

高密度公交化市域铁路调度集中系统方案优化研究

罗志刚¹ 杨 俐² 王悦婷³ 杨金凤¹

(1. 中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海; 2. 上海申铁投资有限公司, 200003, 上海;

3. 上海市域铁路运营有限公司, 201102, 上海//第一作者, 工程师)

摘 要 对国家铁路的 CTC(调度集中)系统应用于高密度、公交化市域铁路的适应性进行了分析。CTC 存在计划调度与行车调度分离、行车信息未能实时共享、与机电系统间无联动功能等问题。为此,基于市域铁路高密度、公交化的运营要求,提出适用于市域铁路的 CTC 方案,整合 CTC 与 TDMS(运输调度管理系统)的业务协作,优化列车运行计划的数据流,提升了 CTC 与其他信息系统共享行车信息的及时性。

关键词 市域铁路; 调度集中系统; 运输调度管理系统; 信息共享; 机电联动

中图分类号 U284.5: U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.11.011

Research on Optimization of CTC System in High Density Transit Oriented Urban Railway
LUO Zhigang, YANG Li, WANG Yueting, YANG Jinfeng

Abstract With an analysis of the adaptability of national railway CTC(centralized traffic control) system in high density transit oriented urban railway, problems existing in this system such as the separation of planned dispatching and train operation dispatching, the nonrealistic real-time sharing of train operation information and the lack of linkage function with electromechanical system are pointed out. Then, based on the operation requirements of high density transit oriented urban railway, a CTC scheme suitable for urban railway is proposed, which integrates the business cooperation between CTC and TDMS (transportation dispatching management system), optimizes the data flow of train operation plan, thus improving the real-time sharing of train operation information between CTC and other information systems.

Key words urban railway; CTC system; transportation dispatching management system; information sharing; electromechanical linkage

First-author's address China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

《上海市城市总体规划(2017—2035 年)》中,上海市域铁路的线网规划方案为“九射十三联”。国家发展和改革委员会在最近发布的发改基础[2021]811 号《长江三角洲地区多层次轨道交通规划》中,将线网布局优化调整为“十射十三联”,调整后的线网包含新建或改建线路 12 条,线网总长度约为 684 km^[1-2]。

目前,上海市域铁路在建的机场联络线、嘉闵线、南汇支线均采用 CTCS-2(中国列车运行控制系统 2 级)+ATO(列车自动运行)。列车运行调度指挥采用了 CTC(调度集中)系统,整体架构设置参照国家铁路(以下简称“国铁”)客运专线调度中心的系统设备架构,采用网络化运营组织模式。

1 上海市域铁路列车运行调度指挥系统需求分析

1.1 网络化

根据上海市域铁路线网的总体规划,线网内各线路间须满足互联互通的要求,且与国铁路网、周边城市的市域铁路间均需具备互联互通的条件。这就要求列车运行调度指挥系统必须满足市域铁路网和国铁路网间跨线列车以图定的方式运行,且满足网络化运营组织的要求,因此,上海市域铁路列车运行调度指挥宜设置线网级的调度指挥中心。

1.2 公交化

TB 10624—2020《市域(郊)铁路设计规范》对市域铁路定义是:“为都市圈中心城市城区连接周边城镇组团及其他城镇组团之间提供公交化、大运量、快速便捷的轨道交通系统,是城市综合交通体系的重要组成部分。”^[3]作为与上海相邻的城镇通过轨道交通进入上海市区的最佳选择,上海市域铁路应具备大运量、安全、准时、快捷的特点,满足高密度、公交化运营需求。而实现高密度、公交化运营,其首要前提是列车运行调度指挥系统需满足列

车计划编制及自动调整的要求,其次是满足列车行车信息与其他系统信息实时共享的要求。

1.3 与机电系统联动

上海市域铁路在市区范围内大部分的线路区间为地下隧道,部分车站为地下车站;而在郊区范围内则大多采用高架/平面线路,车站多为高架车站。在特定的运行环境下,这样的线路特点将有不同于城市轨道交通线路的运营需求,其中机电系统的需求较为突出。市域铁路的机电系统功能直接影响列车运行和乘客安全,列车运行调度指挥系统宜能与机电系统间实现联动,以降低调度员的工作强度、缩短应急处置的响应时间、确保线路的运营安全。

2 CTC 系统适用性分析

2.1 CTC 系统概况

2.1.1 应用情况

国铁列车运行调度指挥系统采用网络化运营管理组织模式,国铁集团下属各铁路局均设有客运专线调度所。各铁路局调度中心均使用 CTC 对管辖范围内所有线路的行车业务进行统一调度指挥。CTC 的网络架构如图 1 所示。

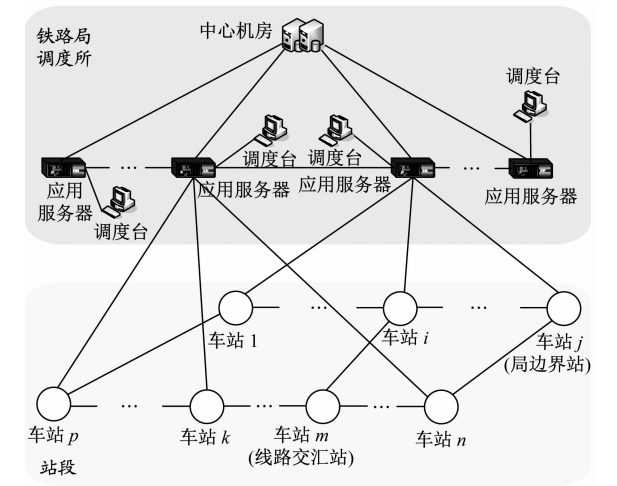


图 1 CTC 网络架构示意图

Fig. 1 Diagram of CTC network architecture

国铁线路规模庞大,列车种类多,标准化程度高,与列车运行调度指挥相关的业务系统较为复杂,其关键系统除 CTC 外,还有 TDMS(运输调度管理系统)。CTC 应具备的功能如表 1 所示,TDMS 应具备的功能如表 2 所示。

表 1 CTC 的主要功能

Tab.1 Main functions of CTC

功能模块	功能描述
调度监督和列车进路自动排列	基于站场图的调度监督动态显示和列车计划的实现,自动排列进路
列车运行图管理	列车运行图的编辑及自动生成,列车进路自动控制,运行计划下达等
调度命令	调度命令的模板制定、编辑、下达、签收及转发等
与 ATO(列车自动运行)相关的接口	与 CTCS(中国列车运行控制系统)接口后实现限速等功能,并向 ATO 动态提供列车运行计划

表 2 TDMS 的主要功能

Tab.2 Main functions of TDMS

功能模块	功能描述
日班计划平台	实现调度作业的协同互控;调度各工种以每日运行计划平台为基础,协同编制、调整及下达日计划
计划调度	实现列车计划编制功能,审核列车开行计划,为计划员提供制定列车开行计划功能,提供其他相关岗位制定列车运用计划的基本信息
机车调度	编制机车日班计划并指挥机车完成运输任务
施工调度	在施工月度计划自动产生的施工日计划的基础上,根据行车计划对施工时间进行调整
客运调度	对客流量数据、列车区段信息和列车正点/晚点信息进行统计分析,供调度人员掌握客运工作概况及生成相关报表,并使调度人员及时掌握列车运用情况及编组动态
军队或特殊调度	落实上级命令,监控军队或特殊运输(如超限超重、重点物资、剧毒品、限速货物等)的实际运行情况
货运调度	自动或辅助生成货运工作日班计划,实现货运工作日班计划的计算机信息管理
施工计划	施工计划的申报及审核的全过程管理
施工维修记录	施工维修计划登记、注销及记录等环节的电子化和规范化

2.1.2 技术发展趋势

CTC 已经成为覆盖我国铁路全路网客运专线调度中心及所有车站的行车指挥与控制系统。随着我国高速铁路网的大规模建设及高密度客运专线的持续投用,对铁路线网的行车调度指挥提出了自动化和智能化的发展要求。为此,国铁集团以既有 CTC 为基础,结合智能铁路的发展需求,对列车运行自动调整、列车进路自动排列和行车命令安全卡控、行车信息数据平台、行车调度综合仿真和 ATO 功能应用等方面作了优化,并于 2018 年发布了《智能调度集中系统暂行技术条件》。按照当前规划,该技术条件将客运专线 CTC 分成 3 个层级逐

步实施:第一层级实现列车运行调整计划辅助调整、安全卡控等功能;第二层级实现列车运行调整计划的自动调整、早晚点预测等功能;第三层级实现行车调度信息大数据运用、列车运行调整计划智能调整等功能^[4]。

2.2 CTC 系统适用性分析

CTC 采用统一标准体系,能够满足上海市域铁路网内各线路间的互联互通,并满足上海市域铁路网与国铁路网、周边城市的市域铁路间互联互通的

需求。但是,该系统应用到上海市域铁路后,发现存在以下 3 个方面的不足。

2.2.1 计划调度与行车调度分离

国铁线路具有网络化、客货混跑、固定时刻表等运营特点,其列车运行的计划性高,流程复杂,涉及的岗位及人员多,导致国铁调度指挥系统中计划调度与行车调度分离。

TDMS 与 CTC 间业务接口如图 2 所示,数据流接口如图 3 所示。

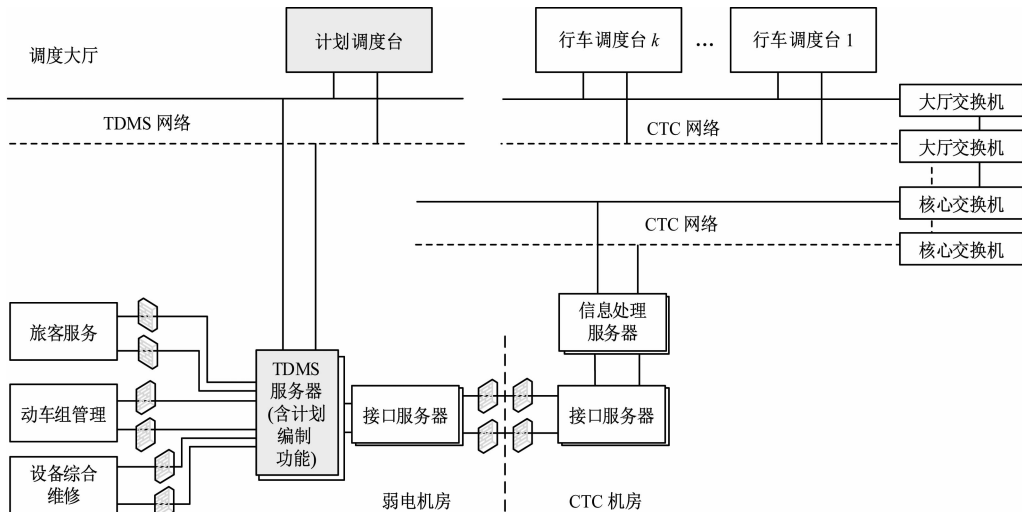


图 2 CTC 与 TDMS 列车运行业务接口示意图

Fig. 2 Diagram of train operation service interface between CTC and TDMS

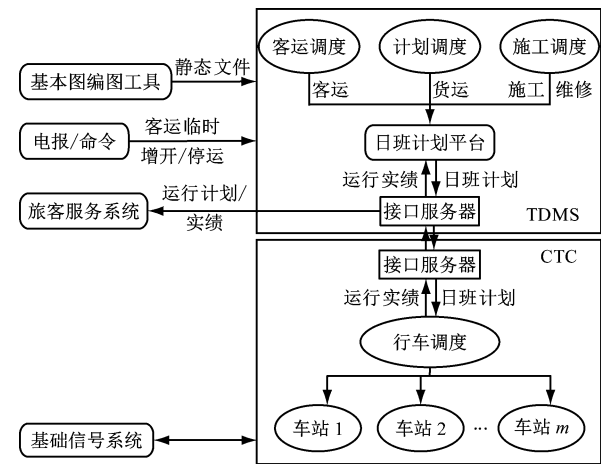


图 3 CTC 与 TDMS 间列车运行计划数据流接口示意图

Fig. 3 Diagram of train operation plan data flow interface between CTC and TDMS

编制完成的基本列车运行计划(以下称为“基本图”)作为调度指挥的基础,TDMS 客运调度子系统确定每日旅客列车的增开和停运计划,TDMS 日班计划平台统一汇总形成日班计划。TDMS 将日班

计划下发给 CTC。CTC 根据 TDMS 发来的日班计划,结合列车的实际运行情况,对列车的会让、停车、通过等进行调度指挥,并将列车运行情况实时反馈至 TDMS 和其他外部系统。

当图定列车非正点运行或因故造成大面积行车秩序混乱时,CTC 将现场采集情况反馈给 TDMS 的计划调度,由计划调度重新编制行车计划,再将新的行车计划交给 CTC 和其他相关系统。整个信息流程中 CTC 与 TDMS 间有 2 次信息交互,流程操作重复繁杂。若该流程应用于采用高密度公交化运行模式的市域铁路,将产生较大的负面影响,较难实现列车运行计划中自动调整、扣车及跳停等功能。

2.2.2 行车信息未能实时共享

与列车运行调度指挥相关的业务很复杂,标准化程度高,CTC 系统与其他调度指挥系统间的信息共享较少。为此,在国铁集团对智能调度集中的技术要求中,CTC 已在探索并搭建行车信息共享平台,其共享的行车信息契合了国铁线路采用固定的

列车时刻表、计划性高的运营特点。对于公交化运营的市域铁路而言,其他信息系统也需要从 CTC 中获取列车开行计划及早晚点预测等信息,以便对机电系统进行控制,对乘客进行有效的引导。

2.2.3 未与机电系统联动

目前 CTC 与机电系统间暂无联动功能。珠江三角洲多条新建的城际铁路线也仅在行车调度台工作站设置了 FAS(火灾报警系统)/BAS(环境与设备监控系统)显示终端。

3 适用于市域铁路的 CTC 系统方案

综上所述,将 CTC 应用于高密度公交化的市域铁路中,应在现有的系统功能基础上针对计划调度与行车调度业务分离、信息共享不充分等问题作出相应的优化调整,以适应市域铁路线的运营需求。而对已成熟运用多年、标准体系健全的国铁列车运行调度指挥架构进行优化,在调整 CTC 的同时保留互联互通、网络化运营的优点,是本次方案优化的关键。

3.1 CTC 整合 TDMS 计划调度功能

无论国铁、地铁还是市域铁路,三者的调度指挥均是以基本图为基础展开,并结合实际的列车运行状态和运行环境情况,对下一步的列车运行计划

进行修改和调整。

上海市域铁路虽然存在部分跨线运行的图定列车,但与国铁客货混跑有所不同,市域铁路对计划调度的功能需求相对较小。此外,上海市域铁路仅开行固定编组的动车组列车,不存在机车调度、客车调度、货运调度等业务。因此,相比于国铁中由 TDMS、CTC 分别实现计划调度和行车调度,市域铁路具备计划调度与行车调度合并的条件,可由 CTC 整合 TDMS 的计划调度功能。

由 CTC 整合 TDMS 的计划调度功能,可采用以下 2 种方案:方案一,新增用于行车计划编制功能的计划管理应用服务器;方案二,在现有系统应用服务器上增加行车计划编制功能。经分析,方案二在现有应用服务器上增加新功能,存在破坏现有系统结构、影响既定功能的风险,不建议实施。而方案一可沿用现有的系统结构,仅在行车计划信息交互上作了调整(将系统外部 TDMS 与 CTC 间信息交互改为系统内部模块间信息交互),CTC 系统现有各模块功能未作改变,保持了现有系统的完整性,规避了破坏既定功能的风险。因此,推荐采用方案一。

方案一下,CTC 整合 TDMS 的计划调度功能后的系统架构如图 4 所示。

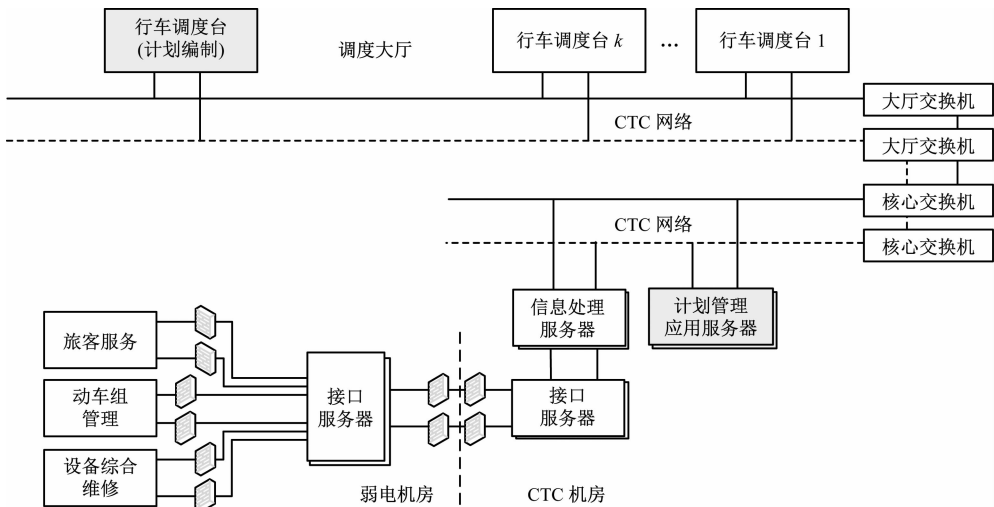
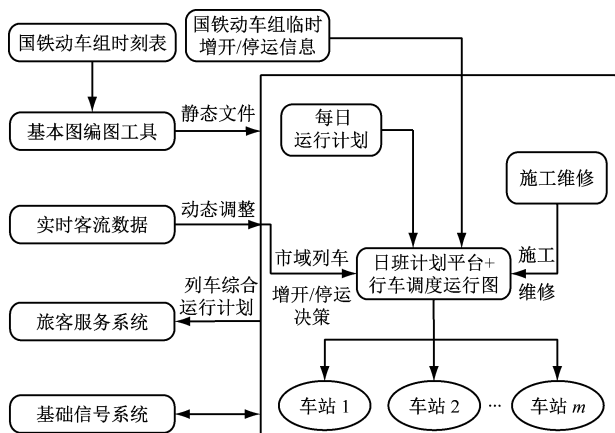


图 4 市域铁路 CTC 整合 TDMS 计划调度功能后的系统架构示意图
Fig. 4 Diagram of urban railway CTC structure after integrating TDMS planning and dispatching function

CTC 整合 TDMS 计划调度功能后,可进一步优化列车运行计划管理数据流,如图 5 所示。编制完成的基本图作为调度指挥的基础,直接导入 CTC。CTC 根据每日旅客列车的增开和停运计划,形成日班计划,并结合列车的实际运行情况实施调

度指挥。这样,列车运行计划的产生、变化及执行 3 个方面全部纳入 CTC,便于 CTC 统一协调管理。CTC 可以根据运营实际采用列车时刻表平移法或跳停等方式对列车时刻表进行调整,并将调整后的列车运行计划传递给相关系统。与图 3 相比,图 5 的信息

流程更为简洁。



注:列车综合运行计划为综合了国铁动车组列车运行计划及市域列车运行计划后得到的运行计划。

图5 市域铁路列车运行计划管理数据流优化示意图

Fig.5 Diagram of urban railway operation plan management data flow optimization

3.2 信息共享及机电联动

地铁调度系统一般通过ATS(列车自动监控)与综合监控的接口,将机电系统联动纳入行车调度管理范畴,而目前国铁CTC与机电系统暂无联动功能。TB/T 3471—2016《调度集中系统技术条件》对CTC的要求如下:“调度集中系统在保证自身运行安全的基础上,加强信息共享,实现信息资源整合和综合利用,为其他系统提供信息支持。”^[5]市域铁路CTC系统可采用分2步建设的方案:第一步,CTC应用于市域铁路的起步阶段,先与其他信息系统建立接口,以实现信息资源整合及提供信息支持,整合其他系统中与行车相关的设备的状态及其报警信息,与其他信息系统共享行车信息;第二步,在后续深化应用过程中,探索逐步实现CTC与机电系统直接联动的功能。

相应地,CTC应用于市域铁路的起步阶段时,为满足市域铁路公交化运营需求,CTC应与旅客服务信息系统接口,以实现行车信息共享,提供列车到达时刻预测及列车离站通知等与旅客服务相关的行车信息。为适应地下车站/线路的运行工况,CTC可与综合监控系统接口,接收FAS的火灾报警信息,并在CTC的界面上显示,便于行车调度人员在火灾情况下快速掌握列车运行环境。为便于掌握全线供电状态,防止列车误入无电区,CTC应与供电系统接口,接收供电系统发送的停供电信息,以自动设置设备的停电状态。

为确保CTC自身的运行安全及信息处理的及时性,在CTC与其他系统间的接口时,应按不同的

接口对象分别冗余配置接口服务器。CTC整合TDMS计划功能后,为了减少接口间协议的开发,确保风险处于可控范围内,CTC与旅客服务信息系统的接口方式仍沿用原有接口协议。CTC与电力系统、综合监控系统的接口则采用新设独立接口服务器的方式。

4 结语

市域铁路是介于国家铁路与城市轨道交通的一种交通运输方式,其列车运行调度指挥系统往往需要根据其自身特点予以量身定制。本文基于上海市域铁路高密度、公交化的运营需求,提出了CTC整合计划调度、实现实时行车信息共享等功能的优化方案,指出了实现机电系统联动功能的研究方向,可为其他采用CTC的市域铁路建设提供参考。

参考文献

- [1] 上海市人民政府. 上海市城市总体规划(2017—2035年)[EB/OL]. (2018-01-04)[2022-04-10]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw42806/index.html>.
Shanghai Municipal People's Government. Overall urban planning of Shanghai(2017—2035)[EB/OL]. (2018-01-04)[2022-04-10]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw42806/index.html>.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 长江三角洲地区多层次轨道交通规划[EB/OL]. (2021-06-07)[2022-04-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xgk/zcfb/ghwb/202107/t20210702_1285346.html.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Multi-level rail transit planning in Yangtze River Delta[EB/OL]. (2021-06-07)[2022-04-10]. https://www.ndrc.gov.cn/xgk/zcfb/ghwb/202107/t20210702_1285346.html.
- [3] 国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范:TB 10624—2020[S]. 北京:中国铁道出版社有限公司,2021:3.
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,2021:3.
- [4] 中国国家铁路集团有限公司. 智能调度集中系统暂行技术条件:TJ/DW 208—2019[S]. 北京:中国国家铁路集团有限公司,2019:5.
China State Railway Group Corporation Limited. Provisional technical conditions for intelligent centralized traffic control system: TJ/DW 208—2019[S]. Beijing: China State Railway Group Co., Ltd.,2019:5.
- [5] 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,2017:2.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Technical specification for centralized traffic control system: TB/T 3471—2016[S]. Beijing: China Railway Publishing House,2017:2.

(收稿日期:2022-04-10)