

面向多网融合的市域铁路信号调度系统研究

刘华祥¹ 陈恒宇²

(1. 卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海;

2. 深圳市地铁集团有限公司, 518026, 深圳//第一作者, 高级工程师)

摘要 根据都市圈内不同层次轨道交通多网融合的要求, 市域铁路应具有公交化和网络化的运营特点。为此, 市域铁路的信号调度系统也应基于公交化和网络化的运行需求进行设计。提出了面向多网融合的市域铁路信号调度系统的设计方案。该方案对国家铁路 CTC(调度集中)系统和城市轨道交通 ATS(列车自动监控)调度系统在功能上进行融合, 具有灵活配置、灵活部署、软硬件一体化设计、外部接口标准化等优点, 可满足不同类型市域铁路的功能需求。

关键词 市域铁路; 多网融合; 调度系统; 公交化; 网络化

中图分类号 U239.57

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.008

Research on Signal Dispatching System for Multi-network Integrated Urban Railway

LIU Huaxiang, CHEN Hengyu

Abstract According to the requirements of multi-network integrated rail transit at different levels in metropolitan area, urban railway should feature the public transit and the networking operation. Therefore, the signal dispatching system of urban railway should also be designed based on the operation requirements of public transit and networking. In this paper, a design scheme of urban railway signal dispatching system for multi-network integration is proposed. This scheme integrates the functions of national railway CTC (centralized traffic control) system and urban rail transit ATS (automatic train monitoring) dispatching system with the advantages of flexible configuration and deployment, integrated design of software and hardware, as well as standardized external interfaces, therefore can meet the functional requirements of different types of urban railways.

Key words urban railway; multi-network integration; dispatching system; public transit; networking

First-author's address CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China

五”期间,京津冀、长江三角洲(以下简称“长三角”)和粤港澳3大区域计划新开工建设的城际铁路和市域(郊)铁路总长度约10 000 km,其目标是将都市圈内已经建成的国家干线铁路网、城际铁路网及城市轨道交通线网进行多网融合。

目前,如北京、上海、广州、成都、温州等多个城市已经开始尝试市域快线规划建设,分别修建了不同类型的市域铁路。此外,还有多个城市的多条市域铁路正在规划筹建中。至2025年,这3个都市圈将基本形成城际铁路骨架网络和市域(郊)铁路骨架网络。

与此同时,国家多个政策文件也对市域铁路进行了明确的定位,包括国办发[2018]52号《关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》、发改基础[2017]1173号《关于促进市域(郊)铁路发展的指导意见》及发改规划[2019]328号《国家发展改革委关于培育发展现代化都市圈的指导意见》等。这些文件明确了基于四网融合的市域铁路应具有公交化和网络化两大特点。

市域铁路的信号系统也应满足多网融合的需求。作为信号系统的指挥大脑,市域铁路调度系统需具备可同时调度指挥不同层次轨道交通线路列车运行的功能。但是,目前国内可同时支持公交化和网络化运行的市域铁路调度系统尚属空白。基于此,本文结合实际项目的建设需求,围绕市域铁路公交化和网络化的特点,对市域铁路的信号调度系统展开研究。

1 市域铁路调度系统需求分析

从建设和运营需求角度分析,目前国内市域铁路需要考虑3类运营场景:独立成网运营、与国家铁路(以下简称“国铁”)线路互通运营及与城市轨道交通线网互通运营。无论在哪类场景下,市域铁路信号系统都应能同时满足公交化和网络化的运营需求。

伴随国家多个指导意见的出台,市域(郊)铁路的发展已被提升到国家交通战略发展层面。“十四

1.1 公交化运营需求

1.1.1 通勤化

为了满足通勤化调度指挥需求,市域铁路调度系统应具备列车运行计划的自动调整、在线列车车次号的灵活调整、大小交路同时运营、无人及有人驾驶模式下列车的自动折返/跳停/扣车、调度命令的编辑及下发到车站和列车、信号设备自动和人工控制、区间运营等级和停站时间的灵活调整、在站列车提前发车及列车节能运行等功能。

1.1.2 快速化

为了满足快速化调度指挥需求,市域铁路调度系统应具备支持列车以 200 km/h 的最高速度在线运行。

1.1.3 大运量

为了满足大运量线路的调度指挥需求,市域铁路调度系统应支持列车灵活联挂和解编、不同编组列车在线混跑及根据客流情况自动调整在线列车数等功能。

1.1.4 智能化

为了满足智能化调度指挥需求,市域铁路调度系统应支持最高 GoA4(无人干预列车运行)下列车的全自动运行功能(包括自动唤醒、出库、入库、休眠、唤醒、段内自动调车、出库自动领号、回库自动消号等),并应与其他系统(包括综合监控、通信、供电、站台门、施工管理系统、市域动车组管理系统、司机派班、国铁旅客服务等)进行信息联动。此外,还应具备故障处置完成后列车运行图的自动恢复、运营及维护数据的智能化统计分析、设备状态的智能监控和报警等功能。

1.2 网络化运营需求

1.2.1 列车运行图的统一编制和调整

为了满足网络化调度指挥需求,市域铁路调度系统应具备跨线路列车统一编图的功能,支持按照线路、线网、调度台管辖区等不同方式进行编图,多线间交界站列车间的接入和交出可实现自动勾连。统一编制后的线网列车运行图可以按照不同线路、不同调度台管辖范围自动拆分,并下达给对应的调度台。如对线网列车运行图进行修改,修改后的列车运行图将会及时通知并更新至每个相关的调度台,以实现线网列车运行图的实时同步更新。

1.2.2 调度管辖区的灵活划分

为了满足网络化调度指挥需求,市域铁路调度系统的调度台管辖范围应能灵活配置,支持按照线

路、区段或区域进行调度指挥。一个调度台的管辖车站可以仅仅是 ATS(列车自动监控)车站或 CTC(调度集中)车站,也可以是 ATS 和 CTC 车站的组合,可根据新建市域铁路的列车控制制式及运营需求进行配置。

1.2.3 与其他层次轨道交通建立调度系统接口

为了实现市域铁路与既有国铁线路或城市轨道交通线路间的互通运营,市域铁路调度系统需要与既有国铁线路的 CTC、城市轨道交通线路的 ATS 进行接口互联,以实现不同层次轨道交通列车运行计划的顺利实施,不同层次轨道交通信号设备状态信息的共享,以及不同层次轨道交通调度命令的相互传递等,满足列车跨线运营所需的信息交互需求。

2 既有轨道交通调度系统简述

目前我国的轨道交通信号调度指挥系统主要有两种类型:一类是国铁线路的 CTC 系统及 TDCS(列车调度指挥系统),另一类是城市轨道交通线路的 ATS 系统。其中,TDCS 仅有监视功能,与市域铁路的调度需求差距较大。本文仅对 CTC 和 ATS 进行简要介绍和对比。

2.1 国铁线路 CTC 系统

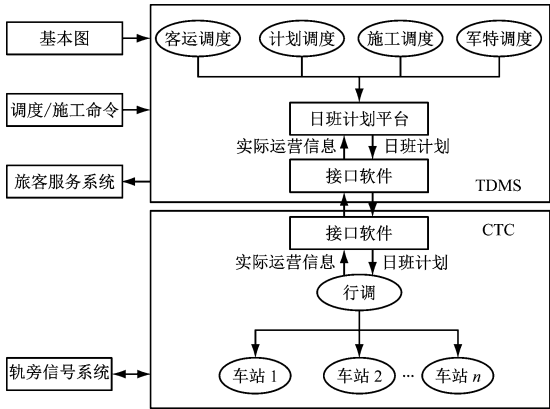
CTC 主要用于国铁干线、城际线路的信号调度指挥。CTC 具有很好的网络化调度功能^[1],但在公交化运营方面尚需提升。

1) 由于国铁的列车种类众多、线路范围较广、业务种类繁多、标准化程度较高,因此,CTC 功能较为复杂;CTC 需要完全按照国铁车站管理条例的要求进行业务逻辑设计,其中有很多业务目前尚需依靠人工进行操作和确认。

2) CTC 的运输计划主要包括客运计划、货运计划、施工计划等。如图 1 所示,CTC 通过与 TDMS(运输调度管理系统)接口实现基本列车运行计划(又称“基本图”)的编制,并实时获取国铁线路的日班计划;运营期间列车运行计划主要依靠调度员进行人工调整,尚不具备成熟的自动调图功能。

3) CTC 尚不具备自动领取列车运行计划、列车自动折返、自动跳停和扣车、自动调整运行交路、灵活自动联挂和解编、与旅客服务系统直接接口等功能。

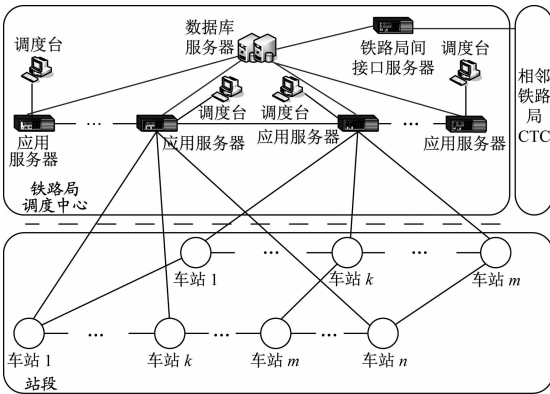
CTC 具有强大的网络化调度指挥优势,如图 2 所示。一个铁路局管辖范围内的所有高速铁路和



注:军特调度是指军队列次及其他特殊列次的调度。

图1 CTC与TDMS间列车运行信息接口示意图
Fig. 1 Diagram of train operation information interface between CTC and TDMS

城际线路可以共用一套 CTC 软硬件系统,且不同铁路局间可通过中国国家铁路集团有限公司制定的标准化接口进行互联,以实现列车的跨局交接,进而实现全国范围列车的网络化调度指挥。



注:每个站段的管辖范围在 15 个车站以内。

图2 1个铁路局辖区内 CTC 网络化架构示意图
Fig. 2 Diagram of CTC network architecture within the jurisdiction of a railway bureau

CTC 应用在国铁线网上具有强大的网络化调度优势,但 CTC 与城市轨道交通线网信号系统间无接口。市域铁路需具备可同时调度指挥国铁线路列车和城市轨道交通线路列车运行的功能,仅采用 CTC 系统不能满足市域铁路的调度指挥需求。

2.2 城市轨道交通线路 ATS 系统

ATS 系统主要用于城市轨道交通单一线路(以下简称“单线”)的信号调度指挥。由于城市轨道交通线路按照公交化要求运营,因此 ATS 系统具有较好的公交化调度指挥功能。图 3 为城市轨道交通单线 ATS 的系统架构。每条城市轨道交通线路的

ATS 均可分为车站和中心两个部分,且各单线 ATS 的软硬件互相独立。不同的城市轨道交通线路归属不同的 OCC(运营控制中心)和调度系统管辖。对于相互接轨的相邻线路,每条线的 ATS 系统可通过其 OCC 的接口实现与邻线信息的互传^[2]。

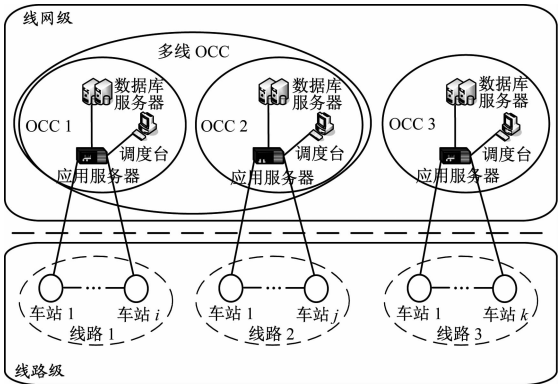


图3 城市轨道交通单线 ATS 系统架构
Fig. 3 Diagram of single line ATS architecture

对于采用单一 CBTC(基于通信的列车控制)信号制式的市域铁路线网,可以采用一套兼具软硬件的 ATS 作为调度系统,但需对其网络化功能进行提升,如线网列车运行图的统一编制和调整、调度管辖区的灵活划分、线网运营下的 PIS(乘客信息系统)和 PA(公共广播)信息的预告等。但由于 ATS 不具备与国铁 CTC 的接口,市域线路若仅采用 ATS 系统,也不能满足其调度指挥需求。

2.3 CTC 和 ATS 在市域铁路中的应用分析

综上所述,CTC 和 ATS 分别在网络化和公交化方面具有优势。本文针对不同类型的市域铁路,对其信号调度系统采用 CTC 或 ATS 的适用性进行了对比分析。如表 1 所示,提升了公交化功能后的 CTC 可用于单一国铁制式的市域铁路,提升了网络化功能后的线网 ATS 可用于单一城市轨道交通制式的市域铁路。

由表 1 可知,只采用 CTC 或 ATS,均不能完全满足基于城市轨道交通和国铁信号制式的多线互联互通市域铁路的调度指挥要求,因此,需要从市域铁路的运营需求角度着手,对既有的调度系统进行融合和创新,形成一套运营管理模式统一、维护简便、技术标准化、可灵活配置的市域铁路调度系统,以满足表 1 中各种类型市域铁路的运营需求,并为既有市域铁路的接入和改造创造条件,实现真正的多网融合。

表 1 市域铁路应用 CTC 和 ATS 的适应性分析

Tab. 1 Adaptability analysis of CTC and ATS applied in urban railway

市域铁路类型	CTC 的适应性	ATS 的适应性
基于城市轨道交通信号制式的单线市域铁路	不适用	适用
基于城市轨道交通信号制式的多线互联互通市域铁路	不适用	ATS 网络化功能提升后可适用
基于国铁信号制式的单线市域铁路	CTC 公交化功能提升后可适用	不适用
基于国铁信号制式的多线互联互通市域铁路	CTC 公交化功能提升后可适用	不适用
基于城市轨道交通和国铁信号制式的多线互联互通市域铁路	不适用	不适用

3 市域铁路调度系统架构设计

由上文可知,CTC 的优势是采用了网络化的系统架构,ATS 的优势是具备了良好的公交化调度指挥功能,因此,可以借鉴 CTC 和 ATS 各自既有的优势并进行融合创新,即在 CTC 的架构基础上增加 ATS 的功能模块,形成一套完全满足公交化、网络化运行要求,且可根据市域铁路实际运营需求进行灵活调配的市域调度系统。其系统架构如图 4 所示。

3.1 主要功能模块

本文所提的市域铁路调度系统采用分布式架构,将 CTC 和 ATS 的软件功能模块进行融合和再分配,充分利用 ATS 的公交化模块和 CTC 的网络化模块,融合后的模块可同时具备公交化和网络化功能,并可与既有国铁线路无缝连接。融合后的调度系统分为调度中心和车站两层架构。

调度中心层主要包括以下功能模块:① 线网运输计划管理;② 在线列车运行图管理;③ 调度命令管理;④ 设备状态监控管理;⑤ 与城市轨道交通线路外部接口管理,主要包括与综合监控、通信、供电等专业的接口,以及与相邻城市轨道交通线网 NOCC 连接等;⑥ 与国铁线路外部接口管理,主要包括与 TCC、TSRS、GSM-R、TDMS、动车组管理、旅客服务及设备维修管理等专业/系统的接口,以及与邻线 CTC 连接等;⑦ 国铁车站接入通信模块;⑧ 调度中心通信模块;⑨ 调度终端模块;⑩ 车辆段控制管理;⑪ 数据存储管理;⑫ 培训管理;⑬ 维护模块;⑭ 统计分析模块;⑮ 回放模块。

车站层主要包括以下功能模块:① 城市轨道交通车站 LATS(本地 ATS)分机;② 城市轨道交通车站 HMI(人机操作界面);③ 城市轨道交通车站发车倒计时;④ 国铁车站下位机;⑤ 国铁车站上位机;⑥ 复示终端模块。

3.2 主要设备组成

本方案采用分布式架构,将 CTC 和 ATS 的软硬件设备进行融合。为了实现与既有国铁线路信号系统接口的标准化,本方案单独设置外部接口服务器,以实现国铁线路的非改动接入。本方案包括的主要设备有调度中心设备和车站设备两部分。

调度中心设备包括:① 调度中心数据库服务器;② 各种接口服务器;③ 各种工作站终端;④ 网络连接设备;⑤ 培训设备。

车站设备包括:① 城市轨道交通车站 LATS 的下位机设备;② 国铁车站下位机设备;③ 城市轨道交通车站发车计时器设备;④ 各种工作站终端设备;⑤ 网络连接设备。

3.3 外部接口

本方案支持同时管理城市轨道交通和国铁两种信号制式的列车,因此,调度系统需同时支持与城市轨道交通和国铁两种信号制式的轨旁接口。此外,还需按照既有国铁、城际铁路的标准接口,实现与既有和新建城际铁路的接口,同时调度系统还应支持与信号系统外部相关专业的接口。图 5 以深圳城际铁路调度系统为例,对采用本方案时市域调度系统的外部接口进行说明。

图 5 中,每个接口均按照最大化复用既有标准原则予以设计,部分接口还根据实际工程项目需求新增了标准或对标准进行了修改。市域铁路调度系统外部接口标准如表 2 所示。

3.4 方案的特点及创新

本文提出的市域铁路调度系统方案对 CTC 和 ATS 进行了融合设计,完全满足市域铁路的公交化和网络化运营需求,其具有如下特点和创新点:

1) 灵活配置:可以根据市域铁路的不同类型配置为仅管辖国铁信号制式列车运行或仅管辖城市轨道交通信号制式列车运行的调度指挥系统,也可以配置为可同时管辖国铁和城市轨道交通两种信

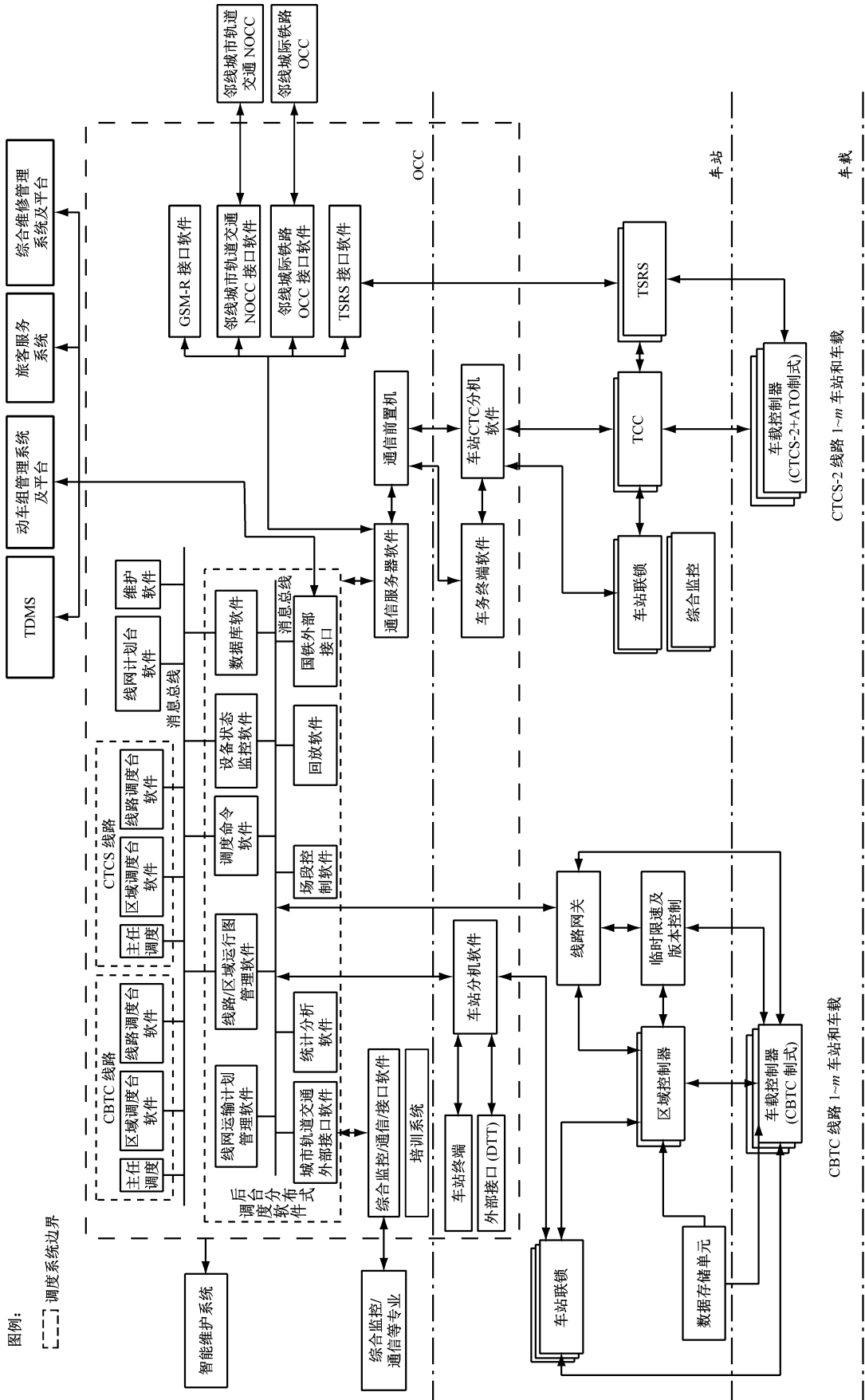


图 4 市域铁路调度系统架构示意图

注：CTCS——中国列车运行控制系统；CTCS-2——中国列车运行控制系统 2 级；ATO——列车自动运行；DTT——列车发车表示器；NOCC——线网运营控制中心；TCC——列车控制中心；TSRS——临时限速服务器；GSM-R——铁路数字移动通信系统。

Fig. 4 Diagram of urban railway dispatching system architecture

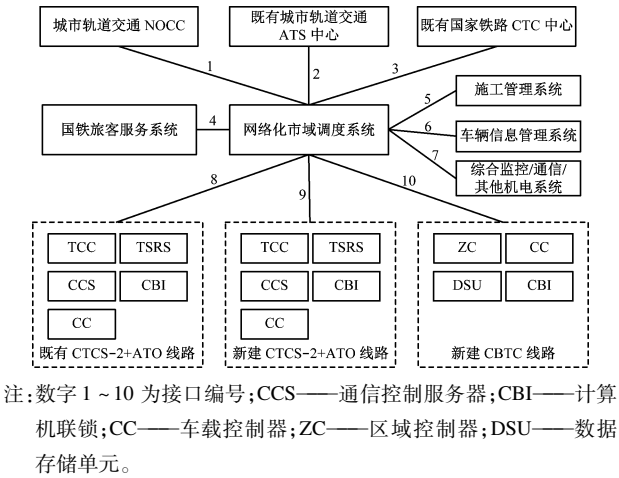


图 5 市域铁路调度系统外部接口示意图

Fig. 5 Diagram of external interfaces of urban railway dispatching system

表 2 市域铁路调度系统外部接口标准		
Tab. 2 External interface standard for urban railway dispatching system		
接口编号	接口标准	备注
1	可参考既有 NOCC 标准,并可根据实际工程项目需求进行修编	
2	可参考既有中国城市轨道交通协会的相关标准,并可根据工程项目需求修改或重新编制部分标准或条款	
3	可参考既有城际铁路标准	满足既有和新建城际铁路线(采用 CTCS-2 + ATO)接入市域铁路调度系统的要求
4	可参考既有城际铁路标准	满足既有和新建城际铁路线(采用 CTCS-2 + ATO)接入后的旅客服务功能
5	可参考既有行业标准,并可进行修编	
6	可参考既有行业标准,并可进行修编	
7	可参考既有行业标准,并可进行修编	
8	可参考既有城际铁路标准	满足既有和城际铁路线(采用 CTCS-2 + ATO)列车控制系统的接入要求
9	可参考既有城际铁路标准	满足城际铁路线(采用 CTCS-2 + ATO)列车控制系统的接入要求
10	可参考中国城市轨道交通协会互联互通制定的 CBTC 标准,并可新增或修改部分标准或条款	满足城际铁路线(采用 CTCS-2 + ATO)接入市域铁路调度系统的要求

注:第一列的接口编号与图 5 中的接口编号一一对应。

4 结语

目前,我国着力发展的都市圈主要包括京津冀、长三角、粤港澳大湾区等,北京、上海、深圳、广州等城市现阶段都已经具备了较为完善的城市轨道交通建设体系。但是在都市圈市域铁路领域,各地的建设需求、信号制式选型及调度系统设计等方面的差异较大。如何实现调度层面的多网融合,建立与之匹配的市域铁路调度系统尤为重要。

本文从市域铁路的公交化和网络化运营需求

号制式列车运行的调度指挥系统。

2) 灵活部署:本方案采用分布式架构设计,模块之间相互独立,可根据市域铁路项目需要进行灵活的部署和硬件扩容,支持云平台部署。

3) 软硬件一体化设计:通过技术手段将 CTC 和 ATS 的软硬件进行融合,降低了城际铁路市域调度各系统间的耦合度,提高了系统的可靠性,减少了市域铁路的建设和运维成本,便于保持调度模式上的统一。

4) 采用标准化的外部接口:本方案在设计时尽量复用既有成熟的外部接口,并根据实际工程项目需求对既有接口进行修改或新增接口,与国铁线路间的接口按照既有国铁标准执行,可以完全满足既有国家铁路和城际铁路的无缝接入。

出发,对国内既有的轨道交通调度系统进行了分析和对比,对 CTC 和 ATS 进行了融合设计,提出了市域铁路调度系统的设计方案,以期为后续基于多网融合的市域铁路调度系统建设提供参考。

参考文献

[1] 国家铁路局. 调度集中系统技术条件:TB/T 3471—2016[S]. 北京:中国铁道出版社,2017:1.
National Railway Administration. Technical specification for centralized traffic control system: TB/T 3471—2016 [S]. Beijing: China Railway Publishing House,2017:1.

- [2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通 CBTC 信号系统规范 第 3 部分:ATS 子系统: T/CAMET 04018. 3—2019[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2019:1.
China Urban Rail Transit Association. Urban rail transit—system specification of communication based train control system Part 3: ATS subsystem: T/CAMET 04018. 3—2019[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019:1.
- [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)互联互通系统规范 第 1 部分:系统总体要求: T/CAMET 04010. 1—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018:1.
China Urban Rail Transit Association. Urban rail transit—system specification for interoperability of communication based train control system Part 1: general system requirements: T/CAMET 04010. 1—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018:1.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发改委关于培育发展现代化都市圈的指导意见[EB/OL]. (2019-02-21) [2022-04-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201902/t20190221_962397.html?code=&state=123.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. NDRC guiding opinions on cultivating and developing modern metropolitan areas [EB/OL]. (2019-02-21) [2022-04-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201902/t20190221_962397.html?code=&state=123.
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 珠江三角洲地区城

- 际轨道交通网规划(2009 年修订)通过批准[EB/OL]. (2009-09-30) [2022-04-10]. <https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=6479>.
- National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Planning of intercity railway network in Pearl River Delta (revised in 2019) [EB/OL]. (2009-09-30) [2022-04-10]. <https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=6479>.
- [6] 人民日报社. 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标的建议[EB/OL]. (2020-11-03) [2022-04-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682333611010684707&wfr=spider&for=pc>.
- People's Daily News Agency. Proposals of the CPC central committee for formulating the 14th Five-Year Plan for national economic and social development and the long-range objectives through the year 2035 [EB/OL]. (2020-11-03) [2022-04-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1682333611010684707&wfr=spider&for=pc>.
- [7] 中华人民共和国国务院. 交通强国建设纲要[EB/OL]. (2019-09-19) [2022-02-20]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.
- State Council of the People's Republic of China. Outline of building China's strength in transportation [EB/OL]. (2019-09-19) [2022-02-20]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.

(收稿日期:2022-04-10)

上海轨道交通无人驾驶列控系统工程技术研究中心成功主办第五届世界人工智能大会“数字化轨道交通创新论坛”

2022 年 9 月 1 日至 3 日,以“智联世界,元生无界”为主题的第五届世界人工智能大会在上海隆重召开。作为大会重要的分论坛活动之一,由上海轨道交通无人驾驶列控系统工程技术研究中心主办的“数字化轨道交通创新论坛”于 9 月 2 日在张江科学会堂成功举办。该论坛也是本次大会唯一聚焦轨道交通领域的行业高峰论坛。业内近百位专家围绕人工智能赋能轨道交通数字化的新成果、新趋势展开了深入探讨。

中国科学院院士薛永祺为论坛致开场辞。薛院士以淞沪铁路的历史变迁做引伸,讲述了从淞沪铁路拆除,到原址上建起了上海轨道交通 3 号线,再到上海轨道交通 3 号线信号系统大修改造中应用了新一代列车自主运行系统这一发展历程,强调了科技创新对轨道交通发展的深远意义。

在主题发言环节,来自轨道交通运营单位、高校、系统集成商及智能技术研发企业等领域的专家代表作了主题演讲。专家们针对城市轨道交通线网规模不断扩大、安全和运营管理压力与日俱增等现状,从轨道交通数字化转型趋势、安全防护策略和体系、数字空间底座和前瞻技术应用等角度分享了城市轨道交通数字化转型的技术路径,探讨了数字化转型的发展前景。

在随后的专家访谈环节,专家们又聚焦“智慧城轨建设和运营过程中面临的机遇及挑战”这一主题,结合当下的智能化发展趋势,对轨道交通的运营管理、系统设计、人才培养、核心技术研究等议题展开了进一步的探讨。本次会议在讨论的高潮中圆满落幕。

数字化转型已成为轨道交通技术发展的趋势。此次论坛的成功举办,为今后智慧城轨建设和技术升级提供了新思路、新方向。

(卡斯柯信号有限公司供稿)



中国科学院院士薛永祺为“数字化轨道交通创新论坛”致开场辞