

# 轨道交通列车运行控制系统互联互通 技术现状与发展趋势

王奇, 唐俊同, 任颖

(轨道交通信号系统湖南省工程研究中心, 湖南长沙 410100)

**摘要:** 文章就国内外轨道交通列车运行控制系统互联互通相关的规范制定、技术研究以及应用实施状况进行了分析, 分别阐述了干线铁路与城市轨道交通互联互通推进过程中存在的问题以及未来发展趋势, 最后提出了对互联互通发展的思考与建议。

**关键词:** 轨道交通; 列车控制系统; 互联互通; 规范

中图分类号: U284.48; TP393.03

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2018)02-0007-04

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2018.02.002

## Current Status and Developing Trend of Interoperability in Train Control System for Railway Application

WANG Qi, TANG Juntong, REN Ying

(Hunan Engineering Research Centre in Railway Signaling System, Changsha, Hunan 410100, China)

**Abstract:** This paper analyzed the specification work, technical research and implementation of interoperability in train control system for railway application. From mainline and urban rail transit aspects, it described the existing problem during carrying forward and developing trend in future. At last, considerations and suggestions about development of interoperability were presented.

**Keywords:** railway traffic; train control system; interoperability; specification

### 0 引言

随着经济的发展以及运输需求的不断提高, 轨道交通跨线路、跨区域及跨国境的运行需求变得日益频繁, 如何保证轨道交通运输的效率和成为世界各国轨道交通互联互通研究的重点课题。轨道交通互联互通问题涉及基础线路、列车运行控制、供电以及运营管理等诸多领域, 其中列车运行控制系统(以下简称“列控系统”)由于本身的复杂性且涉及运输安全性, 一直是互联互通研究与实践过程中最为困难且进展缓慢的部分, 已成为轨道交通互联互通技术发展中的主要障碍。

### 1 国外列控系统互联互通状况

就国外列控系统互联互通而言, 无论是干线铁路还是城市轨道交通, 在技术研究、标准制定以及项目实施等方面, 以德国、法国为代表的欧洲国家以多种形式开展了长期、深入的研究与实践, 并且取得了良好的效果。在北美方面, 纽约地铁也进行了一定的探索与尝试。而其他国家, 由于受需求或技术的限制, 较少开展互联互通的研究与工程应用。

#### 1.1 欧洲干线铁路

欧洲作为轨道交通最发达地区之一, 其各国列控系统种类繁多、信号制式复杂多样且互不兼容, 因而阻碍了欧洲跨境交通运输的发展。为了消除欧洲内部跨境铁路运输的障碍, 建立安全、一体化的铁路运输网络,

收稿日期: 2018-01-12

作者简介: 王奇(1964-), 男, 教授级高级工程师, 长期从事轨道交通列车运行控制系统研究与开发工作。

达到互联互通的目标,在欧盟委员会的要求下,信号工业联盟(union industry of signalling, UNISIG)于20世纪90年代开始研究欧洲各国铁路列控系统的互联互通问题。

在欧洲铁路和国际铁路联盟(international union of railways, UIC)的支持下,UNISIG制定了欧洲铁路运输管理系统(european rail traffic management system, ERTMS)技术规范,涉及欧洲列车控制系统(european train control system, ETCS)和无线通信系统(global system for mobile communications-railway, GSM-R)。作为一个标准体系,ETCS技术规范(SUBSET)先后存在2个有效版本,最新版本(Baseline 3)包含了56项强制性规范和32项告知性规范,涵盖系统、功能接口、通信以及测试等方面,是目前欧洲各国互联互通列控系统开发与部署的重要技术依据。

与GSM-R不同的是,ETCS在部署与实际运用方面进展缓慢。在过去的十多年,欧洲内部实际运用ETCS的线路还不到1万km。究其原因,一方面是由于欧洲各国并不理想的经济状况影响了政府或运营商在此项目上的投资;另一方面,也是重要的因素,在于技术层面上以互联互通为目标的ETCS在实际部署与运用时始终无法实现真正的互联互通,也就是说,尽管基于相同的规范,但由于理解上的差异,装备了一家供应商车载设备的列车还不能毫无障碍地运行在装备了另一家供应商提供的地面设备的线路上。基于此,部分ETCS设备供应商与运营商共同提出了一个新的解决方案,即Open ETCS研究项目,主要目的是消除ETCS开发过程中对ETCS规范理解上的差异。项目的基本思路是研发一个集成软件开发与验证的形式化模型,为整个ETCS系统软件开发过程提供一个全面的统一工具链,以支持系统软件形式化的规范和验证、自动代码生成和验证以及基于模型的测试用例的生成和执行。根据这样的思路,各设备供应商基于ETCS规范开发的基本代码完全相同,也可以共享。尽管这种方法在技术上可行,但如何保持技术的竞争性仍然值得关注与探讨。

为了进一步提高欧洲现有轨道交通的容量并且降低生命周期成本,在欧盟第7研发框架(FP7)轨道交通领域行动计划的支持下,欧洲铁路行业协会(union of european railway industries, UNIFE)组织信号产品供应商、干线及城轨运营商共同开展了下一代列车控制系统(next generation train control system, NGTC)项目的研究。其主要任务是进行可行性分析与研究,为能够同时满足干线铁路ETCS和城轨交通基于通信的列车自

动控制系统(communication based train control system, CBTC)需求的标准化列车控制系统的开发铺平道路,但并不寻求一套系统能满足所有需求,而是尽量扩大ETCS和CBTC之间的共同点,探索ETCS与CBTC在系统设计、结构及硬件平台上的技术贯通性。分析与研究的基础是ETCS规范(SUBSET-026)、UGTMS规范(IEC62290-1)以及CBTC规范(IEEE1474-1)。项目研究结果表明,基于现有状况,ETCS与CBTC在需求层面上存在较大差异,即使考虑部分相似或不同功能的统一,其相同部分也仅能达到三分之一左右。要达到真正标准化、一体化的目标,还需要一个逐步协调与推进的过程。

## 1.2 欧洲地铁

出于在欧洲范围内建立一个城市轨道交通领域的共同标准和规则、提高轨道交通系统的使用效率和安全的考虑,欧洲委员会提出了“城市轨道交通管理与控制系统(urban guided transport management and command/control systems, UGTMS)”研究项目。其目标是为包括列控系统在内的管理与控制系统定义一个完全开放的系统功能、系统需求以及接口规范,以实现不同设备之间的互联互通、互换以及兼容。此后,该规范上升为IEC标准并且成立了WG40工作组,包括中国在内的10多个国家参与了此项标准的制定。自2002年以来,已召开了近50次工作组会议,并且完成了第1部分“系统原理与基本概念”和第2部分“功能需求规范(FRS)”标准的发布。第3部分“系统需求规范(SRS)”正在起草之中,遇到的主要问题是,由于涉及第1部分和第2部分的修改而无法涵盖许多新的技术需求与特征。基于规范此前的进展以及后续巨大的工作量,第4部分“接口规范(IS)”是否启动仍在考虑之中。而接口规范的制定对于互联互通的实现至关重要,如果取消“接口规范(IS)”的制定,可以认为互联互通的目标无法实现。

在互联互通项目实施方面,巴黎地铁(RATP)早在21世纪初就已牵头联合3家信号供应商开展了OURAGAN项目。RATP和3家信号设备公司以ETCS规范和IEEE1474标准为基础,共同制定出了详细的互联互通技术规范并对3家供应商的设备进行了在试验线上的互联互通测试。以此为基础,在后续的巴黎地铁3, 5, 9, 10和12号线的信号系统升级项目中,推行了开放式列车控制计划并进行公开招标,招标内容将列控系统的车载、轨旁和通信这3部分分成了不同的合同包分别招标,中标结果为3家设备供应商分别获得不同的合同。针对每一条线路,除通信部分由一家供应商提供外,

车载部分与轨旁部分均由不同的供应商提供,因此在车、地设备之间达到了互联互通的效果。这是在城轨领域全球首个列控系统互联互通规模化商业运行的尝试。

### 1.3 纽约地铁

早在20世纪末,纽约地铁(NYCT)基于大量线路互连的状况,提出了将列控系统升级为CBTC的计划,目的在于改变列控系统供应流程与规则,使所有列控系统供应商提供的设备能运行在所有线路上,即实现互联互通运营。在此项目中, NYCT 首先选择3家供应商在一个信号区段示范其CBTC技术,并确定将CBTC作为列车控制系统升级和实现互联互通的方案,然后选定其中一家供应商的技术方案作为项目的技术标准,而车-地无线通信采用符合IEEE标准的开发协议和相同的设备。在此基础上,其他二家供应商按照确定的标准进行开发并提供兼容产品。NYCT于2005年组织其中2家供应商在试验线路上进行了互联互通相关测试,另外一家则退出了该项目。此项目是城轨列车控制系统在互联互通方面的早期尝试与探索,其主要技术特征是以一家供应商的技术为蓝本,而不是共同制定统一的技术标准,因此也限制了其进一步的发展。

## 2 国内列控系统互联互通状况

### 2.1 干线铁路

国内干线铁路列控系统主要采用中国列车运行控制系统(chinese train control system, CTCS)。自20世纪90年代以来,在国内干线铁路的CTCS-0级线路中,列控系统车载部分主要采用“监控装置+通用机车信号”的技术路线,而地面部分由于历史的原因保留了不同线路中种类繁多的轨道电路。监控装置采用车载存储所有线路基础数据的技术方案,因而在降低系统投资成本的同时,也规避了由于线路基础数据而产生的车载设备与地面设备接口问题,为互联互通创造了条件;另一方面,尽管地面存在多种不同制式的轨道电路设备,但车载通用机车信号能够识别并处理国内所有轨道电路的移动授权信息,因此消除了互联互通中的主要技术障碍。CTCS-0级列控系统以其特有的技术模式有效解决了国内复杂线路的互联互通问题,这也是在全球干线铁路列控系统中唯一采用的技术模式。这种模式尽管存在特定情形下人工干预的问题,但对于当前阶段国内既有线路的实际情况,无疑是一种较为合理、可行的互联互通解决方案。

对于高速线路部分,CTCS-2/3级列控系统技术规范是基于ETCS规范而建立的,并针对国内实际情况进

行了调整。基于GSM-R无线通信的CTCS-3级列控系统设计上考虑了与CTCS-2级列控系统的兼容性,在无线通信出现故障时,系统可降级至CTCS-2级运行。尽管其设计目的主要在于提高系统可靠性与可用性,但在实际应用效果上已实现了一定程度的互联互通,也就是装备CTCS-3级列控系统的列车可运行在CTCS-2级线路上。

### 2.2 城轨交通

随着国内地铁线路网络化运营需求的不断增加,在中国城市轨道交通协会的组织下,国内主要城市地铁业主与相关信号系统供应商共同开展了城轨列控系统互联互通行业标准的制定,其主要目的在于实现地铁列车的跨线运行,降低运营成本,同时提升延长线路列控系统招投标的竞争性。根据其初始规划,标准涵盖系统层面、功能接口层面以及测试验收层面共12项规范,目前已发布其中7项。需要关注的是,尽管制定了共同的接口规范,但在互联互通实施过程中可能会遇到类似ETCS的问题。

CBTC互联互通在很大程度上依赖于车-地无线通信的互联互通,因此在起草系统规范的同时,基于长期演进物联网技术(long term evolution-metro, LTE-M)的车-地无线通信互联互通行业标准在协会的组织下也以独立规范的形式开展了制定,主要参与方包括通信设备供应商、信号设备供应商以及地铁业主等。LTE-M互联互通规范共17项,其中7项目前已达到发布状态。

在项目实施方面,重庆轨道交通以提高运营效率、减少乘客换乘为目的,通过互联互通“示范工程”在国内率先开展大规模互联互通运营的尝试与探索,并取得积极进展。该项目将4号线、5号线、10号线和环线的列控系统按互联互通统一规范进行招标,并分别由4家系统供应商负责实施,通过统一的跨线接口以及车地通信接口实现4条线路的列控系统互联互通。目前该项目已完成5号线一期部分线路的互联互通交叉测试,而4条线路的全面互联互通有望在2018年实现。与此同时,重庆互联互通测试验证平台也在构建之中,用于对投入重庆互联互通线路实际使用的列控系统核心设备进行互联互通有效性测试与验证。

## 3 发展趋势与展望

### 3.1 干线铁路

尽管以互联互通为主要目标的欧洲ETCS系统由于技术和外部条件等方面的原因在欧洲的实施过程并不理想,但其建立的标准体系无疑在全球范围内产生了巨大

的影响,也为各国列控系统互联互通的研究与实践提供了可借鉴的范例。未来干线铁路互联互通将在既有ETCS技术体系基础上朝2个可能的方向发展:在深度方面,继续深入研究,克服目前存在的不同供应商在规范的理解以及设计上的差异,实现真正意义上的无障碍互联互通;在广度方面,继续探索干线铁路与区域铁路甚至城轨交通的互联互通。前者需要克服的主要是技术上的障碍;而后者除技术上的问题需要解决外,还涉及行业政策的支持、标准体系的统一以及运营管理的划分等诸多因素,因而难度更大,短期内更为可行的方案是先实现局部(例如干线铁路与区域铁路或区域铁路与城轨交通)的互联互通。

国内在ETCS系统基础上建立起来的CTCS标准体系已基本成熟可行,标准修订过程中也考虑了不同等级CTCS设备的向下兼容,这将有助于在技术与设备层面朝着互联互通方向开展深入研究。而更为理想的解决方案是取消车载设备等级与地面线路等级相对应的限制条件,也就意味着只要技术上可行且安全上有保障,允许一种车载设备在所有CTCS等级的线路上运行。如此,才能为国内干线铁路列控系统的互联互通彻底消除障碍。

### 3.2 城轨交通

在欧洲,由于受需求不足等方面影响,城轨列控系统互联互通相关规范的制定与项目实施进程仍然缓慢。能否取得积极进展,取决于各子系统之间更深入、更详细的接口定义与规范,而这涉及不同层面的大量技术细节,需要不同国家、不同供应商共同参与并协调一致,在短期内几乎是一个不可能达成的目标。

而中国,尽管起步较晚,但由于需求旺盛,并且在行业主管部门的强力协调下,互联互通的推进速度远高于其他国家,特别在规范的制定方面已处于领先状态。未来能否在应用实施方面取得大范围实质性进展,在很大程度上取决于各运营商的需求是否强烈、行业主管部门的引导与推进是否继续有力,同时也依赖于制定的规范在实施过程中及时得到补充与完善。尽管如此,国内

城轨列控系统的互联互通技术与应用完全有条件在未来一段时间取得突破性进展。

## 4 结语

列控系统互联互通的技术研究与工程实践难度大、周期长、涉及面广,是一项复杂的系统工程,也是世界性难题,需要行业主管部门、运营管理部门以及系统供应商共同参与并协调推进。国内,各相关方可在既有成果的基础上,一方面积极参与互联互通国际标准的制定,在获得相关信息的同时也贡献国内的成果与经验;另一方面无需等待或受制于国际标准的推进,继续自主发展的思路,利用互联互通技术发展机遇,建立起国内自主标准体系并以此为基础研究相关系统与产品。如此,有望在城市轨道交通领域先行实现列车运行控制技术从跟随到局部引领的转变。

### 参考文献:

- [1] SUBSET-026 ISSUE 3.6.0 System Requirement Specification [S]. ERTMS, 2016.
- [2] BARO S, WELTE J. Requirements for openETCS [R]. ITEA2 Project Work-Package 2, 2013.
- [3] IEC 62290-1:2006 Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems–Part 1: System principles and fundamental concepts [S]. Geneva: IEC, 2006.
- [4] IEC 62290-1:2014 Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems–Part 2: Functional requirements specification [S]. Geneva: IEC, 2014.
- [5] McGrady A. Future Requirements Compared and Finalised [R]. NGTC Report D2.4, 2017.
- [6] CZJS/T 0033-2015 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)接口规范-互联互通接口规范 互联互通系统总体要求[S]. 北京:中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会, 2015.
- [7] CZJS/T 0035-2015 城市轨道交通基于通信的列车运行控制系统(CBTC)接口规范-互联互通接口规范 互联互通系统架构和功能分配技术要求[S]. 北京:中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会, 2015.
- [8] CZJS/T 0061-2016 LTE-M 系统需求规范[S]. 北京:中国城市轨道交通协会技术装备专业委员会, 2016.
- [9] TJ/DW074-2004 中国列车运行控制系统CTCS技术规范总则(暂行)[S]. 北京:中华人民共和国铁道部, 2004.
- [10] 杨志刚. LKJ 列控技术与应用[M]. 北京:中国铁道出版社, 2012.

## 我国自主研发出轨道交通多车低频谐振半实物仿真平台

随着我国铁路网规模不断扩大,电力机车数量也日益增加,车网低频振荡现象频繁发生,干扰了铁路正常的运输秩序。2018年2月,中车株洲电力机车研究所有限公司联合西南交通大学攻克了大系统实时并行接口处理、弱电网强耦合电路解耦、模型计算合理降阶解算等一系列难点,成功研发出轨道交通领域规模最大的多车低频谐振半实物仿真平台,为变流器群体行为的研究提供了重要的仿真工具。

该平台支持80重整流的实物控制和主电路的实时仿真模型运算,具有电路规模大、节点多、计算量大的特点。在实物控制器加入工况下,成功实时复现了8辆CRH5动车(包含80重整流)的车网低频振荡现象。