段的列车运行(监视范围包括跨区临站)。两段的时刻表由既有线通过 NATS 进行编制以达到全线统筹管理的目的。本方案实质上将所有非跨线列车均上升为跨线列车层面进行处理。系统原理如图 2 所示。

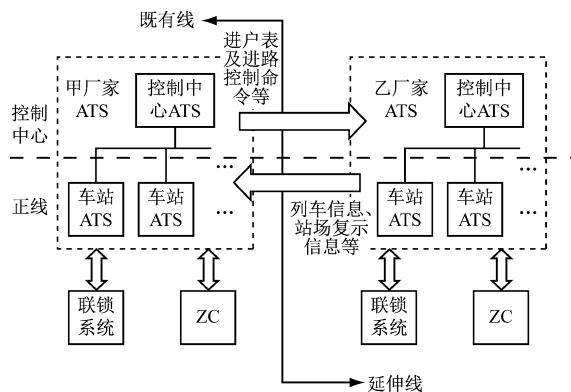


图1 ATS方案一示意图

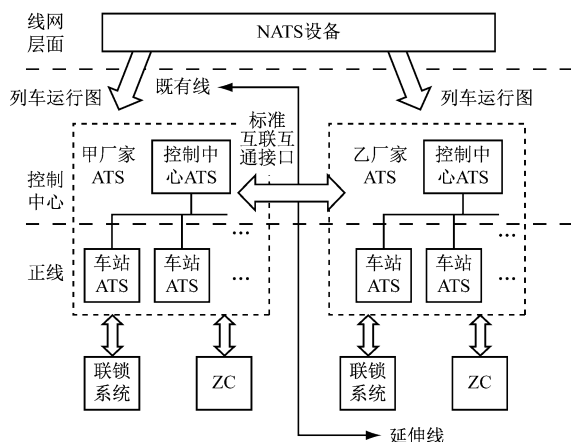


图2 ATS方案二示意图

方案三 标准化定义车站ATS与控制中心ATS的接口。既有线的控制中心设备预留延伸段接入的条件,延伸段不同厂家的ATS车站设备通过标准化的接口接入既有线的控制中心,实现全线的ATS功能。系统原理如图3所示。

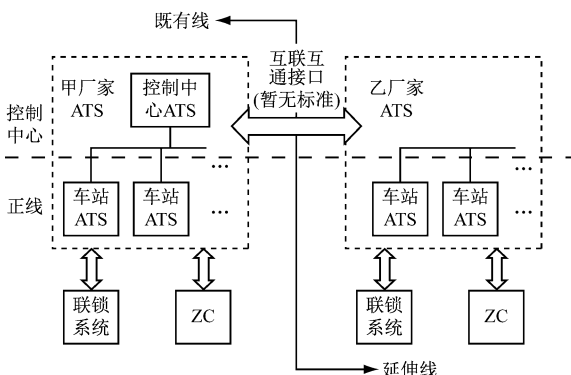


图3 ATS方案三示意图

方案四 延伸段采购和既有线完全兼容的ATS车站设备接入既有线的ATS控制中心设备,以实现全线的ATS功能。由延伸段的ATS和其他厂

家的ZC及CI等子系统进行兼容接口,实现全线的CBTC(基于通信的列车控制)功能。系统原理如图4所示。

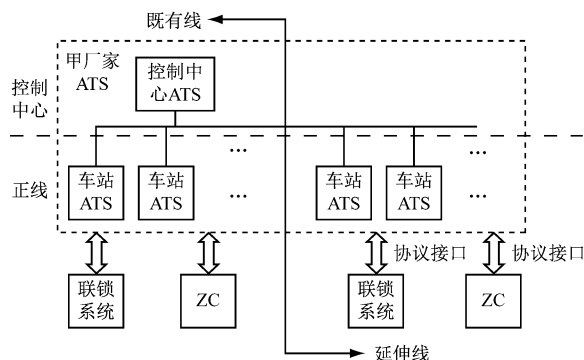


图4 ATS方案四示意图

方案二是唯一一个不用对其他接口重新进行修改的方案(与NATS接口除外),从技术上最易于实施。但方案二协调功能实现依赖于上层设备,可靠性较差,两段界面无法统一,控制割裂,同时需要两套控制中心设备,经济性较差,不推荐实施。方案一、三、四均可以实现由一套ATS控制中心设备对全线进行监控,对中心人员来说其使用方式和一家厂家的ATS一致。方案三既能确保接口的可实施性,能满足既有线和延伸段形成一个整体的系统,不用额外增加控制中心设备,也便于招标,是最理想的方案,但其接口标准化进度不能满足当前线路招标的工期要求,暂无法适用。方案一和方案四相比,方案四更有利于业主进行风险管理和接口管理;方案四不需要增加控制中心设备,从投资上更优;方案四控制结构更紧凑,接口更可靠,同时更有利于维护;但从接口修改工作量来说,方案一只涉及ATS间的接口,更利于开放,方案四涉及ATS与联锁及ZC(区域控制器)的接口,接口的数据量、数量、开放难度及重新协商修改的难度都要大大高于方案一(已适配过的除外)。当方案四有多家成熟的子系统集成方案时,推荐采用方案四,但从具体线路的ATS和不同厂家的ZC、联锁组合情况来看,重新适配接口的市场考虑及技术成本仍较为沉重,较易出现应标厂家不足的情况,需根据线路具体情况谨慎考虑。

综上所述,采用方案四时与传统方案无差异。采用同一厂家的ATS接口及采用不同厂家的在功能上基本一致,采用同一厂家的接口更便于维护,系统结构简单,系统的可用性更好。

1.3 ZC 接口

采用互联互通方案接入既有线时,需遵循 T/CAMET 040011.4 或 DBJ 50/T-250—2016 标准。采用传统 ZC 接口或互联互通 ZC 接口接入既有线其差异情况和联锁本质相同,不再累述。

1.4 DCS 接口

DCS(数据通信系统)包括有线骨干网及车地传输无线网络两部分。有线网络一般为 IEEE 802.3 标准以太网,因此,延伸段采用支持相应协议的交换机配置后均可接入。对比起传统方案,互联互通方案需配置独立的网关,需解决统一的网络管理问题及列车跨网络漫游的问题。由于各个厂家的网管机制、协议和内容并不相同,如延伸线采用不同厂家的网络设备,将无法进行统一的网络管理,建议通过 MSS(维护支持子系统)进行网管界面集成或各自在本段的网管设备上进行管理。列车跨线漫游一般通过将网关设置在线路核心交换机上,并利用 OSPF(开放最短路径优先)协议实现,切换时间需满足 CBTC 系统设备在不同跨线切换的最大能容忍的时间,有线网络的路由切换时间要求小于 1.5 s。

车地无线通信方案需采用符合 3GPP TS23.401 的长期演进(LTE)制式。如延伸线采购不同厂家的 LTE 设备,技术上可共用一期的核心网设备,仅采购延伸线所需的 BBU(基带处理单元)、RRU(遥控射频单元)和 TAU(跟踪区更新)设备即可。但不同厂家的 BBU、RRU 及核心网间没有互联互通标准,因此,相互接口是需要两家 LTE 厂家协商一致的,有一定的项目风险。如采用各自分别设置核心网设备的方式,则应满足 T/CAMET 4006.2 的相关要求,并满足 CBTC 系统设备的跨线切换最大容忍时间要求。

1.5 其他接口

如既有线为满足互联互通标准的线路,不管是否采用同一厂家设备,其车地通信协议均满足 T/CAMET 040011.2 或 DBJ 50/T-250—2016 的相关规范,在此基础上,采用同一厂家和不同厂家设备方案在通信协议及常规应用上并无差异。当延伸线或既有线的列车分别处在跨线状态时,由于跨线列车仍和本线的地面进行通信,如本线地面系统出现故障,将影响列车在跨线的运行,本线列车此时必须在跨线重新认证后才能投入运营。

列车维护信息传输需满足 T/CAMET 040011.7

的相关要求,当列车在对应线路时,将车载的维护信息发送给当前线路的 MSS。既有线和延伸线应采用一套 MSS 系统,既有线的 MSS 系统应预留延伸线系统接入的容量,但由于采用互联互通方案的既有线和延伸段为不同的设备,MSS 对应不同厂家同一子系统或同一类型设备时可能需采用不同的接口及采集单元。

地面应答器报文均满足 T/CAMET 040011.1 的相关要求,其具体规定了地面应答器的通信结构及接口连接方式、应答器报文结构及应答器发包情况。是否采用同一厂家设备在列车与地面应答器接口上无差异。

2 工程实施分析

与传统方案相比,采用互联互通方案需在边界设置过渡区段。过渡区段主要需考虑列车的边界防护,无线的重叠覆盖及满足列车附着、去附着及故障检测报告机制完成时间的走行长度。过渡区段的主要设施包括应答器、计轴及信号机等。对于跨线运营来说,设置信号机计轴等设备是线路分界所必需的;对于延伸线来说,既有线和延伸段一般无道岔,如采用传统方案,则不需要设置过渡区段。

当采用互联互通方案接入既有线时,双方接口基于厂家设计理念不同及系统闭环管理的需要视对方为外部网络,在接口处需增加网关或防火墙及网络等级保护设备。

当采用传统方案接入既有线时,其第三方安全授权及评估只需完成对延伸线的延续评估即可。当采用互联互通方案时,需遵循 T/CAMET 040013.2 的相关标准,新增的安全评估及授权内容包括:既有有线至延伸线,既有有线应出具的安全授权/证书及包括延伸线列车车载设备的评估报告/授权/证书;延伸线至既有线,延伸线应出具的安全证书及包括既有线列车车载设备的评估报告/授权/证书。

不管采用何种方式接入既有线,虽然其调试范围和调试内容本质是一致的,但采用互联互通方案存在需重新协商调整的接口,该部分接口的调试时间及工作量均比传统方案多。

延伸线不同于跨线,跨线(单独的线路)一般会独立考虑至控制中心的网络通道及物理敷设通道,而延伸线一般采用接入既有线通道至控制中心的方式,不独立预留到控制中心的光纤,因此,建议延伸线的各子系统接口采用相邻车站接入既有线网

络的方式。但在实际工程实施时,由于LTE核心网线路接口一般在控制中心,为了统一接口及便于维护,其他子系统的线路接口一般也在控制中心实施及预留,此时要在既有线重新敷设延伸段至控制中心的光缆,这将增加延伸段接入既有线的的影响及建设成本。同时,当正线至控制中心通道故障时,延伸线与既有线的站场复示信息、列车信息、控制命令及反馈等都将无法传达,虽然这也意味着无线网络无法正常使用,只能点式运行,但此时维持点式功能的接口也将失效。

延伸段采用互联互通方案接入,当出现新增列车或电子地图等公用数据变化时,会导致两段的系统要分别进行对应修改,软件修改的工作量成倍增加。同时,由于采用两家不同厂家的设备,备品备件无法综合备用,维修维护的要求也有一定的区别,对于运营维护来说较为不便。

延伸段采用不同厂家的设备接入既有线虽然便于业主进行招标,但从技术方案上有可能会采用重复设备,额外的接口设备及接口服务等均会提高项目成本,因此,此方式是否能使工程造价更为合理需根据具体项目进行判断。

3 结语

采用满足互联互通标准的不同厂家设备作为延伸线的信号设备选型方案,存在着延伸线和既有线结合度降低、维护相对不便、接口协调工作量、工

程实施工作量相比较多等缺陷,同时需充分考虑接口风险可控的问题。与传统方案相比,互联互通方案有利于引入竞争,同时也是信号系统发展的趋势,存在的问题在各方共同努力下也是可解决的,而且随着互联互通标准应用经验的进一步积累及标准的进一步优化和深化,相关问题在未来必将会有更妥善的解决方案。综上所述,在支持互联互通标准信号系统的既有线上,采用互联互通信号系统作为延伸线招标实施的方案是基本适用的,同时应根据具体线路的条件确定采用的具体方案。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通系统规范:T/CAMET 04010[S]. 北京:中国铁道出版社,2018.
- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通接口规范:T/CAMET 04011[S]. 北京:中国铁道出版社,2018.
- [3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)互联互通工程规范:T/CAMET 04013[S]. 北京:中国铁道出版社,2018.
- [4] 重庆市住房及城乡建设委员会. 重庆轨道交通列车控制系统(CQTC)标准:DBJ 50T/-250—2016[S]. 重庆:重庆市建设技术发展中心,2016.
- [5] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车地综合通信系统(LTE-M)接口规范第2部分:核心网间数据接口:T/CAMET 0406.2[S]. 北京:中国铁道出版社,2018.

(收稿日期:2018-11-19)

(上接第64页)

- [4] KIM K J, HAN J B, HAN H S, et al. Coupled vibration analysis of maglev vehicle-guideway while standing still or moving at low speeds [J]. Vehicle System Dynamics, 2015, 53 (4):587.
- [5] 李云钢,常文森,闫宇壮. 美国新型结构磁悬浮交通技术与比较[J]. 机电传动,2006(3):6.
- [6] 翟婉明,赵春发. 磁浮车辆/轨道系统动力学(I):磁/轨相互作用及稳定性[J]. 机械工程学报,2005(7):1.
- [7] 翟婉明,赵春发. 磁浮车辆/轨道系统动力学(II):建模与仿真[J]. 机械工程学报,2005(8):163.
- [8] 王延安,陈世元,苏战排. EMS式与EDS式磁悬浮列车系统的比较分析[J]. 铁道车辆,2001(10):17.
- [9] 魏庆朝,冯雅薇,施翊. 直线电机交通模式及技术经济特性[J]. 都市快轨交通,2004(1):48.
- [10] 戚伟,刘盛和,金浩然. 中国城市规模划分新标准的适用性研

究[J]. 地理科学进展,2016,35(1):47.

- [11] 王雪芹,王成新,崔学刚. 中国城市规模划分标准调整的理性思考[J]. 城市发展研究,2015,22(3):113.
- [12] 蔡文锋,徐锡江,吴承锦,等. 株洲中低速磁浮试运线轨道设计关键技术研究[J]. 铁道标准设计,2015(6):40.
- [13] 宗凌潇. 时速140 km新型中低速磁浮列车走行机构研究分析[D]. 成都:西南交通大学,2016:2.
- [14] 张瑞华,刘育红,徐善纲. 美国Magplane磁悬浮列车方案介绍[J]. 变流技术与电力牵引,2005(5):40.
- [15] 刘华清. 德国磁悬浮列车Transrapid[M]. 成都:电子科技大学出版社,1995:10.
- [16] 吴祥明. 磁浮列车[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003:2.
- [17] 魏庆朝,孔永键. 磁浮铁路系统与技术[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003:3.

(收稿日期:2019-09-20)