

# 多网融合的列车运行控制系统研究<sup>\*</sup>

潘 亮 洪玲娇 邢艳阳

(卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海 // 第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 针对当前市域铁路大运量、快速化、公交化、互联互通的需求, 从铁路与城市轨道交通的功能共性角度入手, 分析既有的列车运行控制系统的性能特点及优劣; 并从调度指挥系统、临时限速子系统、驾驶模式和轨旁列车控制系统等方面对列车运行控制系统的多网融合方案进行研究。

**关键词** 轨道交通; 多网融合; 列车控制系统

**中图分类号** U284

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.04.009

## Research on Train Control System Based on Multi-railway Network Integration

PAN Liang, HONG Lingjiao, XING Yanyang

**Abstract** In order to meet the needs of urban railways for large-scale transportation, rapidification, public transportation, and interoperability between lines, from the perspective of feature commonality between national railway and urban rail transit, the performance characteristics and quality of the existing CTCS system is analyzed. Multi-railway network integration scheme of train control system is studied from the aspects of dispatching and commanding system, temporary speed limit sub-system, driving mode and trackside train control system.

**Key words** rail transit; multi-railway network integration; train control system

**Author's address** CASCO Signal Ltd., 200071, Shanghai, China

2019年2月21日出台的《国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见》提出: 要打造轨道上的都市圈, 统筹考虑都市圈轨道交通网络布局, 构建以轨道交通为骨干的通勤圈。其重点在于整合都市圈区域内的城市轨道交通资源, 加强建设多种制式的城市轨道交通, 使之能适应城市的圈层化发展, 满足区域出行新需求。

为了满足城市组团间高速、短间隔且无缝衔接的运营需求, 必须实现多网融合, 即实现不同制式

轨道交通的互联互通。具体来讲, 不仅要实现市域铁路与一般铁路的互联互通, 还要实现市域铁路与城市轨道交通的互联互通。

列车运行控制(以下简为“列控”)系统是多网融合方案中的关键系统之一。本文针对多网融合的列车运行控制系统关键技术进行分析。

## 1 既有列控系统方案

目前, 国内的成熟列控系统有两类。

1) 面向一般铁路的CTCS(中国列车运行控制系统)。CTCS-2级列控系统(以下简为“CTCS-2系统”)最为常用, 其采用轨道电路和点式信息设备(应答器)来传输列控信息。轨道电路负责完成占用检测检查, 并连续向列车发送控制信息; 点式信息设备负责传输定位、限速和停车信息。因此, CTCS-2系统属于点-连式列控系统。以此为基础, 城际轨道交通采用CTCS-2+ATO系统(CTCS-2级系统+列车自动运行系统)。CTCS-3级列控系统(以下简为“CTCS-3系统”)也较常见, 其采用无线通信系统和应答器来传输列控信息, 由轨道电路负责完成占用检测, 由点式信息设备负责定位, 属于连续式列控系统。CTCS-2系统和CTCS-3系统适用于不同目标速度的线路, 且均为准移动闭塞制式。市域铁路的列车运行目标速度一般为120~160 km/h, 可采用CTCS-2级系统或CTCS-2+ATO系统。

2) 面向城市轨道交通的CBTC(基于通信的列车控制)系统。CBTC系统为移动闭塞制式, 其控制精度高, 具有更高的效率和灵活性, 可实现UTO(无人驾驶)。CBTC系统已具备满足高密度开行和公交化运营需求的能力。

铁路和城市轨道交通分别自成体系。要满足多网融合的网络化运营需求, 市域铁路的列控系统方案

<sup>\*</sup> 上海市工业强基专项项目(GYQJ-2018-2-03)

就不能简单照搬。因此,本文将在 CTCS-2 与 CBTC 系统的基础上研究多网融合下的列控系统方案。

## 2 列控系统中关键环节的融合分析

基于表 1 各方案的比较,对调度指挥系统、临时限速系统、驾驶模式、轨旁列控子系统等 4 个关键环

节的多网融合进行分析。

### 2.1 调度指挥系统的融合

#### 2.1.1 调度指挥系统的差异

铁路的调度指挥系统为 CTC(中央调度集中)系统,城市轨道交通的调度指挥系统为 ATS(列车自动监控)系统,二者差别较大。

表 1 列控系统方案对比

对比项	CTCS-2 系统	CTCS-2+ATO	CBTC
列车运行目标速度	200~250 km/h	200~250 km/h	80~120km/h(目前最高目标速度为 160 km/h)
闭塞制式	准移动闭塞制式,目标距离控制模式	准移动闭塞制式、目标距离控制模式	移动闭塞制式
车地通信技术	轨道电路	轨道电路	WLAN(无线局域网)或 LTE-M(长期演进)
自动化等级	GoA1	GoA2	GoA3/GoA4
线路运能评价指标	区间运行间隔 发车间隔 接车间隔	区间运行间隔 发车间隔 接车间隔	正线运营间隔 折返间隔
运营计划的生成即运行	CTC(中央调度集中)生成,人工根据时刻表运行	CTC 生成、经 CCS(协调控制系统)处理后发送给车载 ATO	运营计划由 ATS(列车自动监控)系统生成并发送给车载设备,可灵活调整
折返方式	人工折返	自动折返(自动化程度低)  CTCS-2+ATO 系统与 CTC-3 系统车地通信采用 GSM-R(铁路综合数字移动通信系统)或 CSD(电路交换数据业务)方式,仅能建立唯一的通信链接;因此,采用 CTCS-2+ATO 系统的线路仅能实现与采用 CTC-2 系统的线路互联互通,无法实现与采用 CTC-3 系统的线路互联互通	自动折返(自动化程度高)
互联互通情况	采用 CTCS-2 系统的线路和采用 CTC-3 系统的线路可实现互联互通		可实现 CBTC 系统的互联互通
优势	可实现市域铁路与铁路的互联互通	在切除 ATO 的模式下,能实现市域铁路与铁路的互联互通	使用移动闭塞技术,行车间隔可低于 2 min
劣势	使用区间闭塞技术,行车间隔大,折返时间长;不具备无人自动折返功能	使用区间闭塞技术,行车间隔大,折返时间长,不具备无人自动折返功能	受技术条件限制,无法实现市域铁路与铁路的互联互通

1) 应用环境不同。ATS 系统用于城市轨道交通封闭线路。此类线路内作业的规律性较强,相应的列车运营组织自动化程度较高、运营效率较高。CTC 系统的应用环境较复杂。铁路列车的运营计划受不同速度等级列车运行的互相影响、网络化运营线路的影响及站内特殊作业等的影响,容易被干扰。

2) 岗位设置不同。城市轨道交通的调度指挥系统为全线集中管理,其作业流程相对简洁,各类特殊作业干扰较小,自动化程度较高,故运营指挥相关人员的岗位层级较少。铁路的调度岗位细化分工较多,非运营类的特殊作业较多,故在铁路列车实际运营中,各调度岗位之间的作业流转环节也较多,流程复杂。

3) 列车运行调整功能不同。铁路运输情况复杂、多变,CTC 系统无法自动完成列车的运行调整。当列车运行图被打乱后,CTC 系统会进行预测,并提出多种可供选择的修改方案,供调度员进行人工

选择确认并下发更新后的运行计划。而 ATS 系统通过调整列车运行速度和停站时间,与 ATO 系统配合,高效完成列车运行自动调整。

#### 2.1.2 融合方案

基于上述分析,面向多网融合的调度指挥系统,不仅要结合 ATS 系统的优势,还要在管理层面优化运营组织、组织结构、运输管理流程及线路作业(特别是折返交路作业等),以提高自动化程度。在市域铁路联络线与 CTC 接口时,需做好市域铁路与铁路运行计划的高效衔接。

因此,市域铁路列控系统可以在 ATS 系统基础上叠加 CTC 系统的功能,也可以在 CTC 系统基础上融入 ATS 系统的高效运营调整理念,从而实现高密度市域铁路多车型混跑条件下的运行控制及协同调度。

### 2.2 临时限速系统的融合

CTCS-2 系统的临时限速功能通过临时限速服

务器来实现。CBTC 系统的临时限速功能通过轨旁 ATP(列车自动防护)系统来实现。如果 CTCS-2 系统与 CBTC 系统的临时限速功能都按既有的标准实施,则市域铁路临时限速操作及临时限速设置状态难以在两个系统中实现同步。

为确保不同制式列车能在同一区域获取相同的临时限速,临时限速功能应由统一且独立的子系统执行。临时限速子系统需要将设定的临时限速值同步发送至 TCC(列车控制中心)和 ZC(区域控制器),并验证发送至 ZC 与 TCC 中的临时限速状态是否一致。

### 2.3 驾驶模式的融合

在城市轨道交通与市域铁路的接驳中,能兼容 CBTC 和 CTCS 等不同制式的车载信号系统驾驶模式,对整体运营效率的提升、运营成本的减少,都具有重要的意义。

目前不同制式的驾驶模式差异较大。CBTC 模式下的列车控制等级为 CBTC 级别、点式列车控制级别和联锁控制级别。

CTCS-2 系统属于点连式列车控制级别。基于

轨道电路连续发送的速度码及应答器发送的限速信息,列车在控制区域内以自动驾驶模式或完全监控模式下的人工驾驶模式运行。

在不同列车控制级别下,CBTC 系统和 CTCS 分配至应答器的功能不同。首先,CTCS 的应答器除了用于列车定位以外,还用于发送速度等其他信息,而 CBTC 系统的应答器负责提供信号显示信息;其次,CBTC 系统和 CTCS 在应答器数据信息定义格式不同;再次,CTCS-2 级系统属于点连式的准移动闭塞,而 CBTC 系统属于连续式的移动闭塞,故二者点式应答器作用不同;最后,应答器的布置要求差别巨大。

考虑到 CTCS-2 级系统的行车效率比 CBTC 系统在点式列车控制级别的行车效率高,也为了有效规避应答器的兼容性问题,列控系统多网融合可将 CTCS-2 级系统作为 CBTC 系统的降级模式备用系统,以简化多网融合下的列控方案,提高列控系统的可用性。

优化后,不同的列控级别对应的列车驾驶模式如表 2 所示。

表 2 各列车控制级别下的驾驶模式

列车控制级别	CBTC 系统	CTCS-2 系统
连续式列车控制	AM(列车自动驾驶模式);CM(列车自动防护下的人工驾驶模式);FAM(全自动驾驶模式);CAM(蠕动驾驶模式)	无
点连式列车控制	无	FS(完全监控)模式;AM(用于 C2+ATO)
联锁级列车控制	RM(限制人工驾驶)模式;EUM(非限制人工驾驶)模式	CS(机车信号)模式;SB(待机)模式;PS(部分监控)模式;CO(引导)模式;OS(目视行车)模式;SH(调车)模式;SL(休眠)模式;IS(隔离)模式

在列车控制级别由较低等级切换至较高等级时,可由车载列控系统自动完成。在列车控制级别由较高等级切换至较低等级时,若不同控制级别下的设备都能正常工作,则由列车司机向列控系统发出人工降级请求;若较高控制等级的列控系统发生故障,则列车紧急停车,并在缓解紧急制动后降级至较低列车控制级别运行。

### 2.4 轨旁列控系统的融合

对于铁路:轨旁 CBI(计算机联锁)子系统负责站内的联锁进路,以及信号、道岔、轨道电路等轨旁设备的监控;TCC 负责监控区间及区间无配线站的进路方向与信号,还负责控制辖区内所有线路的发码。对于城市轨道交通:轨旁 CBI 子系统实现了区域化,负责整个区域轨旁信号设备的

监控及方向控制;ZC 基于 CBI 的方向及信号设备状态来计算行车许可。

基于不同轨旁列控系统的特点,可形成两套融合方案,具体如下表 3 所示。

融合方案一,在由 TCC 负责的区间范围内,若 ZC 基于 TCC 的方向及信号设备的监控状态来计算行车许可,则 CBTC 系统的运行会受 TCC 故障的影响,进而降低信号系统可用性;此外,还需额外配置 CSS(通信控制服务器),以控制屏蔽门。

融合方案二,将区间的方向及信号设备的监控状态统一分配至 CBI 子系统实现。由 CBI 子系统负责站内和区间的方向控制,以及对线路所有信号设备状态的监控;TCC 和 ZC 分别基于联锁方向和设备状态信息来计算各自的行车许可,实现

表 3 轨旁列控子系统的融合方案

项目	融合方案一 (既有 CTCS-2 体系上叠加 CBTC 方案)	融合方案二 (联锁区域化方案)
方案概况	在站内的 CBI 子系统将进路方向、信号机、区段、道岔等轨旁状态发送至 ZC;在区间设置 TCC 与 ZC 接口,以将区间方向、信号机、区段等轨旁信号设备状态发送至 ZC;CCS 需将站台门、防淹门、紧急关闭等状态发送至 ZC;临时限速子系统需通过 TSRS(临时限速服务器)与 ZC 的接口,将临时限速值发送至 ZC	CBI 子系统负责实现联锁控制区域内的进路及区间方向,以及各类轨旁信号设备的控制,将 CCS 负责的站台门、防淹门及紧急关闭等功能全部纳入计算机联锁子系统中来实现;CBI 子系统将这些状态分别发送给 ZC、CTC 和 TCC;TCC 根据来自 CBI 子系统的区间方向及来自轨道电路的区段状态实现闭塞功能,并向轨道电路发码;ZC 根据联锁发来的进路和区间的方向,以及轨旁信号设备状态来计算行车许可;临时限速子系统需要通过 TSRS 与 ZC 的接口将临时限速值发送至 ZC
需增设的接口	TCC 与 ZC 的接口;CBI 与 ZC 的接口;CCS 与 ZC 的接口;TSRS 与 ZC 的接口	CBI 与 TCC 的接口;CBI 与 CTC 的接口;CBI(集成 CCS 功能)与 C2 车载接口;TSRS 与 ZC 的接口
修改方案	可在铁路 CBI 子系统与 TCC 的基础上增加其与 ZC 的接口;需增加自动进路功能、自动折返功能及保护进路功能等	可在城市轨道交通 CBI 子系统基础上增加其与 CTC、TCC 和 C2 的车载接口

了判定行车许可基础信息的同源,并确保两级列控系统能独立运行、互不影响。因此,从信号系统的可靠性及可用性来看,融合方案二比融合方案一更优。

3 结语

在多网融合的框架下,面对市域铁路的小运行间隔、高行车密度及灵活化运营需求,其列控系统建议采用联锁区域化方案,既可以实现与铁路列车的联通联运,也可以在市域范围内相对独立地以 CBTC 模式运营以确保线路的运能。

临时限速、站内和区间的列车运行方向、信号设备状态等均由同一 CBI 设备计算,并同步发送至 TCC 和 ZC 用于行车许可的计算,从而使得信号系统功能高内聚、系统间接口低耦合,进而降低列控系统复杂度,提高信号系统的可靠性和可用性。

车载信号系统的驾驶模式将结合不同的制式灵活配置,既可单独的配置 CTCS-2 或者 CBTC 相应的车载设备,也可融 CTCS-2 和 CBTC 所有驾驶模式为一体,形成兼容两种制式的车载信号子系统方案。灵活的组态方案可满足多网融合不同制式

下的运营需求。

轨道交通列控系统是多网融合方案中重要的一环。多网融合方案属于复杂系统工程,需要以需求为导向,在线路规划、运输组织、运营管理、行车能力、列车车辆、线路、限界、通信及供电等多个专业协同发展,共享网络资源,共同实现多层次、多模式、多制式的轨道交通多网融合。

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[Z]. 北京:中华人民共和国国家发展和改革委员会,2019.

[2] 潘亮. 市域铁路信号系统制式的选择[J]. 城市轨道交通研究,2016(增刊2):69.

[3] 李红侠. 铁路调度集中系统向地铁列车自动监控系统发展的可行性[J]. 城市轨道交通研究,2000(4):53.

[4] 中国铁道学会. 市域铁路设计规范: T/CRS C0101—2017[S]. 北京:中国铁道出版社,2017.

[5] 中国铁路总公司. 城际铁路 CTCS-2+ATO 列控系统暂行总体技术方案[R]. 北京:中国铁路总公司,2013.

(收稿日期:2020-08-31)

(上接第 34 页)

[2] 李中浩,朱东飞,邢智明,等. 以信息化助推城市轨道交通快速发展的思考[J]. 城市轨道交通研究,2017(5):1.

[3] 张颖,岳堯,薛玮. 智慧城市背景下上海打造智慧地铁的调研与分析[J]. 市场周刊,2016(11):58.

[4] 孙章. 城市轨道交通概论[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.

[5] 李春佳. 智慧城市内涵、特征与发展途径研究——以北京智慧城市建设为例[J]. 现代城市研究,2015(5):79.

[6] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通年鉴 2017[M]. 北京:中国城市轨道交通协会,2018.

[7] 陈琨,杨建国. 智慧交通的内涵与特征研究[J]. 中国交通信

息化,2014(9):28.

[8] Industrial Internet Consortium. Industrial internet reference architecture(V1.7)[R]. Milford:IIC,2015.

[9] ZVEI. The reference architectural model industrie 4.0(RAMI 4.0)[M]. Berlin:ZVEI,2015.

[10] 中华人民共和国工业和信息化部,国家标准化管理委员会. 国家智能制造标准体系建设指南[R]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部,2015.

(收稿日期:2019-07-28)